

TESTES DE CISALHAMENTO EM CAMPO PARA A COMPREENSÃO DO PAPEL DAS RAÍZES FLORESTAIS NA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE SOLOS COLUVIAIS EM NOVA FRIBURGO – RIO DE JANEIRO - BRASIL

IN SITU SHEAR TESTS FOR UNDERSTANDING THE ROLE OF FOREST ROOTS ON THE SHEAR STRENGTH OF COLLUVIAL SOILS IN NOVA FRIBURGO – RIO DE JANEIRO - BRASIL

José, Flávia O.; COOPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, foflorestal@gmail.com

Lacerda, Willy A.; COOPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, willyl@globo.com

Avelar, André S.; IGEO-UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, andre.avelar@globo.com

RESUMO

O estudo buscou avaliar o efeito das raízes florestais na resistência ao cisalhamento de solos colúviais através de testes de cisalhamento de campo realizados em encostas do município de Nova Friburgo, RJ, Brasil. Foram avaliados solos na presença e na ausência de raízes florestais por meio de blocos de prova talhados *in situ* abrangendo a profundidade de 0 a 0,50 m. O Teste I foi realizado em blocos de prova fixados ao solo pelas laterais e base, mantendo o efeito do atrito lateral e das raízes horizontais e verticais na resistência do solo ao cisalhamento. O Teste II foi realizado em blocos de solo fixados ao solo apenas pela base, de modo a avaliar o efeito das raízes predominantemente verticais no plano de ruptura. A biomassa de raízes (g/Kg) dos solos avaliados foi determinada em laboratório. A análise dos dados demonstrou que o incremento de resistência ao cisalhamento conferido pelas raízes é mais evidente no Teste I, onde são mantidos os efeitos das raízes horizontais em combinação com raízes verticais.

ABSTRACT

The present research has evaluated the role of rain forest root system by performing field shear strength tests in a colluvial forested soil and a recently deposited soil in Nova Friburgo (RJ, Brazil). Rooted and non-rooted undisturbed soils blocks were studied from 0.0 to 0.5 m depth. The Test I was done for soil blocks connected to the ground by the sides and base, in order to provide strength values related to the effect of lateral friction, lateral roots and the vertical roots. Test II was done on blocks maintained only on the ground base to allow understanding of the effect of vertical roots on the failure surface. After the field shear tests, the root biomass (g/kg) of the soil blocks was measured in the laboratory. Data analysis showed that the increase of strength due to roots was more evident in Test I, where the effects of lateral roots are in combination with vertical roots.

1 - INTRODUÇÃO

A vegetação apresenta papel importante na estabilidade das encostas ao influenciar em aspectos hidrológicos e mecânicos do solo. Tomando como foco principal os aspectos mecânicos, a vegetação pode atuar de forma negativa ou positiva na estabilidade de taludes e encostas naturais, através de processos como: redução da susceptibilidade do solo a erosão, alteração da poro-pressão, aumento da resistência ao cisalhamento do solo através das raízes, transferência de tensões resultantes da ação do vento ao talude, suporte através da ancoragem das raízes em substratos mais resistentes e sobrecarga nos taludes (Gray & Leiser, 1982; Greenway, 1987).

Apesar das influências negativas que a vegetação pode exercer sobre a estabilidade das encostas, existem poucos casos publicados em que o efeito negativo da vegetação prevaleça sobre seus efeitos positivos (Greenway, 1987). Em contrapartida, diversos estudos comprovam o potencial positivo da vegetação no reforço do solo através de seu sistema radicular (Gray & Leiser, 1982; Silva & Mielniczuc, 1997; Goldsmith, 2006).

Lawrance *et al.* (1996) comprovaram em seus experimentos em campo que a presença de raízes resulta em um incremento de resistência ao cisalhamento do solo e no aumento do deslocamento necessário à sua ruptura, indicando que solos enraizados necessitam de maiores deformações para romper.

As raízes florestais atuam no reforço do solo através de sua resistência a tração, mobilizada ao longo do processo de ruptura, e das propriedades de atrito e adesão as partículas de solo (Gray & Leiser, 1982; Greenway, 1987; Wu, 2013). Além disso, a vegetação atua no reforço dos solos através de seu importante papel na formação e estabilização de agregados (Silva & Mielniczuc, 1997).

O incremento de resistência ao cisalhamento conferido pelas raízes vai depender de fatores como o diâmetro, comprimento e densidade de raízes e das características do solo (Abe & Ziemer, 1991; Lawrance *et al.*, 1996).

