

Degradação de fibras naturais para solos reforçados

Lucas Lima da Rocha Pitta

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, lucas.pitta.enc@gmail.com

José Camapum de Carvalho

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, camapumdecarvalho@gmail.com

Kaliana Christina dos Santos Sales

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, kaliana@unb.com.br

RESUMO:

No Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília vem sendo estudado o uso de fibras naturais na melhoria do comportamento mecânico dos solos. De modo a averiguar a questão da durabilidade dessas fibras naturais em contato com o solo o presente artigo tem como objetivo estudar a degradação da fibra natural fio de cabelo humano em meio natural e os mecanismos envolvidos em sua decomposição. Analisou-se a evolução da degradação do cabelo misturado ao solo exposto a condições climáticas naturais, além de se observar como a imersão em soluções de pH variando do ácido ao básico afeta sua integridade. Estudou-se a variação do diâmetro do cabelo seco e saturado, e por fim obteve-se a curva característica de retenção de água das fibras. Observou-se que mesmo após 20 semanas de exposição, não ocorreu degradação perceptível da fibra, assim como prolongada imersão em soluções de pH ácido e básico não levou a perda significativa de seção. A variação de diâmetro por saturação foi de 4,68%, em média, estando dentro dos limites esperados descritos na literatura, e a curva característica de retenção de água foi obtida seguindo a norma da ASTM para a determinação da sucção matricial em solos. Utilizou-se no estudo um solo laterítico argiloso, profundamente intemperizado, e um solo saprolítico siltoso, pouco intemperizado. Concluiu-se que em solos lateríticos profundamente intemperizados, como os utilizados nos ensaios, não ocorreu decomposição das fibras no período observado, mantendo suas características físicas inalteradas, assim como meios ácidos e básicos também não apresentam capacidade direta de degradar as fibras. Constatou-se que a saturação das fibras levou a expansão diametral, como esperado, e conclui-se da curva característica de retenção de água, que as fibras capilares não afetam de maneira relevante a umidade do solo, por reterem pouca água em sua microestrutura. Destaca-se que essas fibras apresentam e ter potencial mátrico elevado. Podemos concluir que em solos lateríticos intemperizados com baixo teor de matéria orgânica, o uso de fibras capilares para aprimoramento do solo é viável.

PALAVRAS-CHAVE: Solo, Melhoria, Fibras, Degradação

1 INTRODUÇÃO

Visando fazer uso de resíduos de outras atividades humanas, profissionais da área da construção civil tem buscado reaproveitar estes resíduos objetivando melhorar o desempenho de diversas obras.

Este estudo continua o trabalho iniciado por Sales (2011), que estudou a alteração do desempenho mecânico do solo com a incorporação da fibra natural cabelo humano, para aplicação em estruturas de pavimento. Na fase inicial do estudo foram realizados ensaios para definição da curva característica de

retenção de água, mini-CBR, resistência a tração por compressão diametral, resistência a compressão simples e módulo resiliente. Sales (2011) concluiu em seu trabalho que houve aumento significativo da resistência a tração do solo e das deformações limites na ruptura, indicado boa aplicabilidade para camadas de solo utilizadas em pavimentação.

O presente estudo tem a finalidade de analisar a degradação das fibras naturais misturadas ao solo, de modo a verificar a viabilidade de suas aplicações em obras de terra. Averiguada a durabilidade da fibra natural cabelo humano no meio, sua aplicação significaria uma destinação alternativa para esse resíduo podendo substituir em certos casos outras fibras de reforço, como as poliméricas, minerais ou metálicas, cuja produção pode gerar resíduos danosos ao meio ambiente.

Incorporando-se fibras ao solo, a ductibilidade do material composto assim como sua resistência à tração aumenta, e o surgimento de fissuras é reduzido, proporcionando maior durabilidade a estrutura. O uso de fibras naturais para reforçar solos não é novidade, havendo vestígios do uso de lã de lhamas em estradas construídas pelos Incas (PALMEIRA, 1992).

