

MOVIMENTOS DE MASSA NA BACIA DO RIO SÃO PEDRO, MUNICÍPIO DE NOVA FRIBURGO, ASSOCIADO AO EVENTO DE JANEIRO DE 2011ⁱ

Movimiento de masas de la cuenca del rio San Pedro, la ciudad de Nova Friburgo, asociada com el evento de enero de 2011

Mass movement of the San Pedro river basin, the city of Nova Friburgo, associated with the event of january 2011

Juliana Martins Souzaⁱⁱ

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Lorena Abreu Asevedoⁱⁱⁱ

Isabel Linhares Pereira Soares^{iv}

Ana Valéria Freire Allemão Bertolino^v

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Resumo

Os movimentos de massa são fenômenos naturais que interferem na evolução das formas de relevo e provocam danos de ordens sociais, físicas e econômicas. O objetivo central do trabalho é identificar as tipologias de movimentos de massa que ocorreram em janeiro de 2011, na bacia do rio São Pedro – município de Nova Friburgo, correlacionando com os tipos de cobertura vegetal, a frequência e intensidade das chuvas. Os pontos de movimentos de massa foram georreferenciados através do GPS de alta precisão PROMARK3 e, posteriormente, foi realizado o modelo digital de elevação (MDE) da bacia associado com o mapa de uso do solo. Os valores de precipitação diária foram obtidos através de pluviômetros convencionais e da Estação Automatizada Meteorológica THIES TLX-MET. Das 33 cicatrizes mapeadas na bacia (23,71 km²), 17 estão sobre área de floresta (12,8 km²), 06 nas áreas de agricultura convencional (3,6 km²), 08 nas áreas de pousio (0,9 km²), 01 na área de pasto (1,9 km²) e o restante representam área urbana, afloramento rochoso e nuvens/sombras, totalizando (4,37 km²). Os movimentos de massa mapeados estão relacionadas aos deslizamentos translacionais e corridas de massa. Os dados demonstram que os meses de novembro, dezembro de 2010 e janeiro de 2011 apresentaram valores de precipitação acima da média. No dia 11/01/2011 houve uma precipitação total de 209 mm, representando 63% da precipitação do mês. A precipitação mais importante que ocasionou os deslizamentos ocorreu entre às 21:50 h (11/01) e 7:10 h (12/01) atingindo um total 145,2 mm. Os movimentos de massa que ocorreram na região estão relacionados ao elevado índice de precipitação e a umidade antecedente do solo.

Palavras-chave: movimentos de massa; precipitação; uso do solo; umidade antecedente.

Abstract

Land movements are natural phenomena that affect the evolution of landforms and cause damage of social, physical and economical order. The main objective of the present study is to identify the different types of mass movements that occurred in San Pedro river basin- Nova Friburgo municipality- in January, 2012, and to correlate them with the types of vegetal covering and frequency and intensity of rainfalls. Points of mass movement were georeferenced using high precision PROMARK3 GPS and, later a digital elevation model (DEM) of the basin was prepared associated to a map of land use. Daily rainfall data was obtained through conventional rain gauges and those from the THIES TLX-MET Automated Weather Station. From the 33 scars mapped in the basin (23.71 km²), 17 are on forest area (12.8 km²), 06 in areas of conventional agriculture (3.6 km²), 08 in fallow areas (0.9 km²), 01 in pasture area (1.9 km²) and the rest represent urban area, rocky outcrop and clouds/shadows totaling (4.37 km²). The mass movements mapped are related to translational slides and mass flows. Data demonstrates that November and December, 2010 and January 2011 presented precipitation values above the mean. On 11/01/2011 there was a precipitation of 209 mm, representing 63% of the precipitation of that month. The most important rainfall that caused the landslides was between 21:50 h (11/01) and 7:10 h (12/01) reaching a total of 145.2 mm. The mass movements that occurred in the region are related to a high precipitation index and antecedent soil moisture.

Keywords: mass movements; precipitation; land use; antecedent soil moisture.