A direção em que as raízes se desenvolvem também influi em sua atuação no reforço do solo. As raízes horizontais tendem a unir o solo de modo a formar uma massa que se comporta como um corpo rígido, indivisível, aumentando as forças de agregação do solo e sua resistência ao longo da zona de enraizamento. Além disso, as raízes horizontais são capazes de estabilizar massas de solo instáveis, ao conectá-las com massas de solo estáveis (Gray & Leiser, 1982; Yunwei *et al.*, 2011). Já as raízes verticais podem penetrar na manta do solo atingindo estratos mais resistentes, resultando assim na ancoragem do solo à encosta, aumentando a resistência a deslizamentos. Estas são consideradas de maior importância para o incremento de resistência ao cisalhamento do solo, já que são potencialmente capazes de cruzar planos de ruptura, contribuindo assim diretamente com o aumento da tensão necessária ao cisalhamento (Lawrance *et al.*, 1996).

Apesar dos resultados positivos a respeito do efeito da vegetação no reforço do solo, em 2011, após o evento extremo ocorrido em Nova Friburgo, Coelho Netto *et al.* (2013) constataram que aproximadamente 60% dos deslizamentos ocorreram em ambiente florestal, sendo grande parte deles classificados como deslizamentos rasos, nos quais as raízes podem exercer papel estabilizador (Collison & Anderson, 1996). Segundo a mesma autora, os fragmentos florestais foram capazes apenas de inibir a propagação dos deslizamentos.

Os fragmentos florestais do município são caracterizados por apresentarem estágios de sucessão iniciais, raízes rasas e variados estágios de degradação, como resultado da intervenção antrópica ao longo da colonização e da atual ocupação da região. O sistema radicular destas florestas é capaz de permitir a infiltração da água da chuva, porém não é desenvolvido o suficiente para ancorar o solo e, assim, aumentar sua resistência ao cisalhamento (Avelar *et al.*, 2011; Coelho Netto *et al.*, 2013).

Com base no disposto acima, surgiu a demanda por estudos mais detalhados a respeito das florestas que cobrem as encostas de Nova Friburgo – RJ e do efeito mecânico das raízes florestais na estabilidade do solo. O presente estudo teve com foco principal avaliar a influência mecânica do sistema radicular de ambiente florestal na resistência ao cisalhamento do solo através de ensaios de campo.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Município de Nova Friburgo, localizado na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro - Brasil, em área abrangida pelo Bioma Mata Atlântica e caracterizada por formação vegetal original do tipo Floresta Ombrófila Densa Montana (Veloso *et al.*, 1991).

Atualmente a cobertura vegetal da região é composta por fragmentos florestais secundários isolados, oriundos de processos de regeneração vegetal após o abandono de áreas agrícolas, os quais encontram-se interrompidos por centros urbanos, por áreas agrícolas e cicatrizes de deslizamentos (Fraga, 2014).

Para investigar o efeito do sistema radicular das florestas na estabilidade do solo foram feitos ensaios de cisalhamento em campo, com o objetivo de analisar a contribuição da presença das raízes florestais na resistência ao cisalhamento do solo.

De modo a permitir a comparação entre solos na ausência e na presença de raízes florestais, foram selecionadas duas áreas distintas, sendo uma composta por solo coluvial sem cobertura vegetal e outra composta por solo coluvial sob Fragmento florestal. Ambas as áreas estão localizadas no entorno de cicatriz de deslizamento ocorrido durante o evento extremo de 2011 (Figura 1), o qual foi caracterizado como escorregamento translacional raso com superfície de ruptura em saprolito derivado de granito (Avelar *et al.*, 2011; Machado, 2013; Silva, 2014).



Figura 1 - Área de estudo em 2011, logo após a ocorrência do deslizamento e formação da cicatriz

O colúvio sem raízes florestais (denominado Colúvio para fins de análise) trata-se de formação recente, tendo sido depositado em 2011 durante o evento extremo (Figura 2).

O colúvio na presença de raízes florestais (denominado Solo Florestal) está localizado em Fragmento Florestal Secundário, o qual apresenta características de formações vegetais em transição entre os estágios inicial e médio de sucessão vegetal (CONAMA, 1994) (Figura 2).



Figura 2 - Área de estudo em 2014. Em vermelho localização do Colúvio (solo sem raízes florestais) e, em verde, localização do solo Florestal (solo com raízes florestais)

Para viabilizar os testes de cisalhamento em campo, foi necessária a elaboração de equipamento e definição de metodologia para a realização dos testes, o que foi feito de forma semelhante ao realizado por Lawrence *et al.* (1996) em solos permeados por raízes de gramíneas. A aplicação de tensão cisalhante foi feita a partir de sistema hidráulico com bomba hidráulica de aplicação de força manual.

Foram realizados dois testes distintos, o primeiro - Teste I - foi realizado em blocos de prova de 0,50 x 0,50 x 0,50 m talhados *in situ*, de modo a mantê-los fixados ao solo pela base e pelas paredes laterais, permitindo a atuação das raízes horizontais/laterais, das raízes verticais e das forças de atrito lateral na resistência ao cisalhamento do solo (Figura 3).



