



Fernanda de Andrade Salgado

**Análise macro-mecânica do comportamento
da terra como revestimento externo, com ou
sem reforço de fibras vegetais**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Khosrow Ghavami

Rio de Janeiro
Setembro de 2010



Fernanda de Andrade Salgado

**Análise macro-mecânica do comportamento
da terra como revestimento externo, com ou
sem reforço de fibras vegetais**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada
pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Khosrow Ghavami

Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Michéle Dal Toé Casagrande

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Conrado de Souza Rodrigues

CEFET MG

Normando Perazzo Barbosa

UFPB

Rosana Soares Bertocco Parisi

PUC - Minas Gerais

José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 14 de Setembro de 2010

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora, do orientador e do co-orientador.

Fernanda de Andrade Salgado

Graduou-se em Engenharia Civil com ênfase em estruturas e ambiental pela PUC-Rio (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro) em julho de 2008. Durante a graduação, foi monitora de Álgebra Linear I, de Laboratórios de Fluidos e Termodinâmica e participou do projeto de Iniciação Científica no Departamento de Física denominado “Magnetismo de Pinturas a Óleo”, de agosto de 2004 a julho de 2006. Ingressou no mestrado na PUC-Rio em agosto de 2008 e participou do “Projeto de Confiabilidade e Análise de Risco de Redes de Transmissão” da parceria PUC-Eletronuclear de fevereiro a julho de 2009.

Ficha Catalográfica

Salgado, Fernanda de Andrade

Análise macro-mecânica do comportamento da terra como revestimento externo, com ou sem reforço de fibras vegetais / Fernanda de Andrade Salgado ; orientador: Khosrow Ghavami ; co-orientador: Jean Claude Morel. – 2010.

126 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2010.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Argamassa. 3. Construção com terra. 4. Fibras vegetais. 5. Revestimento. I. Ghavami, Khosrow. II. Morel, Jean Claude. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

Aos meus pais, Cláudia e Ronald, ao meu irmão, Guilherme, e ao meu noivo, Luís Fernando, pelo amor, compreensão e incentivo.

Agradecimentos

Aos meus pais, Cláudia e Ronald, que me ensinaram desde cedo a ser persistente, não desistir dos meus sonhos e a acreditar em mim mesma. Obrigada pelo apoio, carinho, amor, paciência e indiscutível crença na minha capacidade. Amo vocês.

Ao Guilherme, por me mostrar um pouco mais a cada dia o verdadeiro significado da palavra irmão. Obrigada pela amizade, companhia, amor, confiança e sinceridade acima de tudo.

Ao Luís Fernando, pelo seu amor e carinho em todos os momentos, por saber me ouvir, por me aconselhar, por cuidar de mim, por alegrar minha vida e torná-la melhor. Obrigada por todos os segundos que passamos juntos.

À Cidinha, pela atenção e cuidado dispensados desde o meu primeiro dia de vida. Seu carinho nunca será esquecido.

Ao professor Khosrow Ghavami pelos conselhos, pela orientação do meu trabalho, pelos conhecimentos transmitidos e, sobretudo, pela atenção e interesse demonstrados. Sem dúvida os seus ensinamentos, que muitas vezes saíam do campo da engenharia civil, seguirão comigo ao longo de toda a minha vida.

Ao professor Jean Claude Morel, por ter prontamente aceitado a ideia de me receber na ENTPE, e também pela sua disponibilidade, simpatia e ensinamentos durante todo o trabalho.

Ao Erwan, pela ajuda na realização dos ensaios na ENTPE e pela excelente companhia.

Aos membros do Grupo NOCMAT da PUC-Rio pelos momentos de convívio. Um agradecimento especial à Ana Cristina, João e André, pelos conselhos e ajuda na elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos da PUC-Rio, em especial para os meninos da sala 609L, à Paloma e à Louise, pelas inúmeras risadas e companheirismo durante todo o mestrado.

A todos os professores da engenharia civil da PUC-Rio com os quais tive o prazer de conviver e aprender durante a graduação e o mestrado. Aos funcionários do departamento, pela colaboração ao longo dos anos na PUC-Rio e pelo convívio prazeroso.