Resumen

Los movimientos en masa son fenómenos naturales que interfieren en la evolución de las formas de relieve y causan daños de orden social, físico y económico. El objetivo central de este trabajo es identificar las tipologías de movimientos en masa que sucedieron en enero de 2011, en la cuenca del rio São Pedro – municipio de Nova Friburgo, relacionándolos con os tipos de cobertura vegetal, y la frecuencia e intensidad de las lluvias. Los puntos de movimientos en masa fueron georreferenciados a través del GPS de alta precisión PROMARK3 y, posteriormente, fue construido el modelo digital de elevación (MDE) de la cuenca relacionado con el mapa de uso del suelo. Los valores de precipitación diaria fueron obtenidos con pluviómetros convencionales y de la Estación Automatizada Meteorológica THIES TLX-MET. De las 33 cicatrizes mapeadas en la cuenca (23,71 km²), 17 están sobre área de floresta (12,8 km²), 06 en áreas de agricultura convencional (3,6 km²), 08 en áreas de barbecho (0,9 km²), 01 en área de pastos (1,9 km²) y el resto representa área urbana, afloramiento rocoso y nubes/sombras, totalizando (4,37 km²). Los movimientos en masa mapeados están relacionados con deslizamientos translacionales y flujos de masa. Los datos muestran que en los meses de noviembre y diciembre de 2010 y enero de 2011 hubo valores de precipitación arriba de la media. En el día 11/01/2011 hubo una precipitación total de 209 mm, representando 63% de la precipitación del mes. La precipitación más importante que causó los deslizamientos sucedió entre las 21:50 h (11/01) y 7:10 h (12/01) llegando a un total de 145,2 mm. Los movimientos en masa que se produjeron en la región están relacionados con el alto índice de lluvias y la humedad antecedente del suelo.

Palabras clave: movimientos en masa; precipitación; uso del suelo; humedad antecedente.

INTRODUÇÃO

A ação dos fatores naturais na dinâmica da sociedade apresenta-se cada vez mais acentuada, regendo muitas vezes o próprio território. Um destes fatores que merecem destaque são os movimentos de massa por sua interferência na evolução das formas de relevo, em função de suas implicações práticas e de sua importância do ponto de vista das consequências que a sociedade está sujeita com a existência dos mesmos (GUIDICINI e NIEBLE, 1985). Segundo Sidle et. al. (1985), além de contribuir para o conhecimento da evolução das formas de relevo o estudo detalhado desses processos pode contribuir para minimizar ou até mesmo evitar danos causados a sociedade.

O movimento de massa consiste no deslocamento de materiais sólidos e/ou viscosos ao longo de uma vertente. A mobilização de material deve-se à sua condição de instabilidade e o deslocamento de material ocorre em diferentes escalas e velocidades, variando de rastejamentos a movimentos muito rápidos (FERNANDES e AMARAL, 1996). Segundo Guidicini e Nieble (1976), os movimentos de massa, ou movimentos coletivos de solos e de rochas têm sido objeto de amplos estudos nas mais diversas latitudes, não apenas por sua importância como agentes atuantes na evolução das formas de relevo, mas também em função de suas implicações práticas e de sua importância do ponto de vista das consequências que a sociedade está sujeita com a existência dos mesmos.

A estabilidade de encostas não é função somente da geometria, vários são os fatores que atuam direta ou indiretamente na instabilidade das mesmas. Farah (2003) alerta

que a estabilidade de uma encosta em seu estado natural é condicionada momentaneamente por três características principais: geométricas, geológicas (tipos de solos e rochas que a compõem) e pelo ambiente fisiográfico em que se insere (clima, cobertura vegetal, drenagens naturais, etc). A alteração natural ou artificial destas condicionantes pode facilmente implicar a alteração da condição de sua estabilidade.

Certos movimentos de massa ocorrem preferencialmente em determinadas tipologias de encostas logo, se torna relevante reconhecer as formas das encostas para assim identificar o tipo de movimento de massa que ali pode ocorrer (ARAÚJO et. al., 2011). As vertentes que apresentam configuração côncava ou que possuem segmentos côncavos em sua seção (*hollows*), por exemplo, por serem zonas de convergência de fluxo de água (WHIPKEY e KIRKBY, 1987) e por possuírem material disponível para a mobilização (pois tem maior volume de material depositado como colúvio ou tálus) são as mais favoráveis à ocorrência de deslizamentos (FERNANDES e AMARAL, 1996).