Figura 3 - Teste I - Bloco de prova fixado ao solo pela base e pelas paredes laterais

O segundo teste – Teste II – foi realizado em blocos de prova com 0,25 x 0,25 x 0,25 m, em duas profundidades: 0 a 0,25 m e 0,25 a 0,50 m. Neste caso os blocos de prova foram talhados no solo de modo a mantê-los fixados apenas pela base, com o objetivo de avaliar a atuação das raízes predominantemente verticais no plano de ruptura. As tensões aplicadas através do sistema hidráulico foram obtidas com o auxílio de anel dinamométrico. Já o deslocamento do bloco de prova ao longo do teste foi medido através de régua milimétrica (Figura 4).



Figura 4 - Teste II - Bloco de prova fixado ao solo apenas pela base

Com os resultados dos testes de campo foi possível obter as curvas tensão *versus* deslocamento e as tensões cisalhante máximas alcançadas nos solos na presença e na ausência de raízes florestais.

Após os ensaios de campo foram coletadas amostras indeformadas para o cálculo da Massa Específica Natural do solo, e amostras deformadas para Análises Granulométricas, determinação da Umidade (%), Teor de Matéria Orgânica (g/Kg) e Fração de Raízes (g/Kg) em cada bloco de prova cisalhado.

Além disso, também foram coletadas amostras indeformadas dos solos Florestal e Colúvio para a determinação dos Parâmetros de Resistência de cada solo, através de Ensaio de Cisalhamento Direto em laboratório sob tensões normais relativamente baixas 12,5, 25 e 50 KPa, condizentes com a profundidade analisada em campo (0 - 0,50 m).

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - Características físicas e Parâmetros de Resistência dos solos analisados

As análises de laboratório permitiram a obtenção das características físicas e dos parâmetros de resistência dos solos Florestal e Colúvio, os quais encontram-se descritos no Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros médios obtidos nas amostras de solo Florestal e no Colúvio

SOLO	γ_n (g/cm ³)	c (KPa)	ϕ (°)	e	G _s (g/cm ³)	w (%)
Colúvio	1,41	16,5	43	1,22	2,54	20
Florestal	1,26	17,5	42	1,44	2,40	28

A partir dos ensaios de granulometria pôde-se constatar que tanto o Colúvio quanto o solo Florestal tratam-se de Areias - argilosas. Através das análises granulométricas realizados na ausência de defloculante e dispersor pôde-se observar o comportamento agregado dos solos. De acordo com os resultados das análises, o solo Florestal apresentou maior percentual de agregados de maior tamanho do que o Colúvio, enquadrados na classe areia (76%), com destaque para a classe areia grossa (34%) a qual apresenta agregados com 0,6 a 2,0 mm de diâmetro (NBR- 6502, 1995). Isto pode estar vinculado a influência da vegetação na formação de agregados e estruturação do solo, já que no solo Florestal são encontrados os maiores teores de Matéria orgânica, componente cimentante de partículas de solo, conforme será apresentado a diante.

A massa específica natural média (γ_n) para o Colúvio foi de 1,41 g/cm³. Já para o solo Florestal foi encontrada uma menor massa específica média, em torno de 1,26 g/cm³, provavelmente devido ao seu alto teor de matéria orgânica e ao seu maior índice de vazios.

Através dos resultados dos testes de cisalhamento direto em laboratório, pode-se dizer que o Solo Florestal e o Colúvio são solos cujas matrizes apresentam comportamento e parâmetros de resistência semelhantes quando submetidos a ensaios de cisalhamento direto sob umidade natural e a baixas tensões normais, com ângulo de atrito (ϕ) em torno de 42° e intercepto de coesão (c) em torno de 17 kPa.

O Colúvio apresentou índice de vazios médio (e) igual a 1,22, relativamente menor que o solo Florestal, o qual apresentou índice de vazios médios igual a 1,44. O elevado índice de vazios no Colúvio pode ser explicado pelo fato de ser um depósito recente. Já no solo Florestal, o elevado índice de vazios indica um maior grau de estruturação do solo, o que pode estar associado a seu elevado teor de matéria orgânica e seu maior grau de agregação, o que favorece a formação de poros no solo.

As amostras coletadas nos blocos de prova permitiram observar que a umidade (w) do solo Florestal e Colúvio no momento do teste de cisalhamento *in situ* variou pouco, estando o Colúvio com umidade média de 20% e o solo Florestal com umidade média levemente mais elevada, em torno de 28%, o que pode estar relacionado a maior capacidade de retenção de água do solo Florestal.

