

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO INCORPORADOS COM RESÍDUOS VEGETAIS PELA COMBINAÇÃO DE TESTES DESTRUTIVOS E NÃO-DESTRUTIVOS

ANANDA HELENA NUNES CUNHA¹, JÚLIO CÉSAR DA CUNHA GOBO², REGIS DE CASTRO FERREIRA³.

¹ - Aluna de Graduação e Iniciação Científica, Setor de Eng.^a Rural, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, UFG, Goiânia – Go, Fone: (0XX62) 3521-1534, anandahelena@yahoo.com.br.

² - Aluno de Graduação e Iniciação Científica, Setor de Eng.^a Rural, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, UFG, Goiânia – Go.

³ - Engenheiro Agrônomo, Prof. Dr. Setor. de Eng.^a Rural, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, UFG, Goiânia – Go.

Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 4 de agosto de 2006 – João Pessoa – PB

RESUMO: O presente trabalho teve a preocupação de estudar a combinação de métodos destrutivos e não-destrutivos associados à análise estatística, para a avaliação da qualidade de tijolos prensados de solo-cimento-resíduos-vegetais. O cimento utilizado foi o CP II-F 32 e os resíduos utilizados foram as cascas de arroz e de braquiária. Os teores de resíduos vegetais foram de 0%, 10%, 20%, 30% e 40% utilizado em substituição ao teor de 10% de cimento. Os tijolos foram submetidos aos testes nas idades de 7, 28, 56 e 91 dias após a moldagem. As propriedades físico-mecânicas dos tijolos foram determinadas através de testes destrutivos, tal como o ensaio de compressão simples, e não-destrutivos através do ensaio acústico do ultra-som. Estes dois métodos foram associados com o intuito de se obter o parâmetro quantitativo denominado resistência anisotrópica usado para avaliar a qualidade dos tijolos. A adição que conferiu a melhor qualidade técnica aos tijolos foi a de 10% de resíduo. O parâmetro resistência anisotrópica mostrou-se promissor com vistas à avaliação da qualidade técnica dos tijolos.

PALAVRAS-CHAVE: tijolo de solo-cimento, ultra-som, resistência anisotrópica.

EVALUATION OF QUALITY OF SOIL-CEMENT BRICKS INCORPORATED WITH-VEGETABLES WASTES THROUGH THE ASSOCIATION OF DESTRUCTIVE AND NON-DESTRUCTIVE METHODS

ABSTRACT: The aim of this research was to study the combination both non-destructive and destructive methods associated to the statistical analysis in order to evaluate the quality of manufactured bricks of soil-cement-vegetable-wastes. It was used Portland cement and it was used husk rice and *Braquiaria brizantha* one as wastes. The vegetable wastes contents (0%, 10%, 20%, 30% and 40%) were used in substitution to the 10% cement content. The bricks were submitted to the tests in the periods of 7, 28, 56 and 91 days after the moulding. Their mechanical characteristics were evaluated through both non-destructive and destructive methods. Those two methods were associated in order to describe precisely a quantitative parameter so called the “anisotropical resistance”. The results showed that such parameter could be used as a good index for bricks technical quality evaluation. The addition that promoted better technical quality to the bricks was the 10% waste content.

KEYWORDS: soil-cement bricks, ultrasound, anisotropical resistance.

INTRODUÇÃO: A terra crua isolada ou associada à aditivos químicos e/ou resíduos de atividade agrícola, industrial ou agroindustrial tem se mostrado como uma excelente alternativa técnica e econômica para uso em construções rurais. A avaliação do grau de estabilização de misturas de solos tratados com aditivos é feita por meio de ensaios destrutivos físico-mecânicos. Entretanto, algumas caracterizações podem ser realizadas por intermédio de ensaios não-destrutivos. De acordo com ROSS *et al.* (1998), a avaliação não destrutiva é definida como sendo a ciência de identificação das propriedades físicas e mecânicas de uma peça de determinado material, sem alterar suas capacidades de uso, através do exame visual, ensaios químicos, mecânicos, técnicas de vibração, propagação de ondas, emissões acústicas, raios-X, etc. CULTRONE *et al.* (2001) propuseram que os estudos da qualidade técnica de materiais de construção poderiam ser preferencialmente executados mediante ao uso de testes não-destrutivos e adotaram o parâmetro “resistência anisotrópica” para avaliar a qualidade de materiais. Assim, pretende-se com este trabalho estudar a otimização do uso de resíduos vegetais “in natura” na fabricação de tijolos de solo-cimento e recomendar parâmetros que combinem critérios qualitativos e quantitativos para a avaliação da qualidade desses tijolos.

