



UMIDADE ÓTIMA DE COMPACTAÇÃO DE SOLO-CIMENTO PARA DIFERENTES TRAÇOS

**Cristiane Zuffo da Silva(1); Evandro Marcos Kolling (2); Tobias Jun Shimosaka (3);
Ney Lysandro Tabalipa (4); Caroline Angulski da Luz (5)**

- (1) Acadêmica de Engenharia Civil - Bolsista PIBIC – Programa de ações afirmativas para inclusão social (Fundação Araucária) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco, Brasil – e-mail: chrys_zuffo@hotmail.com
- (2) Professor Doutor – Coordenação de Edificações – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco, Brasil – e-mail: kolling@utfpr.edu.br
- (3) Acadêmico de Engenharia Civil - Bolsista PIBIC (UTFPR) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco, Brasil.
- (4) Professor Doutor – Coordenação de Edificações – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco, Brasil.
- (5) Professora Doutora – Coordenação de Edificações - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco, Brasil.

RESUMO

Com a escassez de recursos naturais e aumento dos custos dos materiais de construção, é imprescindível a busca por materiais de baixo custo e que agridam menos a natureza. O solo-cimento tem-se mostrado uma alternativa viável, devido ao seu baixo custo, vasta aplicação e por ser considerado ecologicamente correto. O solo-cimento é uma mistura de solo, cimento e água, que quando compactado na umidade ótima se torna um material estruturalmente resistente. A compactação do material sob umidade ótima garante a maior massa específica aparente seca, devido à redução do índice de espaços vazios, e consequentemente, pode configurar a esse o melhor desempenho mecânico. Naturalmente, nem todos os solos podem ser empregados na constituição de solo-cimento, de modo geral os solos mais indicados são os arenosos, entretanto, solos argilosos podem ser corrigidos com a adição de areia adequando-o a aplicação. Desta forma, considerando a característica argilosa dos solos da região de estudo, o trabalho objetivou determinar a umidade ótima de compactação de solo-cimento em diferentes traços de cimento, tendo como base o solo local corrigido com areia na proporção de 75%. Para tal, realizaram-se ensaios de compactação conforme NBR 12023. Foram feitas repetições, considerando como tratamentos as porções de solo mais areia acrescidos de cimento, nos traços de 1:10 à 1:15 (partes de cimento por partes de solo mais areia). Com base nos valores encontrados foram geradas as curvas de massa específica aparente seca versus umidade e calculada a umidade ótima de compactação para cada tratamento. Os resultados dão conta de variações significativas entre os tratamentos, evidenciando a necessidade do incremento de umidade com o aumento da quantidade de solo. O tratamento de 1:15 apresentou maior umidade ótima, perfazendo valor de 14,85 %. O menor valor de umidade ótima encontrado foi para o tratamento 1:10, com um valor de 12,8%.

Palavras-chave: material de construção, solo argiloso, compactação.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Solo-Cimento

O crescimento econômico, apesar de positivo a diversos segmentos, quando desordenado e mal planejado repercute diretamente na escassez dos recursos naturais. O segmento da construção civil tem sido um dos principais contribuintes para o desenvolvimento, porém, depende de muita matéria-prima que tem sua origem primária nesses recursos. Tendo em vista a preservação ambiental, bem como a redução dos custos na construção civil, o solo-cimento tem-se mostrado uma boa alternativa como material de construção.

Grande (2003 apud SOUZA, SEGANTINI E PEREIRA, 2008, p. 206) afirma que “os tijolos de solo-cimento representam uma alternativa em plena sintonia com as diretrizes do desenvolvimento sustentável, pois requerem baixo consumo de energia na extração da matéria-prima, dispensam o processo de queima e reduzem a necessidade de transporte, uma vez que os tijolos podem ser produzidos com solo do próprio local da obra”.