3.2 - Teor de Matéria Orgânica e Biomassa de Raízes dos solos analisados

O Teor de Matéria Orgânica (MO) encontrado no Colúvio e no Solo Florestal, tanto no Teste I quanto no Teste II, apresentou elevada discrepância. No Teste I, o Colúvio apresentou teor de matéria orgânica igual a 4 g/Kg, enquanto o solo Florestal apresentou valor igual a 106 g/Kg. Já no Teste II, o Colúvio apresentou teor de matéria orgânica médio de 6 g/Kg, enquanto o solo Florestal apresentou 110 g/Kg. Em ambos os testes o teor de Matéria Orgânica no solo Florestal foi muito mais elevado que no Colúvio, sendo o teor de matéria orgânica encontrada no Colúvio desprezível.

Estas elevadas diferenças são consequência da presença de cobertura vegetal apenas no solo Florestal, já que a matéria orgânica incorporada ao solo é oriunda principalmente de resíduos vegetais (folhas, galhos, raízes, entre outros).

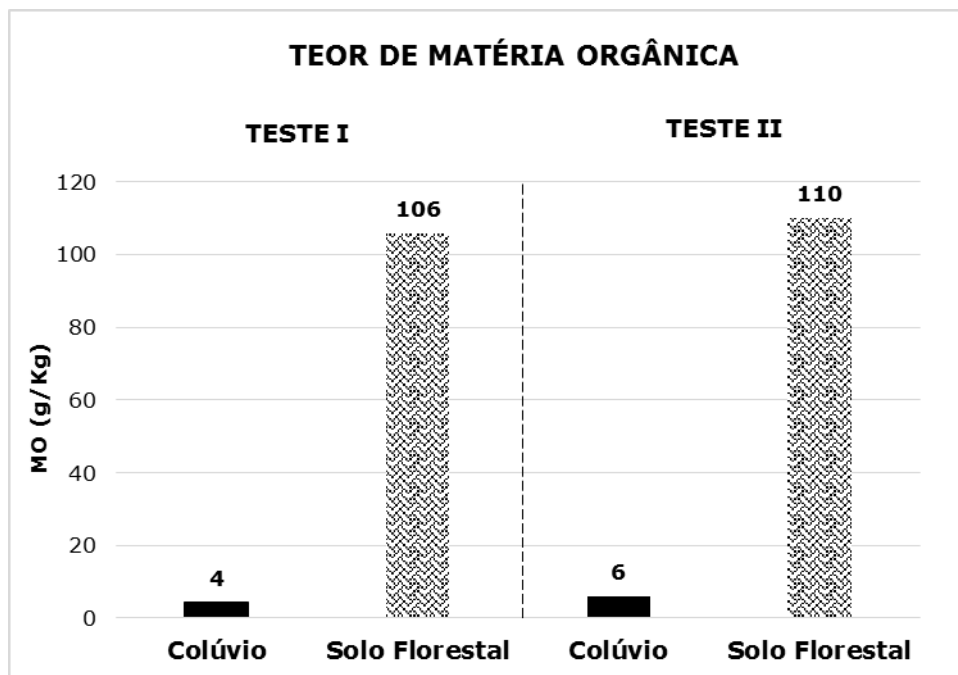


Figura 5 - Teor de Matéria Orgânica médio encontrado nos solos Florestal e Colúvio nos Testes I e II

A biomassa de raízes foi avaliada através da Fração de Raízes (F_R ; g de raízes por Kg de solo) e de Classificação Diamétrica. A Fração de Raízes encontrada no Colúvio e no solo Florestal também apresentou elevada discrepância em ambos os testes. No Teste I as amostras demonstraram que a Fração de Raízes Média (F_R méd) encontrada em um perfil 50 cm de profundidade no Colúvio é de 0,18 g/Kg, enquanto no solo Florestal este valor é 4,16 g/Kg (aprox. 25 vezes maior).

No caso do Teste II, a fração de raízes média encontrada no Colúvio também foi de 0,18 g/Kg, enquanto o solo Florestal apresentou fração de raízes média de aproximadamente 2 g/Kg (aprox. 10 vezes maior). Neste teste, onde foram consideradas principalmente as raízes predominantemente verticais, o solo Florestal apresentou menor fração de raízes do que as amostras de solo coletadas no Teste I, onde foram também consideradas raízes horizontais. Este resultado indica, que quando consideradas apenas as raízes predominantemente verticais a fração de raízes que compõe o solo pode reduzir significativamente. A Fração de Raízes encontrada no Colúvio também foi considerada desprezível.

Nas amostras coletadas em ambos os testes, houve predomínio de raízes Finas e intermediárias finas, com diâmetros inferiores a 5 mm, caracterizadas como raízes de absorção de água e nutrientes.

