

ANÁLISE MACRO-MECÂNICA DA TERRA COMO REVESTIMENTO EXTERNO COM REFORÇO DE FIBRAS

Larissa Castro de Oliveira¹; João da Costa Pantoja²

¹Centro Universitário de Brasília - UniCEUB, Brasil, laricastro2@gmail.com

²Universidade de Brasília - UnB, Brasil, joaocpantoja@gmail.com

Palavras-chave: arquitetura de terra, revestimento, fibras vegetais, solo, reboco externo

Resumo

Para a sociedade moderna, o solo como matéria-prima para a engenharia civil tornou-se um material não convencional, comumente associado ao emprego das estruturas de terra em regiões habitadas por populações de baixa renda. Ainda que existam dificuldades sociais e limitações para seu uso, as diversas vantagens do solo permitem que edificações possuam bom isolamento térmico e resistência mecânica de modo seguro e sem gerar resíduos ambientais. O presente trabalho tem como objetivo estudar e analisar o comportamento do solo como material construtivo e sua aplicação como revestimento externo com reforço de fibras vegetais. O tema escolhido faz parte de uma linha de pesquisa da área de Arquitetura e Urbanismo sobre sustentabilidade e a utilização do solo do Distrito Federal em construções civis, com o propósito de encorajar futuros projetos de bioarquitetura. O solo para análise foi retirado do canteiro de obras do Espaço Educador Chico Mendes do SinPRO-DF, que também foi objeto de estudo para a pesquisa. Foram realizados testes de caracterização para estudo da composição e limites de consistência do solo. Para o reboco natural, foram produzidos dois tipos de argamassa, sendo um com adição de fibras de sisal e um com tiras de jornal. As misturas do revestimento foram adaptadas e aplicadas em paredes de alvenaria tradicional sobre uma argamassa de cal e areia para melhor aderência. O solo analisado possui traços adequados para o uso em construções. Após os ensaios de arrancamento do revestimento, foi possível determinar sua resistência e produzir um comparativo entre os dois tipos utilizados.

1. INTRODUÇÃO

A aplicação da terra como material construtivo data de milhares de anos. Sua utilização é feita por antigas civilizações não somente em abrigos, mas também em templos religiosos. Os sistemas utilizados já eram variados, existindo registros do uso do solo desde a antiguidade e por diversos países, como: Portugal, França, Alemanha, África e Brasil, devido a sua alta disponibilidade por todo mundo (Minke, 2000).

O uso do solo em construções foi amplamente adotado historicamente e, segundo Jalali e Eires (2008), estima-se que metade da população vive atualmente em construções de terra, realizadas por meio de diversas técnicas, também por seu baixo custo suas características sustentáveis. Contudo, a revolução industrial iniciada no século XVIII inovou a produção mundial e houve grande demanda por materiais construtivos que pudessem ser produzidos em larga escala. A busca por novas tecnologias construtivas assegurou uma produção eficaz para efeitos imediatos, mas em longo prazo os materiais insustentáveis e de difícil reciclabilidade produzem elevado gasto de energia e impacto negativo ao meio ambiente. Os recursos naturais utilizados neste processo industrializado são, em sua maioria, não renováveis e seu uso inconsequente resultou no grande problema climático ambiental que vivemos desde então (Pinto, Ghavami, 2008).

Com a produção de novos materiais, a utilização do solo em construções passou a ser vista como um atraso, comumente associada a populações de baixa renda. Da mesma maneira, a utilização de materiais renováveis ou recicláveis em arquitetura tem sua qualidade arquitetônica mascarada pelo senso comum de que estes produzem uma arquitetura pobre.

O desconhecimento da população e o preconceito acerca dos materiais tornam a aceitação cada vez mais difícil (Pontes, 2013).

O avanço para o desenvolvimento sustentável abre possibilidades para que o uso de terra como material construtivo seja retificado. Os benefícios em utilizar terra em construções civis abrangem desde a coleta da matéria-prima ao possível descarte, em que todas as etapas podem livres de resíduos. Os resultados deste tipo de arquitetura geram também espaços bem isolados termicamente e com boa resistência mecânica.