Além da forma das encostas pode-se dar destaque também a sua declividade e comprimento, já que estes constituem características importantes na movimentação do material. A velocidade de deslocamento de material e, portanto, a capacidade de transporte de massas sólidas e líquidas é diretamente proporcional à declividade. Esta variável tem grande importância nos processos geomorfológicos, condicionando cursos de água e deslocamento de colúvio (CHRISTOFOLLETTI, 1974). As declividades acima de 30° apresentam risco de deslizamentos mais frequente. Acima de 60° o

regolito é menos espesso e, teoricamente, diminuiria o risco de escorregamentos (FERNANDES e AMARAL, 1996).

Outra questão relevante, que interfere nos movimentos de massa é a pluviosidade. Segundo Fernandes e Amaral (1996), os terrenos montanhosos tropicais se tornam propícios a deslizamentos, quando enfrentam alta pluviosidade.

Com o objetivo de compreender a dinâmica dos movimentos de massa ocorridos no município de Nova Friburgo, este trabalho busca identificar as tipologias de movimentos de massa que ocorreram em janeiro de 2011 na bacia do rio São Pedro – município de Nova Friburgo, correlacionando com os tipos de cobertura vegetal, a frequência e intensidade das chuvas.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio São Pedro está localizada em São Pedro da Serra, distrito do município de Nova Friburgo no Rio de Janeiro, região serrana do estado. Esta bacia possui 23,7 km² e está inserida num bioma de Mata Atlântica, numa área de proteção ambiental chamada Macaé de Cima (FIGURA 1). O rio São Pedro faz parte da bacia do rio Macaé que deságua no Oceano Atlântico.

O clima varia de mesotérmico brando superúmido, caracterizado por altos índices de pluviosidade ao subsequente úmido, que ocorre nas regiões menos elevadas. As temperaturas médias variam de 18,0° C a 24,0°C no inverno e verão respectivamente. O índice pluviométrico e a umidade relativa do ar são bastante elevados, com o período de chuva entre os meses novembro e março (DNPM-CPRM, 1980).

O distrito São Pedro da Serra possui

grande parte da sua extensão com presença de cobertura vegetal. As coberturas vegetais presentes estão subdivididas em áreas de floresta, áreas agrícolas (plantio convencional e pousio) e gramíneas. As áreas de floresta apresentam-se, margeadas pelos pequenos córregos da bacia do rio Macaé e apresentam significativo adensamento de espécimes arbóreos, cujas alturas estão em torno de 15 metros do solo e este, por sua vez, apresenta uma camada de serrapilheira. As áreas agrícolas estão associadas ao plantio convencional e ao pousio. No sistema de plantio convencional utilizam-se implementos agrícolas (arado de discos, gradagens, etc.), o solo fica desnudo durante o preparo da terra e o mesmo é utilizado ao longo do ano sem nenhum período de descanso. No sistema de pousio, as áreas são desmatadas e cultivadas por períodos curtos, seguidos de um período de descanso dos solos (CONKLIN, 1957).

Na região serrana do Estado do Rio de Janeiro, a sequência de cultivos e pousio se processam em uma escala de tempo menor que o usual, com 2 a 3 anos de cultivo, seguido de apenas 3 a 4 anos de pousio (FREITAS, *et. al.*, 1997). Após esse período, os solos tendem a apresentar uma boa fertilidade pela incorporação de nutrientes a partir da elevada deposição de serrapilheira, consequência do desenvolvimento de uma vegetação de capoeira. Por fim, as áreas de gramíneas vêm aumentando em área.

Segundo o CIDE (2000), há predomínio de rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas. O seu substrato compreende basicamente gnaisses, granitos e migmatitos, rochas estas metamórficas com grande presença de fraturas, constituindo um relevo com bastantes cicatrizes.