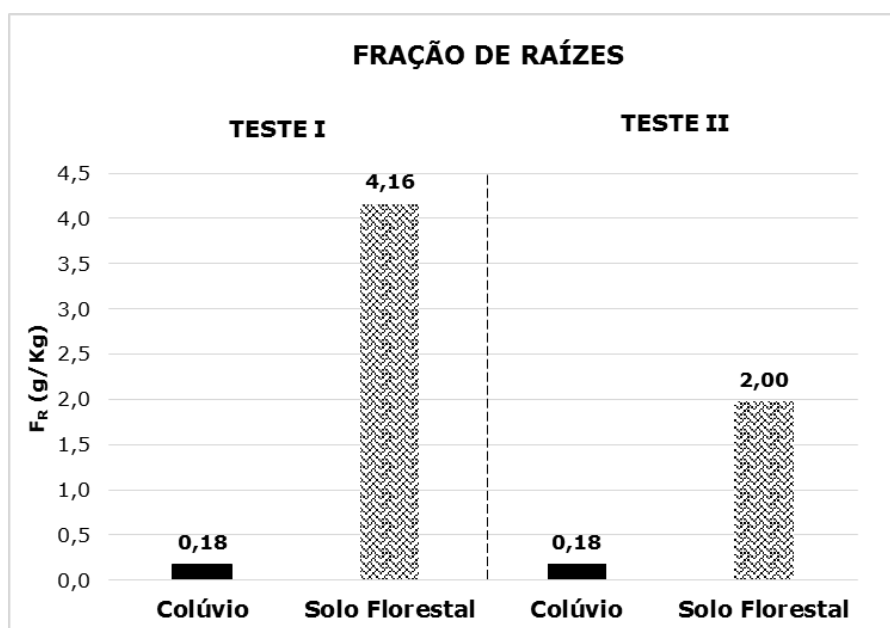


Figura 6 - Fração de raízes média encontrada nos solos Florestal e Colúvio nos Testes I e II

3.3 - Testes de cisalhamento *in situ*

Os resultados dos testes de cisalhamento *in situ* I e II apresentaram diferenças importantes entre si. No Teste I (Figura 7), onde manteve-se o efeito do atrito lateral e das raízes predominantemente horizontais (raízes laterais) e predominantemente verticais, a tensão cisalhante máxima obtida no solo Florestal (76,64 KPa) foi mais elevada do que a obtida no Colúvio (29,82 KPa) na ordem de 46 KPa, estando, portanto, o maior valor de Tensão Cisalhante máxima associado ao solo que apresentou maior Fração de Raízes e maior Teor de Matéria Orgânica.

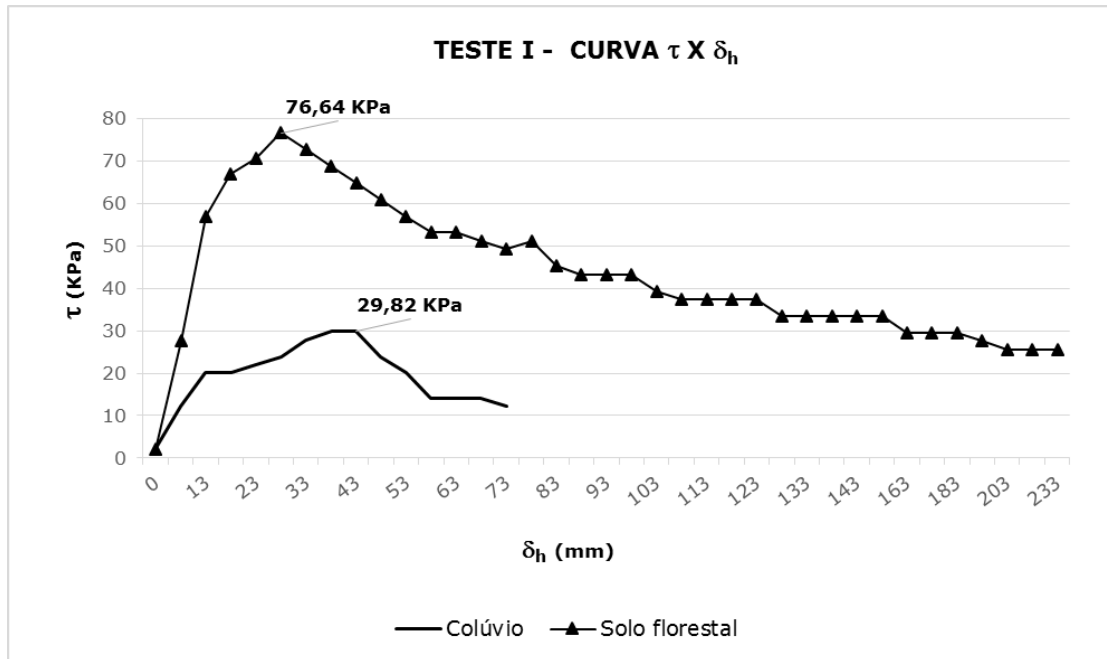


Figura 7 - Curvas de Tensão Cisalhante (τ) versus Deslocamento Horizontal (δ_h) obtidas no Colúvio e no solo Florestal no Teste II

No Teste II, as tensões cisalhantes máximas médias obtidas no solo Florestal e no Colúvio nas profundidades 0 - 0,25 e 0,25 - 0,50 m apresentaram pequenas diferenças, na ordem de 2 KPa, de modo que na presença e na ausência de raízes florestais no plano de ruptura (raízes predominantemente verticais) a tensão cisalhante máxima média obtida foi semelhante, em torno de 14 KPa no Colúvio e 16 KPa no solo Florestal (Figura 8), o que difere de forma marcante do obtido no Teste I.

