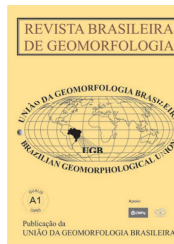


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 19, nº 4 (2018)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i4.1479>



INFLUÊNCIA DE FLORESTA SECUNDÁRIA E GRAMÍNEA NA DEFLAGRAÇÃO DE DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS EM NOVA FRIBURGO, RIO DE JANEIRO

INFLUENCE OF SECONDARY FOREST AND GRASS ON DEFLAGRATION OF SHALLOW LANDSLIDES IN NOVA FRIBURGO, RIO DE JANEIRO

Maria Clara de Oliveira Marques

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP 21941- 916. Brasil
E-mail: mcomarques90@gmail.com*

Ana Luiza Coelho Netto

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP 21941- 916. Brasil
E-mail: ananetto@acd.uff.br*

Anderson Mululo Sato

*Instituto de Educação de Angra dos Reis, Universidade Federal Fluminense
Avenida do Trabalhador, 179, Angra dos Reis, Rio de Janeiro. CEP 23914-360. Brasil
E-mail: andersonsato@id.uff.br*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
13/07/2018
Aceito (Accepted):
09/08/2018

Palavras-chave:

Mata Atlântica; Deslizamento;
Sucção do Solo.

Keywords:

Atlantic Forest; Landslide; Soil
Suction.

Resumo:

A Serra do Mar apresenta ainda um dos maiores remanescentes contínuos de Mata Atlântica sendo caracterizada ao mesmo tempo pela recorrência dos movimentos de massa associados às chuvas intensas. No desastre da região serrana (RJ), mais de 3.600 deslizamentos foram deflagrados, dos quais 24,6% ocorreram em coberturas de gramíneas, enquanto 54,8% ocorreram em coberturas de florestas. Esse trabalho teve como objetivo analisar a influência dessas vegetações no controle da umidade do solo para o entendimento da deflagração dos deslizamentos nas chuvas intensas. Duas encostas foram selecionadas em Nova Friburgo (RJ) para o monitoramento da precipitação, interceptação e sucção nas profundidades de 5, 20, 50, 100, 150 e 220 cm, que também foram analisadas em relação a biomassa e comprimento de raízes grossas (> 2 mm) e finas (< 2 mm) e em relação as propriedades físicas do solo (granulometria, estabilidade de agregados e porosidade). Os resultados demonstraram diferenças expressivas de biomassa e comprimento de raízes grossas entre a floresta (1785,0 g.m⁻³ e 40,1 m.m⁻³) e a gramínea (121,2 g.m⁻³ e 6,4 m.m⁻³). A biomassa de raízes finas foi parecida entre as vegetações, porém na gramínea foram encontradas até 100 cm, enquanto na floresta até 200 cm. Em

relação às propriedades físicas do solo, a principal diferença foi encontrada na maior estabilidade de agregados e porosidade na floresta, refletindo a melhor estruturação do solo pelas raízes. A interceptação florestal foi de 19% da precipitação, indicando a recuperação dessa função hidrológica. As raízes florestais contribuíram para a entrada e retirada de umidade ao longo de todo o perfil, ao passo que na gramínea as profundidades de 100, 150 e 220 cm apresentaram conservação da umidade (-20 kPa) durante todo o monitoramento. Nas fortes chuvas, entretanto, ambas as vegetações favoreceram a saturação do solo (-3 kPa) que na gramínea ocorreu até 50 cm, enquanto na floresta ocorreu a partir de 100 cm.

Abstract:

The mountain region of Rio de Janeiro has one of the largest continuous remnants of Atlantic Forest being characterized at the same time by the recurrence of mass movements associated with intense rains. In the disaster of this mountain region, more than 3,600 landslides were triggered, of which 24.6% occurred in grass cover, while 54.8% occurred in forest cover. The objective of this work was to analyze the influence of these vegetations on soil moisture control for the understanding of landslides deflagration in heavy rains. Two slopes were selected in Nova Friburgo (RJ) to monitor precipitation, interception and suction at depths of 5, 20, 50, 100, 150 and 220 cm, which were also analyzed for biomass and length of thick (> 2 mm) and fine roots (<2 mm) and in relation to the physical properties of the soil (grain size, aggregate stability and porosity). The results showed significant biomass and long root length differences between forest (1785.0 g.m⁻³ and 40.1 m.m⁻³) and grass (121.2 g.m⁻³ and 6.4 m.m⁻³). The fine roots biomass was similar among the vegetations, but in the grass were found up to 100 cm, while in the forest up to 200 cm. Regarding the soil physical properties, the main difference was found in the higher stability of aggregates and porosity in the forest, reflecting the better soil structure by the roots. Forest interception was 19% of precipitation, indicating the recovery of this hydrological function. The forest roots contributed to the entry and removal of moisture along the entire profile, while in the grass the depths of 100, 150 and 220 cm showed moisture conservation (-20 kPa) throughout the monitoring. In the heavy rains, however, both vegetations favored soil saturation (-3 kPa), which in the grass occurred up to 50 cm, while in the forest occurred from 100 cm.

1. Introdução

Os processos hidrológicos nas encostas exercem o maior controle na iniciação dos movimentos de massa e por esse motivo as vegetações são fundamentais para a estabilidade das encostas, uma vez que são capazes de alterar esses processos (SIDLE e OCHIAI, 2006). Os mecanismos hidrológicos através dos quais as vegetações influenciam na estabilidade das encostas estão relacionados à interceptação, infiltração e evapotranspiração, que são considerados benéficos quando reduzem as poro-pressões ou adversos quando aumentam as poro-pressões (GREENWAY, 1987).

Os benefícios da interceptação da precipitação pelas vegetações são atribuídos à diminuição da água disponível para infiltrar e à suavização da intensidade da precipitação, que diminuem o desenvolvimento de poro-pressões positivas no solo. No entanto, esses efeitos têm sido considerados marginais comparados aos efeitos que ocorrem no solo durante as chuvas intensas (KEIM e SKAUGSET, 2003; GHESTEM *et al.*, 2011). No solo, as influências das vegetações, através de suas raízes, são

mais significativas para a regulação das poro-pressões.

A maior capacidade de infiltração pela presença de resíduos orgânicos e raízes, é considerada adversa para a estabilidade por aumentar as poro-pressões (GREENWAY, 1987). Por outro lado, os horizontes orgânicos permitem a formação de fluxos, que são transferidos gradualmente para os horizontes minerais, evitando a erosão superficial (COELHO NETTO, 1987; SIDLE *et al.*, 2007). Vários estudos demonstram também que a melhor estruturação do solo pelo incremento de matéria orgânica e presença de raízes permite a formação de fluxos preferencias, através de macroporos interconectados, sendo os responsáveis pela eficiência de drenagem nos solos e rápida resposta dos canais às precipitações (HEWLETT e HIBBERT, 1965; BEVEN e GERMANN, 1985; WHIPKEY, 1965; SIDLE *et al.*, 2001), contribuindo assim para a dissipação das poro-pressões elevadas.

Da mesma forma, associado ao processo mencionado, as próprias raízes podem ser benéficas para a estabilidade quando suas arquiteturas, como

diâmetro, comprimento e orientação, divergem os fluxos, diminuindo as poro-pressões, ou podem ser adversas quando convergem os fluxos aumentando as poro-pressões em zonas potencialmente instáveis nas encostas (GHESTEM *et al.*, 2011). Essa contradição pode ser simplificada pelo entendimento de que embora os canais preferenciais de infiltração contribuam para a dissipação e diminuição das poro-pressões, uma vez que são excedidos nas suas capacidades de transmissão de água ou obstruídos podem promover instabilidade (UCHIDA, 2004).

A evapotranspiração conduzida pelas raízes para manutenção do contínuo solo-planta-atmosfera constitui outro mecanismo hidrológico que beneficia a estabilidade das encostas, pois diminui diretamente o conteúdo de água no solo, alterando também a distribuição da umidade abaixo da zona de enraizamento e aumentando a resistência ao cisalhamento (GREENWAY, 1987; ISHANK *et al.*, 2009). O balanço desses efeitos hidrológicos, entretanto, é difícil de avaliar e generalizar, não apenas pela variabilidade espacial, mas também temporal da regulação da umidade e geração dos fluxos preferenciais, uma vez que a infiltração ocorre durante e logo após as chuvas, enquanto a evapotranspiração atua mais expressivamente entre os eventos de chuva (REUBENS *et al.*, 2007). Além disso, são poucos os estudos que buscam acessar os efeitos hidrológicos entre diferentes vegetações, principalmente herbáceas, arbustivas e arbóreas, em condições naturais (CAMMERAAT *et al.*, 2005; JOST *et al.*, 2012).