O cabelo humano é composto por 3 regiões principais, são elas: a cutícula, região mais externa, o cortex, onde se encontram as células produtoras de queratina, e a medula, que consiste de regiões porosas localizadas no centro das fibras.

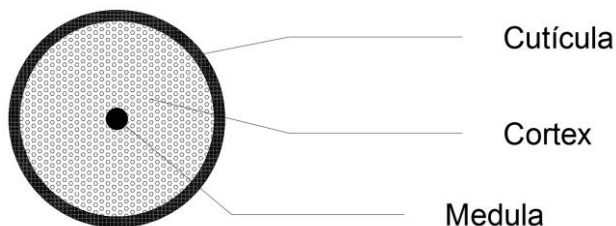


Figura 1: Seção de um fio de cabelo humano.

A resistência a tração de fibras de cabelo pode variar entre 129,75 MPa e 316,80 MPa, podendo ser comparada a de outras fibras naturais como Fibra de Coco, Sisal e até ao aço SAE 1008 (SALES, 2011). De acordo com Robbins (2002), o módulo de elasticidade do cabelo é de 3,89 GPa.

Com características físicas de bom desempenho, o uso de cabelo como fibra natural de reforço fica condicionado à sua durabilidade, cuja averiguação é objetivo deste estudo.

2 METODOLOGIA

2.1 Degradação das fibras em meio natural.

A degradação do cabelo no solo foi estudada misturando-se duas massas de 50g de cabelo com duas massas de 1 Kg de solo, uma argila-arenosa profundamente intemperizada, solo laterítico, e um solo siltoso pouco intemperizados, solo saprolítico. O cabelo utilizado nesta etapa é do tipo liso, nunca sujeito a nenhum tratamento estético.

Dois solos distintos foram escolhidos para comparar se ocorreria o mesmo nível de degradação nas fibras em ambos, ou se o tipo de solo influenciaria o processo.

Ambas as amostras foram colocadas ao ar livre em furos realizados em um solo natural, de modo que ficaram expostas à luz, a variações de temperatura e a precipitações (Figura 2).



Figura 2: Amostras de solo-cabelo *in situ*.

Em tempos pré-determinados, fios de cabelo eram retirados de ambas as amostras, o excesso de solo limpo cuidadosamente com um pano, e analisadas sob microscópio óptico para observar possíveis degradações por efeitos climáticos ou biológicos. Inicialmente, fios de cabelo foram retirados em períodos de 1, 2 e 4 horas, com a ausência de indícios de degradação, o tempo foi aumentado para 1, 2 e 4 dias. Também com nenhuma alteração visível, os tempos de observação foram

alterados para semanas, amostras sendo observadas 2, 4, 8, 10, 16 e 20 semanas após o início do ensaio (Figura 3).

Ao final do período de 20 semanas, foi medido o pH de ambas as amostras de solo, de modo a permitir correlações com ensaios de degradação em meios ácidos e básicos.

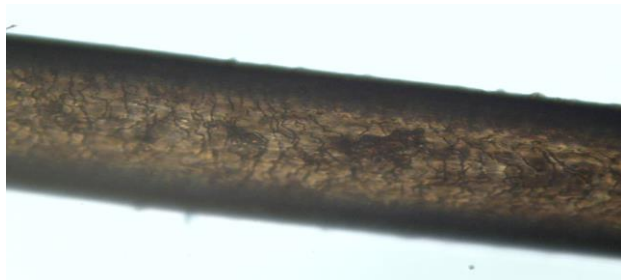


Figura 3. Fio de cabelo após 2 semanas em solo argiloso (Aumento de 500x).

2.2 Estudo da degradação das fibras em soluções ácidas e básicas.

A degradação de fios de cabelo imersos em meios ácidos e básicos foi estudada para valores de pH ácidos de 2 e 3, neutro, pH 7, e alcalinos, pH 11 e 12.

