

## RESUMO

Este trabalho busca a otimização do uso de biomassa de macrófitas aquáticas na produção de adobe (tijolos de terra secos ao sol), objetivando contribuir com o manejo integrado de lagos e oferecer uma alternativa de autoconstrução de baixo custo, com material de construção ecológico. A pesquisa foi desenvolvida no reservatório de Salto Grande (Americana-SP, Brasil), que se encontra em avançado processo de eutrofização artificial, recebendo grande aporte de nutrientes provenientes de esgotos urbanos e lixiviação de insumos agrícolas. As macrófitas aquáticas ali presentes (*Brachiaria arrecta*, *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*) contêm altos níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e metais pesados, tornando impraticável sua utilização como forragem ou fertilizante. O solo utilizado é argiloso (59% argila, 21% silte e 20% areia), classificado como A-7-6 (HRB), o que inviabilizaria sua utilização na produção de adobe, motivo pelo qual foi adicionada a biomassa das macrófitas. A amostragem e cálculo desta biomassa foram realizados pelo método do quadrado de 0,25 m<sup>2</sup>, a determinação de nutrientes e metais pesados (10 metais) pelos métodos padrão de análises químicas, com espectrofotômetro de absorção atômica e de chama. Foram efetuados todos os ensaios usuais de caracterização de solos. As plantas secas foram trituradas e misturadas ao solo, para a produção manual dos tijolos, em 15 misturas de diferentes proporções (em volume) de biomassa/solo. Foram feitos os ensaios de absorção de água, massa específica aparente, retração e resistência à compressão dos tijolos. Os resultados desses ensaios apontaram 30% de biomassa de *E. crassipes* como a porcentagem ideal, produzindo tijolos com resistência à compressão superior a 2MPa.

## ABSTRACT

This work intends to optimize 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.

## PRODUÇÃO DE ADOBE COM BIOMASSA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS: UMA ALTERNATIVA PARA RETIRADA E ENCAPSULAMENTO DE POLUENTES DE LAGOS E RESERVATÓRIOS

**Obede Borges Faria**

Doutor em ciências da engenharia ambiental /FEB/  
UNESP – Bauru.  
obede@feb.unesp.br

**Evaldo Luiz Gaeta Espíndola**

Doutor em hidráulica e saneamento /EESC/USP – São Carlos.  
elgaeta@sc.usp.br

## INTRODUÇÃO

Com o processo de eutrofização artificial e acelerada da represa de Salto Grande, em Americana (estado de São Paulo), houve uma proliferação descontrolada de macrófitas aquáticas “*plantas herbáceas que crescem na água, em solos cobertos por água ou em solos saturados com água*” (ESTEVES, 1988). Na Figura 1 é mostrado um dos aspectos desse problema. O reservatório, com mais de 50 anos de idade, tem superfície de 13 km<sup>2</sup>, comprimento máximo de 17 km, perímetro de 64 km, profundidade média de 8 m e volume de 1,06 x 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>. Sua finalidade é a produção de energia elétrica e oferecer uma opção de lazer à população de seu entorno, que, inclusive, alimenta-se com os peixes que fazem parte de seu ecossistema. A situação é agravada pelo alto índice de contaminação das águas por efluentes urbanos e industriais, inviabilizando a utilização dessas plantas como fertilizantes ou forragem, assim como seu controle químico (com herbicidas), que potencializaria essa contaminação. Na década de 70 foi feita uma tentativa de erradicação destas plantas por herbicidas, porém, sem sucesso. A recolonização foi imediata. A remoção mecânica também foi tentada, igualmente sem sucesso, por inadequação do destino da biomassa coletada, disposta às margens do corpo d’água e rapidamente tinha seus nutrientes devolvidos ao sistema, agravando ainda mais o processo de eutrofização (LOPES-FERREIRA, 2000).

Como parte do conjunto de alternativas para a solução do problema, este trabalho apresenta o estudo da otimização do uso da biomassa dessas plantas na produção de adobe (tijolos de terra crua, secos ao sol), de forma a

garantir a sustentabilidade, promovendo um manejo integrado do reservatório, além de contribuir com a diminuição do déficit habitacional da região (altamente urbanizada). O adobe foi amplamente estudado pelo arquiteto egípcio Hassan Fathy (FATHY, 1976) e mostra-se perfeitamente adequado para climas tropicais e regiões pobres, inclusive com sua prática ainda em uso em algumas regiões do Brasil. Foram utilizadas as três espécies predominantes de macrófitas aquáticas presentes na represa, *Eichhornia crassipes* (**jacinto d’água** ou **aguapé**), *Pistia stratiotes* (**alface d’água**) e *Brachiaria arrecta* (**braquiária**), identificadas taxonomicamente também por Lopes-Ferreira (2000) e apresentadas na Figura 2.

Foi utilizado solo proveniente do entorno do reservatório, com alto teor de argila; mais um motivo para se utilizar as fibras fornecidas pelas macrófitas, na forma de biomassa. Segundo Faria (1998), para produção de adobe, o solo ideal deve ser arenoso (máximo de 30% de argila); caso contrário, ocorrerão fissuras excessivas e queda de resistência mecânica, havendo a necessidade de corrigir este problema com adição de algum estabilizante, no caso proposto, representado pela biomassa das macrófitas aquáticas.

## METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em cinco etapas: 1 – coleta e preparação das macrófitas; 2 – caracterização física da biomassa; 3 – caracterização química da biomassa; 4 – caracterização do solo e produção dos tijolos; e 5 – ensaios de caracterização física e mecânica dos tijolos. A seguir, são descritos, resumidamente, os procedimentos adotados em cada uma dessas etapas.