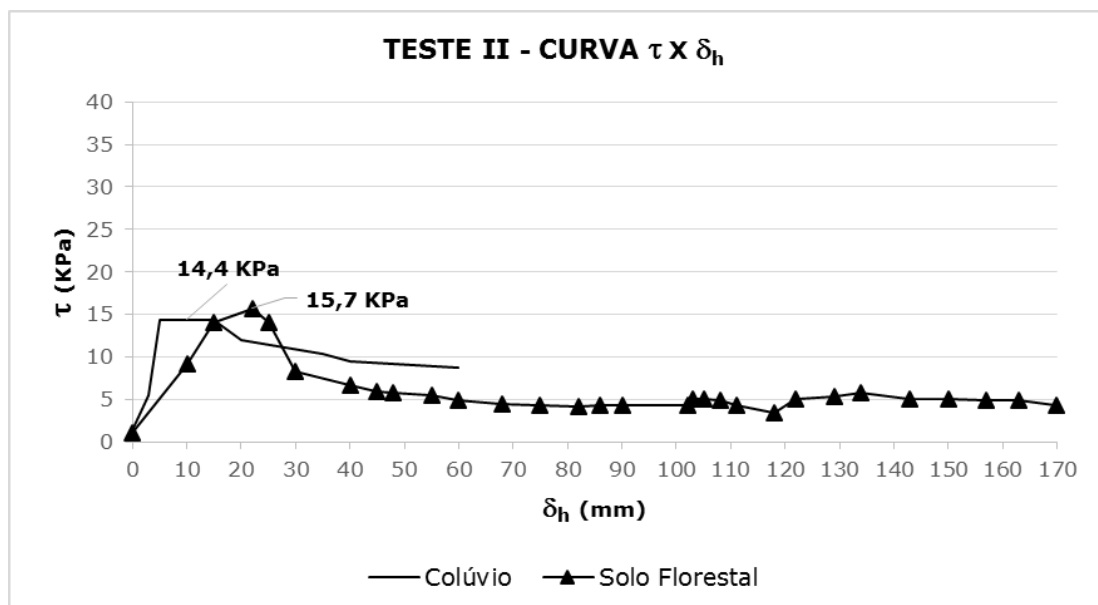


Figura 8 - Curvas de Tensão Cisalhante (τ) versus Deslocamento Horizontal (δ_h) representativas das Tensões Cisalhantes Máximas obtidas no Teste II . Curvas obtidas no Colúvio e no Solo Florestal a 0 -0,25m de profundidade

Conforme pode ser observado nas Figuras 7 e 8, o incremento de resistência ao cisalhamento conferido pelas raízes é mais evidente nos ensaios onde são mantidos os efeitos das raízes horizontais em combinação com as raízes verticais.

Quando avaliados blocos de solo fixados apenas pela base, com raízes verticais influenciando apenas no plano de ruptura, pode-se observar que os valores de tensão cisalhante máxima (na ruptura) diminuem bruscamente em relação aos valores obtidos nos testes que incluíram também o efeito das raízes horizontais e do atrito lateral (Figura 9). Isto pode ser explicado pelo fato de que no Teste I, além das forças adicionadas pelas raízes verticais no plano de ruptura, foram mobilizadas as forças de tração nas raízes laterais atuantes na zona de tração, o que potencializa e aumenta os valores de resistência ao cisalhamento, conforme descrito por Yunwei *et al.* (2011). Conforme pode ser observado na Figura 9, no solo florestal este efeito é mais evidente devido a maior fração de raízes, sendo a diferença entre a resistência ao cisalhamento obtida nos Testes I e II da ordem de 60 KPa.

É necessário, portanto, avaliar qual fração deste incremento está vinculada a ação das raízes horizontais/laterais e qual está vinculada as forças de atrito das partículas de solo. Neste contexto, se compararmos a máxima tensão cisalhante obtida no Colúvio nos Testes I e II, onde a fração de raízes é desprezível, observa-se que a diferença entre os valores fica em torno de 16 KPa, o que pode indicar que a maior porção da diferença de resistência ao cisalhamento entre os testes pode estar principalmente vinculada a ação das raízes horizontais.