Vale ressaltar que esses efeitos hidrológicos na estabilidade das encostas são inerentes às vegetações e participam da geração dos movimentos de massa, como dinâmica evolutiva natural das regiões montanhosas (SIDLE, 2006; RESTREPO *et al.*, 2009). Nas regiões tropicais, são diversos os registros da deflagração dos movimentos de massa em florestas durante precipitações intensas, embora os estudos tenham mostrado o aumento da frequência e magnitude desses eventos com os desmatamentos e conversão das florestas em áreas de pastagem e agricultura (GRAFF *et al.*, 2012; HIGH *et al.*, 2004; SIDLE, 2005).

A Serra do Mar, localizada nas regiões sudeste e sul do Brasil, devido ao seu relevo acidentado de difícil ocupação, apresenta ainda um dos maiores remanescentes contínuos de Mata Atlântica (RIBEIRO

et al., 2009), sendo caracterizada ao mesmo tempo pela recorrência dos movimentos de massa associados às chuvas intensas (GUIDICINI e IWASA, 1977; PLOEY e CRUZ, 1979; LACERDA *et al.*, 2016). O evento de janeiro de 2011 detonou mais de 3.600 deslizamentos, cuja maioria foi translacional raso e fluxo detritico que se moveram ao longo dos fundos de vales, deixando grandes rastros de destruição e centenas de mortos, configurando um dos maiores desastres da história brasileira (AVELAR *et al.*, 2011; COELHO NETTO *et al.*, 2013). Análises sobre o uso e cobertura do solo demonstraram que 29,1% ocorreram em encostas cobertas por gramíneas para pastagem, enquanto 54,8% ocorreram em encostas cobertas por florestas (COELHO NETTO *et al.*, 2013). Um estudo recente demonstrou, entretanto, que essas florestas compostas por grande quantidade de espécies pioneiras, indivíduos mortos e raízes em decomposição estavam associadas a processos de sucessão mais lentos e processos de degradação que dificultam a recuperação de suas funções hidrológicas (FRAGA *et al.*, 2016). Este estudo buscou analisar, portanto, as influências das raízes dessas duas vegetações, floresta secundária e gramínea, no comportamento hidrológico das encostas, como contribuição para o entendimento da deflagração dos movimentos de massa nos eventos extremos de chuva.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo está inserida na bacia do Córrego Roncador, no município de Nova Friburgo, no Rio de Janeiro (Figura 1). O clima é o tropical de altitude (a.n.m), com temperatura e precipitação média anual de 16°C e 1.500 mm, respectivamente. Predominam rochas graníticas que favorecem a produção de blocos *in situ* e solos saprolíticos cobertos por colúvios (AVELAR *et al.*, 2011). A formação florestal original é a Floresta Ombrófila Densa Montana, pertencente ao bioma Mata Atlântica, que atualmente encontra-se altamente alterada e fragmentada (INEA, 2009). As encostas selecionadas para o monitoramento hidrológico apresentam uma topografia côncava com declividade média de 30°, porém com coberturas vegetais distintas: uma coberta por floresta em estágio secundário de sucessão e outra coberta por gramínea. Na encosta coberta por gramínea, o monitoramento foi conduzido

próximo à cicatriz de deslizamento translacional raso, cuja feição erosiva foi reativada no evento de janeiro de 2011. Estudos realizados nessa encosta mostraram uma profundidade média de ruptura de 1,5 m na borda da cicatriz, além da existência de duas camadas de solo, uma laterítica e outra saprolítica (SILVA *et al.*, 2016). Em relação à vegetação, a encosta era coberta originalmente por vegetação herbácea-arbustiva, composta majoritariamente por *Baccharis sp.*, porém

após um incêndio em dezembro de 2014, a encosta foi colonizada pelo capim gordura (*Melinis minutiflora*). Na encosta coberta por floresta secundária, predominam espécies pioneiras e secundárias com abundância das famílias *Rubiaceae*, *Myrtaceae* e *Erythroxylaceae*, formando apenas um estrato entre 3 e 9 metros de altura e apresentando alta porcentagem de árvores mortas (12,9%), característico da substituição de espécies desse estágio sucessional (FRAGA *et al.*, 2016).

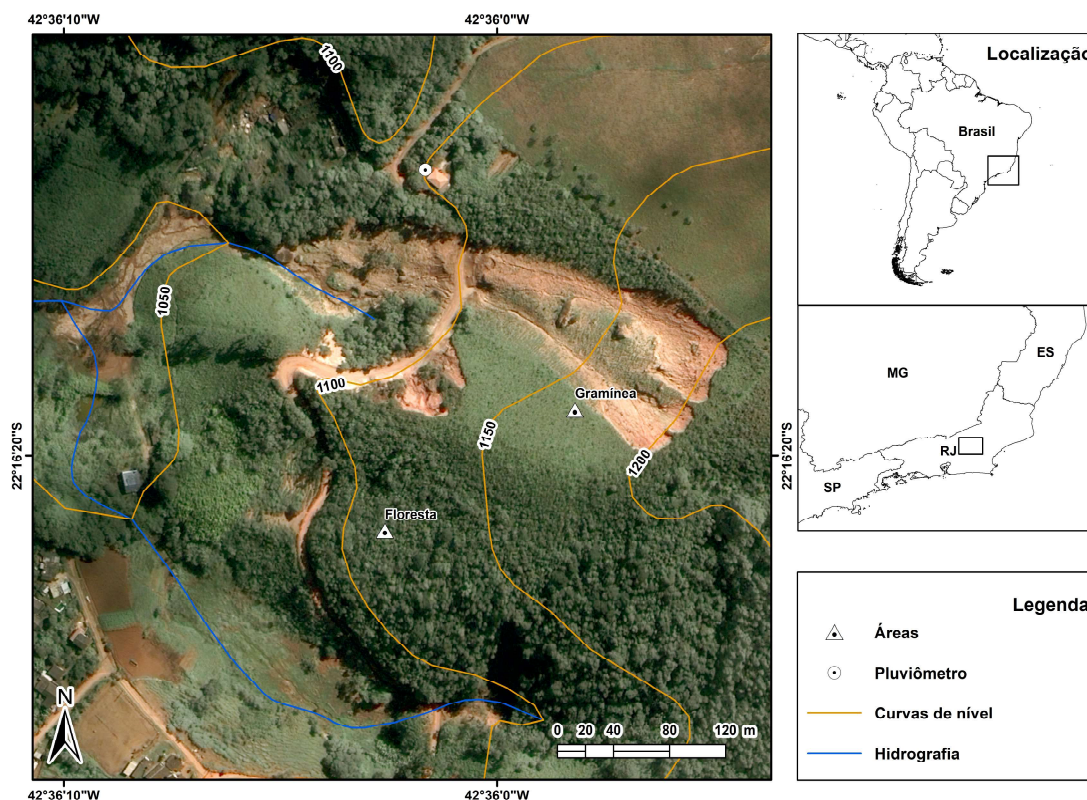


Figura 1 - Localização da área de estudo.

2.2 Análise de raízes grossas e raízes finas

A caracterização da distribuição das raízes grossas *in situ* por profundidade foi realizada através do aprofundamento de uma trincheira preexistente na área de floresta (FRAGA *et al.*, 2016) e abertura de outra trincheira na área de gramínea, ambas com dimensões finais de 1,5 x 1,0 x 2,0 m. As trincheiras foram abertas gradativamente, com intervalos de 10 cm até os 50 cm, depois com intervalos de 25 cm até 100 cm e intervalos de 50 cm até 200 cm. O solo retirado nesses intervalos foi peneirado em campo e todas as raízes grossas (> 2 mm de

diâmetro) encontradas foram ensacadas e etiquetadas. O critério para a abertura das trincheiras e coleta das raízes nesses intervalos é devido à maior densidade de raízes localizar-se nas primeiras camadas de solo (SCHENK e JACKSON, 2002). As raízes foram então levadas para o laboratório, onde foram lavadas para a retirada do excesso de solo aderido em seu tecido e posteriormente foram colocadas na estufa a 60° C por 72 horas. Uma vez secas, foram subdivididas nas seguintes classes de diâmetro, com o auxílio de paquímetro: 2-5 mm, 5-10 mm, 10-20 mm, 20-50 mm e > 50 mm e pesadas em

balança de precisão de 0,01 g. O comprimento total das raízes por classes de diâmetro para cada profundidade foi realizado manualmente com o auxílio de uma régua. A densidade de raízes foi calculada correspondendo a uma extrapolação do peso ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) e do comprimento das raízes ($\text{m}\cdot\text{m}^{-3}$) por volume de solo.