### Coleta e preparação das macrófitas

As macrófitas foram coletadas em vários pontos, distribuídos ao longo do reservatório, com auxílio de um pequeno barco motorizado e acondicionadas em sacos plásticos de 100 litros, para o transporte até Bauru (distante 230 km de Americana). Na coleta, a amostragem foi feita pelo método do quadrado de 0,25 m<sup>2</sup> (MORAES, 1998), para o cálculo da área total de estande coletada de cada espécie. Em seguida, as macrófitas foram lavadas, para remoção do excesso de material aderido, e espalhadas sobre manta plástica, para secagem ao sol e perda do excesso de umidade (Figura 3).

### Caracterização física da biomassa

Para o cálculo da **biomassa por unidade de área** (**Bps**, massa de vegetal seco contido na unidade de área de cobertura da lâmina d’água – *estande*, expressa em g/m<sup>2</sup>), as plantas foram colocadas em estufa (60 °C, por 72 horas), atingindo 0% de umidade e pesadas em balança eletrônica, com precisão de 10<sup>-5</sup> Kg. Esse parâmetro foi calculado pelo quociente entre a massa seca total e a área total correspondente, ou seja, o produto entre o número total de quadrados coletados que forneceram aquela biomassa e a área de um quadrado (0,25 m<sup>2</sup>). Em seguida, esse material foi fragmentado em um triturador forrageiro, com peneira de  $\phi$ 12 mm para a amostragem do material levado às análises químicas e também sua utilização na produção dos tijolos. Essa etapa também se mostrou necessária para que se pudesse efetuar uma amostragem mais significativa, considerando-se a heterogeneidade do material (já que foram utilizadas todas as partes das plantas – sistema radicular, caules e folhas) e a grande diferença entre a quantidade de biomassa obtida e a necessária para os ensaios químicos.

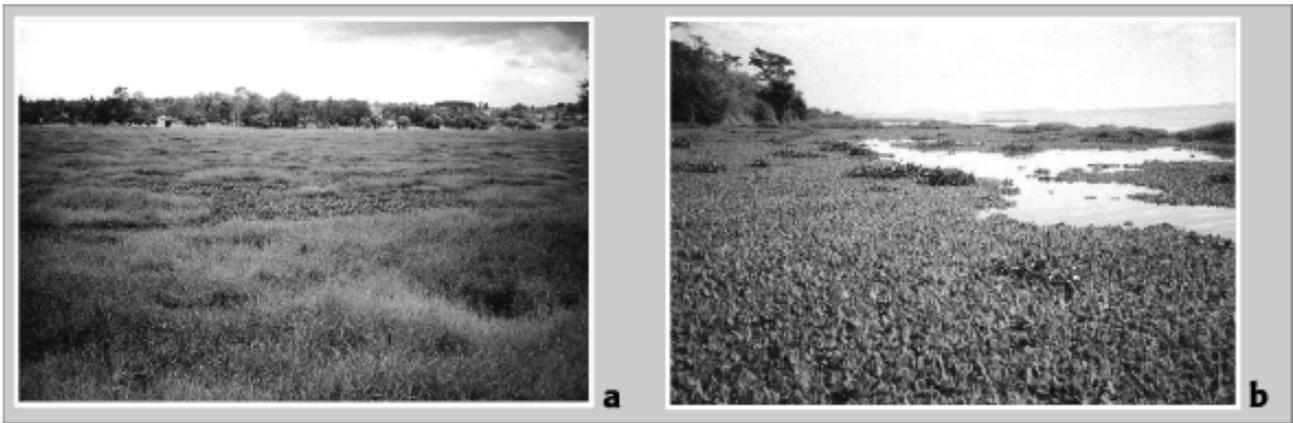


Figura 1 – Vista da superfície da represa, completamente coberta por macrófitas (predominando *B. arrecta*), a 50 m da barragem. Tomada da margem direita, vendo-se ao fundo a margem esquerda (a). Proliferação de macrófitas aquáticas, próximo a entrada da represa (predominando *E. crassipes* e *P. stratiotes*) (b)  
Crédito: Autores

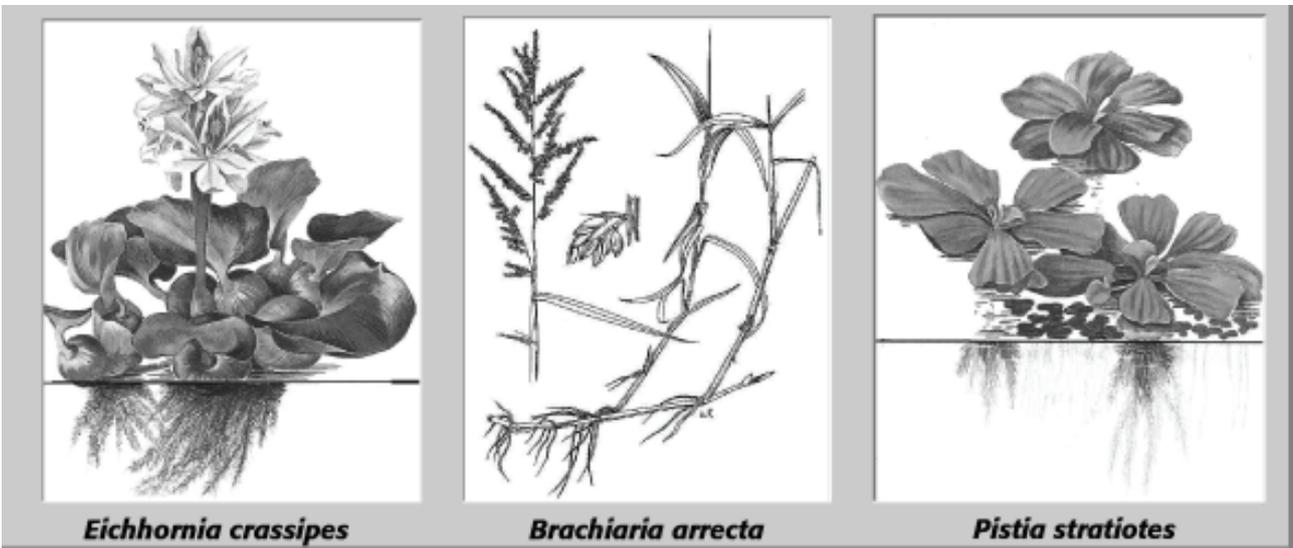


Figura 2 – Ilustrações botânicas das três espécies de macrófitas aquáticas estudadas, adaptado de HOYER & CANFIELD JR (1997) e <http://www.tropica.uk>  
Crédito: Autores



