# ADIÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS EM TIJOLOS DE SOLO CIMENTO ADEQUANDO SUA UTILIZAÇÃO AO ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO

Wilson Marques Silva[1], Lahuana Oliveira de Souza[2], Adriana Marques Silva[3]

1. Engenheiro Civil, Mestre, Universidade Federal de Goiás, wilsoncefet@hotmail.com, Goiânia-GO, Brasil
2. Tecnóloga em Construção de Edifícios, Instituto Federal de Goiás;
3. Economista, Uni Anhanguera- Goiânia –Goiás – Brasil

## RESUMO

Visando oferecer alternativas de destinação de resíduos agrícolas a presente pesquisa estudou composições da mistura de solo-cimento-resíduo agrícola, tendo como objetivo principal determinar os teores máximos de resíduos a serem incorporados em substituição ao estabilizante, obtendo-se, assim, materiais mais leves e, portanto, de menor condutividade térmica, sem o comprometimento das suas características mecânicas. Foram utilizados dois tipos de resíduos vegetais (cascas de arroz e de braquiária) e utilizou-se o cimento Portland CP II-F-32 para a composição dos tratamentos. O teor de cimento usado na estabilização do solo foi de 10%. Já os teores de resíduo foram de 0%, 10%, 20%, 30% e 40% incorporados em substituição ao cimento. Assim, foram variados os teores de cimento e resíduo desde 100% de cimento e 0% de resíduo, até 60% de cimento e 40% de resíduo. Corpos-de-prova cilíndricos e tijolos foram avaliados sob compressão simples e absorção de água. Os resultados sugerem o uso destes resíduos no teor de 10% em substituição ao cimento, sem o comprometimento de suas propriedades mecânicas. Foram determinadas as principais propriedades termofísicas de tijolos confeccionados com esta mistura através dos ensaios da caixa quente protegida e do calor específico, seguidos da verificação da adequação em relação ao zoneamento bioclimático brasileiro.

**PALAVRAS-CHAVE**: resíduos; compressão simples; eficiência energética.

# ADDITION OF AGRICULTURE WASTES BRICKS IN SOIL CEMENT TAILORING TO YOUR USE ZONING BRAZILIAN BIOCLIMATIC

## ABSTRACT

The aim of this research was to study the effect of the vegetable wastes addition under the physical and mechanical properties of soil-cement bricks. It were used two types of wastes (rice husk and Brachiaria brizantha one). The cement Portland content used on the soil stabilization was 10%. The vegetable wastes contents were 0%, 10%, 20%, 30% and 40% added in substitution to the cement. The specimens and bricks were submitted to the compression tests and water absorption tests. The best results, in terms of compression strength were reached by the 10% addition of vegetable wastes in substitution to the cement. The results suggest the promising use of these wastes, at the 10% content, without the compromising of the mechanical properties related to the compressive strenght and to the durability. It were determined the main thermophysical properties of bricks molded with that soil-

cement-waste through the hot box method and the specific heat one and so it will be verified their adequacy to the Brazilian bioclimatic zoning.

**KEYWORDS**: agriculture wastes, compressive strength, energetic efficiency.

## INTRODUÇÃO

Há algum tempo já se faz presente em inúmeros setores produtivos a preocupação com a sustentabilidade, que deve envolver uma visão ecológica, social e econômica. O uso de tecnologias apropriadas em construções que levem à racionalização dos recursos disponíveis, à diminuição dos custos dos processos construtivos e ao melhor aproveitamento da mão-de-obra local deve ser, portanto, considerado.

A operacionalização dessas tecnologias pode ser feita através do uso isolado ou combinado de materiais e técnicas construtivas, convencionais ou não, tais como: terra crua, solo-cimento, argamassa armada, paredes monolíticas, elementos pré-fabricados, bambu, compósitos biomassa vegetal-cimento, etc.

O uso da casca de arroz e do bagaço de cana-de-açúcar "in-natura" ou sob a forma de cinzas têm sido recentemente objeto de diversas pesquisas. Esses esforços têm ou tiveram o objetivo de melhorar as características físico-mecânicas de argamassas e/ou de tijolos de terra-crua através da substituição parcial do cimento e/ou como material de enchimento (MESA-VALENCIANO; FREIRE, 1999; AKASAKI & SILVA, 2001). Tais resíduos, quando disponíveis próximos das áreas em que são produzidos e associados à utilização de solos locais, podem produzir soluções de baixo custo para a fabricação de materiais de construção baseados em terra crua (MEDEIROS et al., 2002).

