

**Figura 5.11.** Resistência à compressão média dos tijolos ( $f_c$ ), em função do traço em massa ( $T_M$ ), com limites de dispersão (**superior** e **inferior**, dados pelo desvio-padrão).

Analisando-se as curvas da **fig. 5.11**, nota-se que inicialmente houve um ganho significativo de resistência à compressão, com a adição de biomassa ao barro, até cerca de 1 % (em massa), indistintamente para as três macrófitas, como previsto inicialmente. Isso se deveu ao fato de que para o controle (sem biomassa), como o solo é argiloso, o excesso de fissuras fez com que a resistência dos tijolos fosse reduzida. Portanto, os primeiros incrementos de biomassa corrigiram este problema, proporcionando um acréscimo nesta resistência.

A partir de 1 %, a resistência à compressão entrou em declínio, evidenciando as diferenças de comportamento entre as macrófitas, observando-se que *P. stratiotes* e *B. arrecta* apresentaram desempenho praticamente equivalentes, com leve vantagem para a primeira. Já *E. crassipes*, apresentou desempenho bem superior às outras duas, sendo

possível a adição de mais de 3 % de biomassa, mantendo-se ainda o mesmo nível de resistência que o controle C2, ou seja, cerca de 2,50 MPa, porém, com significativa redução de massa específica do tijolo (vide **fig. 5.05**), o que pode ser encarado como vantajoso, em termos estruturais, já que isto significa redução das cargas na estrutura e fundações da edificação.

Apenas para efeito de comparação, na **tab. 5.24** são mostrados resultados apresentados por FARIA (1998) e FARIA & BATTISTELLE (2001), onde fica evidenciada a superioridade dos resultados encontrados no presente trabalho, ou seja, mesmo se tratando de um solo com maior teor de argila, a adição da biomassa surtiu efeitos positivos.

**Tabela 5.24.** Resistências à compressão ( $f_c$ ) e massa específica aparente de tijolos, para solos com diferentes teores de argila (indicados entre parênteses).

SOLOS (% argila)	A (14)*	B (22)*	C (30)*	D (38)*	2002 (59)
$\rho_{apT}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,79**	1,94	1,97	1,94	1,78
$f_c$ (MPa)	0,72**	2,11	2,24	1,98	2,48

\* dados de FARIA (1998)

\*\* FARIA & BATTISTELLE (2001), apresentam 1,83 e 1,04 respectivamente, para o mesmo solo.

## 5.4 APLICAÇÕES DOS RESULTADOS

Neste item são apresentados alguns desdobramentos dos resultados apresentados neste trabalho, tais como a quantificação da retirada de biomassa, nutrientes e metais, com a produção do adobe, além de um exemplo de aplicação desta correlação.

### 5.4.1 Correlações entre a produção de adobe e a retirada de biomassa e substâncias químicas do sistema

Para que se possa correlacionar a produção dos tijolos com o encapsulamento das substâncias químicas, se faz necessário calcular o consumo de biomassa nesta produção, o que conseqüentemente fornecerá

uma estimativa da área de superfície do reservatório que pode ser “limpa”, com a remoção das macrófitas.

### a) Cálculo da biomassa consumida na produção dos tijolos

Sabe-se que a massa do tijolo seco ( $m_{T0}$ ) é a soma das massas de solo seco ( $m_{s0}$ ) e de biomassa seca ( $m_{m0}$ ), contidas nele, ou seja:

$$m_{T0} = m_{s0} + m_{m0} \quad (a)$$

onde  $m_{T0}$ : massa média de um tijolo seco (g)  
 $m_{s0}$ : massa de solo seco em um tijolo (g)  
 $m_{m0}$ : massa de biomassa (macrófita) seca em um tijolo (g)

Pelas definições do **item 4.3.3**, a **eq. (4.12)** (do traço em massa,  $T_M$ ) pode ser simplificada para:

$$T_M = \frac{m_{m0}}{m_{s0}} \quad (b)$$

Substituindo-se (b) em (a), tem-se as **eq. (5.1)** e **(5.2)**, para as massas de biomassa e de solo secos nos tijolos, respectivamente, em função do traço em massa (da **tab. 5.16**) e da massa média do tijolo seco (das **tab. B18** e **B.19, ANEXO B**).