Figura 3 – Lançamento do quadrado de madeira sobre um estande de *Pistia stratiotes* (a). Corte das plantas contidas dentro de um quadrado de *Eichhornia crassipes* (b)  
Crédito: Autores



Figura 4 – Triturador forrageiro TRAPP-TRF70, adaptado para reduzir perda de biomassa (a). Homogeneização do material triturado (b). Amostragem por quarteamentos sucessivos (c)  
Crédito: Autores



Figura 5 – Amassamento do barro com os pés (a); moldagem (b) e secagem dos tijolos (c)  
Crédito: Autores

Após a etapa anterior, foi calculada a **densidade aparente** da biomassa picada, para que se pudesse transformar o traço inicial (proporção entre biomassa e solo utilizados) de volume para massa e também foi medida a **umidade higroscópica** do material, que em seguida foi acondicionado em sacos plásticos e identificado por espécie. A densidade aparente (em  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) foi calculada fazendo-se a média de três determinações da massa de material triturado, contida em um recipiente de volume conhecido.

### Caracterização química da biomassa

Após a primeira trituração da biomassa, o material obtido foi homogeneizado, espalhado sobre um filme plástico e, por quarteamento, retiradas as amostras a serem levadas ao laboratório de análises químicas (Figura 4). Essas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos lacrados, para absorver o mínimo possível de umidade do ar.

Em seguida, conforme recomendam os procedimentos do laboratório de química, o material triturado e amostrado

anteriormente passou por mais uma etapa de trituração, agora em um moinho do tipo Willey (mod. TE340), com peneira de  $\phi 0,5$  mm. O material obtido foi seco (em placa de Petri) em estufa a  $50^\circ\text{C}$  por 1 hora, depois mantido em dessecador por mais 30 minutos e acondicionado em frascos de vidro, com batoque.

A seguir, passou-se aos ensaios químicos de determinação da concentração de fósforo total (P-TOT), de nitrogênio total (NKT) e de metais presentes na biomassa, para possibilitar

o cálculo do **estoque** (massa de substância química por unidade de área do estande) destas substâncias em cada espécie de macrófitas.

#### a) Determinação da concentração de fósforo total (P-TOT)

A concentração de fósforo total foi determinada de acordo com o método proposto por Andersen (1976) e descrito por Meyer (1996), que consiste, resumidamente, em calcinar-se 0,2 g da amostra com 0,5 g de carbonato de sódio ( $\text{NaCO}_3$ ) em mufla ( $550^\circ \text{C}$ , por 1 h); após o resfriamento, diluí-la com 25 ml de 1 N de HCl e ferver por 15 min; em seguida, filtrar e completar 100 ml com água deionizada, em balão volumétrico. O fósforo total foi determinado pelo método do ácido ascórbico e molibdato, ou seja, adição de 1 ml de reagente misto a 6 ml do filtrado, agitação mecânica, descanso por 15 min e leitura em espectrofotômetro de absorção atômica (a 880 nm).

#### b) Determinação da concentração de nitrogênio total (NKT)

A concentração de nitrogênio total foi determinada de acordo com a metodologia de Standard Methods (1971), adaptada às condições do laboratório, conforme descrito por Petracco (1995) e Meyer (1996). O procedimento foi realizado em conjunto analisador, marca "Büchi", e consistiu, resumidamente, em tomar-se 0,3 g da amostra no tubo do digestor (módulo B-435), adicionando-se 1,5 g de sulfato de potássio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), 1,0 ml de sulfato de cobre 10% P/V ( $\text{Cu}_2\text{SO}_4$ ) e 2,5 ml de ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  95-97%), promovendo-se a digestão ácida por 1 h; após o resfriamento, passou-se à destilação, por 4 min (em destilador "TECNAL"), do material digerido (colocado em Erlenmeyer)

diluído com 50 ml de água deionizada, 20 ml de hidróxido de sódio 10 N e acrescentado de 20 ml de ácido bórico a 2% (com três gotas de reagente indicador misto); finalmente, procedeu-se à titulação em bureta de pistão ("METROM / A.G. HERISAU E274", de 10 ml) com ácido sulfúrico a 0,05 N ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e indicador misto, utilizando-se o agitador magnético "CORNING Stirrer/Hotplate", até a viragem da solução.

#### c) Determinação da concentração de metais

Como na bibliografia consultada não foram encontradas referências à determinação da concentração de metais pesados em macrófitas aquáticas, foram adotados os procedimentos recomendados pelo "Protocolo para Determinação de Metais Pesados Potencialmente Biodisponíveis em Sedimentos Lacustres", do Laboratório de Limnologia do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA), da EESC/USP-São Carlos, baseado em Standard Methods (1971). Foram analisados 10 metais pesados (com exceção do Hg, por inadequação dos equipamentos do laboratório). O procedimento se resume em adicionar 1,0 g da amostra em um *erlenmeyer*, com 100 ml de ácido clorídrico 0,1 M (HCl); agitar esta mistura em um agitador horizontal (temperatura ambiente) por 2 h; filtrar a suspensão em papel filtro quantitativo; armazenar o filtrado a  $4^\circ \text{C}$  e utilizá-lo para determinação da concentração de cada metal, em espectrofotômetro de absorção atômica por chama.