2. OBJETIVO

A presente pesquisa identifica as características e propriedades de uma amostra do solo do Distrito Federal e verifica o comportamento deste solo como revestimento externo com reforço de fibras, com objetivo de encorajar futuras pesquisas sobre o material e sua utilização em projetos de bioarquitetura.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho é decorrente de uma linha de pesquisa sobre sustentabilidade, com enfoque em sistemas construtivos com solo. O estudo inicia-se com uma pesquisa teórica e observação *in situ* de um canteiro de obras de projeto sustentável com o propósito de entender a aplicação do solo como material construtivo.

Com a caracterização da amostra do solo, é possível verificar sua granulometria e assim produzir uma argamassa com adição de fibras para verificar sua aderência. São produzidos dois tipos de reboco com fibras de origem vegetal: sisal e jornal. As argamassas são aplicadas em alvenaria tradicional chapiscada com uma argamassa de referência, feita de cal e areia. A última etapa da pesquisa consiste em determinar a aderência do reboco, sendo possível assim determinar a resistência dos rebocos quanto à tração e comparar os dois tipos produzidos.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Foram selecionados dois estudos principais para dar suporte à pesquisa. O estudo de mecânica dos solos anterior a este, na mesma linha de pesquisa, foi realizado por Pontes (2013) e é material complementar ao tema abordado. Este trabalho tem o objetivo de identificar as características do solo, sua qualidade e resistência à compressão para a construção de adobe.

Foram realizados ensaios de compressão do solo e foi proposta uma distribuição estatística validada por meio do teste de aderência Kolmodorov-Smirnov, que permite verificar se a distribuição teórica se ajusta ou não ao fenômeno investigado. O teste foi realizado tanto para corpos de prova com cimento como para aqueles sem cimento, testando dois tipos de distribuição de probabilidade: normal e lognormal.

As amostras do solo utilizado nos ensaios de Pontes (2013) foram retiradas também do canteiro de obras do Espaço Educador Chico Mendes, no Distrito Federal. Desta maneira, os ensaios de caracterização do solo realizados neste trabalho podem ter os resultados comparados aos testes realizados na presente pesquisa.

Também como modelo de metodologia, o trabalho de Salgado (2010) serve como embasamento teórico fundamental para a pesquisa. O tema de sua tese, análise macro-mecânica do comportamento da terra como argamassa para revestimentos de terra, é a base da pesquisa atual, sofrendo adaptações com a intenção de gerar resultados favoráveis ao clima e solo do Distrito Federal.

Em seu estudo, Salgado (2010) analisa dois tipos de solo, Tassin e Rochechinard, e utiliza como reforço as fibras curtas de sisal e resíduos de fabricação de fibras curtas de cânhamo. Os testes foram realizados em laboratório e *in situ*, com ensaios de cisalhamento, retração e

flexão. Foi também preparada uma argamassa de referência, feita de cal e areia, sendo este material reproduzido na presente pesquisa. Os benefícios da adição de fibras para a estabilização do solo como revestimento são comprovados no trabalho de Salgado (2010). A elevada razão de aspecto da fibra de sisal, também utilizada na composição da argamassa do presente trabalho, retarda a ruptura do material e melhora o desempenho dos ensaios realizados pela autora.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o estudo teórico, foi possível entender os processos que envolvem sistemas construtivos de terra. Estes processos também foram apreendidos durante a coleta de amostra do solo que foi estudado nesta pesquisa, no canteiro de obras do Espaço Educador Chico Mendes em área rural de Brazlândia, Distrito Federal. Este local é parte da Chácara do Professor do Sindicato dos Professores do DF (SinPRO-DF) e foi criado com base na permacultura e bioarquitetura, tendo a utilização do solo como parte fundamental do projeto.

Foram observados os diversos tipos de vedações aplicadas na obra (Figura 1), utilizando-se de processos vernáculos em terra como taipa de pilão, pau a pique e adobe para produzir espaços com estética contemporânea. As etapas seguintes buscam verificar o comportamento do solo como revestimento externo a ser aplicado em projetos de bioarquitetura desta natureza, buscando demonstrar o potencial do material em construções civis.



