

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS E SEUS EFEITOS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS E TERMOFÍSICAS DE TIJOLOS MODULARES DE SOLO-CIMENTO

SILVA, Wilson Marques¹; FERREIRA, Regis de Castro²

Palavras-chave: resíduos, compressão simples, eficiência energética.

1. INTRODUÇÃO

A forma indiscriminada de extração dos recursos naturais e a poluição gerada pelos resíduos promovem impactos sobre o meio ambiente e é motivo de grande preocupação. Da mesma forma, a busca por processos manufatureiros que impliquem em menor consumo energético se faz presente em todos os setores da economia. Em se tratando de construções rurais, a terra crua, por ser um material de grande disponibilidade e de baixo custo, vem se mostrando como uma excelente alternativa para obtenção de tijolos ou blocos prensados e não queimados de baixo aporte energético. Mas, para se atingir condições mínimas de resistência e durabilidade estabelecidas pelas normas vigentes, os tijolos de terra crua devem ser estabilizados. Como alternativa de estabilização tem-se o uso de aditivos químicos como o cimento. Por outro lado, a exploração agrícola gera resíduos tais como aqueles oriundos das usinas de beneficiamento de arroz e sementes de forrageiras. Conforme Medeiros *et al.*, (2002), 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. Assim, em nível mundial têm sido realizados grandes esforços com a finalidade de melhorar a resistência à compressão simples de tijolos baseados em terra crua, seu comportamento sob a ação da água e sua durabilidade em longo prazo. Todavia, resistência e baixa condutividade térmica são propriedades antagônicas, fazendo-se necessária a compatibilização dessas duas características. Diante do exposto, esta pesquisa visa desenvolver tijolos de solo-cimento de baixa condutividade térmica pela incorporação de resíduos agrícolas, promovendo, assim, a redução da transferência de calor e menor consumo energético para o controle da temperatura interna de edificações sem comprometer sua performance mecânica.

2. METODOLOGIA

Foram utilizados como resíduos agrícolas, a casca de braquiária e a casca de arroz, ambas “in natura”. Utilizou-se cimento Portland CP II F 32 e solo coletado na região oeste de Goiânia-Goiás. Os procedimentos aplicados aos resíduos agrícolas consistiram na trituração em moinho de martelo e peneiramento. A fim de se evitar a incompatibilidade química entre o cimento e os resíduos, procedeu-se sua imersão em solução de cal concentrada a 5% por 24h. Os procedimentos aplicados ao solo consistiram na análise granulométrica (ABNT, 1984a), determinação dos limites de liquidez e de plasticidade (ABNT, 1984b,c); determinação da massa específica aparente dos sólidos (ABNT, 1984d); e ensaio de compactação Proctor normal (ABNT, 1986). Os teores de resíduos foram definidos em função daqueles estudados por Akasaki e Silva (2001). 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. Com os dados do ensaio de compactação foram confeccionados corpos-de-prova cilíndricos de aproximadamente 1000 cm³ (127 mm x 100 mm), e posteriormente levados à cura úmida durante 7, 28 e 56 dias, ao final dos quais foram rompidos a compressão simples. Os tijolos modulares de solo-cimento-resíduo serão moldados de acordo com a NBR 10832 (ABNT, 1989) e rompidos a compressão simples conforme a NBR 08492 (ABNT, 1984e) após os mesmos períodos de cura. Também serão confeccionados tijolos para os ensaios térmicos da caixa quente protegida (ABNT, 1980) e do calor específico (ASTM, 1999).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as principais características físicas do solo estudado.

TABELA 1. Características físicas do solo estudado.