O solo-cimento é o produto endurecido, resultante da cura de uma mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através de dosagem. (NBR 12023,1992). É um elemento estrutural, que quando preparado sob uma umidade ótima de compactação torna-se altamente resistente, podendo ser utilizado para vários fins, como: fundações, alvenaria, pavimentação, muros, diques, etc (ABCP, 1985). Este material ainda aceita a adição de outros componentes a fim de estabilizar a mistura e reduzir os custos com cimento. Alguns dos materiais que apresentam excelentes propriedades estabilizantes são os resíduos de cerâmica vermelha da construção civil e de olarias (DALLACORT, LIMA E WILLRICH, 2002).

Ressalta-se ainda, que além da preservação ambiental, o solo-cimento pode contribuir na redução de custos da construção civil, principalmente em construções rurais, onde a matéria-prima é abundante e de fácil aquisição.

1.2 Umidade Ótima de compactação

A compactação é o processo pelo qual se reduz o volume de vazios do material tendo como consequência o aumento da massa específica, fator esse que pode influenciar na resistência mecânica do mesmo. O teor de umidade no qual o solo atinge sua maior massa específica aparente seca é denominado de umidade ótima (CAPUTO, 1988).

Segundo Bauer (2000), um material mais resistente é o que apresenta menos índices de vazios e de reduzindo o número de vazios e desta forma obtém-se uma máxima resistência.

Até o momento, são poucas as pesquisas envolvendo a umidade ótima de compactação para o solo-cimento. No entanto, o maior componente da mistura é o solo, podendo-se serem tomados como base valores obtidos de umidade ótima para solos arenosos, visto que este é o tipo de solo indicado. Na aplicação do solo-cimento como material de construção o ponto de umidade ótima, depende da experiência profissional, geralmente o teor de umidade é determinado visualmente.

Os solos são formados basicamente por argila, areia e silte, sendo que os grãos de areia apresentam-se nas dimensões de 4,8 mm à 0,05 mm, o silte entre 0,05 mm e 0,005 mm e a argila grãos inferiores a 0,005 mm(CAPUTO, 1988). Solos argilosos, por serem constituídos na sua maioria por grãos menores, apresentam maior superfície de contato, o que demanda mais água no preparo de uma mistura. Já os solos arenosos, por terem mais areia, têm em sua maioria grãos de tamanhos maiores, o que diminui a superfície de contato, estabilizando-se com menos água (BAUER, 2000).

A quantidade de cimento a ser adicionada também é influenciada pelo tamanho dos grãos. A argila e o silte são materiais pulverulentos, ou seja, de um tamanho muito pequeno (menos que 0,075 mm), assim como o tamanho dos grãos de cimento. O material pulverulado preenche os vazios permeáveis da areia, formando uma película em torno do grão, o que prejudica na aderência do cimento aos grãos (BAUER, 2000).

Solos arenosos estabilizam-se mais facilmente que solos argilosos, ou seja, demandam menos cimento. Segundo ABCP (1985) solos que contenham de 50% a 90% de areia produzem um solo-cimento com

maior durabilidade, visto que solos argilosos apresentarão um maior gasto com cimento e maior dificuldade na pulverização e estabilização da massa em função da baixa porcentagem de areia.

Entretanto, solos argilosos podem se utilizados para a produção de solo cimento, desde que corrigidos granulometricamente com areia (ABCP, 1985). Neste caso, a determinação da umidade ótima é fundamental, visto que é influenciada pelas porções de cada material componente do solo-cimento e a aplicação do solo-cimento sob umidade ótima de compactação implicara na racionalidade técnica e funcional do material.

2 OBJETIVO

A umidade em qualquer traço influencia diretamente na resistência do produto final. Atualmente, o método utilizado para determinar a umidade da mistura solo-cimento é empírico, observado visualmente, porém é possível a obtenção de valores mais precisos através de ensaios de compactação, determinando a umidade na qual o solo atinge maiores valores de massa específica aparente seca e consequentemente maior resistência mecânica. Portanto, objetivou-se, neste estudo, determinar a umidade ótima de compactação a partir das curvas de compactação, para diferentes traços de solo-cimento tendo como base um solo argiloso, característico da região.