Entretanto, a escolha do material ou técnica mais apropriado vai depender, dentre outros aspectos, dos recursos disponíveis no local, da mão-de-obra a ser empregada e da finalidade e durabilidade preconizadas para a construção (FERREIRA, 2003).

A terra crua, por ser um material de grande disponibilidade e baixo custo, vem se mostrando como uma excelente alternativa técnica e econômica para uso em construções, principalmente sob a forma de tijolos ou blocos prensados e não queimados. Mas, para se atingir condições mínimas de resistência e durabilidade, os tijolos de terra crua devem ser estabilizados. Como alternativa de estabilização tem-se o uso de aditivos químicos como o cimento.

As características de resistência e durabilidade, desejáveis sob o ponto-de-vista do comportamento mecânico de tijolos e blocos, não devem ser as únicas a serem preconizadas. Devem ser também conhecidas as propriedades termofísicas relacionadas ao conforto térmico. O conhecimento dessas informações é imprescindível ao planejamento de instalações funcionais do ponto de vista estrutural e ocupacional. Todavia, resistência e baixa condutividade térmica são propriedades antagônicas, fazendo-se necessária a compatibilização dessas duas características (ADAM & JONES, 1995).

## OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar as características mecânicas e termofísicas de tijolos modulares de solo cimento ao se adicionar resíduos agroindustriais – casca de arroz e casca da semente do capim braquiária.

## METODOLOGIA

Foi utilizado um solo predominantemente arenoso classificado como A4(0) segundo a AASHTO ("American Association of State Highway and Transportation Officials") para a fabricação dos tijolos, assim como cimento Portland CP II-F-32.

Os resíduos vegetais cascas de arroz foram obtidos em usinas de beneficiamento de arroz e da casca da semente do capim braquiária em usinas de beneficiamento do capim da região de Goiânia.

Os resíduos foram adicionados em substituição ao cimento. Dessa forma, foram variados os teores de cimento e de resíduo vegetal desde 100% de cimento e 0% de resíduo, até 60% de cimento e 40% de resíduo (em relação ao teor de 10% de cimento) conforme se segue: T1 - 0% de resíduo + 100% de cimento; T2 - 10% de casca de arroz + 90% de cimento; T3 - 20% de casca de arroz + 80% de cimento; T4 - 30% de casca de arroz + 70% de cimento; T5 - 40% de casca de arroz + 60% de cimento; T6 - 10% de casca de braquiária +90% de cimento; T7 - 20% de casca de braquiária + 80% de cimento; T8 - 30% de casca de braquiária + 70% de cimento; e T9 - 40% de casca de braquiária + 60% de cimento.

Os tijolos foram moldados com o auxílio de uma máquina de fabricação de tijolos modulares prensados manualmente com capacidade de fabricação de dois tijolos por prensagem com dimensões de 23x11x5 $cm^3$ da marca GTW, de acordo com a norma NBR 10832 (ABNT, 1992a). Posteriormente os tijolos foram levados à cura úmida durante 7, 28 e 56 dias, ao final dos quais foram rompidos a compressão simples.

Para a determinação da resistência e condutividade térmica dos tijolos foi utilizada a caixa quente protegida (Figura 1a) de acordo com as prescrições da norma NBR 6488 (ABNT, 1980), e para a determinação do calor específico dos tijolos foi utilizado um calorímetro (Figura 1b) mediante os procedimentos da ASTM C-351-922b (ASTM, 1999).

Foram ensaiados os tijolos correspondentes ao Tratamento T1 – solo + 10% adições (100% de cimento + 0% de resíduo) e ao Tratamento T2 – solo + 10% adições (90% de cimento + 10% de casca de arroz), pois foram os tratamentos que obtiveram melhor desempenho mecânico quanto nos ensaios de compressão axial e absorção de água, conforme Tabela 1.

A partir dos valores da condutividade térmica e do calor específico obtidos durante os ensaios, e mediante aos procedimentos recomendados pelas NBR 15220-1 (ABNT, 2005) e NBR 15220-2 (ABNT, 2005) foram determinadas as seguintes propriedades termofísicas dos tijolos: resistência térmica (Equação 1); capacidade térmica (Equação 2); e atraso térmico (Equação 3).

$$R = \frac{e}{\lambda} \qquad (1)$$

em que:
R - resistência térmica, em (m.K)/W;
e - espessura, em metros;
$\lambda$ -condutibilidade térmica, em W/(m.K).

$$CT = e.c.\rho \qquad (2)$$

em que:
CT - capacidade térmica, em KJ/(m2.K);
e - espessura, em metros;
$\rho$ - massa específica aparente, em kg/m3.

$$\varphi = 1{,}382.e\sqrt{\frac{\rho.c}{3{,}6.\lambda}} \qquad (3)$$

em que:
φ - atraso térmico, em horas;
e - espessura, em metros;
ρ - massa específica aparente, em kg/m3;
c - calor específico, em kJ/(kg.K);
λ - condutibilidade térmica, em W/(m.K).

