

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE ADOBE PRODUZIDO COM BIOMASSA DE *Eichhornia crassipes* E SEDIMENTO LACUSTRE.

Adriano Rodrigues Garcia, Obede Borges Faria, João Paulo Trama Falavigna. – Inter-áreas - Engenharia Civil – Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia – Campus de Bauru.

O presente trabalho apresenta uma das etapas de um projeto de pesquisa, financiado pela FAPESP e denominado “Utilização de macrófitas aquáticas e sedimento do Reservatório de Salto Grande (Americana-SP) na produção de adobe, visando seu aproveitamento na construção de habitações de interesse social”, que propõe a produção de adobe (tijolos de terra crua, secos ao sol) com a utilização de biomassa de macrófitas aquáticas (predominantemente *Eichhornia crassipes*) e sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana – SP). Os objetivos principais da pesquisa são a contribuição com o manejo integrado de lagos eutrofizados artificialmente, além da produção de habitações de interesse social, com material de construção ecológico, sustentável e adequado à autoprodução e autoconstrução. Considerando que o ser humano passa a maior parte de sua vida no interior de espaços edificados, fica evidenciada a importância que deve ser dada à qualidade destes espaços, não só do espaço produzido, no que diz respeito ao seu conforto e funcionalidade, mas também, e principalmente, no tocante ao processo de produção e de obtenção dos materiais de construção. A indústria da construção civil, se não é a maior, é uma das maiores consumidoras de energia e de recursos naturais, sendo que uma grande parte destes é mal aproveitada, provocando o desperdício e a geração de um volume expressivo de resíduos (ou “entulho de obra”) que, por sua vez, são dispostos de forma inadequada na natureza. O quadro geral é preocupante e tem sensibilizado, cada vez mais, a atenção dos usuários e autoridades, tanto do setor público como privado. Esta realidade tem contribuído com a conscientização, no meio acadêmico, da necessidade de desenvolvimento de pesquisas científicas na busca de contribuições para a solução do problema.

É neste contexto que se insere o presente trabalho e se justifica a sua realização, já que o mesmo busca contribuir com o aprofundamento do conhecimento técnico de um material de construção considerado ecológico, o **adobe**. Segundo Faria (2002), o solo ideal para sua produção deve ser arenoso, com teor de argila próximo de 30%. Porém, pode ser produzido com outros tipos de solo, desde que seja acrescentado algum estabilizante, que pode ser, por exemplo, algum resíduo disponível na região de produção. Nesse sentido, este trabalho propõe a utilização de sedimento e solo do entorno do reservatório de Salto Grande (Americana-SP), o qual apresenta teor de argila de 62%, utilizando como estabilizante a biomassa de macrófitas aquáticas. Existem muitas outras técnicas de produção de materiais de construção com terra crua (FARIA, 2002), porém, foi escolhido o adobe por ser o produto que mais se assemelha aos materiais convencionais (tijolos cerâmicos maciços e alveolares, ou “baianos”), amplamente utilizados na construção de habitações, além de ser de fácil produção e transferência de tecnologia. Cabe salientar que o adobe pode ser considerado um material de construção ecológico porque: *a*) sua matéria-prima é a terra (com grande disponibilidade), utilizada em pequenas quantidades, já que é um material indicado essencialmente para a autoprodução e autoconstrução (o que não causa significativos impactos ambientais); *b*) no processo de produção do material não é consumida energia (diferente dos tijolos cozidos convencionais, que demandam alto consumo e desperdício de energia); e *c*) o resíduo (“entulho”) produzido é totalmente reintegrado à natureza (a terra volta para a terra).

Na falta de normalização brasileira sobre o material (adobe), foi adotada a mesma metodologia proposta e consolidada por Faria (2002), ou seja, os ensaios de caracterização física e mecânica dos adobes foram realizados de acordo com adaptações das normas brasileiras relativas aos tijolos maciços de barro cozido e aos tijolos de solo-cimento. 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 adobes; e 5- ensaios de caracterização física e mecânica dos adobes. A seguir, são descritos, resumidamente, os procedimentos adotados em cada uma destas etapas. A caracterização química não será apresentada neste resumo.

Como a quantidade de biomassa necessária ao já citado projeto de pesquisa era muito grande, cerca de 24 m³ de macrófitas verdes (para fornecer cerca de 6 m³ de biomassa seca e triturada), não foi viável proceder a retirada de acordo com o proposto por Faria (2002). Portanto, optou-se por uma

metodologia mais condizente com a realidade, ou seja, semelhante ao que ocorrerá quando uma comunidade for utilizar macrófitas, para construir habitação de interesse social, ou seja, os construtores irão coletar as macrófitas disponíveis, indistintamente, sem separar por espécies, como por exemplo, *Brachiaria arrecta*, *Pistia stratiotes* e *Eichhornia crassipes* (as espécies estudadas pelo autor citado). Aliado a este fato ocorreu de, na época da coleta das macrófitas, a **CPFL** (Companhia Paulista de Força e Luz) estar desenvolvendo um projeto de retirada, trituração primária (fragmentação grosseira da biomassa verde) e disposição do excedente de macrófitas aquáticas do reservatório. A empresa vem realizando este trabalho, numa tentativa de reduzir os problemas causados pela proliferação principalmente de *E. crassipes* e, gentilmente, cedeu a quantidade de biomassa necessária à pesquisa, já triturada primariamente e ainda verde. Já em Bauru, as macrófitas foram dispostas sobre lona plástica e secas ao sol (Figura 1).