Ao CNPq e à FAPERJ pela concessão das bolsas de estudo.

Resumo

Salgado, Fernanda de Andrade; Khosrow, Ghavami (Orientador); Morel, Jean Claude (Co-orientador). **Análise macro-mecânica do comportamento da terra como revestimento externo, com ou sem reforço de fibras vegetais.** Rio de Janeiro, 2010. 126 p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O objetivo deste trabalho foi a análise macro-mecânica do comportamento da terra como argamassa para revestimentos de terra. Não foram encontradas referências a estudos semelhantes a este, tratando-se portanto de um estudo pioneiro, no Brasil e no exterior. Os revestimentos foram aplicados em um substrato de terra batida de 50 e 30 cm de altura e de largura, respectivamente. Foram analisados revestimentos fabricados com 17,5%, 12%, 9% e 6% em peso de argila em relação ao material seco para dois solos distintos: Tassin (ilítico) e Rochechinard (caulinítico). Como revestimento de referência, foi fabricada uma argamassa de cal e areia (1:3). Além disso, foi avaliado o efeito da inclusão de duas fibras existentes no mercado: fibras curtas de sisal (*Agave sisalana*), naturais do Brasil, e resíduos de fabricação de fibras curtas de cânhamo (*Cannabis sativa*), provenientes da França. Tais fibras foram empregadas somente em corpos-de-prova de Rochechinard com 17,5% e 12% em peso de argila em relação ao material seco, e adicionadas ao solo em uma porcentagem de 0,5% do peso do solo seco, com as mãos. Sisal possui seção circular com valores médios de 0,15 mm de diâmetro e 40 mm de comprimento; cânhamo é considerado como seção retangular de 2x5 mm de área e comprimento de 20 mm. Para todos os revestimentos foram realizadas observações visuais *in situ* da retração. Em seguida, os revestimentos foram ensaiados ao cisalhamento através da adição de 250 g, até a ruptura, a cada 30 s em um quadro retangular de madeira, que era pendurado nas amostras. No laboratório, a retração restringida em 4 lados e a resistência à flexão foram testadas em amostras prismáticas. Foi observado que tanto a retração quanto a resistência à flexão aumentam com o teor de argila. Além disso, os compósitos de solo com sisal apresentaram, em geral, maiores resistências àqueles em que houve emprego de cânhamo.

Palavras-chave

Argamassa; construção com terra; fibras vegetais; revestimento.

Abstract

Salgado, Fernanda de Andrade; Khosrow, Ghavami (Advisor); Morel, Jean Claude (Co-advisor). **Macro-mechanical analysis of earth as external finishing, with or without vegetable fibers.** Rio de Janeiro, 2010. 126 p. MSc. Report – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work analyzes the macro-mechanical behavior of earth when it is used as a raw material for finishing. It is a pioneer study in Brazil and abroad. The finishings were applied on a rammed earth wall of 50 of height and 30 cm of width. Finishings fabricated with four different clay contents (17,5%, 12%, 9% and 6% by weight of clay in relation to the dry material) were analyzed for two different soils. Each one of these soils has a predominant type of clay: Tassin (with illite in greater quantity) and Rochechinard (with kaolinite in greater quantity). As a reference finishing, it was fabricated a mortar of lime and sand (1:3). Furthermore, the behavior of two fibers was evaluated: short sisal fibers (*Agave sisalana*), natural from Brazil, and residue from the manufacture of short hemp fibers (*Cannabis sativa*), from France. These fibers were used only in samples of Rochechinard with two clay contents (17.5% and 12% by weight of clay in relation to the dry material). The fibers were added to the soil on a percentage of 0.5% by weight of dry soil, manually. Sisal has circular section with average values of 0.15 mm of diameter and 40 mm long; hemp fiber is considered as a rectangular section with 2 mm of height, 5 mm of width and 20 mm long. For all finishings, visual observations of shrinkage were performed *in situ*. Those finishings with higher clay content dropped from the support. The finishings which did not fell were tested in shear. For this, a load of 250 g was added, until rupture, in every 30s on a rectangular wood frame (600 g weight), that was hung in the samples. In laboratory, linear shrinkage and flexural strength were tested on prismatic samples. It was observed that both shrinkage and flexural strength increase with clay content. Regarding the addition of fibers, it was found that the composites fabricated with sisal had generally better results than those with hemp.