A amostragem das raízes finas nas duas vegetações foi realizada através de anéis de kopeck ($97,5 \text{ cm}^3$) nos mesmos intervalos determinados para a coleta de raízes grossas. Os anéis foram cravados no solo com martelo de borracha e retirados cuidadosamente com auxílio de espátula. Posteriormente foram limpos, retirando-se o excesso de solo aderido no seu entorno, envolvidos em papel filme e folha de alumínio, identificados e levados para o laboratório. Foram coletadas no total 37 amostras indeformadas em cada vegetação. No laboratório, cada anel foi rasado de forma que apenas o solo contido no seu volume fosse usado, primeiramente, para determinação do índice de vazios e da porosidade total, e posteriormente para determinação da densidade de raízes. O solo foi então lavado em peneiras sobrepostas de malha de 2 mm, 1 mm e 0,5 mm para a separação manual das raízes finas com auxílio de pinça. As raízes finas foram etiquetadas e levadas à estufa por 72 horas a 60°C e após secas foram pesadas em balança de precisão de 0,001 g. A densidade de raízes finas foi calculada correspondendo a uma extrapolação do peso das raízes por volume de solo.

2.3 Análise das propriedades físicas do solo

Para a análise da densidade real dos grãos e análise granulométrica foi coletada uma amostra deformada no topo de cada profundidade determinada para o monitoramento da sucção. Os ensaios de densidade real dos grãos foram realizados segundo o método do DNER (1994) e os ensaios de granulometria foram realizados pelo método de granulometria dispersa (peneiramento e sedimentação) conforme os procedimentos da norma técnica da ABNT (1984). Os ensaios de sedimentação foram realizados também sem defloculante e aparelho dispersor para obtenção das condições de agregação do solo em campo conforme metodologia modificada adotada por Futai e Almeida (2005) e Silva *et al.* (2016). A estabilidade de agregados foi determinada pelo método da via úmida proposto pela EMBRAPA (1997), através dos parâmetros diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG)

e índice de estabilidade de agregados (IEA). Para os ensaios de índice de vazios e porosidade total foram coletadas amostras indeformadas em anéis de kopeck que foram tratadas em laboratório para determinação dos parâmetros conforme Pinto (2006).

2.4 Monitoramento hidrológico

O monitoramento da precipitação foi realizado através de um pluviômetro automático (modelo RG200 da Global Water) instalado a uma altura de 1,5 metros acima do terreno, em área aberta distante 256 metros da floresta e 208 metros da gramínea (Figura 1). O pluviômetro foi acoplado a um datalogger (modelo GL500-7-2 da Global Water) e programado para registrar os dados em intervalos de 15 minutos. Para conhecer o atravessamento foram instaladas quatro calhas coletoras ($13,2 \times 300 \text{ cm}$) à uma altura de 50 cm do solo, levemente inclinadas para o direcionamento da água aos reservatórios. A cada precipitação diária, os reservatórios eram esvaziados e os respectivos volumes de atravessamento eram registrados. O período de monitoramento da precipitação foi entre 08/01/2015 e 27/04/2016 e interceptação foi entre 09/05/2015 e 27/04/2016.

Para o monitoramento da sucção do solo foram instalados sensores de matriz granular (modelo 900M da Watermark) nas profundidades de 5, 20, 50, 100, 150 e 220 cm e um sensor de temperatura na profundidade de 100 cm. A escolha pela última profundidade foi devido à maioria dos deslizamentos translacionais na região ter apresentado superfície de ruptura máxima igual a 200 cm (AVELAR *et al.*, 2011). O intervalo de registro dos dados foi sincronizado com a medição de precipitação (15 min). O sensor de temperatura foi instalado na profundidade de 100 cm para aumentar a acurácia do equipamento.

3. Resultados e Discussões

3.1 Distribuição de raízes grossas e finas

A densidade de biomassa de raízes grossas, independente de profundidade e classe de diâmetro, apresentou valores discrepantes, sendo de $1.785,0 \text{ g/m}^3$ na floresta e de $121,2 \text{ g/m}^3$ na gramínea. A distribuição da densidade de biomassa de raízes grossas está apresentada na figura 2. A maior concentração

de raízes próxima da superfície, com decréscimo em profundidade está de acordo com o padrão encontrado na literatura (SCHENK, 2005; STOKES *et al.*, 2009). Na área da gramínea, entretanto, 97% da biomassa de raízes grossas estava concentrada até 30 cm, sendo encontradas apenas raízes da menor classe de diâmetro até 200 cm (Tabela 1). Vale ressaltar que a amostragem das raízes foi anterior a queimada nessa área e que os arbustos *Baccharis sp.* contribuíram, portanto, para os valores encontrados. Segundo Williams e Robbs (1989), essa espécie apresenta raiz pivotante vertical e raízes laterais, podendo alcançar camadas mais profundas tipicamente úmidas. Na floresta, a maior densidade de raízes grossas a 30 cm é justificada pelas raízes com diâmetro superior a 20 mm que acarretam em superestimativas, relacionado ao método de amostragem por trincheira que não abrange a variabilidade espacial das raízes (FRAGA *et al.*, 2016). Nota-se que as raízes mais grossas de sustentação (20-50 mm e > 50 mm) estão localizadas preferencialmente até 100 cm, determinando o padrão de distribuição das raízes menores que se ramificam e podem ser encontradas até 200 cm (DANJON *et al.*, 2008; STOKES *et al.*, 2009).

A análise da densidade de comprimento de raízes se mostra relevante por ser um indicador do recobrimento das raízes no solo (REUBENS *et al.*, 2007). A densidade de comprimento total encontrada foi de 49,1 m.m⁻³ na floresta e de 6,4 m.m⁻³ na gramínea. Na floresta, 42% do comprimento de raízes grossas encontra-se entre 0 cm e 10 cm. Na gramínea aproximadamente 92% do comprimento total está localizado até 30 cm, tornando-se negligenciável a partir dessa profundidade (Figura 3). Na profundidade de 30 cm na floresta, a alta densidade de comprimento, ao contrário do observado na análise da biomassa, é devido ao incremento das raízes da classe de diâmetro de 2-5 mm (Tabela 2).

A distribuição de raízes finas apresentou um comportamento diferente em relação à distribuição das raízes grossas. No total, as áreas de floresta e gramínea apresentaram densidades de biomassa similares de 526,1 g.m⁻³ e 515,0 g.m⁻³, respectivamente, além da mesma tendência de diminuição em profundidade (Figura 4), porém, na gramínea, as raízes finas foram encontradas até 100 cm, enquanto na floresta foram encontradas até 200 cm. No topo do solo, a densidade de raízes finas é maior na floresta do que na gramínea provavelmente devido à maior concentração de nutrientes provenientes da serapilheira (BERISH, 1998).

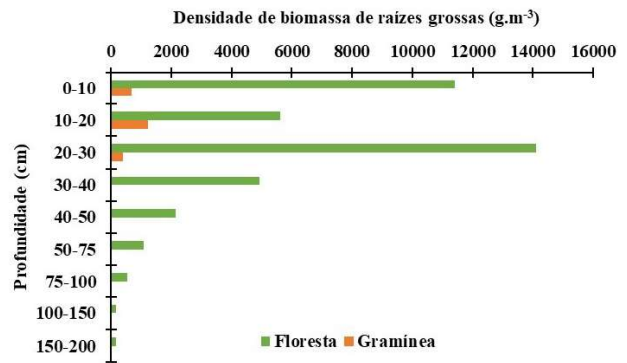


Figura 2 - Densidade de biomassa de raízes grossas por profundidade.

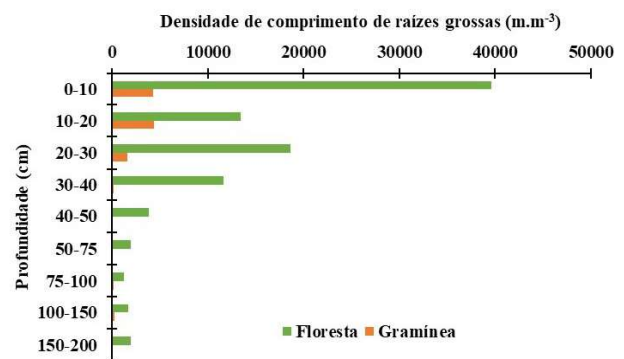


Figura 3 - Densidade de comprimento de raízes grossas por profundidade.