#### Caracterização do solo e produção dos tijolos

O solo utilizado na produção dos tijolos (cerca de  $5 \text{ m}^3$ ) foi extraído da margem esquerda da represa, com

auxílio de uma máquina retroescavadeira e transportado para Bauru em caminhão basculante, onde foram realizados os seguintes ensaios de caracterização do solo, de acordo com Caputo (1978), Fabbri (1994), Nogami & Villibor (1995) e Agnelli (1997):  
1 – massa específica aparente em estado solto e umidade natural;  
2 – massa específica dos sólidos;  
3 – distribuição granulométrica;  
4 – consistência; 5 – limite de contração;  
6 – adsorção de azul de metileno;  
7 – determinação de pH e 8 – ensaios de MCT, além dos mesmos ensaios de determinação de concentração de nutrientes e metais realizados para as macrófitas.

Como um dos objetivos deste trabalho, para o futuro, é divulgar o material e sua técnica de produção para as populações carentes (visando à autoconstrução), optou-se por produzir os tijolos com o mínimo possível de máquinas, ou seja, o barro foi amassado com os pés (técnica tradicional) e os tijolos foram moldados manualmente, em fôrmas de madeira para quatro unidades com dimensões de 0,10 m x 0,12 m x 0,25 m cada.

Foram produzidas 16 séries de 20 tijolos cada uma, sendo uma série apenas com solo (sem biomassa, tomada como **padrão de referência**) e as demais com adição de biomassa triturada, de cada uma das três espécies de macrófitas, em cinco traços (proporção entre solo e biomassa) diferentes de cada espécie, variando-se de 10 a 70%, em volume (relação entre volume de biomassa e volume de solo). Em seguida, os tijolos (identificados pelo traço e pela espécie) foram postos a secar, inicialmente (por uma semana) à sombra e depois ao sol até se atingir a umidade higroscópica (Figura 5).

## Caracterização física e mecânica dos tijolos

Todos os tijolos secos tiveram suas dimensões e massas medidas, para se determinar as densidades aparentes médias, as retrações lineares e os teores de umidade higroscópica. Em seguida foram realizados os ensaios de absorção de água, com três tijolos de cada série e os ensaios de resistência à compressão, com corpos-de-prova preparados a partir de 10 tijolos de cada série, serrados ao meio e as duas metades unidas por pasta de cimento. Esses ensaios foram realizados de acordo com as normas brasileiras disponíveis para tijolos cerâmicos maciços (cozidos), procedimento proposto por Faria (2002), como mostrado na Figura 6.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na impossibilidade de apresentar e discutir neste artigo os resultados de todos os ensaios realizados, serão

apresentados e discutidos apenas os mais significativos deles.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da estimativa de biomassa das três macrófitas, assim como a **concentração** e o **estoque** (ou bioacumulação) de nitrogênio, fósforo e 10 metais presentes nelas. O estoque se refere à massa de elemento químico armazenado pela planta, por unidade de área da superfície do lago. Analisando-se estes dados, podemos observar que a *Brachiaria arrecta* é a espécie que fornece maior quantidade de biomassa e a que mais retira fósforo do sistema. A *Eichhornia crassipes* é a mais eficiente na retirada de nitrogênio. Já a *Pistia estratiotes* é a menos eficiente para P-TOT e intermediária para NKT, porém seu crescimento é o mais acelerado.

Continuando com a análise desses dados, pode-se observar que a *Eichhornia crassipes* é a mais eficiente na estocagem de cálcio e magnês e equipara-se à *Brachiaria arrecta*, na estocagem de ferro e magnésio. Quanto à estocagem dos demais metais, todas

as três espécies são pouco eficientes. No entanto, para uma conclusão mais definitiva seria preciso se conhecer a dinâmica do aporte desses metais no sistema.

Os resultados dos ensaios de mecânica dos solos indicaram a presença de um solo argiloso laterítico rijo; medianamente plástico; com classificação H. R. B. (Highway Research Board) A-7-6; presença de argilo-minerais ativos e índice pH de 5,07, portanto, com capacidade de retenção de cátions. A curva de distribuição granulométrica do solo, mostrada na Figura 7, indica 59% de argila, 21% de silte e 19% de areia, pela classificação internacional (cujos limites estão indicados pelas linhas verticais "Int", na Figura 7), de acordo com Minke (1995), que difere ligeiramente da classificação brasileira (limites indicados pelas linhas "Br", na mesma figura), resultando em 59% de argila, 21% de silte e 20% de areia. Em ambos os casos, o teor de argila se apresenta muito superior ao recomendado por Faria (1998).