MATERIAL E MÉTODOS: Foram utilizados dois tipos de resíduos (cascas de arroz e de braquiária), previamente triturados, fracionados, tratados e caracterizados por Oliveira e Ferreira (2005). O tratamento dos resíduos consistiu na imersão em solução de cal hidratada concentrada a 5% por um período de 24 horas e secados a 80°C em estufa por 48 horas. A casca de arroz apresentou massa unitária de 0,152 g/cm³, cerca de 90% da sua massa apresentou-se com diâmetro variando de 1,19 mm a 0,42 mm. A casca de braquiária obteve a massa unitária de 0,096 g/cm³ e 83% da sua massa apresentou-se com diâmetro variando de 2,00 mm a 0,105 mm. Na Tabela 1 são apresentados os resultados da caracterização do solo realizada por Oliveira e Ferreira (2005).

Tabela 1. Características físicas do solo estudado.

Solos	Distribuição granulométrica				Índices físicos ¹			Classificação AASHTO ²
	areia	sílte	argila	Mesp	LL	LP	IP	
Natural	31,94	5,87	62,19	3,38	41,7	28,0	13,7	A7
Corrigido	55,82	21,21	22,97	2,72	21,1	16,3	4,8	A4

¹Mesp - Massa específica aparente seca (g/cm³); LL - Limite de Liquidez; LP - Limite de Plasticidade e IP - Índice de Plasticidade.

² American Association of State Highway and Transportation Officials

Os tijolos referentes a cada tratamento de solo-cimento-resíduos foram moldados de acordo com a norma NBR 10832 (ABNT, 1989). 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), utilizando-se nove tratamentos, 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. A anisotropia total foi calculada pela equação: $\Delta M = 100 \left[1 - \frac{2V_1}{(V_2 + V_3)} \right]$ (CAZALLA *et al.*, 1999), em que ΔM , corresponde à anisotropia total

(%); V₁, à velocidade medida na menor distância do tijolo (m.s⁻¹); V₂, à velocidade medida na distância média do tijolo (m.s⁻¹); e V₃, à velocidade medida no comprimento do tijolo (m.s⁻¹). Estas velocidades foram obtidas através de aparelho de ultra-som da marca PROCEQ, de origem suíça, dotado de transdutor de seção plana com frequência de 56 kHz. Pela combinação dos resultados da resistência à compressão simples (R_c), previamente determinados e da anisotropia total (ΔM), foi calculada a

resistência anisotrópica (R_a, em MPa/%) dos tijolos obtida mediante a equação: $R_A = \frac{R_c}{\Delta M}$ (CULTRONE *et al.*, 2001). A massa específica aparente foi obtida antes do teste destrutivo. As propriedades elásticas foram analisadas através do módulo de elasticidade dinâmico (Ed, em MPa) obtido para cada idade e tratamento mediante a seguinte expressão $Ed = \rho V^2 \cdot 10^6$, em que ρ , corresponde à massa específica aparente do tijolo (kg.m⁻³) e V, à velocidade de propagação do pulso

ultra-sônico (m.s^{-1}). Já o módulo de elasticidade (em MPa) foi calculado mediante os valores de tensão e de deformação (registrada durante o ensaio de compressão simples por meio de um relógio comparador digital da marca MITUTOYO acoplado à prensa hidráulica).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A anisotropia total tendeu a aumentar pela maior presença de espaços vazios nos tijolos que interferiram na propagação da onda ultra-sônica, originando diferenças significativas entre os valores de velocidade nas três direções dos tijolos. Maiores valores de R_x indicam uma baixa anisotropia, geralmente associada à menor presença de espaços vazios e uma maior resistência mecânica (Tabela 2). Enquanto baixos valores da resistência anisotrópica indicam uma alta anisotropia associada a uma menor resistência mecânica e uma maior presença de espaços vazios, provocando, conseqüentemente, uma diminuição na qualidade dos tijolos. Quanto às características elásticas, tanto os valores médios do módulo de elasticidade (E), obtido de forma destrutiva, quanto aqueles obtidos de forma não-destrutiva (E_d) tenderam a aumentar com o período de cura. O maior valor de E foi de 4524,03 MPa, observado aos 56 dias para o solo com teor de cimento de 10% (T_1) e o menor valor foi de 159,37 MPa, observado aos 28 dias para o T_0 . Já para o E_d , o maior valor foi de 6423,07 MPa, observado, também, aos 56 dias para o solo com teor de cimento de 10%, e o menor valor foi de 37,76 MPa, observado aos 7 dias, também para o T_0 . De acordo com Calame, *apud* BUYLE-BODIN *et al.* (1990), o adobe tradicional pode apresentar módulo de elasticidade entre 200 MPa e 300 MPa, o que indica uma baixa resistência mecânica e uma alta deformação quando submetidos aos esforços mecânicos. O módulo de elasticidade dinâmico depende fortemente da velocidade de propagação da onda ultra-sônica. Sendo assim, seus valores variaram de acordo com os resultados obtidos durante o acompanhamento da velocidade, ou seja, os melhores resultados foram obtidos para os tratamentos 1 e 2. O período de cura também afetou fortemente os valores do módulo de elasticidade, sendo mais elevados para as maiores idades. De uma forma geral, os valores do módulo de elasticidade dinâmico, obtido de forma não-destrutiva, foram maiores que os valores do módulo de elasticidade, obtido de forma destrutiva.