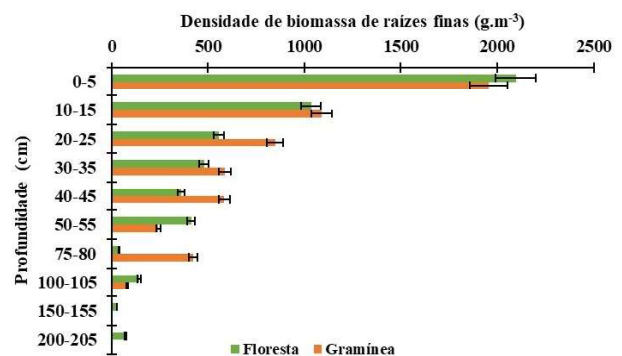


Figura 4 - Densidade de biomassa de raízes finas por profundidade.

3.2 Propriedades físicas do solo

Os resultados da análise granulométrica mostram típicos perfis de solos tropicais, em que as porcentagens de argila são maiores nas camadas superficiais, com a presença de um horizonte iluvial de acumulação de partículas finas (horizonte B) provenientes das camadas superiores, que passam a diminuir e conseqüentemente a aumentar as porcentagens de areia e pedregulho

com o aumento da profundidade (HILLEL, 1998). Os resultados das análises granulométricas sem uso de defloculante e dispersor se resumem às frações de silte e areia, demonstrando a agregação *in situ* das partículas de argila que podem assumir o comportamento hidrológico de partículas maiores, como observado por Silva *et al.* (2016). Em ambas as áreas, as classes texturais mudaram de areia franca para franco arenosa na

profundidade de 100 cm, apresentando diferença apenas na superfície da floresta em que a maior agregação das partículas confere ao solo um comportamento mais arenoso. No entanto, é possível notar que na gramínea há um maior percentual de agregados de menor tamanho, apresentando comportamento de partículas de silte, que atinge valor máximo (44%) na profundidade de 100 cm (Figura 5).

Tabela 1: Densidade de biomassa de raízes grossas (g.m⁻³) por classes de diâmetro por profundidade e contribuição percentual em parênteses.

Prof. (cm)	Floresta					Gramínea				
	Classes de diâmetro em (mm)					Classes de diâmetro (mm)				
	2-5	5-10	10-20	20-50	>50	2-5	5-10	10-20	20-50	>50
0-10	1287,0 (45)	2828,0 (53)	1565,0 (24)	5147,0 (34)	585,0 (6)	154,0 (37)	253,7 (61)	200,6 (14)	73,9 (100)	0,0 (0)
10-20	442,0 (16)	882,0 (16)	649,0 (10)	1870,0 (12)	1782,0 (17)	161,2 (39)	127,5 (31)	926,3 (64)	0,0 (0)	0,0 (0)
20-30	513,0 (18)	939,0 (18)	1993,0 (30)	5829,0 (39)	4821,0 (46)	56,8 (14)	20,7 (5)	312,6 (22)	0,0 (0)	0,0 (0)
30-40	286,0 (10)	367,0 (7)	1304,0 (20)	1504,0 (10)	1470,0 (14)	20,9 (5)	4,6 (1)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)
40-50	123,0 (4)	112,0 (2)	925,0 (14)	67,0 (0,4)	908,0 (9)	4,9 (1)	1,9 (0,4)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)
50-75	52,0 (2)	74,0 (1)	26,4 (0,4)	74,4 (0,4)	857,6 (8)	1,5 (0,3)	7,7 (2)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)
75-100	31,2 (1)	31,2 (1)	5,6 (0,0)	470,4 (3)	0,0 (0)	3,8 (1)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)
100-150	46,3 (2)	67,7 (1)	46,4 (1)	0,0 (0)	0,0 (0)	13,7 (3)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)
150-200	51,0 (2)	56,9 (1)	47,5 (1)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,6 (0,1)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)

Tabela 2: Densidade de comprimento de raízes grossas (g.m⁻³) por classes de diâmetro por profundidade e contribuição percentual em parênteses.

Prof. (cm)	Floresta					Gramínea				
	Classes de diâmetro (mm)					Classes de diâmetro (mm)				
	2-5	5-10	10-20	20-50	>50	2-5	5-10	10-20	20-50	>50
0-10	23375,0 (42)	12703,0 (51)	2200,0 (25)	1280,0 (31)	35,0 (3)	2875,3 (37)	1088,7 (60)	284,7 (19)	28,7 (100)	0,0 (0)
10-20	7936,0 (14)	3920,0 (16)	1160,0 (13)	293,0 (7)	145,0 (14)	2979,3 (38)	538,7 (30)	846,0 (57)	0,0 (0)	0,0 (0)
20-30	9839,0 (18)	3780,0 (15)	2870,0 (32)	1648,0 (40)	526,0 (50)	1158,0 (15)	83,3 (5)	356,7 (24)	0,0 (0)	0,0 (0)
30-40	6730,0 (12)	2360,0 (10)	1655,0 (19)	757,0 (18)	166,0 (16)	152,0 (2)	32,0 (2)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)
40-50	2404,0 (4)	500,0 (2)	828,0 (9)	15,0 (0,3)	91,0 (9)	46,7 (1)	15,3 (1)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)
50-75	1361,2 (2)	436,4 (2)	71,6 (1)	12,0 (0,2)	90,0 (9)	79,7 (1)	45,3 (3)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)
75-100	908,0 (2)	238,4 (1)	13,6 (0,1)	128,0 (3)	0,0 (0)	144,0 (2)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)
100-150	1211,7 (2)	395,3 (2)	75,8 (1)	0,0 (0)	0,0 (0)	305,1 (4)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)
150-200	1491,4 (3)	420,9 (2)	64,0 (1)	0,0 (0)	0,0 (0)	32,0 (0,4)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)

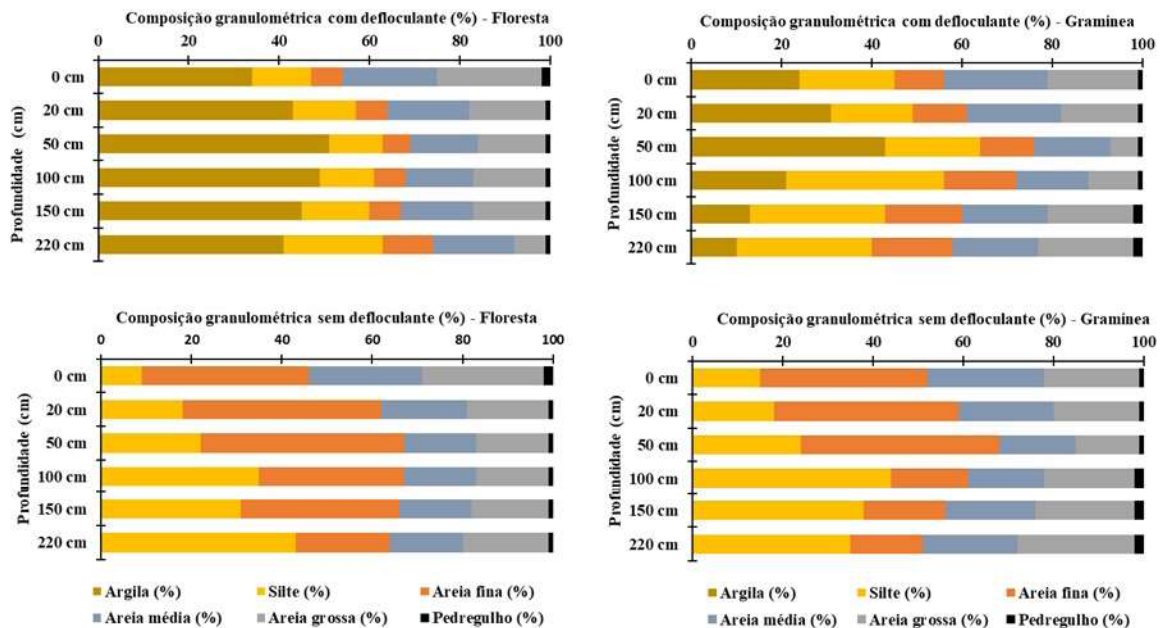


Figura 5 - Composição granulométrica com uso e sem uso de defloculante.