$$m_{m0} = \frac{T_M}{(1 + T_M)} \times m_{T0} \quad (5.1)$$

$$m_{s0} = \frac{1}{(1 + T_M)} \times m_{T0} \quad (5.2)$$

onde  $m_{T0}$ : massa média de um tijolo seco (g)  
 $m_{s0}$ : massa de solo seco em um tijolo (g)  
 $m_{m0}$ : massa de biomassa (macrófita) seca em um tijolo (g)  
 $T_M$ : traço em massa (decimal)

Com as **eq. (5.1)** e **(5.2)**, pode-se montar a **tab. 5.25**, onde é apresentado o consumo de biomassa ( $C_{m1000}$ ) e a equivalente área de superfície dos

estandes de macrófitas ( $S_{m1000}$ ), calculada pela eq. (5.3), considerando-se os valores de  $Bps$  (da tab. 5.02) para a produção de 1.000 tijolos, já que o milheiro é a unidade comumente utilizada para se quantificar tijolos. Também são apresentados os resultados do cálculo do consumo de solo em volume ( $CV_{s1000}$  em estado solto e ao teor de umidade natural), em função de  $r_{ap\ solo\ seco}$  ( $624\ Kg/m^3$ , do item 5.2.1-b) para a mesma situação, porém em  $m^3$ , visto que é a unidade mais comum para se medir solos. Observando-se que:

$$C_{m1000} = 1.000 \times m_{m0}, \text{ em massa (g), e} \quad (c)$$

$$C_{s1000} = 1.000 \times m_{s0}, \text{ em massa (g).} \quad (d)$$

$$S_{m1000} = \frac{C_{m1000}}{Bps} \quad (5.3)$$

onde  $C_{m1000}$ : consumo de biomassa, em massa, para a produção de 1.000 tijolos (g)  
 $S_{m1000}$ : área da superfície do estande de macrófita para esta produção ( $m^2$ )  
 $Bps$ : biomassa por unidade de superfície do estande de macrófita ( $g/m^2$ )

O consumo de solo em volume ( $CV_{s1000}$ ), é calculado pela eq. 5.4.

$$CV_{s1000} = \frac{C_{s1000}}{624} \quad (5.4)$$

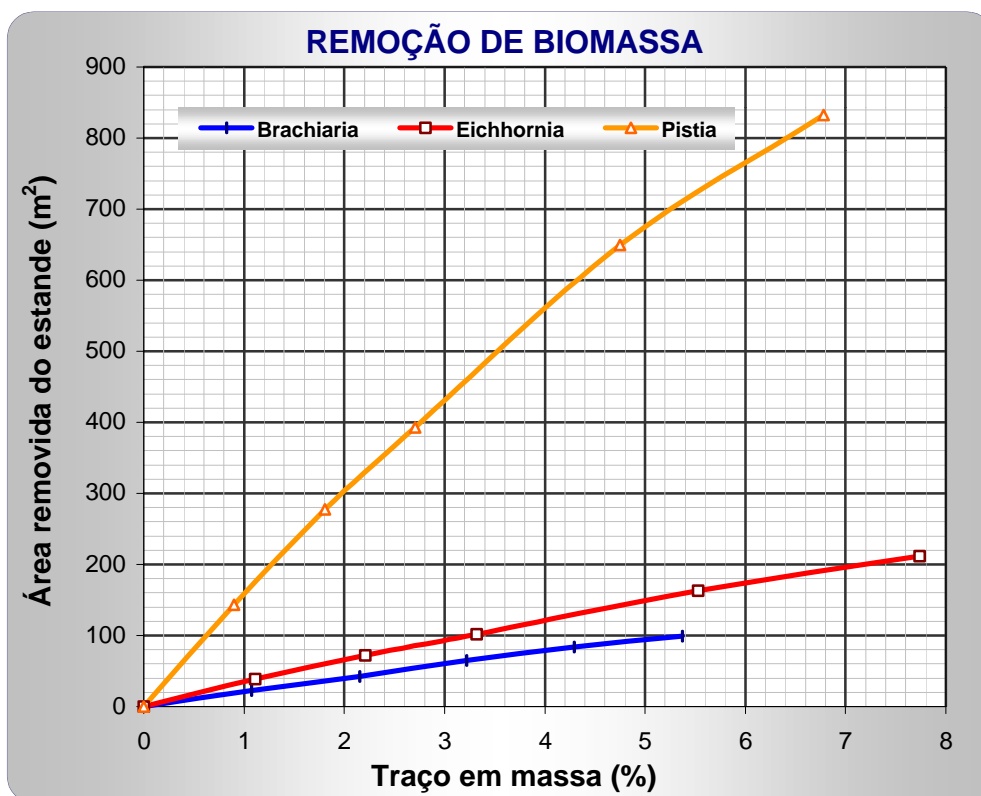
onde  $C_{s1000}$ : consumo de solo, em massa, para a produção de 1.000 tijolos (Kg)  
 $CV_{s1000}$ : consumo de solo, em volume (em estado solto e à umidade natural), para a produção de 1.000 tijolos ( $m^3$ )