Figura 1 – Coleta, transporte e secagem das macrófitas (em Americana-SP).

Para o cálculo da **biomassa por unidade de área** (B_{ps} , massa de vegetal seco contido na unidade de área de cobertura da lâmina d'água - *estande*, expressa em g/m^2), adotou-se a metodologia proposta por Faria (2002). A biomassa seca foi triturada em triturador forrageiro e calculada a **massa específica aparente** da biomassa triturada ($\rho_{ap\ m\ UH}$), 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** da macrófita (UH_m). Após estes ensaios, o material foi acondicionado em sacos plásticos de 100 l, para posterior produção dos adobes. A massa específica aparente (em g/cm^3) foi calculada fazendo-se a média de três determinações da massa de material triturado contida em um recipiente de volume conhecido.

O solo utilizado na produção dos adobes (cerca de $23\ m^3$) foi extraído na margem esquerda do reservatório, aproveitando-se o o material retirado em uma operação de desassoreamento, realizada pela Prefeitura Municipal de Americana, na Praia dos Namorados. Dessa forma, o material (solo) utilizado não é constituído totalmente por sedimento, mas sim por sedimento e solo, da região mais rasa do reservatório. Para essa retirada, foi utilizada uma máquina, popularmente denominada “poclaina”, que se trata de uma máquina de esteira, com pá-carregadeira e capacidade para trabalhar em áreas alagadas, ou com água de pequena profundidade. O material foi transportado para Bauru-SP, em carreta basculante. Antes de ser utilizado nos ensaios e para produção dos adobes, o solo foi destorroado em um destorroador de solos (Figura 2). Com o solo destorroado, foram realizados os seguintes ensaios de caracterização física, de acordo com Faria [2]: **1- massa específica aparente do solo em estado solto** ($\rho_{ap\ s\ UH}$) e **umidade natural**, ou higroscópica (UH_s); **2- massa específica dos sólidos**; e **3- distribuição granulométrica**. Também foram realizados os mesmos ensaios de determinação de concentração de nutrientes e metais, realizados para as macrófitas.

Como um dos objetivos deste trabalho, é divulgar o material e sua técnica de produção junto a populações carentes (visando a autoconstrução), optou-se por produzir os adobes com o mínimo possível de máquinas, ou seja, o barro foi amassado com os pés (técnica tradicional) e os adobes moldados manualmente, em forma de madeira para 6 unidades ($0,14m \times 0,12m \times 0,29m$, cada), molhada e untada com areia. (Figura 2). Foram produzidas 6 séries de 24 adobes cada uma, sendo uma série apenas com solo (sem biomassa, tomada como **controle**, série C) e as demais com adição de biomassa triturada, em 5 traços (relação entre volume de biomassa e volume de solo) diferentes: 10%, 20%, 30%, 50% e 70% (séries 1, 2, 3, 5 e 7). Em seguida, os adobes foram postos a secar, inicialmente à sombra (por 2 ou 3 dias) e depois, ao sol até que atingissem a umidade higroscópica.

Todos os adobes secos tiveram suas dimensões e massas medidas, para determinação da **massa específica aparente** (ρ_{ap}), da **retração relativa** (**RR**) e do **teor de umidade higroscópica** (**UH**).

Em seguida, foram realizados os ensaios de *absorção de água (AA)*, com 3 adobes de cada série e os ensaios de determinação da *resistência à compressão (f_c)* com corpos de prova preparados a partir de 10 adobes de cada série, serrados ao meio e as duas metades unidas por argamassa de cimento e areia. Estes ensaios foram realizados de acordo com a metodologia proposta por Faria (2002). Os ensaios de determinação do *módulo de ruptura na flexão (MOR)*, foram realizados de acordo com o sugerido por McHenry Jr. (1989) (Figura 2).



Figura 2 – Retirada, transporte e destorroamento do solo. Amassamento do barro e moldagem dos adobes. Corpos-de-prova de resistência à compressão. Ensaio de módulo de ruptura na flexão.

Na impossibilidade de serem apresentados e discutidos neste resumo todos os resultados, de todos os ensaios realizados, serão apresentados e discutidos apenas os mais significativos deles. 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 indica 18% de areia, 20% de silte e 62% de argila, muito superior ao recomendado por Faria (2002). Na Tabela 1 são apresentados os resultados médios de: *traço em volume* (usado na produção dos adobes); *retração relativa (RR)*; *absorção de água (AA)*; *densidade aparente corrigida para 0% de umidade ($\rho_{ap 0}$)*; *resistência à compressão (f_c)*; e *módulo de ruptura na flexão (MOR)*.