Figura 1 – Espaço Educador Chico Mendes em fase de construção.

5.1. Classificação granulométrica do solo

A primeira etapa da pesquisa consiste em uma análise do solo utilizado para preparo das argamassas. Com este estudo, é possível determinar sua composição granulométrica e classificar o solo e suas propriedades. “Sendo o solo natural um material complexo e variável” (Casagrande, 2001, p. 1), seu estudo é essencial para que sejam identificados tipos de terra que sejam favoráveis à aplicação em construções.

As amostras do solo foram preparadas de acordo com a norma NBR 6457 (ABNT, 1986). Foram pesados 1500 g do solo para a análise granulométrica. De acordo com a NBR 7181 (ABNT, 1984), a análise de granulometria por sedimentação deve ser feita com defloculante e, para comparação, foi realizada também apenas com adição de água destilada. Imediatamente após a agitação no copo de dispersão, foi mergulhado um densímetro para medições periódicas segundo a norma. Um termômetro também foi utilizado para medir a oscilação da temperatura da amostra. Os resultados são apresentados a seguir e indicam 59,5% de argila na composição do solo, sendo, portanto, um solo argiloso. O estudo anterior a este, realizado por Pontes (2013), apresentou resultados semelhantes quanto à caracterização do solo. O solo apresentou-se argiloso, com 64,8% de argila na composição, reforçando desta forma a coerência da classificação do solo do Distrito Federal.

Tabela 1 – Caracterização do solo (com defloculante).

d (mm)	% mat. passa	% mat.ret.	material	% do material
50,80	100,0	0,0	20,0<Pedregulho grosso<60,0	0,0
38,10	100,0	0,0		
25,40	100,0	0,0		
19,10	100,0	0,0	6,0<Pedregulho médio<20,0	0,0
9,52	100,0	0,0		
4,76	100,0	0,0	2,0<Pedregulho fino<6,0	0,1
2,00	99,9	0,1		
1,190	98,9	1,1	0,6<Areia grossa<2,0	3,1
0,590	96,7	3,3	0,2<Areia média<0,6	6,0
0,420	95,3	4,7		
0,250	92,3	7,7		
0,149	89,3	10,7	0,06< Areia fina <0,2	12,3
0,074	86,9	13,1		
0,0553	78,5	21,5		
0,0391	78,5	21,5		
0,0278	76,7	23,3	0,002 < Silte < 0,06	19,0
0,0190	76,0	24,0		
0,0135	74,7	25,3		
0,0100	72,4	27,6		
0,0071	70,4	29,6		
0,0051	67,4	32,6		
0,0037	64,4	35,6		
0,0026	62,3	37,7		
0,0019	58,6	41,4		
0,0011	52,8	47,2		
			Argila < 0,002	59,5
				100,0

5.2. Fibras utilizadas

A utilização de fibras como reforço de solos é uma técnica empregada pelo homem desde muitos anos. Camadas intercaladas de solo e manta de raízes foram empregadas na Mesopotâmia (1400 a.C.) para a construção de muralhas. Na Grande Muralha da China e em estradas construídas pelos Incas, no Peru, também se encontram indícios da utilização de fibras (Salgado, 2010).

A utilização histórica do solo como material construtivo associa-se ao uso de fibras como reforço, para melhorar o desempenho com relação à resistência mecânica e evitar fissuras ou deformações. Os primeiros tipos de fibras utilizadas pela humanidade foram as fibras naturais, que podem atingir grandes resistências (Casagrande, 2001). Além das fibras naturais, são também utilizadas fibras de origens diversas, como as fibras poliméricas, minerais e metálicas.

Para esta pesquisa foram escolhidas duas fibras: sisal e jornal. A fibra de sisal foi escolhida para esta pesquisa com base no trabalho de Salgado (2010). O sisal possui diversas espécies catalogadas, sendo o Brasil um dos maiores produtores destas fibras. O clima tropical do Brasil é favorável ao crescimento da fibra, que se renova rapidamente. Seu uso também é comumente associado a produtos de artesanato e, quando aplicado como reforço em construções, apresenta grande resistência mecânica (Salgado, 2010).