A análise da estabilidade de agregados demonstra que na floresta existe uma tendência clara de diminuição dos agregados > 2 mm e aumento dos agregados de menor tamanho conforme o avanço da profundidade (Figura 6). Na gramínea, nota-se uma tendência mais abrupta e variável de diminuição dos agregados > 2 mm e aumento dos agregados de menor tamanho, principalmente dos microagregados (< 0,125 mm), como demonstrado na figura 7. No topo do solo, a porcentagem de agregados é maior do que na floresta devido ao recobrimento do solo pelas gramíneas e à alta densidade de raízes finas, que se renovam constantemente, liberando grande quantidade de carbono orgânico (WOHLENBERG *et al.*, 2004; FATTET *et al.*, 2011; BRANDÃO, 2012).

A diminuição da agregação do solo com o aumento da profundidade pode ser visualizada também pelo diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) (Tabela 3). É possível observar que, ainda que os agregados de maior tamanho sejam preservados nas maiores profundidades da gramínea, durante o processo de desagregação pela água, ocorre maior liberação de agregados menores do que de agregados intermediários, o que confere os baixos índices de estabilidade logo a partir de 50 cm de profundidade. Na floresta, percebe-se o predomínio de agregados intermediários e maiores índices de estabilidade nas maiores profundidades, associado à maior presença de raízes que tanto libera matéria orgânica no solo, principal substância cimentante de agregados, como também permite o desenvolvimento de hifas fúngicas que os unem mecanicamente (SIX, *et al.*, 2004; FATTET *et al.*, 2011).

Os resultados das análises de porosidade e índice de vazios estão apresentados na figura 8 e tabela 4. Os valores de porosidade e índice de vazios apresentaram uma tendência de diminuição em ambas as áreas, porém foram maiores ao

longo de todo o perfil na floresta. Esse fato está relacionado tanto à maior agregação do solo na floresta quanto à maior presença de raízes grossas, visto que a quantidade de raízes finas na gramínea se apresentou mais elevada do que na floresta na maioria das profundidades. Chama a atenção que na floresta a diminuição mais abrupta da porosidade ocorre da camada de 100 cm para 150 cm, enquanto na gramínea essa mudança ocorre da camada de 75 cm para 100 cm, que pode estar relacionada com a menor estruturação do solo pela menor presença de raízes nesse intervalo.

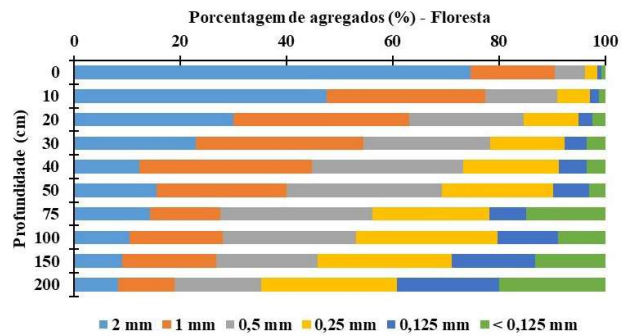


Figura 6 - Porcentagem de agregados de diferentes classes de diâmetro por profundidade na floresta.

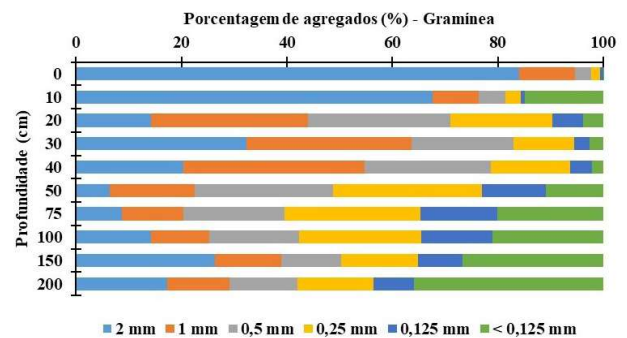


Figura 7 - Porcentagem de agregados de diferentes classes de diâmetro por profundidade na gramínea.

Tabela 3: Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) por profundidade na floresta e gramínea.

Prof. (cm)	Floresta			Gramínea		
	DMP (mm)	DMG (mm)	IEA (%)	DMP (mm)	DMG (mm)	IEA (%)
0	2,531	2,255	96,777	2,710	2,535	97,688
10	2,002	1,619	93,299	2,220	1,362	80,642
20	1,605	1,210	88,600	1,162	0,824	72,826
30	1,403	1,007	79,596	1,634	1,210	82,730
40	1,149	0,838	75,327	1,371	1,017	76,537
50	1,147	0,806	70,096	0,765	0,486	48,114
75	0,947	0,540	72,085	0,715	0,380	40,677
100	0,893	0,557	58,449	0,844	0,413	44,759
150	0,814	0,468	62,278	1,151	0,488	48,658
200	0,675	0,353	50,479	0,884	0,345	24,866

A elevada porosidade nas camadas mais superficiais (55% a 60%), bem como sua variação e decréscimo em profundidade também são observados em outros trabalhos realizados no domínio da Mata Atlântica (SILVEIRA, 2005; BERTOLINO *et al.*, 2010). Avelar *et al.* (2011) analisaram os solos da região encontrando índices de vazios variando entre 0,97 e 1,61 em solos coluviais e entre 0,77 e 1,03 em solos saprolíticos, nos quais os índices do presente estudo se enquadram. O resultado de porosidade reflete a estruturação final do solo com base nas outras propriedades de textura, agregação e presença de raízes. A maior porosidade na floresta é conferida pelos maiores teores de argila e matéria orgânica que estruturam melhor o solo. As bruscas reduções da porosidade a 100 cm na gramínea e a 150 cm na floresta acompanham o surgimento de um material mais friável (composto por silte e areia), agregados menores e ausência de raízes.

As mudanças na estrutura do solo nessas profundidades coincidem com a transição para a camada saprolítica. Na gramínea, por exemplo, as sondagens realizadas próximas dos pontos de amostragem evidenciaram que essa camada iniciava na profundidade de 250 cm (SILVA *et al.*, 2016).

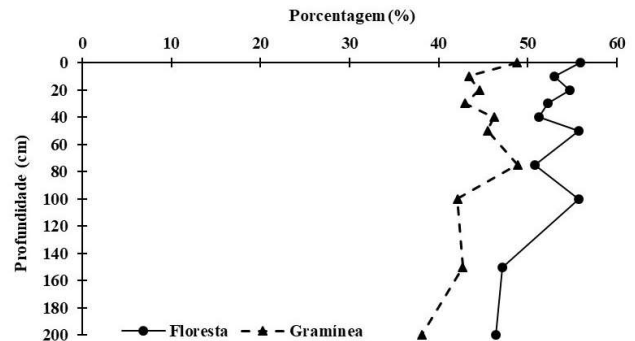


Figura 8 - Porosidade (%) por profundidade nas áreas de floresta e gramínea.

Tabela 4: Índice de vazios (e) e porosidade (n) em porcentagem por profundidade nas áreas de floresta e gramínea.

Prof. (cm)	Floresta				Gramínea			
	e		n (%)		e		n (%)	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
0	1,27	0,05	55,88	1,01	0,97	0,19	48,76	5,45
10	1,14	0,17	52,97	3,64	0,77	0,05	43,38	1,52
20	1,24	0,30	54,75	6,70	0,81	0,11	44,57	3,40
30	1,10	0,11	52,22	2,56	0,75	0,03	42,95	1,08
40	1,05	0,04	51,24	0,95	0,86	0,06	46,21	1,63
50	1,27	0,16	55,75	3,42	0,84	0,11	45,48	3,10
75	1,04	0,11	50,76	2,60	0,96	0,13	48,86	3,19
100	1,26	0,07	55,69	1,30	0,73	0,03	42,12	0,86
150	0,90	0,11	47,17	3,01	0,75	0,04	42,70	1,25
200	0,88	0,19	46,42	4,99	0,62	0,06	38,09	2,15

3.3 Monitoramento hidrológico

O ano de 2015 apresentou uma precipitação acumulada de apenas 1135,2 mm, caracterizando-se como um ano seco, enquanto que 2016 apresentou uma precipitação acumulada até o mês de abril de 772,1 mm. O baixo índice pluviométrico do primeiro ano refletiu o comportamento da seca histórica do sudeste brasileiro entre 2013 e 2015 (SORIANO *et al.*, 2016). O monitoramento do atravessamento entre 09/05/2015 e 27/04/2016 apresentou uma precipitação total de 1260,1 mm, com 144 dias chuvosos, da qual 1021,4 mm atravessou o dossel florestal, correspondendo a 81% de atravessamento e a 19% de interceptação. O atravessamento total foi obtido a partir da soma da média das medidas entre os reservatórios, que apresentaram um coeficiente de variação médio de 12,7%, variando de 0,9% a 39% em função inversa da precipitação. Foi obtida uma boa correlação entre o atravessamento e a precipitação ($R^2 = 0,95$), em que o

aumento da precipitação foi acompanhado pelo aumento do atravessamento como esperado.