**Tabela 5.25.** Consumo de biomassa ( $C_{m1000}$ ); consumo de solo ( $C_{s1000}$ ); 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.

		$T_M$	$m_{TO}$ (g)	$C_{m1000}$ (Kg)	$C_{s1000}$ (Kg)	$S_{m1000}$ (m <sup>2</sup> )	$CV_{s1000}$ (m <sup>3</sup> )
<i>B. arrecta</i> (1,770 kg/m <sup>2</sup> )	<b>B1</b>	0,0107	3.798	40,21	3.758	<b>22,72</b>	<b>6,02</b>
	<b>B2</b>	0,0215	3.587	75,49	3.511	<b>42,65</b>	<b>5,63</b>
	<b>B3</b>	0,0322	3.663	114,28	3.549	<b>64,56</b>	<b>5,69</b>
	<b>B4</b>	0,0429	3.618	148,84	3.469	<b>84,09</b>	<b>5,56</b>
	<b>B5</b>	0,0537	3.440	175,31	3.265	<b>99,05</b>	<b>5,23</b>
<i>E. crassipes</i> (1,068 kg/m <sup>2</sup> )	<b>E1</b>	0,0111	3.733	10,99	3.692	<b>38,38</b>	<b>5,92</b>
	<b>E2</b>	0,0221	3.568	77,16	3.491	<b>72,24</b>	<b>5,59</b>
	<b>E3</b>	0,0332	3.373	108,40	3.265	<b>101,49</b>	<b>5,23</b>
	<b>E4</b>	0,0553	3.318	173,89	3.144	<b>162,82</b>	<b>5,04</b>
	<b>E5</b>	0,0774	3.143	225,82	2.918	<b>211,44</b>	<b>4,68</b>
<i>P. stratiotes</i> (0,235 kg/m <sup>2</sup> )	<b>P1</b>	0,0090	3.733	33,66	3.740	<b>143,22</b>	<b>5,99</b>
	<b>P2</b>	0,0181	3.665	65,16	3.600	<b>277,26</b>	<b>5,77</b>
	<b>P3</b>	0,0271	3.502	92,39	3.409	<b>393,15</b>	<b>5,46</b>
	<b>P4</b>	0,0475	3.368	152,74	3.216	<b>649,96</b>	<b>5,15</b>
	<b>P5</b>	0,0678	3.080	195,56	2.884	<b>832,19</b>	<b>4,62</b>

Estes resultados serão úteis no momento da escolha da espécie de biomassa a ser utilizada, assim como do traço mais adequado. Para facilitar sua visualização e comparações, os mesmos são representados graficamente na **fig. 5.12**.