Keywords

Earth construction; finishing; mortars; vegetable fibers.

Sumário

1. Introdução	17
1.1 Problema e relevância	17
1.2 Objetivos	19
1.3 Desenvolvimento da pesquisa.....	20
2. Revisão bibliográfica	21
2.1 Histórico do material terra	21
2.2 Organizações, centros de estudo e projetos	33
2.3 Propriedades da terra para uso da terra na construção civil.....	33
2.4 Solo: definição e classificação.....	35
2.5 Argila e sua importância no solo	36
2.6 A água no solo	37
2.6.1 Densidade seca e umidade ótima	38
2.6.2 Limites de plasticidade	39
2.6.3 Ação da água no solo: expansão e retração	40
2.7 Estabilização do solo.....	42
2.7.1 Adição de cimento	43
2.7.2 Adição de cal	44
2.7.3 Adição de betume	45
2.7.4 Adição de fibras	46
2.8 Materiais compósitos fibrosos.....	50
2.8.1 Aderência matriz-fibra	51
2.9 Revestimentos.....	52
2.9.1 Princípios para aplicação	52
2.9.2 Propriedades dos revestimentos de terra	54
2.9.3 Revestimentos à base de cal e à base de cimento	57
2.9.4 Verificação da aderência ao substrato – Ensaio <i>pull-off</i>	57
2.10 Tipos de construção com terra.....	58
2.10.1 Terra batida (Rammed earth / Pisé)	59
2.10.2 Taipa (Wattle-and-daub / Torchis)	60
2.10.3 Adobe (Adobe / Adobe)	61
2.10.4 BTC - Bloco de Terra Comprimida (CEB / BTC)	62
2.11 Arquitetura climática	64
2.12 Ensaios mecânicos	66
2.12.1 Ensaio de consistência (Vicat)	67
2.12.2 Ensaio de cisalhamento	67
2.12.3 Ensaio de flexão 3 pontos	67
2.12.4 Retração	68
2.13 Considerações finais	69

3. Programa experimental.....	70
3.1 Materiais utilizados	70
3.2 Preparação do material.....	74
3.3 Descrição dos ensaios	77
3.3.1 Ensaio de consistência (Vicat).....	78
3.3.2 Retração <i>in situ</i>	78
3.3.3 Ensaio de cisalhamento	79
3.3.4 Retração linear	81
3.3.5 Ensaio de flexão 3 pontos	82
3.4 Considerações finais.....	83
4. Análise dos resultados	84
4.1 Ensaio de consistência (Vicat).....	84
4.2 Retração <i>in situ</i>	85
4.3 Ensaio de cisalhamento	90
4.4 Ensaio de flexão 3 pontos	95
4.5 Retração linear.....	98
4.6 Traços de terra.....	100
5. Considerações finais	102
5.1 Conclusões	102
5.1.1 Quanto ao teor de água e o teor de argila	102
5.1.2 Quanto à resistência ao cisalhamento	102
5.1.3 Quanto à retração (<i>in situ</i> e restringida em 4 lados)	103
5.1.4 Quanto à resistência à flexão 3 pontos	103
5.1.5 Conclusão geral: escolha do revestimento ideal	104
5.2 Sugestões para futuros trabalhos.....	104
6. Referências bibliográficas	106
7. Referências eletrônicas	111
8. Apêndices e anexos	114