As soluções ácidas de pH 2, 3 foram preparadas com diluição de solução concentrada de Ácido Clorídrico (HCl) em água destilada. O valor do pH era confirmado com pHmetro do próprio laboratório.

A solução de pH neutro, 7 e as básicas de pH 11 e 12 foram obtidas com diluição de solução concentrada de Hidróxido de Sódio (NaOH). Assim como as soluções ácidas, foi utilizado pHmetro na verificação do pH.

Cada solução de pH foi distribuída em 2 potes rasos de 50 mL de capacidade, com tampa. Em cada frasco foi colocado 1 fio de cabelo, provenientes de doadores distintos.

Além das soluções com HCl e NaOH, também foram preparados dois frascos contendo apenas água destilada. Os fios de cabelo nestes frascos foram definidos como os de referência do ensaio.

Em intervalos pré-definidos de 1, 2, 4, 8, 16, 24, 48, 72 e 96 horas, os fios de cabelo eram retirados de suas soluções, cuidadosamente secos com um pano e em seguida fotografados com microscópio óptico.

Com uso de software de medição, os diâmetros dos fios de cabelo foram medidos a partir das imagens obtidas no microscópio, de modo que se pudesse observar variações no diâmetro.



Figura 4. Cabelo em solução de água destilada – Controle.

2.3 Variação do diâmetro da fibra com a umidade.

O desempenho da transferência de esforços do solo para o reforço em fibras determina a qualidade do compósito final, sendo influenciado, entre outros, pelo comprimento e diâmetro das fibras (SAVASTANO e AGOPYAN, 1993).

De acordo com Robbins (2002), inchamentos de fios de cabelo humano ocorrem principalmente no sentido longitudinal, aumentando seu diâmetro em até 14% variando a umidade relativa de 0 a 100%.

Para observar o efeito de alteração do diâmetro dos fios com a umidade, 7 amostras foram colocadas em estufa na temperatura de aproximadamente 110° C por 24 horas.

Após este tempo, foram levadas ao microscópio óptico e fotografadas (figura 5). Em seguida, foram imersas em solução de água destilada por outras 24h, de modo a saturar sua estrutura completamente.

Passado o tempo, foram cuidadosamente secas com pano e novamente observadas ao microscópio (figura 6). Com uso de software de medição, os diâmetros dos fios em ambos os estados, seco e saturado, foram comparados.



Figura 5. Cabelo após 24 horas em estufa (Aumento de 500x)

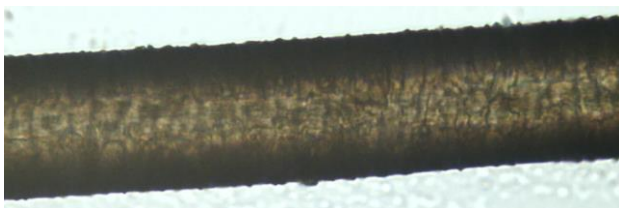


Figura 6. Cabelo após 24 horas em água destilada (Aumento de 500x).

2.3 Curva Característica de Retenção de Água das Fibras.

A obtenção da curva de retenção de água é importante para caracterizar o comportamento físico-hídrico de solos não saturados (FENNER, TAVARES, *et al.*, 2011) sendo relevante o estudo do comportamento do cabelo uma vez que em contato com o solo os dois materiais entrarão em equilíbrio.

Como a ênfase deste artigo é de estudar as propriedades dos fios de cabelo em si, determinou-se por meio da técnica do papel filtro a curva característica de retenção de água do cabelo isoladamente.

O procedimento para o método do papel filtro é padronizado por meio da norma ASTM D5298. Foi utilizado esse procedimento para obter a sucção matricial do cabelo, a qual envolve o fluxo adorsivo e capilar entre os materiais.