Pela análise destes resultados, pode-se concluir inicialmente que do ponto de vista da limpeza da lâmina d'água do reservatório, a *P. stratiotes* se mostra mais eficiente, já que para a produção de uma mesma quantidade de tijolos, ela é a que apresenta maiores valores de  $S_{m1000}$ . No entanto, para a decisão final, devem ser levados em conta outros fatores, tais como: a resistência à compressão dos tijolos e a retirada de nutrientes e metais.



**Figura 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 ( $T_M$ ).

## b) Cálculo de nutrientes e metais encapsulados pelos tijolos

Assim como foi quantificado, no item anterior, o consumo de biomassa e solo para a produção do milheiro de adobe, é possível se quantificar os metais e nutrientes contidos nestes tijolos. Considerando-se como encapsuladas essas substâncias, sua quantificação se faz pelo cruzamento dos resultados da **tab. 5.25** com os das **tab. 5.06, 5.07, 5.09 e 5.14**.

Denominando-se por encapsulamento (Enc) o total de substâncias químicas contidas nos tijolos, esses cálculos são feitos pelas **eq. (5.5), (5.6) e (5.7)**.

$$Enc_{m1000} = Es_m \times S_{m1000} \quad (5.5)$$

onde  $Es_m$ : estoque de substância química por unidade de área da superfície do estande de macrófita ( $g/m^2$ )  
 $S_{m1000}$ : área da superfície do estande de macrófitas para a produção

$Enc_{m1000}$ : de 1.000 tijolos ( $m^2$ )  
total de substância encapsulada pela macrófita em 1.000  
tijolos (g)

$$Enc_{s1000} = Ev_s \times CV_{s1000} \quad (5.6)$$

onde  $Ev_s$ : estoque de substância química relativo à unidade de volume do solo ( $g/m^3$ )  
 $CV_{s1000}$ : consumo de solo solto, em volume, para a produção de 1.000 tijolos ( $m^3$ )  
 $Enc_{s1000}$ : total de substância encapsulada pelo solo em 1.000 tijolos (g)

$$Enc_{T1000} = Enc_{m1000} + Enc_{s1000} \quad (5.7)$$

onde  $Enc_{T1000}$ : total de substância encapsulada em 1.000 tijolos (g)

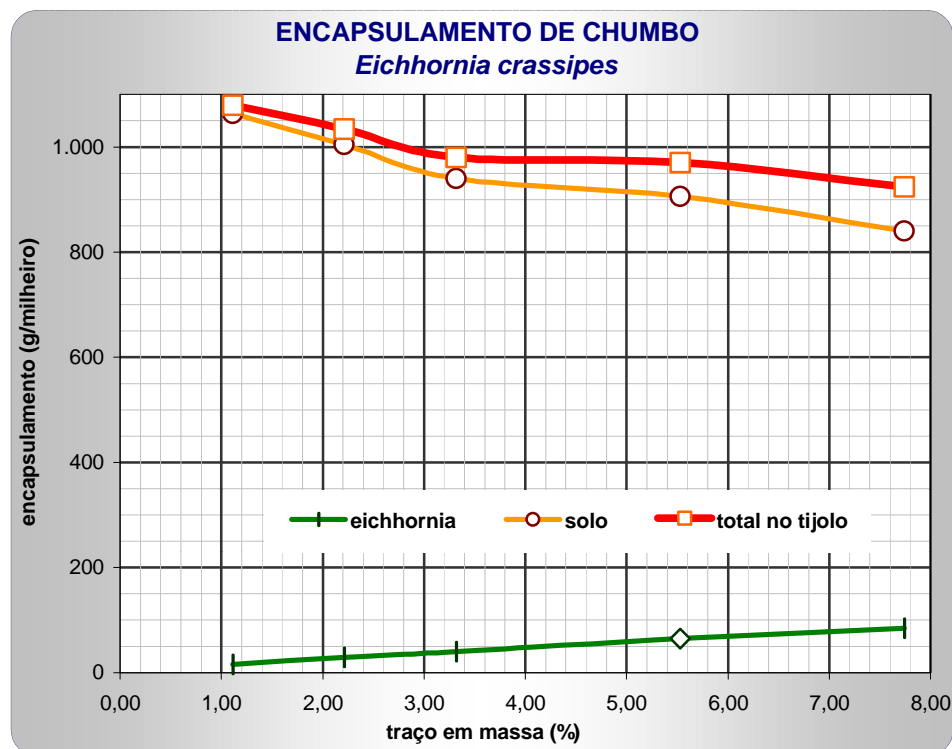
Os resultados dos cálculos do total de nutrientes e metais encapsulados com a produção de 1.000 tijolos ( $Enc_{T1000}$ ) são apresentados na **tab. 5.26**. Os encapsulamentos parciais, pelas macrófitas ( $Enc_{m1000}$ ) e pelo solo ( $Enc_{s1000}$ ), utilizados na produção destes tijolos, são apresentados no **ANEXO D** (tab. D.1 e D.2), por se tratarem de tabelas muito extensas, o que também não viabiliza a sua representação gráfica, pelo número excessivo de dados.