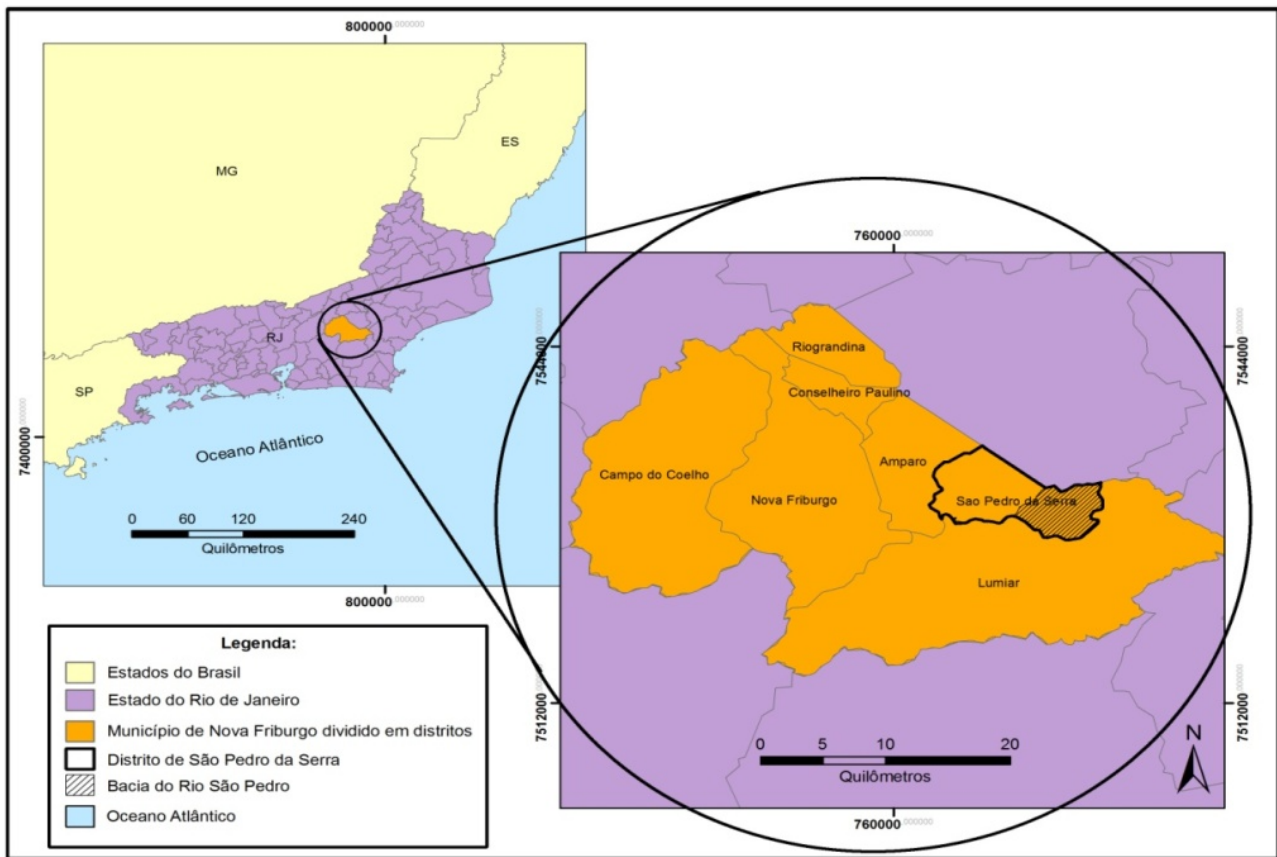


FIGURA 1 - Localização do município de Nova Friburgo, destacando a bacia do rio São Pedro.
Fonte: Asevedo (2010).

O relevo apresenta-se fortemente ondulado com grande presença de encostas originando em muitos casos solos pouco espessos. O solo se constitui como CAMBISSOLOS, seguido de LATOSSOLOS associados aos relevos montanhosos e fortemente ondulado e ainda de NEOSSOLOS e afloramentos rochosos comuns em topografias mais acidentadas (EMBRAPA, 1999).

Desde 2005, o distrito São Pedro da Serra (Nova Friburgo) passou a abrigar uma estação experimental do Laboratório de Geociências (LABGEO) da UERJ/FFP, que vem realizando estudos que visam à compreensão dos problemas sócio-ambientais da região. Em 2005, Silva (2005) contribuiu com análise da influência do Pousio nas propriedades físicas e químicas do solo; Pereira (2005) trouxe contribuições para o

debate em torno da temática do Manejo Convencional e Agricultura Itinerante, discutindo a dicotomia dos problemas sócio-ambientais; e Carvalho (2005) trabalhou a utilização de insumos agrícolas em plantações de olerícolas.

Em 2006, Lima (2006) estudou o carbono orgânico e a solução do solo; em 2007, Queiroz (2007) estudou sobre a distribuição do herbicida 2,4 D nos solos da região de São Pedro da Serra e sua importância ambiental; e em 2008, Barros (2008) analisou as propriedades físicas em diferentes manejos na região serrana/RJ sob Bioma de Mata Atlântica.