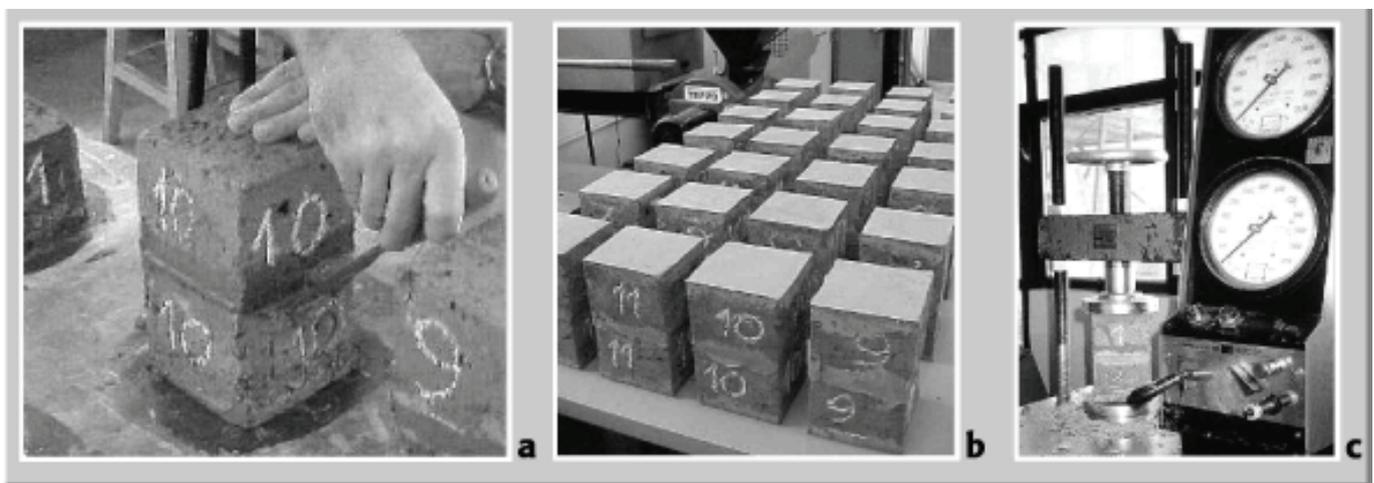


Figura 6 – Ensaio de resistência à compressão. Preparação do corpo-de-prova (a); corpos-de-prova prontos (b) e rompimento de um corpo-de-prova (c)  
Crédito: Autores

	<i>B. arrecta</i>	<i>E. crassipes</i>	<i>P. stratiotes</i>	<i>B. arrecta</i> (1.770 g/m <sup>2</sup> )	<i>E. crassipes</i> (1.068 g/m <sup>2</sup> )	<i>P. stratiotes</i> (235 g/m <sup>2</sup> )
METAIS	Concentração (Kg/Kg) x 10 <sup>-3</sup>			Estoque (Kg/m <sup>2</sup> )x 10 <sup>-3</sup>		
Cálcio	35,590	95,775	113,077	62,99	99,41	26,57
Ferro	22,977	39,646	39,656	40,67	41,15	9,32
Magnésio	14,856	26,858	30,127	26,30	27,88	7,08
Manganês	3,419	17,439	21,250	6,05	18,10	4,99
Zinco	0,939	0,945	1,414	1,66	0,98	0,33
Chumbo	0,308	0,381	0,396	0,55	0,40	0,09
Níquel	0,166	0,282	0,318	0,29	0,29	0,07
Cromo	0,350	0,272	0,254	0,62	0,28	0,06
Cobre	0,158	0,247	0,280	0,28	0,26	0,07
Cádmio	0,019	0,020	0,022	0,03	0,02	0,01
NUTRIENTES	Concentração (Kg/Kg) x 10 <sup>-5</sup>			Estoque (Kg/m <sup>2</sup> )x 10 <sup>-3</sup>		
P-TOT	0,00845	0,01028	0,01138	0,15	0,11	0,03
NKT	420	3.900	4.420	7,43	41,65	10,39

Tabela 1 – Concentração e estoque de metais e nutrientes nas macrófitas aquáticas (com indicação da biomassa por unidade de área da superfície do lago, abaixo do título de cada espécie)  
Crédito: Autores