Os resultados apresentados nesta tabela, assim como os do item anterior, também serão muito úteis e importantes no momento da escolha da espécie e do traço mais adequados para uma determinada utilização do material, em uma situação bem específica. Por exemplo, se em um dado momento o sistema estiver passando por problemas com excesso de manganês, pela **tab. 5.26**, observa-se que os tijolos com biomassa de *P. stratiotes* conseguem encapsular maior quantidade desse metal (até 4.694,89 g/milheiro), do que os com *B. arrecta* (no máximo 1.212,99 g/milheiro).

Outra informação importante que pode ser extraída da **tab. 5.26** é a seguinte: à medida em que o solo contido em um tijolo vai sendo substituído

por biomassa, com os incrementos de traço (de índice 1 para índice 5), o encapsulamento total, de algumas substâncias químicas, pelo tijolo vai sendo reduzido. Isto ocorre para **cádmio, chumbo, cromo e níquel**, em função do estoque desses metais no solo ser muito mais elevado que o estoque deles na biomassa de macrófita (Cf. **tab. D.01 e D.02, ANEXO D**). Esta redução não chega a ser muito significativa mas, pode ser levada em consideração no momento de se decidir por qual traço utilizar, caso haja interesse em se maximizar o encapsulamento de um destes metais, podendo também se fazer uma análise conjunta desta informação com a das curvas de resistência à compressão (Cf. fig. 5.11). Para ilustrar este fenômeno, na **fig. 5.13** é apresentada uma representação gráfica do mesmo, referente ao chumbo em *Eichhornia crassipes*.

Assim, programas de manejo das macrófitas podem ser desenvolvidos, conciliando a eficiência de retenção de cada espécie e demais características na adequação da produção do adobe.



**Figura 5.13.** Encapsulamento de chumbo em um milheiro de tijolos produzidos com biomassa de *E. crassipes*.

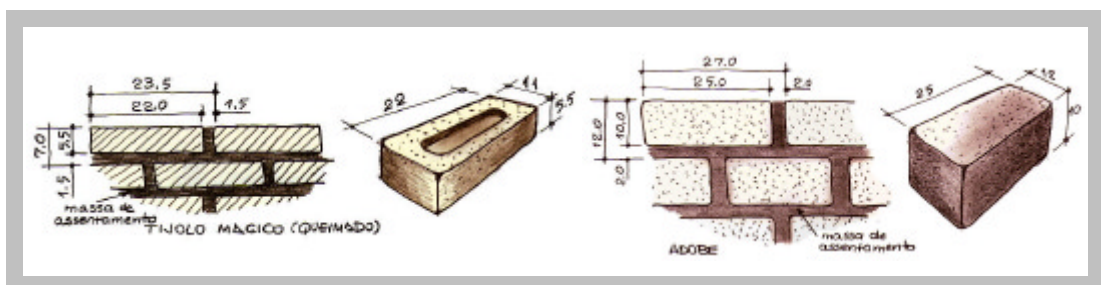




**c) Economia de energia na produção do material, comparado com tijolos maciços cerâmicos**

Considerando-se a informação apresentada nas **pág. 6 e 7**, ou seja, de que são necessários  $30 \text{ m}^3$  de lenha para se queimar 60 milheiros de tijolos maciços cerâmicos (“comuns” - **Tc**), é apresentado neste item uma estimativa da economia de energia (madeira) ao se efetuar a substituição desses tijolos por adobe (**Ta**). É levado em consideração apenas o elemento de vedação, considerando-se que todos os demais itens da construção fossem mantidos, com os mesmos materiais e técnicas construtivas, para os dois materiais.