Posteriormente foi realizada uma simulação do desempenho térmico de uma parede de tijolos (Figura 1a).

Foram então calculados os seguintes parâmetros: resistência térmica total, em (m2.K)/W; transmitância térmica, em W/(m2.K); capacidade térmica da parede; em kJ/(m2.K); atraso térmico da parede, em horas; fator de calor solar, em %. Em seguida, os valores de transmitância, atraso térmico e fator de calor solar foram comparados com os valores relacionados na norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005a) para vedações externas. Por fim, foi analisada a adequação desses valores para cada zona bioclimática brasileira.

Tal zoneamento divide o território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima (Figura 2) e, para cada uma destas zonas, existe um conjunto de recomendações tecno-construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo. Para o caso de paredes, as recomendações construtivas para cada zona estão sumarizadas na Tabela 2.

## ANÁLISE DE RESULTADOS

De acordo com a Tabela 1 somente os tratamentos T1 e T2 aos 28 dias e 56 dias de cura apresentaram valores de resistência à compressão simples em conformidade com a NBR 08492 (ABNT, 1984f) que estabelece, no mínimo, o valor médio de 2,0MPa.

Em termos de capacidade de absorção de água, a exceção do tratamento T5, todos os tratamentos aplicados aos tijolos atenderam às especificações da NBR 08492, que estabelece, como máximo, o valor médio de 20% e nenhum valor superior a 22%.

A Tabela 3 apresenta as principais propriedades termofísicas dos tijolos modulares de solo-cimento-T1 e solo-cimento-resíduo-T2, calculados do ensaio da caixa quente protegida e do calor específico. A NBR 15220-2 (ABNT, 2005c) relaciona os valores de 0,70 a 1,05 W/(m.K) para a condutibilidade térmica e 0,92 kJ/(kg.K) para o calor específico de tijolos e telhas cerâmicas com massa específica aparente variando de 1000 kg/m3 a 2000 kg/m3. Comparando estes valores da condutividade térmica obtido durante o ensaio (Tabela 3), verifica-se que essa propriedade térmica da mistura solo-aditivo estudada favorece a um bom desempenho com vistas ao conforto térmico.

A Tabela 4 apresenta os valores das principais propriedades termofísicas da parede construída com os tijolos dos Tratamentos T1 e T2. Devido às suas excelentes características de isolamento térmico, a construção com terra é mais indicada para aquelas situações em que se necessita uma alta inércia térmica, ou seja, uso de paredes pesadas.

Os valores de transmitância térmica ≤ 1,88 W/(m2.K), de atraso térmico ≥ 9,0 horas e de fator de calor solar de 4,88% obtidos do Tratamento T2, que foram os melhores resultados, estão em conformidade com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005a) que recomenda para vedações externas pesadas os valores de transmitância térmica ≤ 2,20 W/(m2.K), de atraso térmico ≥ 6,5 horas e de fator de calor solar 3,5% (Tabela 5). Verifica-se pela Tabela 5 que o valor de 1,88 W/(m2.K) referente à transmitância térmica e atraso térmico de 9,0 h da parede de solo-cimento-resíduo cumpre as exigências das recomendações para paredes pesadas (zonas bioclimáticas 4,6 e 7).