Lista de figuras

Figura 2.1: Produção de blocos no Egito, tal como representada numa pintura do túmulo de Rekhmara em Thebes (LOURENÇO, 1999).....	21
Figura 2.2: Cidadela de Bam, Irã (www.wikipedia.com Acesso: mar/2010; autor: M.Gray).	22
Figura 2.3: Ruínas de Tchogha Zanbil, Irã (fonte: World Heritage Collection). ..	22
Figura 2.4: Cúpula de Soltaniyeh, Kerman, Irã (www.wikipedia.com Acesso: mar/2010; autor: B. Sedighi).	23
Figura 2.5: Shibam, Iêmen – “A Manhattan do deserto” (www.wikipedia.com Acesso: mar/2010; autor: J. Gao).	23
Figura 2.6: Itchan Kala, Uzbequistão (fonte: World Heritage Collection).	24
Figura 2.7: Ruínas de Moenjodaro, Paquistão (www.wikipedia.com Acesso: mar/2010; autor: J. Han).	24
Figura 2.8: Mesquita de Bagerhat, Bangladesh (www.wikipedia.com Acesso: mar/2010; autor: M. Hasan).....	25
Figura 2.9: Cidade de Sana’a, Iêmen (www.wikipedia.com Acesso: mar/2010; autor: F. Bandarin).....	25
Figura 2.10: Cidade de Zabid, Iêmen (www.wikipedia.com Acesso: mar/2010; autor: V. Dauge).	26
Figura 2.11: Ksar de Ait-Ben-Haddou, Marrocos (www.photosbymartin.com Acesso em mar/2010).	27
Figura 2.12: Tumba de Askia, em Gao, Mali (www.wikipedia.com Acesso: mar/2010; autor: T. Joffroy).	27
Figura 2.13: Mesquita de Djenné (www.wikipedia.com Acesso: mar/2010; autor: F. Bandarin).	28
Figura 2.14: Timbuktu, Mali (www.wikipedia.com Acesso: mar/2010; autor: F. Bandarin).	29
Figura 2.15: Habitações da civilização Asante, Gana (www.wikipedia.com Acesso: mar/2010; autor: Sébastien Moriset).....	29
Figura 2.16: Portal Soron Gabjeje, Nigéria (www.wikipedia.com Acesso: mar/2010; autor: S. Chakera).....	30
Figura 2.17: Isle d’Abeau (MAIRIE ISLE D’ABEAU, 2010).....	30
Figura 2.18: Edificação em Tujilo, Peru (BARBOSA E GHAVAMI, 2007).	31
Figura 2.19: Casas em Minas Gerais, Brasil (BARBOSA E GHAVAMI, 2007). ..	31
Figura 2.20: Construção moderna nos EUA e igreja na França, ambas de terra batida (BARBOSA E GHAVAMI, 2007).	32
Figura 2.21: Centro Comunitário de Camburi (autor: K. Ghavami).	32
Figura 2.22: Partícula de argila (BARBOSA E GHAVAMI, 2007).	36

Figura 2.23: Diferentes fases no solo - (A) duas fases (grãos e água-ar); (B) Três fases (grãos, água e ar, separadamente) (BARBOSA E GHAVAMI, 2007).	37
Figura 2.24: Densidade seca x teor de água (adaptado de SPENSE E COOK, 1983).	38
Figura 2.25: Limites de consistência (BARBOSA E GHAVAMI, 2007).	39
Figura 2.26: Relação entre o limite de retração (LR) e as variações de volume, do solo e da água evaporada, durante a secagem (NEVES <i>et al.</i> , 2010).	40
Figura 2.27: Escolha do tipo de estabilizante em função do Índice de Plasticidade (IP) e da granulometria da terra (Houben e Guillaud <i>apud</i> NEVES <i>et al.</i> , 2010).	43
Figura 2.28: Diferentes tipos de cânhamo (www.terrachanvre.com Acesso em fev/2010).	49
Figura 2.29: Curva tensão-deformação de compósitos com diferentes reforços fibrosos (GHAVAMI, 2008).	50
Figura 2.30: Modelo de fissuração do compósito com fibras (Chawla <i>apud</i> SALES, 2006).	51
Figura 2.31: Função do revestimento (www.anah.fr Acesso em abr/2010).	52
Figura 2.32: Revestimento de terra no Saara, Argélia (DETHIER, 1982).	53
Figura 2.33: Revestimento aplicado em três camadas (www.anah.fr Acesso em abr/2010).	54
Figura 2.34: Casa com revestimento de terra na Síria (fonte: Projeto MEDA-Corpus).	54
Figura 2.35: Fachada ornamentada em Al Juba, Iêmen (DETHIER, 1982).	55
Figura 2.36: Modos de uso da terra: A) Alvenaria de blocos de terra comprimida; B) Paredes monolíticas (terra batida); C) Técnica mista (taipa-de-mão) (BARBOSA E GHAVAMI, 2007).	58
Figura 2.37: Conjunto de habitações sociais em Villefontaine, Isère, França (CITÉ DE SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE, 2009).	59
Figura 2.38: A) Casa de taipa de mão, PE, Brasil (autor: Patrick); B) Casas de taipa de pilão, SP, Brasil (autor: H.T.P. Filho).	61
Figura 2.39: Produção de Blocos de Adobe (autor: Soare).	62
Figura 2.40: BTC (www.wikipedia.com Acesso mar/2010; autor desconhecido).	63
Figura 2.41: Quatro diferentes tipos de construção em quatro diferentes regiões climáticas do Irã (GHOBADIAN, 1994).	64
Figura 2.42: Viela em cidade do Irã (ZAIMI, 2010).	65
Figura 2.43: Dolatabad Garden, em Yazd, Irã (ZAIMI, 2010).	65
Figura 2.44: Modelos de catavento - A) Através da tração e sucção; B) Através da diferença de temperatura (ZAIMI, 2010).	66
Figura 3.1: Muro localizado na fazenda de Allivoz (França).	70