Distribuição granulométrica				Índices físicos ¹				Classificação 0
areia	silte	argila	% que passa # 200	Mes p	LL	LP	IP	AASHTO ²
54,92	20,98	22,97	43,95	2,91	20,1	16,30	3,80	A4
Massa específica aparente seca máxima (g/cm ³)								
T ₁ ³	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉
1,89	1,81	1,72	1,71	1,62	1,76	1,71	1,70	1,69
Umidade ótima (%)								
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉
16,92	17,79	18,84	18,85	19,51	16,91	18,59	19,35	19,81

¹Mesp - Massa específica aparente seca (g/cm³); LL - Limite de Liquidez; LP - Limite de Plasticidade e IP - Índice de Plasticidade. ²American Association of State Highway and Transportation Officials. ³T₁ – solo + 10% de adições (0% de resíduo + 100% de cimento); T₂ – solo + 10% de adições (10% de casca de arroz + 90% de cimento); T₃ – solo + 10% de adições (20% de casca de arroz + 80% de cimento); T₄ – solo + 10% de adições (30% de casca de arroz + 70% de cimento); T₅ – solo + 10% de adições (40% de casca de arroz + 60% de cimento); T₆ – solo + 10% de adições (10% de casca de braquiária + 90% de cimento); T₇ – solo + 10% de adições (20% de casca de braquiária + 80% de cimento); T₈ – solo + 10% de adições (30% de casca de braquiária + 70% de cimento); e T₉ – solo + 10% de adições (40% de casca de braquiária + 60% de cimento).

Como era de se esperar, à medida que houve um acréscimo nos teores de casca de arroz e de braquiária em substituição aos 10% de cimento observou-se uma diminuição da massa específica aparente seca máxima do solo e conseqüente aumento das umidades ótimas correspondentes quando comparadas com o tratamento T₁, composto por solo + 10% de cimento. Isso ocorreu porque as massas específicas da casca de arroz (0,152 g/cm³) e de braquiária (0,096 g/cm³) são menores do que a massa específica do cimento (1,42 g/cm³). E ainda porque esses resíduos vegetais possuem uma maior capacidade de absorção de água do que o solo, necessitando-se, portanto, de uma maior adição de água para a lubrificação das partículas do solo, que sofrerão um rearranjo após a compactação. A diminuição da massa específica aparente seca das misturas solo-cimento-resíduos favorece o

melhor comportamento térmico pela diminuição da condutividade térmica do material. Khedari *et al.* (2005), pesquisando a incorporação de fibras de coco em misturas de solo-cimento para a obtenção de tijolos prensados, obtiveram uma redução média de 54% nos valores de condutividade térmica para uma resistência à compressão simples de 3,9 MPa avaliada aos 28 dias de idade.

A Tabela 2 apresenta os resultados do ensaio de compressão simples aplicados aos corpos-de-prova cilíndricos. No geral, a resistência apresentada pelos tratamentos aos 28 dias se mostrou superior à resistência apresentada pelos tratamentos aos 7 e 56 dias. De 7 para 28 dias houve um incremento de resistência, o que pode ser explicado pelo fato do cimento estar sofrendo um processo de hidratação. Analisando o período de 28 para 56 dias, houve, no geral, uma queda na resistência à compressão simples. De acordo com Ferreira e Fernandes (2006), isso pode ter ocorrido pelo fato do cimento contido nos corpos-de-prova aos 28 dias, já ter passado pelo processo de hidratação ou também a presença de água higroscópica no período de cura maior.

TABELA 2. Resistência à compressão simples (MPa) dos corpos-de-prova cilíndricos para as diferentes misturas de solo-cimento-resíduos vegetais.