3 METODOLOGIA

3.1 Amostragem

O experimento foi conduzido nas dependências do laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco.

O solo utilizado no trabalho foi coletado em profundidade para evitar camadas compostas com matéria orgânica, o que poderia influenciar os resultados.

3.2 Caracterização do solo

Para fins de caracterização do solo empregado, o mesmo foi submetido a ensaios de liquidez e plasticidade e teste granulométrico.

O teste de granulometria foi realizado com base na NBR 7181.

A determinação do limite de liquidez do solo em estudo foi fundamentado na NBR 6459.

A NBR 7180 foi utilizada para determinação do limite de plasticidade dos solos.

3.3 Definição dos traços

3.3.1 Ensaio de retração

O teste de retração recomendado pela ABCP (1985) foi aplicado para determinar a quantidade de areia a ser acrescida ao solo para adaptação do material ao emprego como constituinte de solo-cimento. Por fim, foi determinada a umidade ótima para seis traços da mistura com cimento.

Depois de realizada a correção do solo foram definidos os traços levando em conta as recomendações da ABCP (1995) e trabalhos científicos, como o realizado por Rizzo et. al. (2004).

3.4 Ensaio de compactação do solo-cimento

Os ensaios de compactação foram realizados segundo o método normalizado pela ABNT, por meio da NBR 12023.

Inicialmente, o solo e a areia foram peneirados em peneira nº 4 (4,8 mm) e deixados secar em estufa a 60º C por 24 horas. Em seguida, as amostras eram preparadas para cada traço, até a obtenção de uma mistura homogênea de solo, areia e cimento.

Cada traço foi submetido a seis pontos de umidade contemplados entre 10% e 18%, a fim de melhor representação dos resultados.

Adotando-se o método de Proctor como energia de compactação, nos testes utilizou-se um cilindro metálico de volume unitário igual a 1 litro, sendo as amostras de cada traço compactadas neste cilindro em três camadas, cada uma delas com 26 golpes de um peso de 2.5 Kg, caindo de uma altura de 30 cm, conforme Figura 1. Em seguida o produto da compactação era retirado do cilindro e pesado, sendo uma porção deste levado a estufa até atingir constância de massa, a fim da determinação da umidade ótima e massa específica aparente seca máxima.



Figura 1 – Compactação do solo-cimento

3.5 Determinação da Umidade Ótima

A partir dos dados de massa específica aparente seca e a quantidade de água para qual a mesma foi obtida, foi esboçado a curva de compactação de cada traço de solo-cimento e determinado a umidade ótima de compactação.

Para tal, o **teor de umidade** na amostra foi obtido pela Equação 1:

$$h = \frac{m_u - m_s}{m_s - m} \times 100 \quad (\text{eq. 1})$$

Onde:

h - umidade, em %

m - massa do recipiente ou cápsula, em g

m_u - massa da cápsula, mais a amostra úmida, em g

m_s - massa da cápsula, mais a amostra seca, em g

A massa específica aparente seca da amostra foi obtida por meio das Equações 2 e 3.

$$\gamma_s = \frac{\gamma}{h+100} \times 100 \quad (\text{eq. 2})$$

Onde:

γ_s - massa específica aparente seca da amostra compactada, em kg/m³ ou g/m³

h - teor de umidade da amostra compactada, em %

Sendo:

$$\gamma = \frac{M_h}{V} \quad (\text{eq. 3})$$

Onde:

γ - massa específica aparente úmida da amostra compactada, em kg/m³ ou g/cm³

M_h - massa da amostra compactada, em kg ou g

V - volume do molde, em m³ ou cm³

A curva de compactação foi traçada no plano cartesiano, onde as abscissas representam os teores de umidade, as ordenadas representam as massas específicas aparentes secas correspondentes. A curva resultante geralmente apresenta formato parabólico, sendo a umidade ótima de compactação representada pelo vértice da parábola (ponto de máximo).