**TABELA 1-** Valores médios dos resultados de resistência à compressão simples e absorção de água dos tijolos

| Trat. | **Resistência à compressão (MPa)** | | | **Absorção de água %** |
|---|---|---|---|---|
| º1 | 7 dias | 28 dias | 56 dias | 7 dias |
| $T_1$ | 0,62 ± 0,04 (5,88)² Ba | 2,90± 0,22 (7,70) Aa | 2,83 ± 0,04 (1,49) Aa | 12,74 ± 2,24 (17,39) a |
| $T_2$ | 0,68 ± 0,06 (8,18) Ca | 2,10±0,11 (5,33) Ab | 1,81 ± 0,11 (6,19) Bb | 14,22 ± 2,61 (18,32) ab |
| $T_3$ | 0,63 ± 0,08 (13,32) Ba | 1,11±0,17 (14,87) Ad | 1,2 ± 0,11 (9,35) Ac | 19,12 ± 2,64 (13,80) bc |
| $T_4$ | 0,39 ± 0,11 (28,64) Bb | 0,85±0,11(13,09) Ae | 0,57±0,09 (16,06) Bde | 19,66 ± 0,31 (1,57) c |
| $T_5$ | 0,35 ± 0,02 (5,97) Cb | 0,79±0,17 (20,81) Aef | 0,54 ± 0,11 (20,83) Be | 21,94 ± 0,29 (1,33) c |
| $T_6$ | 0,56 ± 0,06 (9,96) Cab | 1,56±0,24 (15,07) Ac | 1,29 ± 0,11 (8,65) Bc | 14,22 ± 0,67 (4,73) ab |
| $T_7$ | 0,35 ± 0,06 (15,80) Cb | 0,99±0,29 ( 28,93) Ade | 0,76 ± 0,11 (14,78) Bd | 17,36 ± 3,24 (18,64) b |
| $T_8$ | 0,11 ± 0,06 (57,74) Bc | 0,61±0,08 (13,86) Af | 0,52 ± 0,06 (10,66) Ae | 17,97 ± 1,30 (7,21) b |
| $T_9$ | 0,11 ± 0,04 (33,33) Bc | 0,54±0,11(20,83) Af | 0,52± 0,06 (10,66) Ae | 17,48 ± 0,67 (3,81) b |

2 Valores médios ± desvio padrão (coeficiente de variação).
Em cada linha, médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%;
Em cada coluna, médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

**TABELA 2** - Recomendações construtivas para vedações externas para cada zona bioclimática brasileira

| **Zona bioclimática** | **Vedações externas (paredes)** | **Principais cidades e capitais*** |
|---|---|---|
| Zona 1 | Leve | Curitiba-PR, Campos de Jordão-SP, Poços de Caldas-MG, São Joaquim-SC, Caxias do Sul-RS. |
| Zona 2 | Leve | Pelotas-RS, Piracicaba-SP, Ponta Grossa-PR, São João Del Rei-MG, Nova Friburgo-RJ, Laguna-SC. |
| Zona 3 | Leve refletora | Belo Horizonte-MG, Ponta Porã-MS, |

| | | |
|---|---|---|
| | | Petrópolis-RJ, São Paulo-SP, Porto Alegre-RS, Florianópolis-SC, Foz do Iguaçu-PR. |
| Zona 4 | Pesada | Brasília-DF, Patos de Minas-MG, Ribeirão Preto-SP, São Carlos-SP, Luziânia-GO, |
| Zona 5 | Leve refletora | Vitória da Conquista-BA, Governador Valadares-MG, Niterói-RJ, Araçatuba-SP. |
| Zona 6 | Pesada | Goiânia-GO, Campo Grande-MS, Montes Claros-MG, Presidente Prudente-SP. |
| Zona 7 | Pesada | Cuiabá-MT, Teresina-PI, Imperatriz-MA, Petrolina, PE, Porto-Nacional-TO. |
| Zona 8 | Leve refletora | Manaus-AM, Salvador-BA, Fortaleza-CE, São Luiz-MA, Belém-PA, Recife-PE, Aracajú-SE, Natal-RN, Porto Velho-RO, Rio de Janeiro-RJ |

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2003).

**TABELA 3** - Principais propriedades termofísicas do tijolo

| **Trat.** | **ρ (kg/m$^3$)** | **λ W/(m.K)** | **c kJ/(kg.K)** | **$R_t$ (m.K)/W** | **$C_t$ (kJ/m.K)** | **φ (h)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | 1890 | 0,38 | 1,30 | 0,188 | 309,31 | 7,5 |
| T2 | 1810 | 0,35 | 1,84 | 0,170 | 419,26 | 9,0 |

**TABELA 4** - Principais propriedades termofísicas da parede

| **Trat.** | **Resistência térmica total [(m$^2$.K)/W]** | **Capacidade térmica [kJ/(m$^2$.K)]** | **Transmitância térmica [W/(m$^2$.K)]** | **Atraso térmico (h)** | **Fator de calor solar (%)** |
|---|---|---|---|---|---|
| T1 | 0,50 | 317,21 | 2,00 | 7,5 | 5,20 |
| T2 | 0,53 | 427,20 | 1,88 | 9,0 | 4,88 |

**TABELA 5**- Transmitância, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para paredes externas.

| **Tipo de parede** | **Transmitância térmica (W/m$^2$.K )** | **Atraso Térmico (horas)** | **Fator de calor solar (%)** |
|---|---|---|---|
| Leve | $U \leq 3,00$ | $\varphi \leq 4,3$ | $FCS \leq 5,0$ |
| Leve Refletora | $U \leq 3,60$ | $\varphi \leq 4,3$ | $FCS \leq 4,0$ |
| Pesada | $U \leq 2,20$ | $\varphi \geq 6,5$ | $FCS \leq 3,5$ |

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005a).