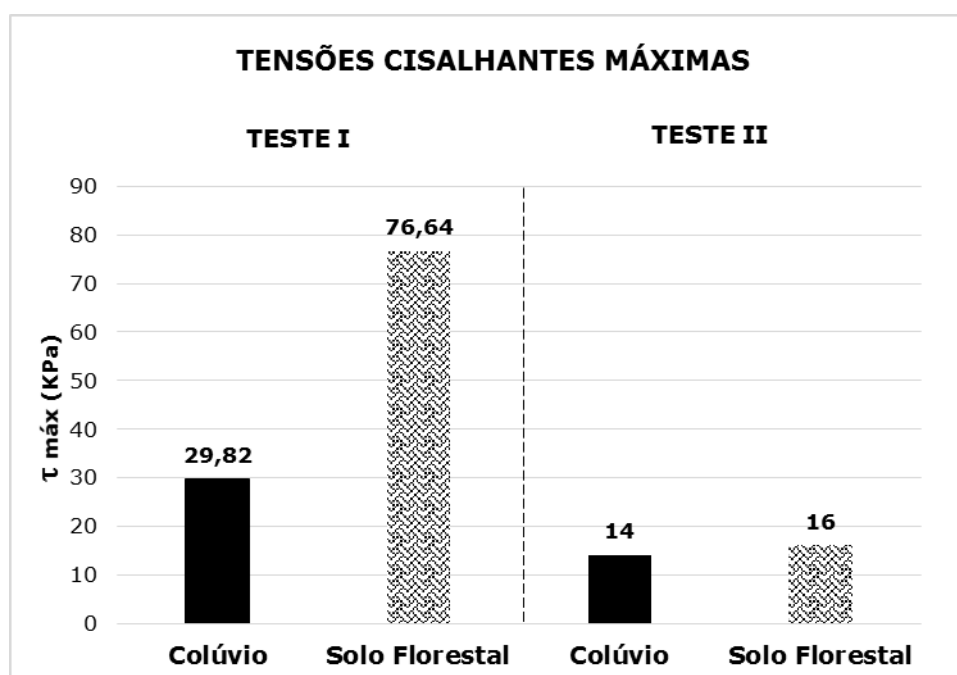


Figura 9 - Gráfico comparativo entre as Tensões Cisalhantes máximas ($\tau_{m\acute{a}x}$) obtidas nos testes I e II

Como dito anteriormente, diversos estudos a respeito do papel das raízes no reforço do solo destacam a importância da existência de raízes predominantemente verticais, capazes de cruzar o plano de ruptura, para que haja incremento de resistência ao cisalhamento do solo (Gray & Leiser, 1982; Greenway, 1987; Lawrance *et al.*, 1996). Nos resultados dos testes realizados ao longo do presente estudo, houve um despertar para necessidade de se investigar mais a fundo o papel das raízes horizontais na resistência ao cisalhamento do solo, já que as máximas tensões cisalhantes foram obtidas nos ensaios onde manteve-se a ação destas raízes.

Para que sejam obtidos resultados mais concretos a respeito da influência do sistema radicular das florestas na resistência ao cisalhamento do solo, principalmente no que diz respeito ao papel das raízes horizontais, faz necessário dar continuidade aos testes de campo, incluindo a instalação de um maior número de pontos amostrais e o aperfeiçoamento do equipamento de campo, de modo a elevar a confiabilidade e a significância dos resultados obtidos.

4 - CONCLUSÃO

As análises da biomassa de raízes e do teor de matéria orgânica demonstraram uma forte associação entre as variáveis. Conforme o esperado, o solo com maior teor de matéria orgânica e fração de raízes foi o solo Florestal. Já o Colúvio apresentou valores desprezíveis de fração de raízes e teor de matéria orgânica.

A fração de raízes no solo florestal apresentou elevada diferença entre as amostras coletadas nos Testes I e II. No Teste II, onde foram consideradas principalmente as raízes predominantemente verticais, o solo florestal apresentou menor fração de raízes do que as amostras de solo coletadas no Teste I, onde além das raízes verticais também foram consideradas as raízes horizontais (laterais). Este resultado indica, que quando consideradas apenas as raízes predominantemente verticais a fração de raízes que compõe o solo diminui significativamente, o que demonstra o elevado peso das raízes horizontais na biomassa de raízes do solo.

Os Testes I e II apresentaram diferenças importantes com relação ao incremento de resistência ao cisalhamento conferido pelas raízes florestais ao solo. No Teste I, onde manteve-se o bloco de solo fixado pelas paredes laterais, foram obtidos maiores valores de resistência ao cisalhamento do que no Teste II, onde o bloco estava fixado apenas pela base. A discrepância entre os resultados dos testes foi mais evidente no solo florestal, provavelmente devido a sua maior fração de raízes. Em ambos os testes o solo Florestal apresentou os maiores valores médios de resistência ao cisalhamento, porém no Teste I o incremento de resistência ao cisalhamento foi mais expressivo.