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Caracterização do solo

Em análise granulométrica, constatou-se que o solo possuía 9,8% de areia, 56,4% de argila e 33,8% de silte. Para os Limites de liquidez e plasticidade foram obtidas umidades de 49,3 % e 23,08 %, respectivamente. Com base na tabela de materiais silto-argilosos (DNER, 1996), o solo em estudo é classificado como solo argiloso A-7-6.

4.2 Definição dos traços

4.2.1 Ensaio de retração

Com base na porcentagem de areia do solo empregado e no resultado do teste de retração, o qual apontou melhores comportamentos do material com 70% e 80% de areia, empregou-se uma correção para que o solo contivesse 75% de areia, apresentando desta forma características arenosas.

Os traços definidos para os testes foram de 1:10 à 1:15:(cimento:solo corrigido). O cimento utilizado na mistura foi o CP-II-Z-32.

4.3 Ensaio de compactação do solo-cimento

Os dados levantados no ensaio de compactação e agrupados na Tabela 1 demonstram que a umidade ótima apresenta relação inversa à quantidade de cimento, ou seja, a umidade ótima aumenta à medida que a quantidade de cimento diminui. O fato reforça as observações de Bauer (2000) que quanto maior a porcentagem de grãos pequenos maior será a necessidade de água para estabilizar a mistura.

Tabela 1- Umidade e Massa específica dos diferentes traços analisados.

Traço	Umidade prevista (%)	Umidade (%)	ME (úmida) (g/cm³)	ME (seca) (g/cm³)	Umidade Ótima (%)
1:10	10	9,46	2,02	1,84	
	12	12,21	2,15	1,92	
	14	13,52	2,17	1,91	12,80
	16	15,05	2,17	1,89	
	18	16,5	2,11	1,81	
1:11	10	9,31	1,95	1,79	
	12	11,81	2,1	1,88	
	14	13,48	2,16	1,91	13,30
	16	15,45	2,15	1,86	
	18	16,9	2,11	1,8	
1:12	10	9,71	1,86	1,69	
	12	11,49	2,05	1,84	
	14	14,16	2,14	1,88	13,80
	16	15,76	2,15	1,86	
	18	17,24	2,07	1,76	
1:13	10	9,91	1,98	1,81	
	12	11,64	2,11	1,89	
	14	13,99	2,18	1,91	13,50
	16	15,51	2,17	1,88	
	18	17,6	2,09	1,78	
1:14	10	9,32	1,95	1,79	
	12	11,59	2,04	1,83	
	14	13,54	2,16	1,9	13,55
	16	15,59	2,13	1,84	
	18	17,59	2,1	1,78	
1:15	10	7,95	1,88	1,74	
	12	11,68	1,97	1,76	
	14	13,39	2,14	1,88	14,85
	16	15,36	2,14	1,86	
	18	16,88	2,12	1,81	
Coeficiente de variação (%)	-	-	4,29	3,15	5,02

No estudo de Silva et al., (2009), a umidade ótima para um solo arenoso foi de 12,7%, e no estudo de Trindade et al. (2006) ficaram em torno de 14%. Os valores descritos pelos autores convergem como os resultados encontrados para solo-cimento analisado, ficando a umidade ótima entre 12% e 14%, visto que o solo argiloso foi corrigido com areia, tomando características de solo arenoso.

As análises da compactação do solo-cimento, demonstraram resultados similares ao estudo de Rizzo et al. (2004), onde a umidade ótima da mistura solo-cimento traço 1:10 foi de 12,6%. Para o estudo em questão, conforme Tabela 1, foi obtida uma umidade ótima de 12,8% o que apresenta uma variação de 1,5% entre os valores. Ainda para os autores a quantidade de 7% de cimento adicionado à mistura, equivalente ao traço de 1:14, apresentou umidade ótima de 12,5 % enquanto para o estudo em questão obteve-se 13,55%

As curvas de compactação para cada traço analisado são apresentadas no Gráfico 1.