**FIGURA 1-** Parede ensaiada na caixa quente protegida

**Figura 1b-** Calorímetro

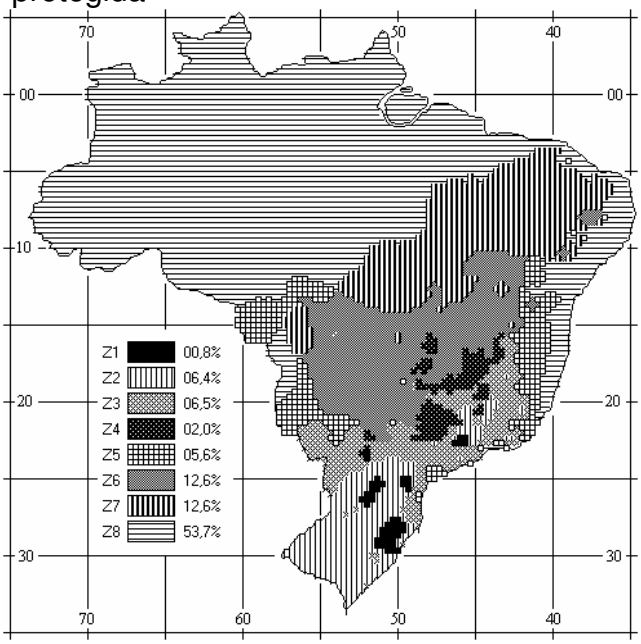


**FIGURA 2 -** Zoneamento Bioclimático Brasileiro.
Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2003)

## CONCLUSÕES

Os tratamentos T1 aos 28 e 56 dias de cura, 2,90 MPa e 2,83 MPa, e o Tratamento T2 também aos 28 e 56 dias de cura, 2,10 MPa e 1,81MPa, apresentaram maior resistência à compressão simples, estando em conformidade com a NBR 08491.

Os valores de transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar, obtidos pelos tratamentos T1 e T2 estão em consonância com aqueles recomendados pela NBR 15220-4 (ABNT, 2005).

A incorporação da casca de arroz à mistura solo-cimento proporcionou melhores resultados das propriedades termofísicas para os tijolos modulares de solo cimento estudados, desta forma encontrou-se uma alternativa destinada à utilização do resíduo casca de arroz.

## REFERÊNCIAS


ADAM, E.A.; JONES, P.J. Thermophysical properties of stabilized soil building blocks. **Building and Environment**. v.30, n. 2, p. 245-253, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro**. NBR 6488**: Componentes de Construção – Determinação da condutância e transmitância térmica - método da caixa quente protegida. Rio de Janeiro, 1984c. 6p.

_____. Rio de Janeiro. **NBR 8492** - Tijolo maciço de solo-cimento: Determinação da Resistência à Compressão e Absorção de Água. Rio de Janeiro, 1984f. 5p.

_____. Rio de Janeiro. **NBR 10832** - Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Rio de Janeiro, 1989. 3 p.

_____. Rio de Janeiro. **NBR 15220-1**. Desempenho térmico de edificações. Parte I: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005b. 10p.

_____. Rio de Janeiro. **NBR 15220-2**. Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005c. 27p.

_____. Rio de Janeiro. **NBR 15220-3**. Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005a. 28p.

AKASAKI, J.L. SILVA, A.P. Estudo de composições do solo estabilizado com cal e resíduos agroindustriais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30, 2001, Foz do Iguaçu, PR**. Anais**... Foz do Iguaçu: SBEA, 2001. Cd Rom.

FERREIRA, R. C. Desempenho físico-mecânico e propriedades termofísicas de tijolos e mini-painéis de terra crua tratada com aditivos químicos. **Tese de Doutorado** Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

MEDEIROS, S. R. R.; ROLIM, M. R.; BRITO, F. L.; SIQUEIRA, B. B. Estabilização de solo com misturas de cinza de bagaço de cana de açúcar e cimento. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 31, 2002, Salvador, BA. **Anais**..., Salvador: SBEA, 2002. Cd Rom.

MESA- VALENCIANO, M. C .; FREIRE, W. J. Tijolos de solo melhorado com cimento e fibras de bagaço de cana-de-açúcar: características físico-mecânicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28. 1999, Pelotas. **Anais**...Pelotas: [s.n], 1999. 1 CD-ROM.