A média da sucção por profundidade no período monitorado mostra uma condição mais seca do solo florestal, em que todas as profundidades apresentaram valores de sucção superiores aos valores da gramínea. Um comportamento parecido entre as áreas é o aumento da umidade em profundidade que atinge valores máximos a 100 cm. No entanto, enquanto na floresta as profundidades de 150 cm e 220 cm voltam a apresentar uma condição mais seca, na gramínea a umidade parece ser conservada a partir de 100 cm (Figura 9). Os maiores valores de sucção nas camadas superiores são explicados pela constante retirada de umidade pelas raízes, no entanto, a redução acentuada da sucção na gramínea mostra que a atuação das raízes não é tão marcante como na floresta, sendo, inclusive, ausente nas camadas mais inferiores.

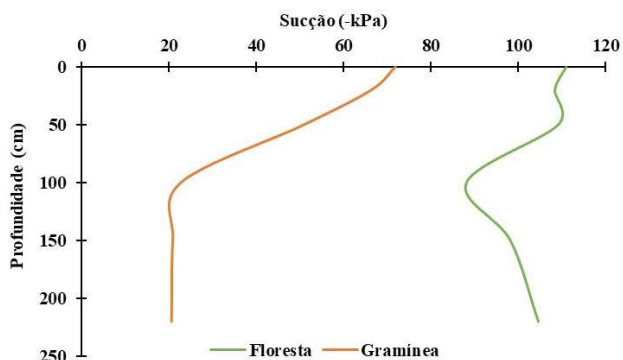


Figura 9 - Sucção média por profundidade na floresta e gramínea.

A figura 10 apresenta a análise comparativa da variação da sucção por profundidade. Todos os sensores iniciaram com valores baixos de sucção devido ao procedimento de instalação. O sensor a 5 cm responde à precipitação terminal, se mostrando também mais sensível aos processos de evaporação. As variações de sucção acompanharam as precipitações, porém com maiores amplitudes na floresta. A 20 cm o comportamento é parecido, porém com oscilações menores na gramínea. No primeiro mês de monitoramento, na ausência de vegetação na gramínea, as variações de sucção a 0 cm e 20 cm foram decorrentes principalmente da evaporação do solo, sem influência das raízes na absorção de água pelo processo de transpiração.

A profundidade de 50 cm mostra-se relevante por normalmente ser a profundidade terminal das vegetações rasteiras. Como demonstrado na figura 2, as raízes grossas nessa área estão concentradas até 30 cm, havendo baixa densidade de raízes das classes de diâmetro de 2-5 mm e 5-10 mm e redução de raízes finas a partir dessa profundidade. Nota-se que na ausência de vegetação, o potencial matricial permanece constante em torno de -15 kPa até o início de fevereiro, quando a vegetação se reestabelece e as precipitações reduzem o potencial matricial para -1 kPa, que se manteve próximo da saturação por 7 dias. A redução da sucção para valores próximos da saturação também é observada em outros eventos de precipitação nessa profundidade na gramínea.

A diferença desse período chuvoso para o segundo está relacionada às altas taxas de transpiração para suprimento hídrico da vegetação em resposta à escassez hídrica dos meses antecedentes. Zeppel *et al.* (2008) estimaram a transpiração de um fragmento florestal entre um ano seco e um ano chuvoso, demonstrando maior consumo de água pela vegetação no primeiro ano que não permitiu a recarga de água no solo. No presente estudo, o alcance mais rápido de uma condição seca na floresta em todas as profundidades, na transição para o período seco em 2015, reforça a maior retirada de umidade pelas raízes pelo processo de transpiração relacionada à manutenção das atividades

biológicas das plantas.

Todas as profundidades na floresta responderam com aumento da sucção durante o período seco, ao passo que na gramínea o aumento somente foi observado nas três primeiras profundidades, com pequenas variações a 100 cm, que coincide com o término das raízes finas. As profundidades de 150 cm e 220 cm permanecem praticamente na mesma faixa de sucção, indicando a conservação de umidade. A sucção aumenta de -15 kPa para apenas -33 kPa durante onze meses, até o início das chuvas em 2016 que promovem pequenas alterações. Na floresta, os comportamentos acompanham as camadas mais superficiais, além disso, a 150 cm nota-se uma diminuição da sucção em 24/04/2016 que não ocorre nas camadas superiores, corroborando a injeção de água pelas raízes arbóreas sem necessariamente umedecer a matriz do solo sobrejacente.

A análise comparativa da variação da sucção por profundidade demonstrou que o solo da floresta atingiu um patamar mínimo de sucção (-10 kPa) superior ao solo da gramínea (-3 kPa) nas profundidades de 0 cm, 20 cm e 50 cm, devido à maior absorção de água pelas raízes florestais nesse compartimento para manutenção do contínuo solo-planta-atmosfera. Leung *et al.* (2015) afirmam, entretanto, que independente da evapotranspiração, a própria presença de raízes pode aumentar a sucção do solo por mudar sua estrutura, considerando principalmente o a liberação de exsudatos, o volume de ocupação das raízes e a retenção de água nos seus tecidos, que modificam a retenção característica da água no solo. A partir de 100 cm, onde se percebe a transição de uma textura mais grossa para uma textura mais fina em ambas as áreas e a menor atuação das raízes na absorção de água durante o período chuvoso, o comportamento de variação da sucção tende a ser parecido. Salemi *et al.* (2012) buscaram compreender as consequências hidrológicas da conversão de florestas em pastagens, observando também conservação da umidade na pastagem (variação entre 0 e -8 kPa), além de nenhuma diferença significativa da sucção no período chuvoso, corroborando os resultados encontrados no presente estudo.

No presente trabalho, a exceção desse comportamento ocorre nas precipitações fortes, quando esse compartimento na floresta adquire condições próximas da saturação (-2 kPa) em função da infiltração favorecida pelas raízes. Isso pode ser observado nas profundidades de 100, 150 e 220 cm, porém mais claramente nas duas últimas no período entre 19/11/2015 e 19/12/2015 e no período entre 15/01/2016 e 25/01/2016. Em 15/01/2016 houve uma precipitação de 61,1 mm seguida de uma precipitação em 16/01/2016 de 66,3 mm que foi a maior durante todo o monitoramento, provocando um deslizamento na região. Essa precipitação acumulada (107,6 mm) levou à uma diminuição da sucção nas respectivas profundidades de -2 kPa, -3 kPa e -4 kPa,

que se mantiveram por aproximadamente 10 dias. Na gramínea percebe-se uma inversão do comportamento, pois as precipitações promoveram um umedecimento próximo

de -3 kPa nas três primeira profundidades. A entrada de água ocorreu na camadas mais profundas, porém com atraso e rápido retorno para maiores valores de sucção.