Este resultado pode indicar a importante influência das raízes horizontais no reforço do solo, já que quando mantidas as raízes verticais em combinação com as raízes horizontais (Teste I), a resistência ao cisalhamento aumentou aproximadamente 60 KPa em relação ao teste onde manteve-se apenas as raízes verticais (Teste II).

Para que sejam obtidos resultados mais concretos a respeito da influência do sistema radicular das florestas na resistência ao cisalhamento do solo, principalmente no que diz respeito ao papel das raízes horizontais, faz necessário dar continuidade aos testes de campo, incluindo a instalação de um maior número de pontos amostrais e o aperfeiçoamento do equipamento de campo, de modo a elevar a confiabilidade e a significância dos resultados obtidos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio dos funcionários, técnicos, alunos e professores dos Laboratórios de Geotecnia (COPPE-UFRJ), LIEG e GEOHECO (IGEO-UFRJ) que estiveram envolvidos de forma direta ou indireta nesta pesquisa e o fundamental incentivo financeiro do INCT- REAGEO, FAPERJ e CAPES.

REFERÊNCIAS

- Abe, K. & Ziemer, R.R. (1991). Effect of tree roots on a shear zone: modelling reinforced shear stress. Canada: *Can,J. For. Res.*, v. 21, pp. 1012-1019.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1995). *NBR 6502: Rochas e solos*. Rio de Janeiro, 18f.
- Avelar, A.S.; Coelho Netto, A.L.; Lacerda, W.A.; Becker, L.B. & Mendonça, M.B. (2011). Mechanisms of the recent catastrophic landslides in the mountainous range of Rio de Janeiro, Brazil. *Proceedings of the Second World Landslide Forum*. Rome, 5 p.
- Coelho Netto, A.L.; Sato, A.M.; Avelar, A.S.; Vianna, L.G.G.; Araújo, I.S.; Ferreira, D.L.C.; Lima, P.H.M.; Silva, A.P.A. & Silva, R.P. (2013). January 2011: The Extreme Landslide Disaster in Brazil. In: Claudio Margottini, Paulo Canuti, Kuoji Sassa. (Orgs.). *Landslide Science and Practice: Volume 6 – Risk Assessment, Management and Mitigation*. 1ed. Berlin: Springer, v.6, pp. 377-384.
- Collison, A.J.C. & Anderson, M.G. (1996). Using a combined slope hydrology/stability model to identify suitable conditions for landslide prevention by vegetation in humid tropics. Condition for landslide prevention. *Earth surface processes and landforms*, v. 21, pp. 737-747.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (1994). *Estabelece definições e parâmetros mensuráveis para análise de sucessão ecológica da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro*. Resolução n. 6, de 4 de maio de 1994. Diário Oficial da União n. 101, de 30 de maio de 1994, Seção 1, pp. 7913-7914.
- Fraga, J.S. (2014). *Aspectos vegetacionais relevantes à hidrologia de floresta secundária com idades distintas: subsídios à compreensão da estabilidade de encostas*. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro. 125f.
- Goldsmith, W. (2006). Soil strenght reinforcement by plants. *The Bioengineering Group*, Inc. Salem, 18p.
- Gray, D.H. & Leiser, A.J. (1982). Role of Vegetation in the Stability and Protection of Slopes. In: Gray, D.H., *Biotechnical slope protection and erosion control*. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc., pp. 37-65.

- Greenway, D.H. (1987). Vegetation and Slope Stability. In: Anderson, M.G.; Richards, K.S., *Slope Stability: geotechnical engineering and geomorphology*. Great Britain: John Wiley & Sons Ltd., pp. 187-229.
- Lawrance, C.J; Rickson, R.J. & Clark, J. (1996). The effect of grass roots on the shear strength of colluvial soils in Nepal. *British Geomorphological Research Group Meeting. Advances in Hillslope Processes*, Volume 2. September, pp. 857-868.
- Machado, K.M. (2013). *Retroanálise de um deslizamento de encosta em solo residual no Município de Nova Friburgo - RJ*. Rio de Janeiro: Projeto de graduação: Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica - UFRJ.
- Silva, I., & Mielniczuc, J. (1997). Ação do Sistema Radicular de Plantas na Formação e Estabilização de Agregados do Solo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 20, 113-117.
- Silva, R.P. (2014). *Comportamento hidrológico de encosta em substrato rochoso de granítico sob influência de deslizamento raso - Nova Friburgo, Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia - IGEO/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Veloso, R.P., Rangel Filho, A.L.R. e Lima, J.C.A. (1991). *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 124p.
- Wu, T.H. (2013). Root reinforcement of soil: review of analytical models, test results, and applications to design. NRC Research Press, *Can. Geotech. J.*, 50, pp. 259-274.
- Yunwei, Z., Xuan, Z., Tingguo, Z. (2011). Evaluation for Traction Effect of Yunnan Pine Lateral Roots on Soil. *Procedia Environmental Sciences*, 10, pp. 192-197.