Alguns materiais fibrosos utilizados pela sociedade não são totalmente reciclados e agravam o grande problema ambiental que enfrentamos. Segundo Salgado (2010), várias fibras

poliméricas, material constituinte das garrafas plásticas, estão sendo utilizadas como reforço de solos. Seguindo este pensamento, foi proposta a utilização de jornal como elemento fibroso para o reforço do revestimento estudado. Não foram encontrados estudos que utilizem o jornal para a mesma finalidade, mas acredita-se que a origem vegetal do material resulte em uma boa resistência, aliada a seu reaproveitamento.

5.3. Execução dos revestimentos

Esta etapa foi realizada em Brasília-DF, durante os meses maio e junho de 2014, com clima de temperatura elevada e pouca chuva. As argamassas produzidas para análise têm como referência os traços realizados por Salgado (2010), com algumas adaptações. Duas paredes baixas, construídas para estudo acadêmico, foram escolhidas como local de aplicação das argamassas de estudo. Ambas as paredes são de alvenaria tradicional, sendo a Parede 1 passível de bastante radiação solar direta e a Parede 2 ligeiramente mais sombreada.

Antes da aplicação do revestimento, as paredes receberam uma argamassa de referência para melhorar a aderência entre o reboco e a alvenaria. Esta argamassa, um chapisco que antecede a aplicação do reboco, foi produzida com o mesmo traço utilizado por Salgado (2010): 0,61 kg de cal (hidratada), 4,48 kg de areia e 1,7 L de água.

Após a aplicação da argamassa de referência, foram produzidos dois traços com proporções baseadas nos traços obtidos por Salgado (2010), com algumas adaptações para que a argamassa obtivesse boa consistência para aplicação. A utilização da fibra de sisal e da fibra de jornal nas misturas será analisada separadamente, tendo cada parede uma amostra de cada traço (Figura 2).



Figura 2 – Parede 1 (à esquerda, reboco com fibra de jornal; à direita, reboco com fibra de sisal)

Após o preparo, cada mistura foi aplicada na superfície da parede previamente chapiscada com a argamassa de referência. A Parede 1 recebeu a argamassa de referência dia 28 de maio e foi rebocada dois dias depois, dia 30 de maio, mesmo dia em que a Parede 2 recebeu o chapisco. Os revestimentos de terra da Parede 2 foram realizados dia 2 de junho, dois dias após a aplicação do reboco na Parede 1.

Cada parede foi rebocada com os dois tipos de argamassa produzidas. O reboco foi arremessado de uma distância de aproximadamente 30 cm e alisado com a colher de pedreiro. Depois da aplicação, o revestimento foi alisado novamente com uma espátula, dando o acabamento final.

5.4. Ensaio de aderência à tração

Os ensaios ocorreram segundo a norma NBR 13755 (ABNT, 1996) e foram realizados duas semanas após a aplicação dos rebocos. As pastilhas para o ensaio foram coladas ao revestimento um dia de antecedência com uma massa adesiva plástica cinza e, para acelerar a reação, foi utilizado um líquido catalizador. Os pontos de teste foram escolhidos aleatoriamente, como indicado pela norma NBR 13755, de maneira distribuída na área da parede rebocada.

Com o auxílio de um equipamento elétrico dotado de disco de corte, os primeiros corpos de prova foram cortados com forma circular. Entretanto, em alguns pontos houve grande dificuldade em realizar o corte sem desmanchar o revestimento. Portanto, optou-se por realizar cortes com forma quadrada, seccionando um lado de cada vez por uma linha, evitando assim danificar a amostra antes do teste. Em seguida foram coladas as pastilhas metálicas, colocando-se calços de apoio para evitar que caíam antes da secagem da massa colante.