Papéis filtros foram secos em estufa por 24 horas e pesados, em seguida foram colocados sobre duas placas de vidro. Sobre os papeis filtros, 5 fios de cabelo, saturados por 24 horas, foram colocados, evitando-se a sobreposição entre as fibras. A figura 7 mostra a bancada onde as amostras foram preparadas.

Outro papel filtro era colocado sobre os fios, e uma segunda placa de vidro era colocado sobre o papel filtro. O conjunto era então fechado com papel alumínio, e colocado dentro de saco plástico, o qual teve seu ar retirado para minimizar perda de umidade.

Este procedimento foi feito para 20 conjuntos de amostras, cada um fechado em tempos crescentes, de modo que a umidade final em cada amostra seria diferente.

Fechados com fita adesiva e guardada em ambiente com temperatura controlada de 20° C, as amostras foram armazenadas por 7 dias para permitir o equilíbrio de energia entre o papel

filtro e o cabelo.

Ao final destes 7 dias, para cada conjunto de amostra, pesou-se ambos os papéis filtros e os fios de cabelo, e com estes resultados, a curva característica de retenção de água foi obtida.



Figura 7. Preparo das amostras

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Degradação das fibras em meio natural.

“Por mais que o cabelo possa durar por milênios, também pode degradar em uma questão de semanas” (TIBBET, 2008). Os principais estudos sobre degradação de fibras de cabelo em solo têm foco forense, para obtenção de amostras de DNA, não havendo estudos de degradação de características como resistência à tração.

A decomposição do cabelo na natureza ocorre principalmente por ataque de fungos queratolíticos, que utilizam enzimas específicas para reduzir a queratina e absorver seus nutrientes.

Há duas categorias gerais de fungos queratolíticos, os dermatófitos patogênicos, conhecidos por causarem micoses em animais, e os saprófitas queratinofílicos, que decompõem a queratina livre no ambiente. Nestes dois grupos gerais, ainda há os antropofílicos, associados a humanos, os zoofílicos, associados a animais, e os geofílicos, encontrados no solo, este último sendo o de principal interesse deste estudo (TIBBET, 2008).

De acordo com Kaul e Sumbali (1997) “a ocorrência de fungos queratinofílicos tem sido proporcional à quantidade de matéria orgânica encontrada no meio”, então solos que inicialmente não possuem quantidades significativas de queratina não teriam uma microfauna propícia para sua decomposição.

Os solos do cerrado apresentam característica tipicamente ácida, com pH variando entre 4 e 6 (CARDOSO, 2002). Os resultados das medições das misturas solo-fibra estão na tabela 1. Observa-se nessa tabela que apesar do pH do solo saprolítico ser superior ao do solo laterítico ele é também um pH ácido e inferior a 6.

Tabela 1. Medições de pH do solo após 20 semanas

	Solo Laterítico	Solo Saprolítico
Leitura 1	4,83	5,51
Leitura 2	5,21	5,65
Leitura 3	4,54	5,28
Leitura 4	4,73	5,59
Média	<u>4,83</u>	<u>5,51</u>

Em ambas as amostras de solo, laterítico e saprolítico, os tempos de observação foram de 2, 4, 8, 10, 16 e 20 semanas. Ao longo desse tempo, as amostras foram sujeitas às condições ambientes naturais envolvendo sol, chuva, calor e frio, como seriam se fossem aplicadas em obras de engenharia.

As figuras 8 e 9 mostram fibras retiradas a 2 e 20 semanas respectivamente do solo laterítico, e as figuras 10 e 11 do solo saprolítico, no mesmo período.



Figura 8. Fio de cabelo a 2 semanas em solo laterítico (Aumento de 500x).



Figura 9. Fio de cabelo a 20 semanas em solo laterítico (Aumento de 500x).