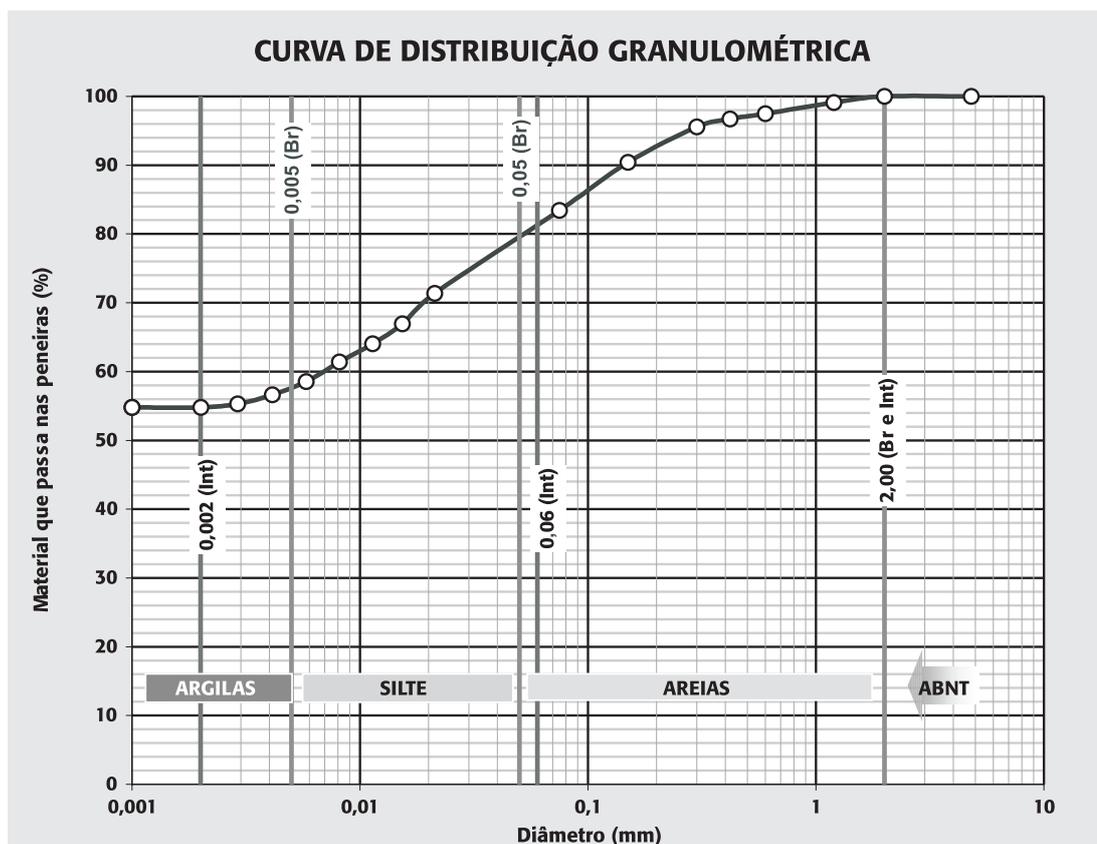


Figura 7 – Curva de distribuição granulométrica do solo  
Crédito: Autores

Tabela 2 – Resumo das características físicas e mecânicas médias dos tijolos, em função da quantidade de biomassa, com indicação da densidade aparente da biomassa picada (abaixo de cada espécie)  
Crédito: Autores

	MISTURA N°	R	1	2	3	4	5
<b><i>B. arrecta</i></b> ( $\gamma_{ap,m} = 670 \text{ N/m}^3$ )	$U_h$ (%)	3,34	5,66	4,65	6,32	5,80	4,71
	Traço em volume (%)	0	10	20	30	40	50
	Traço em massa (%)	0,00	1,07	2,15	3,22	4,29	5,37
	Retração relativa (%)	9,51	7,73	7,67	7,04	6,75	7,23
	$\gamma_{ap,t}$ ( $\times 10^4 \text{ N/m}^3$ )	1,78	1,69	1,58	1,61	1,57	1,51
	$f_c \pm sd$ (MPa)	<b>2,48 ± 0,31</b>	<b>2,65 ± 0,31</b>	<b>2,18 ± 0,17</b>	<b>2,04 ± 0,10</b>	<b>1,97 ± 0,12</b>	<b>1,94 ± 0,08</b>
<b><i>E. crassipes</i></b> ( $\gamma_{ap,m} = 690 \text{ N/m}^3$ )	$U_h$ (%)	3,34	6,29	5,88	5,84	7,08	5,63
	Traço em volume (%)	0	10	20	30	50	70
	Traço em massa (%)	0,00	1,11	2,21	3,32	5,53	7,74
	Retração relativa (%)	9,51	7,77	7,38	8,73	7,93	8,14
	$\gamma_{ap,t}$ ( $\times 10^4 \text{ N/m}^3$ )	1,78	1,67	1,58	1,60	1,51	1,43
	$f_c \pm sd$ (MPa)	<b>2,48 ± 0,31</b>	<b>2,76 ± 0,19</b>	<b>2,58 ± 0,18</b>	<b>2,47 ± 0,17</b>	<b>2,32 ± 0,07</b>	<b>2,14 ± 0,09</b>
<b><i>P. stratiotes</i></b> ( $\gamma_{ap,m} = 1.270 \text{ N/m}^3$ )	$U_h$ (%)	3,34±	4,73	4,27	2,69	7,22	5,90
	Traço em volume (%)	0,00	4,44	8,88	13,33	23,33	33,33
	Traço em massa (%)	0,00	0,90	1,81	2,71	4,75	6,78
	Retração relativa (%)	9,51	8,06	7,79	7,83	8,06	7,81
	$\gamma_{ap,t}$ ( $\times 10^4 \text{ N/m}^3$ )	1,78	1,72	1,63	1,57	1,54	1,39
	$f_c \pm sd$ (MPa)	<b>2,48 ± 0,31</b>	<b>2,68 ± 0,20</b>	<b>2,45 ± 0,15</b>	<b>2,29 ± 0,08</b>	<b>2,01 ± 0,20</b>	<b>1,89 ± 0,09</b>

$\gamma_{ap,m}$  : massa específica aparente da biomassa triturada       $\gamma_{ap,t}$  : massa específica aparente dos tijolos       $f_c \pm sd$  : resistência à compressão média dos tijolos ± desvio padrão

Na Tabela 2 são apresentados os resultados médios de umidade higroscópica ( $U_h$ ); retração relativa; traço em volume (usado na produção dos tijolos); traço em massa (calculado); densidade aparente e de resistência à compressão.

Da observação dos dados da Tabela 2, pode-se afirmar que, de uma forma geral, a influência das três espécies de macrófitas foi semelhante, com variações de amplitude nesta influência, de uma espécie para outra. Por exemplo, a umidade higroscópica teve um acréscimo com a adição da biomassa ao barro. Isto se deu porque a biomassa absorve mais umidade do ar que o solo. Por outro lado, a retração relativa apresentou redução, em todos os casos. A densidade aparente também apresentou redução

significativa, o que indica a obtenção de um material mais leve e com menor sobrecarga nas estruturas da edificação.

Os dados relativos à resistência à compressão estão representados graficamente na Figura 8, na qual é mostrada sua variação em função do traço em massa, para as três espécies e o padrão de referência (R). Da observação das curvas apresentadas nessa figura, pode-se perceber que a adição de biomassa provocou, inicialmente, (até a quantidade de 1,0%) um acréscimo de resistência à compressão, comparada com o padrão de referência. Isso se deve ao fato de as fibras contribuírem com a redução da retração porque absorvem parte da água, o que também resulta em redução das fissuras, devido ao ganho de

coesividade do barro, de acordo com Minke (1995).