Porém, antes é necessário calcular o consumo de tijolos (dos dois tipos) para se construir  $1 \text{ m}^2$  de parede, considerando-se as dimensões apresentadas na **fig. 5.14**.



**Figura 5.14.** Tijolos comuns e de adobe: formas, dimensões e juntas de assentamento, para paredes em  $\frac{1}{2}$  tijolo.

Para paredes em  $\frac{1}{2}$  tijolo, pelos dados da **fig. 5.14**, têm-se os seguintes consumos:

- $C_{Tc} = 60,79 \text{ Tc/m}^2$  (consumo de tijolos comuns por  $\text{m}^2$  de parede)
- $C_{Ta} = 30,86 \text{ Ta/m}^2$  (consumo de tijolos de adobe por  $\text{m}^2$  de parede)

Como dos 60 milheiros de Tc produzidos com  $30 \text{ m}^3$  de lenha, são aproveitados no máximo 50.000 unidades, tem-se o seguinte consumo de lenha na sua produção:

- $C_L = 0,6 \text{ m}^3/\text{mil}$  (consumo de lenha por milheiro de tijolos comuns).

Este número pode parecer não muito significativo mas, considerando-se que uma habitação consome vários milheiros de tijolos, o consumo total de madeira pode ser expresso até em número de árvores. Para este cálculo, consideraram-se os dados apresentados por NAVARRO DE ANDRADE [1961?], para o crescimento médio do eucalipto, apresentado na **tab. 5.27**, lembrando-se que na maioria das vezes, apesar da legislação, as olarias não se utilizam de madeira reflorestada mas, sim de árvores de cerrado (troncos mais finos, portanto em maior número de indivíduos).

**Tabela 5.27.** Crescimento médio do *Eucalyptus sp.*, com indicação do volume de tronco da árvore (adaptado de NAVARRO DE ANDRADE [1961?]).

Idade (anos)	6	12	18	24	30	45
Diâmetro (m)	0,13	0,21	0,33	0,39	0,45	0,53
Altura (m)	13,60	21,10	26,90	32,00	37,30	38,63
Volume (m <sup>3</sup> )	0,18	0,73	2,30	3,82	5,93	8,52

Estes dados auxiliam num cálculo subestimado da economia de energia, já que cada material tem um volume de energia incorporada (“embodied energy”) em seu processo de produção, transporte e utilização, mesmo depois do ambiente construído. Neste aspecto, comparando-se o adobe com os blocos de concreto convencionais, a economia de energia para climatização do ambiente chega a mais de 80% com o emprego do adobe, como já citado na **pag. 37** (PORTA-GÂNDARA et al., 2001), para se manterem ambientes idênticos a uma temperatura constante de 26 °C, por meio de aparelhos de condicionamento de ar.