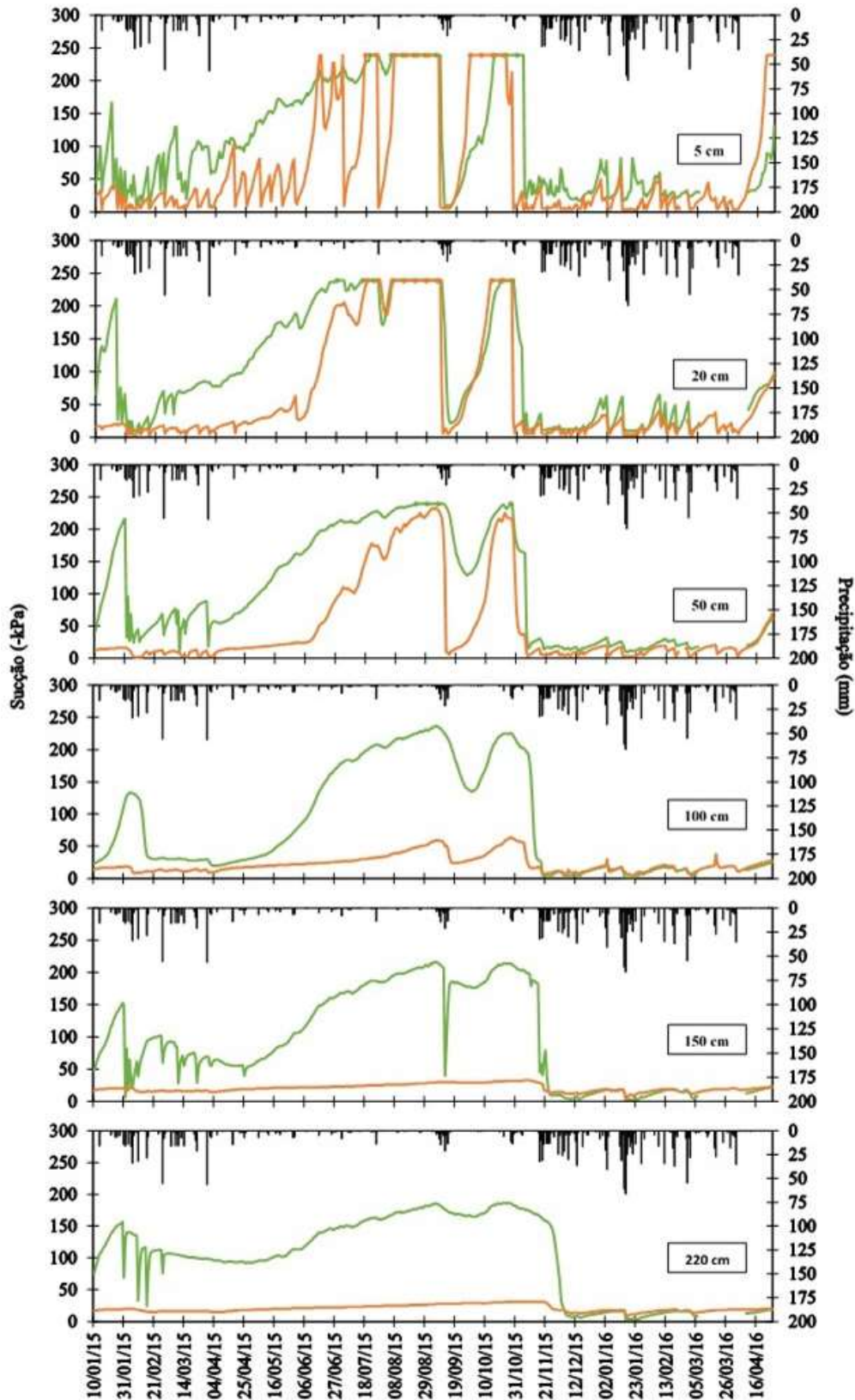


Figura 10 - Variação da sucção (-kPa) por profundidade na floresta e gramínea.

Nesse sentido, ambas as coberturas vegetais favoreceram a saturação do solo nos fortes eventos de precipitação, que na gramínea ocorreu preferencialmente a 50 cm, decorrente do seu enraizamento mais superficial, que promove descontinuidade da transmissão da água em profundidade, resultando na saturação do solo na base do seu enraizamento (COELHO NETTO, 2005; SALEMI *et al.*, 2012), ao passo que na floresta ocorreu nas maiores profundidades de 100 cm, 150 cm e 220 cm, associado às suas raízes mais profundas que redirecionam a água através de seus tecidos até as suas terminações. Estes dados corroboram as observações de campo, que identificaram que os deslizamentos em gramíneas são mais rasos que em fragmentos florestais.

Como apontado por Ghestem *et al.* (2011) situações em que a arquitetura das raízes promove a concentração dos fluxos de água e o aumento das poro-pressões positivas são consideradas desfavoráveis à estabilidade das encostas, principalmente quando ocorrem em superfícies potenciais de ruptura. Lacerda *et al.* (2007) também afirmam que a perda de sucção pelo avanço da frente de umidade pode ocasionar a diminuição da coesão do solo e conseqüentemente sua resistência ao cisalhamento. José (2016), por exemplo, realizou teste de cisalhamento *in situ* na mesma floresta nas camadas entre 0 – 25 cm e 25 – 50 cm, encontrando menor resistência ao cisalhamento na última, relacionado com o maior teor de umidade que confere menor coesão aparente ao solo. Outros estudos em solos tropicais demonstram também essa relação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento com os potenciais matriciais do solo (FUTAI e ALMEIDA, 2005; FUTAI, 2014).

Conclusões

Com base nos resultados apresentados, é possível concluir que o fragmento florestal apresentou uma interceptação esperada no domínio da Mata Atlântica, indicando a recuperação dessa função hidrológica. A análise das raízes grossas demonstrou diferenças marcantes entre as áreas. Ambas apresentaram concentração de raízes grossas nos primeiros centímetros de solo, que na floresta decresceram gradualmente, enquanto na gramínea se concentraram no topo do solo. A biomassa de raízes finas foi similar entre as áreas, cuja diferença principal foi quanto a extensão do enraizamento, que na gramínea ocorreu até 100 cm, enquanto na floresta ocorreu até 200 cm.

Em relação às propriedades físicas do solo, foi encontrado em ambas as áreas o surgimento de uma textura mais fina a partir de 100 cm, na análise granulométrica sem

o uso de defloculante. As diferenças principais, entretanto, foram observadas nas análises de estabilidade de agregados e porosidade, que refletem melhor a estruturação do solo. A diminuição desses parâmetros em profundidade acompanha o surgimento de um material mais friável, composto por silte e areia, e menor presença de raízes. No entanto, o maior índice de estabilidade de agregados e porosidade na floresta para todas as profundidades está relacionada com a maior presença de raízes, que liberam matéria orgânica, agregadora de partículas, estruturando melhor o solo e favorecendo a infiltração.

Os distintos comportamentos de variação da sucção entre as áreas estão, portanto, intimamente relacionadas com as propriedades físicas do solo e as características de enraizamento observadas. O sistema radicular fasciculado das gramíneas, composto por raízes finas e a presença de raízes grossas de vegetações arbustivas pretéritas, aumentaram a infiltração da água no topo do solo, favorecendo a formação de zonas de saturação mais superficiais nas chuvas fortes. Igualmente a retirada de umidade por evapotranspiração foi influenciada pelo sistema radicular, que ocorreu notavelmente nas profundidades com presença de raízes finas responsáveis pela absorção de água, ao passo que as maiores profundidades apresentaram uma tendência de conservação da umidade na ausência dessas raízes.

O sistema radicular pivotante das árvores, composto por raízes grossas profundas que se ramificam em raízes laterais e raízes finas nas extremidades promoveram, no entanto, a entrada e retirada de água em todo o perfil. Devido a maior taxa de transpiração das plantas arbóreas, bem como a maior presença de raízes que reestruturam o solo, as camadas mais superficiais, que são caracterizadas como a zona de raízes e de maior extração de água, não apresentaram a mesma tendência de saturação como na gramínea. Por sua vez, a infiltração por caminhos preferenciais, através principalmente das raízes grossas e dos dutos formados após sua decomposição, favorecem a concentração de água nas profundidades em que são terminais aumentando a poro pressão da água. A saturação do solo nessa área também ocorreu nas chuvas fortes, porém mais profundamente, devido principalmente ao rápido movimento e redirecionamento da água em profundidade pelas raízes arbóreas.

Esses resultados permitem compreender a alta ocorrência de deslizamentos em coberturas de florestas secundárias e gramíneas no evento extremo de chuva em janeiro de 2011. Associado ao grande aporte de chuva e

alta umidade antecedente, essas vegetações favoreceram a formação de zonas de saturação e aumento das pororessões da água, deflagrando os deslizamentos em superfícies de ruptura entre 0,5 m e 2,0 m. É importante ressaltar que a ampliação das investigações em coberturas florestais em estágios mais avançados de sucessão, cujas funções hidrológicas estariam plenamente recuperadas, são fundamentais para complementar a compreensão do papel das florestas na estabilidade das encostas, além de subsidiar a elaboração de mapas de susceptibilidade que destaquem o papel da vegetação em diferentes coberturas e estágios sucessionais.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao INCT-REAGEO, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) que viabilizaram financeiramente a execução desse estudo.

Referências Bibliográficas

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. In MARGOTTINI, C.; CANUTI, P.; SASSA, K. (org.) **Landslide Science and Practice**. Springer-Verlag, Berlin: p. 265-270.

BERISH, C. W.; EWEL, J. J. Root development in simple and complex tropical succession ecosystem. **Plant and Soil**, v. 106, p. 73-84, 1988.

BERTOLINO, A. V. F. A.; FERNANDES, N. F., MIRANDA, J. P. L., SOUZA, A. P., LOPES, M. R. S., PALMIERE, F. Effects of plough pan development on surface hydrology and on soil physical properties in Southeastern Brazilian plateau. **Journal of Hydrology**, v. 393, p. 94-104, 2010.

BEVEN, K.; GERMANN, P. Macropores and water flow in soils. **Water Resources Research**, v. 18, n. 5, p. 1311-1325, 1982.