CONCLUSÕES: Os efeitos dos fatores adições vegetais e período de cura, bem como suas interações, proporcionaram diferenças estatisticamente significativas nos valores da resistência anisotrópica dos tijolos. Com os resultados obtidos pode-se afirmar que a qualidade dos tijolos permite ser avaliada mediante a combinação dos efeitos do estresse mecânico e da estrutura anisotrópica dos mesmos, e confirma a “resistência anisotrópica” como um parâmetro quantitativo viável para o uso no controle e na avaliação da qualidade de tijolos de solo-cimento-resíduos-vegetais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- _____. Rio de Janeiro. **NBR 10832** - Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Rio de Janeiro, 1989. 3 p.
- BUYLE-BODIN, F.; CARBILLAC, R.; DUVAL, R. e LUHOWIAK, W. Stabilisation d'un torchis par liant hydraulique. In: Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials (RILEM **Proceedings of the Second International Symposium** - Salvador, BA, Brazil, September 1990). SOBRAL, H.S. (ed.). London, Chapman and Hall, 1990. p. 182-192
- CAZALLA, O.; SEBASTIÁN, E.; CULTRONE, G.; NECHAR, M.; BAGUR, M.G. Three way ANOVA interaction analysis and ultrasonic testing to evaluate air lime mortars used in cultural heritage conservation projects. **Cement & Concrete Research**, v. 29. p. 1749-1752. 1999.
- CULTRONE, G.; SEBASTIÁN, E.; CAZALLA O.; NECHAR, M.; ROMERO, R.; BAGUR, M.R. Ultrasound and mechanical tests combined with ANOVA to evaluate brick quality. **Ceramics International**, v.27, p.401-406, 2001.
- OLIVEIRA, M. F.; FERREIRA, R. de C. Propriedades físico-mecânicas de misturas de solo estabilizado com cimento e resíduos vegetais “*in natura*”. In: Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão, 2, 2005, Goiânia, GO. **Anais ...** Goiânia: UFG, 2005. Cd Rom.
- ROSS, R. J.; BRASHWA, B. K.; PELLERIN, R. F. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, v. 48, n.1, p.14-19. 1998.

Tabela 2. Valores de resistência à compressão simples (R_c), anisotropia total (ΔM) e resistência anisotrópica (R_A) dos tijolos.