Figura 3.2: Curva granulométrica do muro de Allivoz (autor: E. Hamard, ENTPE).	71
Figura 3.3: Granulometria - ensaio de peneiramento (autor: E. Hamard, ENTPE).	72
Figura 3.4: Tassin, Rochechinard e areia de Hostun (em laboratório) (autor: F. Salgado).	72
Figura 3.5: (A) Cânhamo e (B) Sisal (autor: F. salgado).	73
Figura 3.6: Fibras de cânhamo - esquema.	74
Figura 3.7: Preparação do substrato - (A) Escovação, (B) Umidificação e (C) Camada de fixação (argamassa de cal) aplicada ao substrato.	74
Figura 3.9: A) Lançamento do material de referência (cal + areia); B) Regularização da superfície do traço TA 12% em peso de argila.	77
Figura 3.10: Teste de Vicat <i>in situ</i>	78
Figura 3.11: Amostra quadrada de 25 cm x 25 cm x 2 cm (R 9% em peso de argila).	79
Figura 3.12: Corte da amostra de Tassin (TA 12% em peso de argila).	79
Figura 3.13: Adição de argamassa de cal no topo de amostras “estado natural”. ..	80
Figura 3.14: Exemplo do teste de cisalhamento – TA 9% suportando 10,1 kg.	81
Figura 3.15: Amostras de 4 cm x 4 cm x 16 cm de R 9% em peso de argila.	81
Figura 3.16: Esquema do ensaio de Flexão 3 Pontos (NF 1015-11, 1999).	82
Figura 3.17: Exemplo do ensaio de Flexão 3 Pontos (R 12% em peso de argila). ..	82
Figura 4.1: Penetração x Teor de água - Tassin.	84
Figura 4.2: Penetração x Teor de água - Rochechinard.	85
Figura 4.3: Traço 6 – Revestimento descolou do substrato em toda sua metade superior mas não tombou.	88
Figura 4.4: (A) TA 17,5% e (B) TA12% em peso de argila antes da aplicação da 2ª camada.	88
Figura 4.5: Revestimentos descolaram do substrato, mas não tombaram – A) Traço F1 (17,5% de argila); B) Traço F3 (9% de argila); C) Traço F4 (6% de argila).	90
Figura 4.6: Resistência ao cisalhamento x Espessura – Tassin (separado por modo de fabricação).	91
Figura 4.7: Resistência ao cisalhamento x Espessura – Rochechinard (separado por modo de fabricação).	92
Figura 4.8: Resistência ao cisalhamento x Espessura – Tassin (sem separar por modo de fabricação).	92
Figura 4.9: Resistência ao cisalhamento x Espessura – Rochechinard (sem separar por modo de fabricação).	93
Figura 4.10: Resistência ao cisalhamento x teor de argila - Tassin e Cal + areia. ..	93