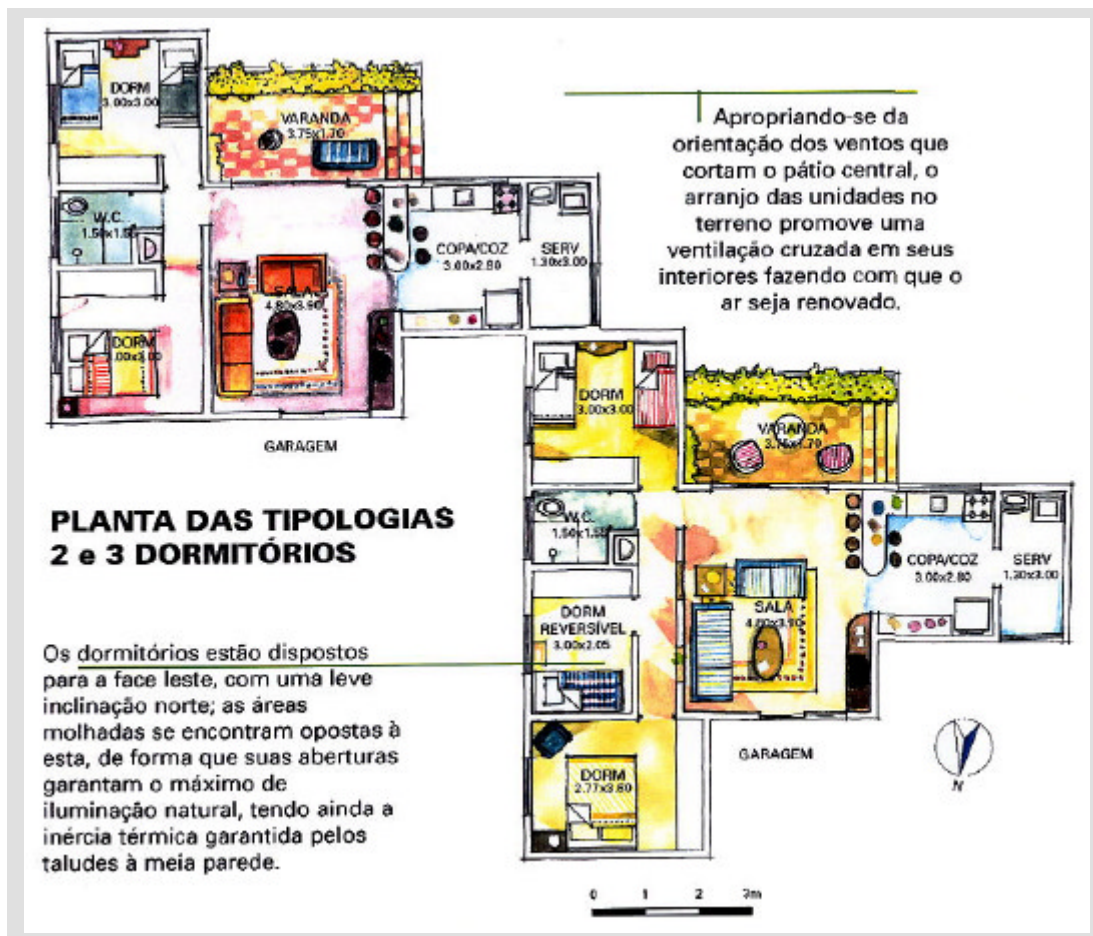
O custo, inclusive ambiental, da energia gasta com o transporte de materiais também pode ser reduzido, utilizando-se de materiais e técnicas de construção locais, tais como o adobe (MOREL et al., 2001).

### 5.4.2 Estudo sobre um modelo de habitação

Neste item, são apresentadas algumas breves considerações sobre a aplicação de algumas conclusões do **item 5.4.1**, sobre um exemplo de construção sustentável, em um projeto desenvolvido no ano de 1999, com a finalidade de participação em um concurso (“1ª BIENAL ‘JOSÉ MIGUEL AROZTEGUI’ – Concurso Latino-Americano de Arquitetura Bioclimática”) por um grupo de alunos, de várias séries, do Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo, da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, da UNESP-Bauru, projeto este, premiado no concurso. Os autores do projeto foram: *Andréa Midori Kaimoti, André Stevaux, Denise Carpi R. dos Santos, Fernanda Ferreira, Juliano da Costa Pita, Karina Trevisan Fernandes, Naiara Luchini de Assis, Ricardo P. L. Ferrraz* e o autor do presente trabalho, um dos co-orientadores. Nas **fig. 5.15** e **5.16**, são apresentados aspectos deste projeto.



**Figura 5.15.** Alguns aspectos do projeto “Habitações bioclimáticas na cidade de Bauru-SP” (adaptado de ENCAC99, 1999)



**Figura 5.16.** Plantas das tipologias 2 e 3 dormitórios do projeto “Habitações bioclimáticas na cidade de Bauru – SP” (adaptado de ENCAC99, 1999).