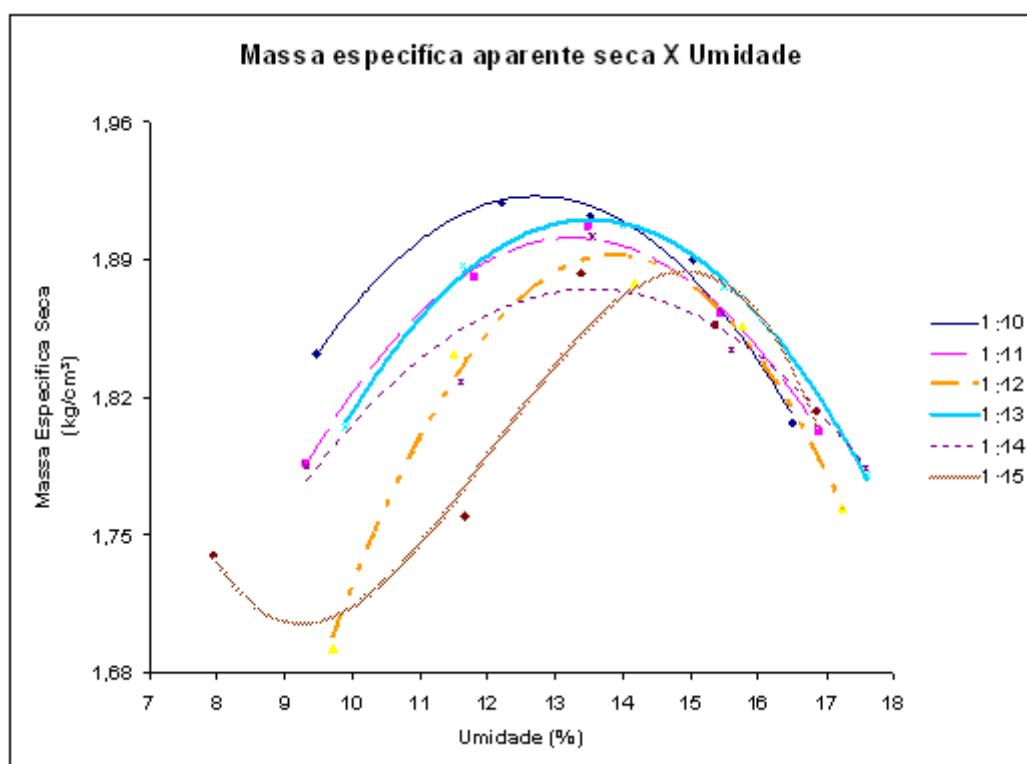


Gráfico 1 – Curva de compactação (massa específica x umidade) para cada traço analisado.

A análise do Gráfico 1 permite verificar que o traço de 1:10 apresenta melhor compactação do material, identificando maior massa específica que os demais traços. Ainda, o traço de 1:15 não demonstrou o comportamento esperado (parabólico), apresentando comportamento exponencial. As curvas características de cada traço foram ajustadas com base no R^2 .

Após análise das características do solo e da mistura solo-cimento, conclui-se que à medida que vai-se aumentando os índices de cimento à mistura necessita menos água, os resultados identificam 1:10 como melhor traço, considerando a relação entre a maior massa específica e a resistência mecânica do material. Contudo, ensaios de resistência mecânica e análises econômica devem ser realizadas a fim de respaldarem recomendação do material e dos traços como alternativa aos materiais de construção convencionais.