Nota-se que a *Eichhornia crassipes* é sensivelmente a mais eficiente, do ponto de vista da resistência à compressão. Por exemplo, é possível acrescentar-se próximo de 3,3% de biomassa de *E. crassipes* ao barro e manter-se o mesmo nível de resistência do padrão de referência (2,48 MPa). Para a mesma situação só é possível utilizar-se cerca da metade da biomassa de *P. stratiotes* (1,7%) ou de *B. arrecta* (1,5%).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelos resultados apresentados e comentados, e baseando-se também em uma avaliação visual e tátil dos

## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO x TRAÇO EM MASSA

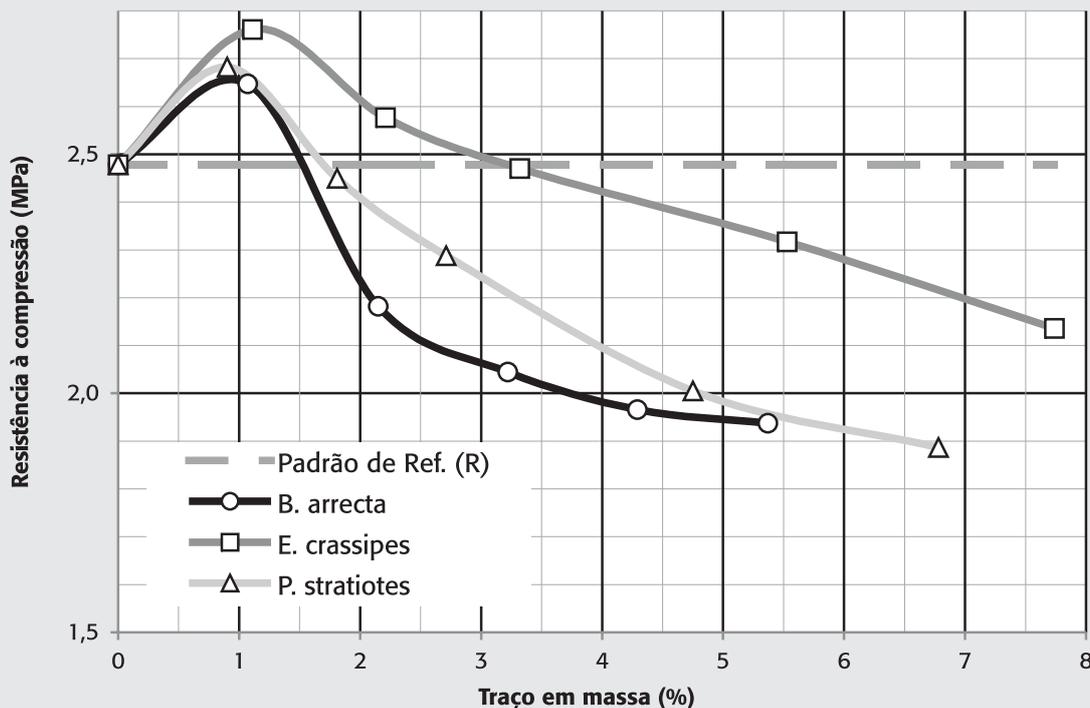


Figura 8 – Resistência à compressão em função do traço em massa  
Crédito: Autores

tijolos, pode-se concluir que a biomassa de macrófitas aquáticas se mostrou perfeitamente viável e adequada à proposta deste trabalho, inclusive, melhorando a trabalhabilidade do barro. Neste aspecto, mesmo a *Brachiaria arrecta*, que aparentemente se mostrou menos adequada pela “rebelião” dos fragmentos, produzindo tijolos com acabamento superficial menos agradável, tem suas vantagens. Essa superfície, menos lisa, pode favorecer a aderência da argamassa de revestimento das paredes, ou seja, a proteção mecânica dos tijolos, contra a ação do intemperismo.

Para se decidir sobre qual a espécie de macrófita mais indicada e em qual quantidade utilizá-la, deve-se levar em conta a situação real do reservatório no

momento, em função da sazonalidade do aporte e concentração de nutrientes, assim como a finalidade de uso dos tijolos (se apenas para vedação ou autoportante). De uma forma geral, analisando-se as curvas apresentadas na Figura 8, pode-se concluir que é possível inserir uma quantidade considerável de biomassa aos tijolos, sem que haja grande perda de resistência mecânica. Por exemplo, pode-se utilizar até 7,7%, em massa (ou 70% em volume) de *Eicchornia crassipes* e obter-se resistência à compressão superior a 2,1 MPa, valor razoável e bem superior aos encontrados por Faria (2002) para os tijolos cerâmicos alveolares brasileiros ( $f_{c, \text{médio}} = 0,59 \pm 0,46$  MPa). Estes tijolos consomem muita energia no processo

produtivo, pois são queimados a altas temperaturas, além de provocarem significativa degradação ambiental da paisagem, com a extração de argila em grande escala, utilizada como matéria-prima.

No que diz respeito à resistência à compressão dos tijolos, na decisão pelo traço e espécie a ser utilizada, devem ser consideradas suas condições de utilização. Se os tijolos forem utilizados para produção de alvenaria autoportante (paredes com finalidade de vedação e estrutural, simultaneamente), deverá ser priorizada a resistência. Se o objetivo for a produção de alvenaria apenas de vedação, com os tijolos associados, por exemplo, a uma estrutura de madeira, a resistência não é prioritária, mas sim a

menor massa específica, com o objetivo de reduzir-se os carregamentos na estrutura. Nesse caso, quanto mais biomassa for utilizada, melhor, pois haverá redução neste parâmetro, como pode ser observado na Tabela 2, além de ser consumida uma quantidade maior de biomassa, o que resulta na retirada ("limpeza") de uma maior área dos estandes que cobrem o lago.