No ano de 2009, Santos (2009) estudou os solos agrícolas sob Pousio e resultantes hidroerosivas; Chaves (2009) analisou a precipitação interna em fragmento de mata atlântica; e Costa (2009) analisou a

fitossociologia, produção mensal e retenção hídrica da serrapilheira em fragmento de Mata Atlântica, e também o aporte de nitrogênio em áreas de Pousio.

Em 2010, Salgado (2010) interpretou a pluviosidade e o potencial matricial no período de 2009 a 2010; Asevedo (2010) realizou, com suporte do geoprocessamento, o mapeamento de uso do solo da sub-bacia dos rios São Pedro e Boa Esperança em Nova Friburgo- RJ; e Bertolino (2010), em conjunto com outros autores, publicou um livro a respeito do agricultor e suas relações com a natureza e sociedade e os efeitos da agricultura migratória sobre o solo.

Em 2011, Souza (2011) realizou o diagnóstico de cicatrizes dos movimentos de massa na Bacia do Rio São Pedro, analisando seus mecanismos desencadeadores. Em 2012, estão sendo desenvolvidos trabalhos a fim de compreender o comportamento hidrológico do solo em área e Pousio e o regime pluviométrico ao longo dos oito anos de pesquisa na área.

METODOLOGIA

No desenvolvimento do estudo foram utilizadas imagens de satélite IKONOS pancromáticas com resolução espacial de 1 metro e multiespectrais com 4 bandas e 4 metros de resolução adquiridas em 2002. A correção foi processada nas imagens Ikonos de modo que ficassem geometricamente compatíveis com a realidade mantendo uma precisão cartográfica.

Foi utilizado o software ArcGis 9.3 e suas extensões 3D Analyst e Spatial Analyst para analisar o modelo Digital de elevação (MDE) concomitante com informações altimétricas da folha topográfica de Quartéis confeccionada pelo IBGE.

Foram realizados levantamentos de campo, com auxílio do DGPS PROMARK 3 (FIGURA 2) e com coordenadas geográficas identificados pontos onde houveram movimentos de massa, posteriormente os pontos foram plotados no mapa de uso do solo. Para a etapa de Segmentação das imagens Ikonos foi utilizada o Software SPRING.



FIGURA 2 - GPS de Alta precisão Promark 33 utilizado no levantamento de campo.
Fonte: Asevedo (2010).

Traçados os critérios de segmentação, foram gerados cerca de 78 mil segmentos, que foram transformados um plano de informação de polígonos e posteriormente exportados no formato *shape* para então serem classificados no Software ArcGis.

A classificação foi realizada no ArcMap (do ArcGIS 9.3), controlada pelas amostras de campo, obtidas por pontos de GPS, que funcionam como amostras de classificação de padrões de uso. Este material foi utilizado para criar um padrão para balizar a classificação.

Os parâmetros de controle citados anteriormente surgiram a partir de observações da área de estudo em campo, uma

vez que foi assimilado a textura e disposição da vegetação real com o segmento traçado no software fazendo uma correlação com a realidade da área de estudo, não estando a classificação presa somente ao que mostra a imagem de satélite. Cada segmento foi classificado em sete classes diferentes. Após todos os segmentos serem classificados diretamente no banco de dados, foram unidos polígonos com a mesma classe e atribuído a cada uma delas uma cor, gerando assim um mapa de uso e cobertura do solo.

As tipologias de movimentos de massa foram realizadas a partir de elementos indicativos de campo, elaborados por Guidicine e Nieble (1985), onde foram mapeados os parâmetros de coordenadas geográficas (georreferenciadas), tipologia do movimento, tamanho, tipo de uso, e declividade. Ainda em campo, foram observadas as feições das encostas, a fim de se diagnosticar a forma que as mesmas apresentam (côncavas, convexas, retilíneas, ou com combinações), e as áreas onde ocorreram as movimentações, a fim de se diagnosticar em qual elemento da paisagem os movimentos de massa ocorreram em forma preponderante.

Para avaliar os valores de precipitação diária (intervalo de 24h), foram instalados pluviômetros convencionais em uma área sem cobertura vegetal (SC), com abertura de 100 mm de diâmetro. Os coletores foram instalados com as bordas a 1,5 m da superfície do solo, com a finalidade de minimizar o efeito do salpico (FREITAS, 2003).