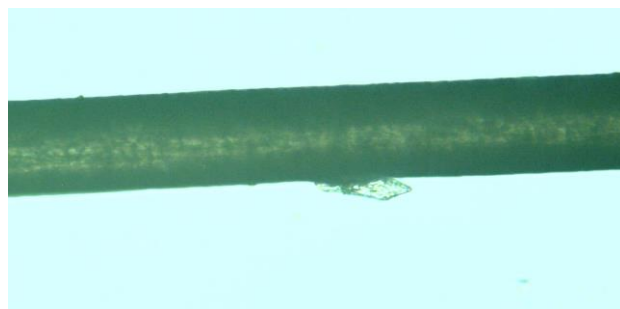


Figura 10. Fio de cabelo a 2 semanas em solo saprolítico (aumento de 500x).

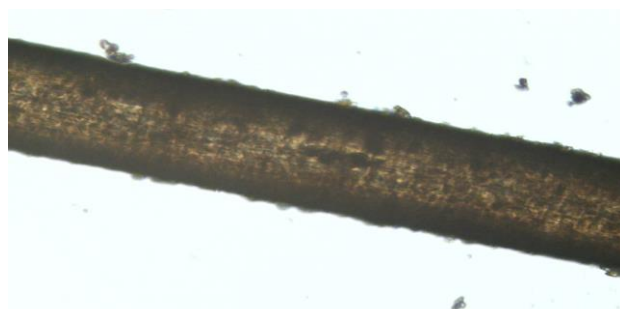


Figura 11. Fio de cabelo a 20 semanas em solo saprolítico (Aumento de 500x).

Ao que se pode ver, não ocorreu perda perceptível de seção de nenhum dos fios ao longo do tempo, nem se pode notar a presença de organismos decompositores, mesmo após 20 semanas em meio natural.

A durabilidade prolongada das fibras observada, possivelmente decorre da baixa concentração de matéria orgânica presente nos solos utilizados, limitando a microfauna fúngica do meio que se alimentaria da queratina. Como geralmente nas obras de engenharia em geral se evita o uso de solos ricos em matéria orgânica, os resultados obtidos são promissores.

3.2 Degradação das fibras em soluções ácidas e alcalinas.

A diversa composição químico-mineralógica dos solos, leva a valores distintos de pH, variando desde o ácido, ao básico. Solos que apresentam quantidade elevada de alumínio, como o do cerrado, possuem pH ácido abaixo de 7, enquanto os que contêm concentrações maiores de sódio e cálcio possuem características alcalinas, com pH acima de 7.

Compostos introduzidos na matriz do solo se tornam diretamente susceptíveis de serem

afetados por suas características de pH. Podendo o pH possuir efeito corrosivo, a resistência de materiais adicionados ao solo, como as fibras naturais, deve ser estudada, para garantir sua segura aplicabilidade em solos distintos.

A composição dos diâmetros das fibras medidas ao longo de 96 horas imersas em soluções de pH ácido e básico encontram-se na Figura 12.

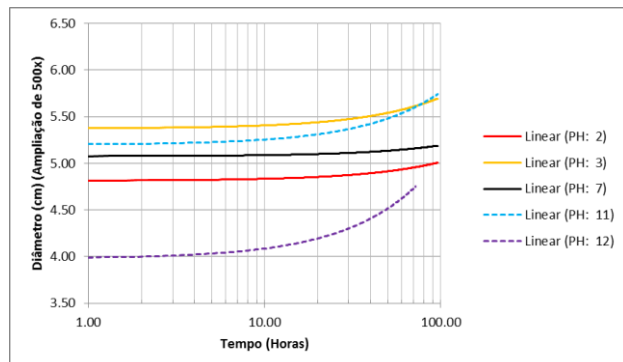


Figura 12. Diâmetro das fibras versus Tempo de Imersão.

Na Figura 12, o eixo da abscissa está em escala logarítmica, e o da ordenada em escala aritmética. As curvas são regressões lineares obtidas da dispersão das medições, sendo vistas como uma curva por estar em gráfico mono-log.