Trat.	R_c (MPa)				ΔM (%)				R_A (MPa/%)			
	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias
T_1^1	3,00	3,07	4,80	3,83	11,93	9,57	13,15	8,61	0,27	0,35	0,37	0,49
	$\pm 0,27$	$\pm 0,05$	$\pm 0,52$	$\pm 0,09$	$\pm 3,13$	$\pm 2,82$	$\pm 1,29$	$\pm 2,59$	$\pm 0,05$	$\pm 0,09$	$\pm 0,06$	$\pm 0,14$
	(9,08) ²	(1,68)	(10,88)	(2,23)	(26,26)	(29,49)	(9,78)	(30,07)	(20,82) a C	(24,85) a B	(16,19) a B	(29,30) a A
T_2	1,82	2,25	2,89	2,52	35,41	28,09	20,37	15,38	0,05	0,08	0,14	0,14
	$\pm 0,09$	$\pm 0,05$	$\pm 0,16$	$\pm 0,05$	$\pm 1,90$	$\pm 4,70$	$\pm 0,66$	$\pm 3,97$	$\pm 0,00$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,04$
	(4,91)	(2,30)	(5,59)	(1,96)	(5,85)	(16,74)	(3,24)	(25,83)	(5,76) b B	(13,13) b AB	(4,94) b A	(21,42) b A
T_3	1,34	1,52	2,21	1,77	57,55	32,92	25,18	26,08	0,02	0,05	0,09	0,07
	$\pm 0,05$	$\pm 0,04$	$\pm 0,06$	$\pm 0,07$	$\pm 3,17$	$\pm 2,85$	$\pm 2,47$	$\pm 1,30$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$	$\pm 0,01$	$\pm 0,00$
	(3,86)	(2,57)	(2,92)	(3,81)	(5,52)	(8,66)	(9,82)	(4,97)	(7,85) b A	(8,79) b A	(6,69) bc A	(7,26) bc A
T_4	1,07	1,21	1,40	1,54	46,63	56,44	32,82	29,94	0,02	0,02	0,04	0,05
	$\pm 0,07$	$\pm 0,04$	$\pm 0,18$	$\pm 0,03$	$\pm 1,69$	$\pm 5,42$	$\pm 1,95$	$\pm 1,70$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$	$\pm 0,01$	$\pm 0,00$
	(6,28)	(3,21)	(12,73)	(2,09)	(3,63)	(9,61)	(5,95)	(5,67)	(9,82) b A	(6,86) b A	(12,44) c A	(7,83) c A
T_5	0,98	1,03	1,00	1,15	43,28	58,83	26,76	38,52	0,02	0,02	0,04	0,03
	$\pm 0,02$	$\pm 0,00$	$\pm 0,13$	$\pm 0,03$	$\pm 1,40$	$\pm 2,94$	$\pm 3,42$	$\pm 2,35$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$
	(1,99)	(0,00)	(13,42)	(2,82)	(3,24)	(5,00)	(12,77)	(6,10)	(1,30) b A	(4,90) b A	(8,20) c A	(3,26) c A
T_6	1,53	2,16	2,61	2,35	31,49	34,93	28,45	21,85	0,05	0,06	0,09	0,11
	$\pm 0,15$	$\pm 0,07$	$\pm 0,28$	$\pm 0,11$	$\pm 1,31$	$\pm 2,48$	$\pm 2,34$	$\pm 2,82$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$	$\pm 0,02$	$\pm 0,01$
	(10,11)	(3,25)	(10,78)	(4,83)	(4,22)	(7,09)	(8,22)	(12,91)	(8,35) b A	(7,13) b A	(17,60) bc A	(7,77) b A
T_7	1,07	1,17	1,58	1,33	34,79	37,01	31,65	17,69	0,03	0,03	0,05	0,08
	$\pm 0,07$	$\pm 0,05$	$\pm 0,06$	$\pm 0,05$	$\pm 3,48$	$\pm 4,80$	$\pm 3,39$	$\pm 3,58$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$	$\pm 0,02$
	(6,28)	(4,40)	(4,08)	(3,70)	(10,02)	(12,97)	(10,72)	(20,26)	(5,77) b A	(14,77) b A	(7,24) c A	(19,51) bc A
T_8	0,83	0,91	0,91	1,16	27,35	38,10	44,22	28,12	0,03	0,02	0,02	0,04
	$\pm 0,07$	$\pm 0,03$	$\pm 0,12$	$\pm 0,07$	$\pm 8,70$	$\pm 6,03$	$\pm 2,33$	$\pm 3,17$	$\pm 0,01$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$
	(8,16)	(3,71)	(12,80)	(5,79)	(31,8)	(15,82)	(5,26)	(11,27)	(32,26) b A	(17,04) b A	(14,93) c A	(6,11) c A
T_9	0,62	0,69	1,00	1,01	47,83	33,48	53,13	15,32	0,01	0,02	0,02	0,07
	$\pm 0,03$	$\pm 0,07$	$\pm 0,15$	$\pm 0,07$	$\pm 0,00$	$\pm 4,61$	$\pm 5,42$	$\pm 4,94$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$	$\pm 0,02$
	(5,44)	(10,20)	(15,23)	(6,62)	(0,00)	(13,79)	(10,20)	(32,22)	(5,44) b A	(4,88) b A	(17,58) c A	(29,52) bc A

¹ T_1 – solo + 10% de adições (0% de resíduo + 100% de cimento); T_2 – solo + 10% de adições (10% de casca de arroz + 90% de cimento); T_3 – solo + 10% de adições (20% de casca de arroz + 80% de cimento); T_4 – solo + 10% de adições (30% de casca de arroz + 70% de cimento); T_5 – solo + 10% de adições (40% de casca de arroz + 60% de cimento); T_6 – solo + 10% de adições (10% de casca de braquiária + 90% de cimento); T_7 – solo + 10% de adições (20% de casca de braquiária + 80% de cimento); T_8 – solo + 10% de adições (30% de casca de braquiária + 70% de cimento); e T_9 – solo + 10% de adições (40% de casca de braquiária + 60% de cimento); ² Valores médios $\pm$ 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.