Trat ^o s	Resistência à Compressão Simples (MPa)					
	7 dias		28 dias		56 dias	
T ₁ ¹	3,25 ± 0,27 (9,08)	aA ²	3,40 ± 0,05 (1,68)	aA	3,52 ± 0,52 (10,88)	aA
T ₂	2,09 ± 0,09 (4,91)	bB	2,58 ± 0,05 (2,30)	bA	2,39 ± 0,12 (12,80)	bAB
T ₃	1,31 ± 0,05 (3,86)	cC	2,31 ± 0,04 (2,57)	bA	1,90 ± 0,06 (2,92)	cB
T ₄	1,18 ± 0,07 (6,28)	cdC	1,98 ± 0,04 (3,21)	cdA	1,51 ± 0,18 (12,73)	dB
T ₅	1,09 ± 0,02 (1,99)	dC	1,59 ± 0,00 (0,00)	dB	1,82 ± 0,13 (13,42)	cA
T ₆	1,56 ± 0,15 (10,11)	cC	1,67 ± 0,28 (10,78)	cdB	1,86 ± 0,28 (10,78)	cA
T ₇	0,81 ± 0,07 (6,28)	dC	1,69 ± 0,06 (4,08)	cdA	1,09 ± 0,06 (4,08)	eB
T ₈	0,69 ± 0,07 (8,16)	dB	0,98 ± 0,03 (3,71)	eA	0,65 ± 0,12 (12,80)	feAB
T ₉	0,39 ± 0,03 (5,44)	eC	0,69 ± 0,07 (10,20)	eA	0,57 ± 0,15 (15,23)	fB

¹ T₁ – solo + 10% de adições (0% de resíduo + 100% de cimento); T₂ – solo + 10% de adições (10% de casca de arroz + 90% de cimento); T₃ – solo + 10% de adições (20% de casca de arroz + 80% de cimento); T₄ – solo + 10% de adições (30% de casca de arroz + 70% de cimento); T₅ – solo + 10% de adições (40% de casca de arroz + 60% de cimento); T₆ – solo + 10% de adições (10% de casca de braquiária + 90% de cimento); T₇ – solo + 10% de adições (20% de casca de braquiária + 80% de cimento); T₈ – solo + 10% de adições (30% de casca de braquiária + 70% de cimento); e T₉ – solo + 10% de adições (40% de casca de braquiária + 60% de cimento); ²Valores médios ± desvio padrão (coeficiente de variação, em %). - Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade. - Em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Após a realização dos ensaios térmicos espera-se a obtenção de valores de transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar em consonância com aqueles recomendados pela NBR 15220-4 (ABNT, 2005) e apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. 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	$U \leq 3,00$	$\phi \leq 4,3$	$FCS \leq 5,0$
Leve Refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$FCS \leq 4,0$
Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$FCS \leq 3,5$

Fonte: NBR 15220-4 (ABNT, 2005).

4. CONCLUSÃO

A redução da massa específica aparente seca máxima e o aumento da umidade ótima ocorreram à medida que se aumentou o teor de resíduos incorporados às misturas. Adotando-se o valor de 1,5 MPa como resistência mínima aceitável aos 7 dias de idade, a substituição parcial do cimento por resíduo poderá ser realizada no teor de 10%. No teor recomendado, a incorporação dos resíduos mostra-se promissora para a obtenção de tijolos de baixa condutividade térmica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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.

AMERICAN STANDARD FOR TESTING MATERIAL. **ASTM C-351-92B**. Standard Test Method for Mean Specific Heat of Thermal Insulation. 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984b. 6p.

_____. Rio de Janeiro. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm – determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984a. 8p.

_____. Rio de Janeiro. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984c. 3p.

_____. Rio de Janeiro. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984d. 13p.

_____. Rio de Janeiro. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986b. 10p.

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

_____. Rio de Janeiro. **NBR 15220-4**. Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005. 28p.

KHEDARI, J.; WATSNASATHAOIRN, P.; HIRUNLABH, J. Development of fibre-based soil cement block with low thermal conductivity. **Cement & Concrete Composites**, 27, p. 111-116, 2005

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.

FERREIRA, R. de C; FERNANDES, M. O.;. Incorporação de resíduos vegetais e seus efeitos sobre o desempenho físico-mecânico de solo-cimento. In: Congreso Latino Americano y del Caribe de Ingeniería Agrícola, 7, 2006, Chillán. **Proceedings ...** Ciudad del México: ALIA, 2006. Cd Rom.

¹ Mestrando Programa de Pós Graduação em Engenharia do Meio Ambiente – wilsonenge@hotmail.com

² Orientador Engenharia Agrícola/UFG, rcastro@agro.ufg.br