A fibra em pH neutro (pH 7) apresentou a menor variação de diâmetro, com variação final de 3,97% do diâmetro. As duas curvas de pH ácido (pH 2 e pH 3) apresentaram variações finais de 8,89% e 10,63%, respectivamente. As duas curvas de pH básico (pH 11 e 12), apresentaram variações mais elevadas, 9,65% e 25,69% respectivamente. A tabela 2 resume as variações finais obtidas nos ensaios em 96 horas.

Tabela 2. Variação de diâmetro em 96 horas

pH	Variação do Diâmetro em 96 horas
2	8,89%
3	10,63%
7	3,97%
11	9,65%
12	25,69%

Dos resultados obtidos, nota-se uma maior expansão da fibra ocorrendo em meio alcalino

que em meio ácido. A expansão ocorrida em meio neutro é bem reduzida comparada aos outros. Observeu-se variações maiores de diâmetro nas soluções ácidas e alcalinas que na solução neutra, indicando que acidez e alcalinidade afetam a expansão do cabelo.

3.3 Variação do diâmetro da fibra com a umidade.

Em obras de terra, principalmente as de pavimentação, um dos parâmetros mais importantes para sua boa execução é a definição e o controle da umidade de compactação que geralmente se situa em torno da umidade ótima, umidade esta correspondente ao peso específico aparente seco máximo do solo.

Utilizando materiais para reforçar o solo, estes geralmente interferem no resultado da compactação sendo necessário compreender a influência das características físicas e das propriedades mecânicas no material introduzido.

Os resultados obtidos por meio da medição de 7 fios de cabelo secos em estufa por 24 horas, e em seguida saturados em água destilada 24 horas e novamente medidos estão resumidos na tabela 3.

Tabela 3. Variação de diâmetro de seco para saturado

Nº da amostra	f seco (mm)	f saturado (mm)	Variação de Seco para Saturado
1	94,5	98,2	3,92%
2	93,4	97,4	4,28%
3	95,8	102,7	7,20%
4	96,6	100,5	4,04%
5	95,8	101,6	6,05%
6	98,2	101,9	3,77%
7	97,4	100,8	3,49%
		Média:	4,68%

A média da variação dos diâmetros medidos nas 7 amostras foi de 4,68%, o que representa um aumento da seção transversal das fibras de 9,58%, em média.

A expansão dos fios de cabelo ocorre principalmente na região da matriz protéica do

cortex (ROBBINS, 2002). Os valores obtidos experimentalmente estão dentro dos obtidos por outros pesquisadores, indicando que o fenômeno da expansão por saturação ocorre de maneira previsível e consistente.

A média da variação do diâmetro ocorrido na saturação das fibras de cabelo por 24 horas foi próximo ao obtido em imersão por 96 horas em solução neutra de pH 7, expansão diametral de 3.97%, e inferior as expansões ocorridas em soluções ácidas e alcalinas, indicando que o pH do meio influi no grau de expansão da fibra

3.4 Curva Característica de Retenção de Água das Fibras.

O ensaio para obter a curva característica de retenção de água das fibras naturais cabelo humano foi desenvolvido para solos e adaptado para o presente estudo. Nesta pesquisa, aplicou-se o procedimento exclusivamente para as fibras, visto que outros pesquisadores obtiveram a curva característica de misturas de solo com cabelo humano (SALES, 2011).

Cabe esclarecer, que os valores de sucção calculados a partir da curva característica do papel filtro se referem mais às energias de adsorção do cabelo que à sucção mátrica propriamente dita, por entender-se que a variação de umidade se dá concomitantemente com a variação de diâmetro dos fios de cabelo sem que ocorra, em princípio, entrada de ar em seu interior

A Figura 13 apresenta a curva característica de retenção de água obtida para a fibra de cabelo.