Com as pastilhas presas e após um dia de secagem, utilizou-se o equipamento de tração para execução do ensaio (Figura 3). A máquina foi acoplada perpendicularmente ao corpo de prova e foram aplicadas cargas de maneira lenta e progressiva até sua ruptura.



Figura 3 – Máquina de tração

5.5. Resultados obtidos

Para revestimentos externos convencionais, é adotado o valor 0,3 MPa de resistência mínima à tração. O reboco com adição de fibra de sisal, além de ter sua superfície com bastante fissuras, teve o desempenho baixo com exceção de alguns pontos em que a fibra acumulou-se e garantiu maior resistência. O reboco com adição do jornal picotado não apresentou muita fissura na superfície e os valores de resistência mantiveram-se mais uniformes. Todos os corpos de prova, entretanto, apresentaram valores dez vezes abaixo que 0,3 MPa, como podem ser observados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Pontos ensaiados na Parede 1 (MPa)

Fibra de sisal	Fibra de jornal
0	0
0,0256	0,0221
0,0016	0,0155
0,0080	0,0157
0,0122	0
sem valor	0,0135

*Tensão em MPa para cada ponto ensaiado.

Tabela 3 – Pontos ensaiados na Parede 2 (MPa)

Fibra de sisal	Fibra de jornal
0,0275	0,0101
0	0,0159
0	0,0085
0,0034	sem valor

*Tensão em MPa para cada ponto ensaiado

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram expressos os resultados da análise macro-mecânica de revestimentos de terra com reforço de fibras vegetais aplicados em Brasília-DF. Os rebocos produzidos, com adição de fibra de sisal e fibra de jornal, apresentaram resultados inferiores aos materiais convencionais comumente utilizados em construções. Portanto, apesar de apresentar bons resultados sob a influência de forças de compressão no trabalho de Pontes (2013), o solo argiloso aqui estudado não apresentou resultados satisfatórios de resistência de aderência à tração. Quanto à adição das fibras, observa-se maior desempenho do jornal

como reforço, enquanto o sisal apresentou altos níveis de resistência em apenas alguns trechos em que a fibra havia se acumulado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1986). NBR 6457 - Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1984). NBR 7181 – Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1996). NBR 13755 – Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT.

Casagrande, Michéle Dal Toé (2001). Estudo do comportamento de um solo reforçado com fibras de polipropileno visando o uso como base de fundações superficiais. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Jalali, Said; Eires, Rute (2008). Inovações científicas de construção em terra crua. Conferência Internacional – Angola: Ensino, Investigação e Desenvolvimento (EIDAO 8). Portugal.

Minke, Gernot (2006). Building with earth: Design and technology of a sustainable architecture. Birkhäuser: Publishers for Architecture.

Pinto, André Ricardo Alves Guedes; Ghavami, Khosrow (2008). Fibras de curauá e sisal como reforço em matrizes de solo. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Pontes, Larissa Almeida Martins (2013). Caracterização e determinação de uma distribuição probabilística representativa da resistência à compressão de solos argilosos via ensaios experimentais para aplicação da análise de confiabilidade em estruturas feitas de terra. Pirenópolis: Cilance.

Salgado, Fernanda de Andrade (2010). Análise macro-mecânica do comportamento da terra como revestimento externo, com ou sem reforço de fibras vegetais. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio, Rio de Janeiro.

AUTORES

Larissa Castro de Oliveira, graduanda em Arquitetura e Urbanismo pelo Centro Universitário de Brasília – UniCEUB em Brasília); realizou pesquisa de iniciação científica com bolsa do CNPq sobre análise macromecânica do comportamento da terra como revestimento externo com reforço de fibras vegetais. Currículo completo em: <http://lattes.cnpq.br/8315255934915622>.

João da Costa Pantoja, engenheiro civil pela Universidade de Brasília – UnB (1991), mestre em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília (2003) e doutor na área de Estruturas pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC (2012). Professor Adjunto da Universidade de Brasília, tem experiência em análise estrutural, análise de confiabilidade e patologia e recuperação de estruturas. Currículo completo em: <http://lattes.cnpq.br/6879105340639188>.