Da observação dos dados da Tabela 1, pode-se afirmar que a massa específica aparente do adobe apresentou redução significativa, com o acréscimo de biomassa, o que indica a possibilidade de obtenção de um material mais leve e com menor sobrecarga nas estruturas da edificação. Os dados relativos aos parâmetros de resistência estão representados, graficamente, na Figura 3, em função do traço em volume, observando-se a reta para o padrão de referência, ou controle (C), com 0% de biomassa. Da observação das curvas apresentadas nesta figura, pode-se perceber que a adição de cerca de 12,5% de biomassa provocou um ganho considerável de resistência à compressão (mais de 43%), comparada com o padrão de referência. Isto se deve ao fato das 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). Por outro lado, nota-se que é possível a adição de cerca de 47,5% de biomassa, sem que haja perda de resistência à compressão (relativa a 0%); fato muito importante, quando se deseja retirar o máximo de biomassa do corpo d'água. Quanto ao módulo de ruptura na flexão, nota-se um ganho acelerado até o nível de 30% de biomassa, para se

manter estável até os 70%. Isto se deve ao efeito de estabilização por armação, provocado pelas fibras, muito significativo neste tipo de solicitação mecânica.

Tabela 1 - Resumo das características físicas e mecânicas médias dos adobes.

SÉRIES	C	1	2	3	5	7
Traço em volume (%)	0	10	20	30	50	70
Retração Relativa (%)	6,90	8,93	8,79	8,00	7,95	7,47
Absorção de Água (%)	* Nd	22,69	23,84	22,68	24,23	24,86
$\rho_{ap 0} (x 10^4 \text{ N/m}^3)$	1,77	1,68	1,67	1,63	1,59	1,48
$f_c \pm sd \text{ (MPa)}$	$1,81 \pm 0,17$	$2,56 \pm 0,25$	$2,49 \pm 0,14$	$2,28 \pm 0,19$	$1,77 \pm 0,25$	$1,78 \pm 0,14$
$MOR \pm sd \text{ (MPa)}$	$0,58 \pm 0,10$	$0,63 \pm 0,08$	$0,82 \pm 0,20$	$1,01 \pm 0,15$	$0,87 \pm 0,21$	$0,86 \pm 0,15$

* Nd: valor não determinado, por desagregação do adobe após 24 h imerso em água.

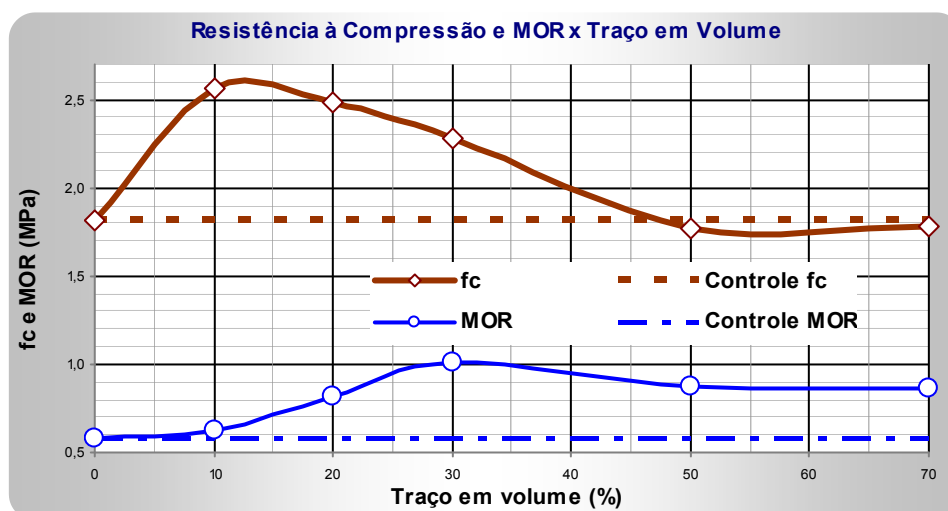


Figura 3 – Curvas de resistência à compressão e módulo de ruptura na flexão, em função do traço em volume.

Pelos resultados apresentados e já comentados, e baseando-se também em uma avaliação visual e tátil dos adobes, pode-se concluir que a biomassa de *E. crassipes* se mostrou perfeitamente viável e adequada à proposta deste trabalho, inclusive melhorando a trabalhabilidade do barro. Como comentário final, cabe salientar que o adobe, apesar de ser um dos mais antigos materiais de construção manufaturados, ainda se mostra atual e perfeitamente viável como material de construção totalmente ecológico, uma preocupação imperativa neste novo milênio, onde 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 se constituir como alternativa de auto-construção de habitações de interesse social (baixo custo), cujo déficit é preocupante no Brasil.

Referências Bibliográficas

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

McHENRY JR., P. G. **Adobe and rammed earth buildings**: design and construction. Tucson: The University of Arizona Press, 1989. reimpr. (publicação original: New York: Wiley, [1984]). 217 p., il.

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

Bolsas: FAPESP