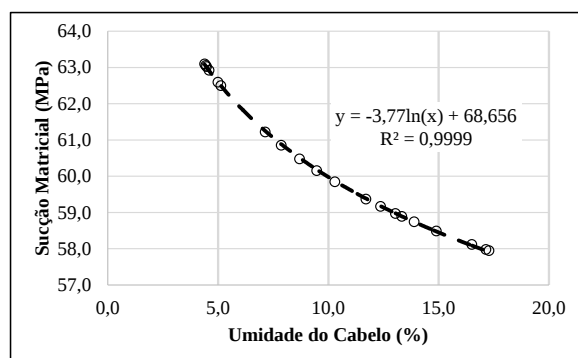


Figura 13. Curva característica de fios de cabelo

Observa-se dessa curva que as umidades variaram entre 4,4% e 17,3% sendo registrados

para esse intervalo sucções ou energias de adsorção variando entre 63,1 MPa e 57,9 MPa. Se observadas as curvas características em termos de sucção mátrica obtidas para os solos tropicais (GUIMARÃES, 2002), observa-se que os valores obtidos para o cabelo são para toda a curva característica de retenção de água superiores aos valores obtidos em um perfil de solo tropical típico do Distrito Federal. Depreende-se com isso que a interação solo-fibra será em função dos valores de sucção característicos dos dois materiais efetivo com o cabelo succionando o solo.

Acreditando que teria havido algum erro na execução do procedimento oriundo de vedação insuficiente durante o período de estabilização, o experimento foi realizado novamente, porém com resultados idênticos, mantendo-se então a primeira curva obtida. A equação encontrada para essa curva é apresentada a seguir:

$$\text{Sucção} = -3,77 \cdot \ln(w) + 68,656 \quad (1)$$

Na equação 1, os valores de sucção estão em MPa, e a umidade é dada em porcentagem.

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que a degradação de fios de cabelo humano usados como fibras para reforçar solos contendo pouca matéria orgânica é viável não tendo sido observado no período de estudo a sua degradação mesmo quando imersas em meio ácido e básico. Recomenda-se, no entanto, a realização de estudos com maior duração e fazendo-se uso de outros compostos químicos para variar o pH.

A não ocorrência de decomposição em 5 meses de contato direto com o solo em meio natural e uma diferença de expansão pouco evidente entre a imersão em solução ácida e básica, e estudos prévios feitos sobre a melhoria de parâmetros geotécnicos de interesse com a inclusão destes tipos de fibras, levam à conclusão que sua aplicabilidade é possível em solos que apresentem as características favoráveis a sua durabilidade como os solos estudados nessa pesquisa.

5 REFERÊNCIAS

- Cardoso, F. B. F. (2002). *Propriedades e Comportamento Mecânico de Solos do Planalto Central Brasileiro*. Dissertação de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. 407 p.
- Guimarães, R.C (2002). *Análise das propriedades e comportamento de um perfil de solo laterítico aplicada ao estudo do desempenho de estacas escavadas*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. 207 p
- Tibbet, M.E.; Carter, O.D. (2008). *Soil Analysis in Forensic Taphonomy: chemical and biological effects of buried human remains*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 366 p.
- Kaul, S. e Sumbali, G. (1997). *Keratinolysis by poultry farm soil fungi*. University of Jammu. Jammu, Índia. p. 137-140.
- Palmeira, E.M. (1992). *Geossintéticos: Tipos e Evolução nos últimos anos*. Seminário sobre aplicações de Geossintéticos em geotecnia, Brasília, p.1-20.
- Robbins, C.R. (2002). *Chemical and Physical Behavior of Human Hair*. 4th. ed., Springer, Lake Ridge Circle, Clermont, FL, USA. 502 p.
- Sales, K.C.S. (2011). *Melhoria de Solos por Inclusão de Fibras Naturais*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. 113 p.
- Savastano Júnior, H. e Agopyan, V. (1993). *Caracterização da Zona de Transição entre Fibras e Pasta de Cimento Portland*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departanento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo. 23 p.