BRANDÃO, E. D.; SILVA, I. F. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um nitossolo vermelho. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, p. 1193-1199, 2012.

CAMMERAAT, E.; BEEK, R. V.; KOOIJMAN, A. Vegetation succession and its consequences for slope stability in SE Spain. **Plant and Soil**, v. 278, p. 135-147, 2005.

COELHO NETTO, A. L. Overlandflow production in a tropical

rainforest catchment: the role of litter cover. **Catena**, v. 14, p. 213-231, 1987.

COELHO NETTO, A. L. A interface florestal-urbana e os desastres naturais relacionados à água no maciço da Tijuca: desafios ao planejamento urbano numa perspectiva sócio-ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, v.16, p. 46-60, 2005.

COELHO NETTO, A. L.; SATO, A. M.; AVELAR, A. S.; VIANNA, L. G. G.; ARAÚJO, I. S.; FERREIRA, D. L. A.; LIMA, P. H.; SILVA, A. P. A.; SILVA, R. P. (2011) January 2011: the extreme landslide disaster in Brazil. In MARGOTTINI, C.; CANUTI, P.; SASSA, K. (org.) **Landslide Science and Practice**. Springer-Verlag, Berlin: p. 265-270.

DNER (1994) **Solos – determinação da densidade real**. DNER-ME 093/94, 4p.

EMBRAPA (1997) **Manual de métodos de análise de solo**. Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Rio de Janeiro, 212p.

FATTET, M.; FU, Y.; GHESTEM, M.; MA, W.; FOULONNEAU, M.; NESPOULOUS, J.; LE BISSONNAIS, Y.; STOKES, A. Effects of vegetation type on soil resistance to erosion: relationship between aggregate stability and shear strength. **Catena**, v. 87, p. 60-69, 2011.

FUTAI, M. M.; ALMEIDA, M. S. S. An experimental investigation of the mechanical behaviour of an unsaturated gneiss residual soil. **Géotechnique**, v. 55, n. 3, p. 201-213, 2005.

FUTAI, M. M. (2014) Landslide in unsaturated conditions caused by rainfall infiltration. In

GRAFF, J. V.; SIDLE, R. C.; AHMAD, R.; SCATENA, F. Recognizing the importance of tropical forest in limiting rainfall-induced debris flows. **Environmental Earth Science**, v. 67, p. 1225-1235, 2012.

GREENWAY, D. R. (1987) Vegetation and slope stability. In ANDERSON, M. G.; RICHARDS, K. S. (org.) **Slope stability**. John Wiley & Sons LTD, New York: p. 187-230.

GHESTEM, M.; SIDLE, R. C.; STOKES, A. The influence of plant root systems on subsurface flow: implications for slope stability. **BioScience**, v. 61, n. 11, p. 869-879, 2011.

HEWLETT, J. D.; HIBBERT, A. R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. **Forest hydrology**, v. 1, p. 275-290, 1967.

HILLEL, D. **Environmental soil physics: fundamentals, applications, and environmental considerations**. San Diego: Academic press, 1998. 771 p.

- INEA (2009) **Plano de Manejo do Parque Estadual dos Três Picos**. Rio de Janeiro, 655 p.
- ISHAK, M. F.; SULAIMAN, F. F.; ALI, N.; KASSIM, A. Tree water uptake and suction distribution on tropical residual soil slope. **Earth and Environmental Science**, v. 30, 2016.
- JOSÉ, F. O.; AVELAR, A. S.; LACERDA, W. A. (2016) Análise do incremento de resistência ao cisalhamento conferido por raízes florestais através de testes de cisalhamento em campo em Nova Friburgo/RJ. In NUNES, A. L. L. S.; MAHLER, C. F.; DANZIGER, F. A. B.; CASTRO, F. J. C. O.; LOPES, F. R.; ARAGÃO, F. T. S.; MARTINS, I. S. M.; MOTTA, L. M. G.; ALMEIDA, M. S. S.; BARBOSA, M. C.; EHRLICH, M. (org.) **Willy Lacerda: doutor no saber e na arte de viver**. Outras Letras, Rio de Janeiro: p. 358-363.
- JOST, G.; SCHUME, H.; HAGER, H.; MARKART, G.; KOHL, B. A hillslope scale comparison of tree species influence on soil moisture dynamics and runoff processes during intense rainfall. **Journal of Hydrology**, v. 420-421, p. 112-124, 2012.
- KEIM, R. F.; SKAUGSET, A. E. Modelling effects of forest canopies on slope stability. **Hydrological Processes**, v. 17, p. 1457-1467, 2003.
- LACERDA, W. A.; PALMEIRA, E. M.; COELHO NETTO, A. L.; EHRLICH, M. (org.) **Extreme rainfall induced landslides: an international perspective**. Oficina de Textos, São Paulo: p. 41-69.
- LACERDA, W. A. Landslide initiation in saprolite and colluvium in southern Brazil: field and laboratory observations. **Geomorphology**, v. 87, p. 104-119, 2007.
- PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 367 p.
- PLOEY, J. D.; CRUZ, O. Landslides in the Serra do Mar, Brazil. **Catena**, v. 6, n. 2, p. 111-122, 1979.
- RESTREPO, C.; WALKER, L. R.; SHIELS, A. B.; BUSSMANN, R.; CLAESSENS, L.; FISH, S.; LOZANO, P.; NEGI, G.; PAOLINI, L.; POVEDA, G.; RAMOS-SCHARRÓN, C.; RICHTER, M.; VELÁZQUES, E. Landsliding and its multiscale influence on mountainscapes. **BioScience**, v. 59, n. 8, p. 685-698, 2009.
- REUBENS, B.; POESEN, J.; DANJON, F.; GEUDENS, G.; MUYS, B. The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture: a review. **Trees**, v. 21, p. 385-402, 2007.
- RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian atlantic forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1141-1153, 2009.
- SALEMI, L. F.; GROppo, J. D.; TREVISAN, R.; SEGHEsi, G. B.; MORAES, J. M.; FERRAZ, S. F. B.; MARTINELLI, L. A. Consequências hidrológicas da mudança de uso da terra de floresta para pastagem na região da floresta tropical pluvial Atlântica. **Revista Ambiente e Água**, v. 7, n. 3, p. 127-140, 2012.
- SCHENK, H. J. Vertical vegetation structure below ground: scaling from root to globe. **Progress in Botany**, v. 66, p. 341-373, 2005.
- SIDLE, R. C.; TSUBOYAMA, Y.; NOGUCHI, S.; HOSODA, I.; FUJIEDA, M.; SHIMIZU, T. Stormflow generation in steep forested headwaters: a linked hydrogeomorphic paradigm. **Hydrological Processes**, v. 14, p. 369-285, 2006.
- SIDLE, R. C. (2005) Influence of forest harvesting activities on debris avalanches and flows. In JAKOB, M.; HUNGR, O. (org.) **Debris-flow hazards and related phenomena**. Praxis Publishing, Chichester: p. 387-409.
- SILVEIRA, C. S.; BARBOSA, M. C. E.; COELHO NETTO, A. L. A tracer experiment as an alternative methodology to understand infiltration pathway in a tropical rainforest soil. **Solos e Rochas**, v. 28, n. 3, p. 261-270, 2005.
- SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEf, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil & Tillage Research**, v. 79, p. 7-31, 2004.
- SORIANO, E.; LONDE, L. R.; GREGORIO, L. T.; COUTINHO, M. P.; SANTOS, L. B. L. Crise hídrica em São Paulo sob o ponto de vista dos desastres. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 1, p. 21 – 42, 2016.
- STOKES, A.; ATGER, C.; BENGOUGH, A. G.; FOURCAUD, T.; SIDLE, R. C. Desirable plant root traits for protecting natural and engineered slopes against landslides. **Plant Soil**, v. 324, p. 1-30, 2009.
- UCHIDA, T. Clarifying the role of pipe flow on shallow landslide initiation. **Hydrological Processes**, v. 18, p. 375-378, 2004.
- WHIPKEY, R. Z. Subsurface stormflow from forested slopes. **International Association of Scientific Hydrology Bulletin**, v. 10, n. 2, p. 74-85, 1965.
- WILLIAMS, K.; ROBBS, R. J. Control of shrub establishment by springtime soil water availability in an annual grassland. **Oecologia**, v. 81, p. 62-66, 1989.
- ZEPPEL, M. J. B.; MACINNIS-NG, C. M. O.; YUNUSA, I. A. M.; WHITLEY, R. J.; EAMUS, D. Long term trends of stand transpiration in a remnant forest during wet and dry years. **Journal of Hydrology**, v. 349, p. 200-2013, 2008.