Observando os dados da Tabela 1 e do Gráfico 1, em comparação com os estudos citados acima, pode-se concluir que o solo local corrigido granulometricamente apresenta-se com uma boa alternativa na

constituição do solo-cimento, visto que o mesmo apresentou resultados similares aos obtidos para o mesmo ensaio com solos arenosos.

5 CONCLUSÃO

Este estudo demonstra que solos argilosos, desde que corrigidos granulometricamente, apresentam resultados satisfatórios em relação à umidade ótima. Percebeu-se uma pequena variação de umidade ótima entre os traços, estando esta num intervalo de 12% a 14%, sendo que para maiores teores de cimento na mistura a necessidade de água diminui.

Analisando os resultados por fatores técnicos, pode-se dizer que o traço de 1:10 é o mais indicado, visto que o mesmo apresenta uma maior massa específica aparente seca. Entretanto, a fim de respaldar os resultados é interessante a realização de ensaios de resistências mecânica.

Notou-se a importância de se determinar a umidade ótima de compactação do solo-cimento, visto que esta apresenta-se em uma pequena faixa de valores que visualmente não são perceptíveis.

Enfim, o solo argiloso corrigido granulometricamente com areia apresentou-se uma boa alternativa para utilização na mistura de solo-cimento em locais onde o solo argiloso é predominante. No entanto, deve-se analisar os custos que a adição de areia irá causar no produto final visto que o solo-cimento além de material ecologicamente correto, deve apresentar um baixo custo de produção.

6 REFERÊNCIAS

SOUZA, M. I. B., SEGANTINI, A. A. S., PEREIRA, J. A. **Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto.** In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande – PB, 2008.

_____ **NBR 12023 - Solo-Cimento - Ensaio de compactação.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Guia de construções rurais à base de cimento.** São Paulo – SP, 1985.

DALLACOR, R., LIMA, H. C., WILLRICH, F. L. **Avaliação da resistência à compressão do solo estabilizado com cimento mais resíduo cerâmico moído na região de Cascavel/PR.** In: XI Encontro Anual de Iniciação Científica. Maringá – PR. 2002.

CAPUTO, HOMERO PINTO. **Mecânica dos solos e suas aplicações, fundamentos.** 6 ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1988.

BAUER, L.A. F. **Materiais de construção.** 5 ed. revisada, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000.

_____ **NBR 7181 - Solo: Análise granulométrica.** Rio de Janeiro, 1984.

_____ **NBR 6459 - Solo-cimento - A Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, 1984.

_____ **NBR 7180** - Solo-cimento - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

RIZZO, R. P.; RIBEIRO, R. A. V. ; LOLLO, J. A.. **Condutividade hidráulica de barreiras de proteção produzidas com solo arenoso estabilizado quimicamente.** In: HOLOS Environment, v. 4, n.2, p, 114., Rio claro – SP, 2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS, DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação.** 2 ed., Rio de Janeiro, 1996.

SILVA, RAFAEL B. DA; FERREIRA, ADRIANO A. E.; COUTO, CAROLINE R.; SEGANTINI, A. A. DA S. **Estudo da resistência à compressão do solo-cimento com adição de resíduos de construção por meio de ensaios em corpos-de-prova cilíndricos.** In: XXI Congresso de Iniciação Científica da UNESP, São José do Rio Preto - SP, 2009.

TRINDADE, TIAGO P.; IASBIK, ISRAEL; LIMA, DARIO C. DE; SILVA, CLÁUDIO H. C., BARBOSA, PAULO S. DE ALMEIDA. **Latossolo vermelho-amarelo reforçado com fibras de polipropileno de distribuição aleatória: estudo em laboratório.** In: Revista Escola de Minas. Ouro Preto, p. 53-58, jan. mar. 2004.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de manifestar seus agradecimentos à Fundação Araucária e UTFPR pelas concessões de bolsas, respectivamente, a primeira autora e ao terceiro autor, e a UTFPR- Campus Pato Branco, pela cessão do espaço para a realização do presente trabalho.