Figura 4.11: Resistência ao cisalhamento x teor de argila - Rochechinard e Cal + areia.	94
Figura 4.12: Resistência ao cisalhamento de Rochechinard e Rochechinard estabilizado com fibras de sisal, cortados e em estado natural.....	94
Figura 4.13: Resistência ao cisalhamento de Rochechinard e Rochechinard estabilizado com fibras de cânhamo, cortados e em estado natural.	95
Figura 4.14: Resistência à flexão x teor de argila (sem adição de fibras).	96
Figura 4.15: Resistência à flexão x fator w/clay (sem adição de fibras).	96
Figura 4.16: Resistência à flexão x teor de argila – sisal.	97
Figura 4.17: Resistência à flexão x teor de argila – cânhamo.	97
Figura 4.18: Ruptura de R 17,5% em peso de argila + sisal (Traço F1).	98
Figura 4.19: Retração linear e teor de argila – Tassin, Rochechinard e Cal + areia.	98
Figura 4.20: Retração linear x fator w/clay (sem fibras).	99
Figura 4.21: Retração linear x teor de argila – sisal.	99
Figura 4.22: Retração linear x teor de argila – cânhamo.	100

Lista de tabelas

Tabela 2.1: Classificação das partículas do solo de acordo (em mm).....	36
Tabela 2.2: Classificação dos solos pelo Índice de Plasticidade (NEVES <i>et al.</i> , 2010).....	39
Tabela 2.3: Fibras não naturais - propriedades (adaptado de FIGUEIREDO, 2000).....	47
Tabela 2.4: Classificação das fibras em função do comprimento (GHAVAMI <i>et al.</i> , 1999).....	48
Tabela 2.5: Propriedades das fibras de sisal (adaptado de SALES, 2006).....	48
Tabela 2.6: Relação solo e cimento em função da retração restringida em 4 lados (Cevallos <i>apud</i> NEVES <i>et al.</i> , 2010).....	68
Tabela 3.1: Ensaio de azul de metileno do muro de Allivoz (autor: E. Hamard, ENTPE).	71
Tabela 3.2: Propriedades de Rochechinard e Tassin (P'KLA, 2002).....	71
Tabela 3.3: Propriedades do sisal e do cânhamo utilizados.	73
Tabela 3.4: Propriedades dos traços de Tassin, Rochechinard e Cal+areia.	75
Tabela 3.5: Propriedades dos diferentes traços de Rochechinard com fibras.	76
Tabela 4.1: Retração <i>in situ</i> dos revestimentos de terra (sem fibras) e de cal + areia.	85
Tabela 4.2: Retração <i>in situ</i> dos revestimentos estabilizados com fibras.....	89
Tabela 4.3: Proposta de traço para revestimento de terra – Tassin e Rochechinard.	101

Lista de símbolos

h	Altura
A	Área
m_{rup}	Massa de ruptura
F	Força máxima (para BTC)
L	Comprimento
γ_d	Densidade seca
γ_{dmax}	Densidade seca máxima
γ_h	Densidade úmida
d	Distância entre rótulas (Flexão 3 pontos)
e	Espessura
IP	Índice de Plasticidade
IHG	Irradiação Horizontal Global
l	Largura
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
m_w	Massa de água
m_{max}	Massa máxima (para revestimentos)
m_d	Massa seca
m_h	Massa úmida
m_{hi}	Massa úmida antes do ensaio
E	Módulo de elasticidade
R_f	Resistência à Flexão
σ_c	Resistência máxima à compressão
T	Temperatura
W	Teor de água
τ_{rup}	Tensão de cisalhamento
w_{ot}	Umidade ótima
HR	Umidade Relativa
V_h	Volume

“We must embrace the best of the past, combine it with the best of the present, to produce what is best for the future.”

Larry Williamson, *EarthCoMegablock*

“Engenharia é a nobre profissão que tem por objetivo aplicar os conhecimentos científicos para melhorar as condições materiais de existência da humanidade, preservando e aperfeiçoando o meio ambiente.”

Fernando Lobo Carneiro, *Discurso de agradecimento pelo título de Doutor Honoris Causa da UFRJ em 1987*