Com as informações da **fig. 5.16** e os dados do **item 5.4.1-c**, chega-se aos números de tijolos comuns ( $N_{Tc}$ ), de adobe ( $N_{Ta}$ ) e volume de madeira ( $C_L$  – consumo de lenha) a serem utilizados neste projeto, apresentados na **tab. 5.28**, para as tipologias de 2 e 3 dormitórios, considerando-se todas as paredes em  $\frac{1}{2}$ tijolo. Também são apresentadas as respectivas áreas de paredes ( $A_{paredes}$ ).

**Tabela 5.28.** Dados do projeto, quantidades de tijolos e consumo de lenha para a produção dos tijolos comuns.

Tipologia	$A_{constr}$ (m <sup>2</sup> )	$A_{paredes}$ (m <sup>2</sup> )	$N_{Ta}$ (mil)	$N_{Tc}$ (mil)	$C_L$ (m <sup>3</sup> )
02 dorm.	64,43	134,68	4,16	8,19	4,91
03 dorm.	69,87	165,07	5,09	10,03	6,02

Cruzando-se os dados da **tab. 5.28** com os da **tab. 5.27**, chega-se à quantificação da lenha necessária para a construção das duas tipologias de projeto, em termos de árvores, para as várias idades, como apresentado na **tab. 5.29**.

**Tabela 5.29.** Quantidades de árvores de *Eucalyptus sp.* que podem ser poupadas, para as várias idades, com a substituição do tijolo comum pelo adobe.

Idade (anos)	6	12	18	24	30	45
2 dorm.	27,2	6,7	2,1	1,3	0,8	0,6
3 dorm.	33,4	8,2	2,6	1,6	1,0	0,7

Como a disponibilidade de madeira para lenha, com mais de 7 anos, é escassa (com alto custo), na prática utilizam-se árvores mais novas e, com isso, constata-se pela **tab. 5.29** que a simples substituição dos tijolos maciços pelos de adobe, podem poupar entre **27 e 33 árvores** de *Eucalyptus sp.*, com 7 anos de idade. Se aliado a esse fato, utilizarem-se os adobes propostos neste trabalho, pode-se calcular o benefício adicional, em termos de “limpeza” da superfície da área de estudo.

Para se quantificar este benefício, basta aplicar-se o valor de  $N_{Ta}$  (da **tab. 5.28**) ou resultados da **tab. 5.25**, pela **eq. (5.8)**, montando-se a **tab. 5.30**.

$$SR_{Proj} = N_{Ta} \times S_{m1000} \quad (5.8)$$

onde

- $SR_{Proj}$ : área da superfície do estande de macrófitas removida com a construção do projeto ( $m^2$ )
- $N_{Ta}$ : número de tijolos de adobe utilizados na construção (mil)
- $S_{m1000}$ : área da superfície do estande de macrófitas para a produção de 1.000 tijolos ( $m^2/mil$ )

**Tabela 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 (2 e 3 dormitórios)

		2 dormitórios	3 dormitórios
<i>B. arrecta</i>	<b>B1</b>	94,52	115,64
	<b>B2</b>	177,42	217,09
	<b>B3</b>	268,57	328,61
	<b>B4</b>	349,81	428,02
	<b>B5</b>	412,05	504,16
<i>E. crassipes</i>	<b>E1</b>	159,66	195,35
	<b>E2</b>	300,52	367,70
	<b>E3</b>	422,20	516,58
	<b>E4</b>	677,33	828,75
	<b>E5</b>	879,59	1.076,23
<i>P. stratiotes</i>	<b>P1</b>	595,80	728,99
	<b>P2</b>	1.153,40	1.411,25
	<b>P3</b>	1.635,50	2.001,13
	<b>P4</b>	2.703,83	3.308,30
	<b>P5</b>	3.461,91	4.235,85

Finalizando, estes são dados para o projeto estudado mas, a metodologia de sua obtenção pode ser aplicada a quaisquer outros, constituindo-se, assim, em mais um parâmetro norteador na escolha da espécie de macrófita a se utilizar, assim como do traço mais adequado.