Quanto aos resultados dos ensaios de determinação da resistência à compressão, da observação das curvas apresentadas na Figura 8, pode-se perceber que a adição de biomassa provocou, inicialmente, (até cerca de 1% em massa) um acréscimo desse parâmetro, indistintamente para as três espécies de macrófitas, quando comparado com o padrão de referência (R). A partir deste ponto, a resistência à compressão apresentou uma tendência de redução, evidenciando as diferenças entre as respostas das diferentes espécies. Nesse caso, a *Eichhornia crassipes* foi a que apresentou melhor desempenho, ou seja, é possível acrescentar próximo de 3,3 % (em massa) de sua biomassa ao barro e ainda se manter o mesmo nível de resistência apresentado pelo padrão de referência (2,48 MPa). Para a mesma situação, só é possível utilizar cerca de metade desta biomassa de *Pistia stratiotes* (1,7%) ou de *Brachiaria arrecta* (1,5%).

Se a prioridade não for a resistência do tijolo, é possível inserir uma quantidade consideravelmente maior de biomassa, sem que haja grande redução desse parâmetro. Por exemplo, pode-se utilizar até 7,74%, em massa (ou 70% em volume), de biomassa de *Eichhornia crassipes* e mesmo assim se obter tijolos com resistência à compressão de 2,14 MPa, ou 6,78% (33,33%) de *Pistia stratiotes* para 1,89 MPa e 5,37% (50) de *Brachiaria arrecta* para 1,94 MPa.

Do ponto de vista da retirada de nutrientes, a *Eichhornia crassipes* também se mostrou a mais eficiente, no caso do nitrogênio. Já para o fósforo, é superada pela *B. arrecta* (Tabela 1). Dos 10 metais analisados, a *E. crassipes* também é a mais eficiente na retirada dos quatro mais expressivos (ferro, cálcio, manganês e magnésio, de acordo com a Tabela 1). A estabilidade e a eficiência desse encapsulamento de nutrientes e metais pelos tijolos deverá ser analisada em trabalhos futuros, nos quais deverão ser construídas paredes com esse adobe e as mesmas deverão ser submetidas a ensaios de intemperismo acelerado, para avaliação da durabilidade e análise química do material lixiviado.

Outro fator que deve ser levado em consideração na tomada de decisão é a biomassa por unidade de área da superfície do estande (Bps). Por exemplo, se um dos objetivos da produção dos tijolos for a limpeza da lâmina d'água, com a remoção da maior área possível de estandes, a espécie mais indicada é a *Pistia stratiotes* que, por apresentar menor Bps (235 g/m<sup>2</sup>, da Tabela 1), corresponderá a uma área maior de cobertura vegetal, considerando-se uma mesma quantidade de biomassa seca e triturada.

Como comentário final, cabe salientar que o adobe, apesar de ser um dos mais antigos materiais de construção manufaturado, ainda se mostra atual e perfeitamente viável como material de construção totalmente ecológico, uma preocupação imperativa neste novo milênio, no qual se busca a sustentabilidade do planeta, em todos os níveis da atuação humana. Sua utilização pode ser inserida em programas de manejo integrado de lagos eutrofizados, ou em vias de eutrofização, como alternativa de

retirada e encapsulamento (ou solidificação/estabilização) de nutrientes e metais indesejados no ecossistema, além de constituir-se como alternativa de autoconstrução de habitações de interesse social (baixo custo), cujo déficit é preocupante no Brasil.

## BIBLIOGRAFIA

- AGNELLI, N. *Comportamento de um solo colapsível inundado com líquidos de diferentes composições químicas*. 1997. 205p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.
- ANDERSEN, J. M. An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. *Water Research*, v. 10, n. 4, p. 329-331, 1976.
- CAPUTO, H. P. *Mecânica dos solos e suas aplicações*. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978. v.1, 242p.
- ESTEVEZ, F. A. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência. 1988.
- FABBRI, G. T. P. *Caracterização da fração fina de solos tropicais através da adsorção de azul de metileno*. 1994. 101p. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1994.
- FARIA, O. B. *Terra crua: avaliação do teor de argila no solo para a produção de tijolos de adobe*. Bauru, 1998. 53p. (Relatório da pesquisa trienal, apresentado à CPRT, UNESP-Campus de Bauru).
- \_\_\_\_\_. *Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: Um estudo de caso no reservatório de Salto Grande (Americana-SP)*. 2002. 200p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.
- FATHY, H. *Architecture for the poor: An experiment in rural Egypt*. Chicago: University of Chicago, 1976.
- HOYER, M. V.; CANFIELD JR, D. E.; (Ed). *Aquatic plant: Management in lakes and*

reservoirs. [livro online] Washington: North American Lake Management Society and Aquatic Plant Management Society; 1997 Nov. Disponível em: <<http://aquat1.ifas.edu/photos.html>>. Acesso em: 03 de jul. de 1998.

LOPES-FERREIRA, C. *Estudo de uma área alagada do rio Atibaia visando a elaboração de proposta de manejo para melhoria da qualidade da água no reservatório de Salto Grande (Americana-SP)*. 2000. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

MEYER, M. *Avaliação da biomassa de Paspalum repens Bergius submetida à flutuação do nível de água na represa de Barra Bonita (zona de desembocadura do Rio Capivara-SP)*. 1996. 79p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1996.

MINKE, G. *Lehmbau-handbuch: Der baustoff lehm und seine anwendung*. Staufen bei Freiburg: Ökobuch; 1995.

MORAES, A. R. *Estimativa do estoque de elementos químicos em macrófitas aquáticas no Reservatório de Salto Grande (Americana-SP)*. 1998. 90p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1998.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. São Paulo: Vilibor, 1995. 240p.

PETRACCO, P. *Determinação da biomassa e estoque de Polygonum spectabile Mart. e Paspalum repens Berg. da represa de Barra Bonita-SP*. 108p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1995.

STANDARD METHODS. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 13<sup>th</sup> edition. Nova York, 1971. 874p.