A instalação encontra-se dentro de uma propriedade de agricultura familiar e possui um registro contínuo e diário. A leitura é realizada por um observador diariamente às 07:00h (COELHO NETO, 1995). Para verificar a

acurácia dos dados e buscando-se classificar a intensidade dos eventos, foi instalada uma Estação Automatizada Meteorológica THIES TLX-MET para fins de comparação. A Estação Automatizada THIES TLX-MET coleta dados de precipitação a cada 10 minutos (FIGURA 3).

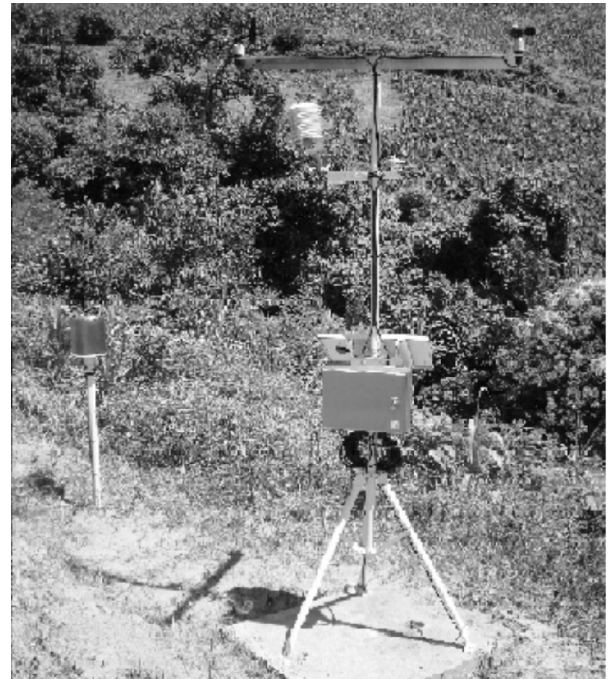


FIGURA 3 - Visão geral da Estação Automatizada THIES TLX-MET.

Fonte: Asevedo (2010).

A intensidade de chuva foi analisada segundo os parâmetros da Fundação Geo-Rio. Segundo a Geo-Rio as chuvas podem ser classificadas em: insignificante (< 1,0 mm/h), leve (1,1 a 5,0 mm/h), moderada (5,1 a 25 mm/h), forte (25,1 a 50 mm/h) e muito forte (> 50 mm/h).

RESULTADOS

Para fins de melhor compreensão do comportamento da precipitação, uma vez que suas características são de fundamental importância no estudo voltado para os movimentos de massa, utilizaram-se os dados que compreendem o período de 2006 a 2011. Os valores de precipitação anual demonstram

índices pluviométricos de 1.707 mm, 1.393 mm, 1.989 mm, 2.050 mm, 1.802 mm e 2.014 mm, respectivamente, apresentando uma média de 1.826 m (FIGURA 4).

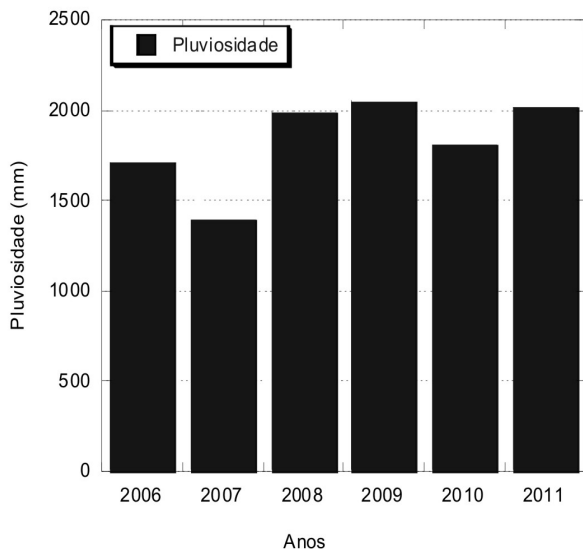


FIGURA 4 - Variação da precipitação total (mm) de 2006 a 2011.
Fonte: Soares (2011).

A partir da média mensal dos anos, foi possível observar dois períodos distintos: um período úmido, de maior ocorrência de chuvas, de novembro a abril; e um período seco, de menor ocorrência de chuvas, de maio a outubro (FIGURA 5).

Os meses de novembro 300,31 mm, dezembro 365,15 mm e janeiro 306,76 mm obtiveram as maiores médias de precipitação, enquanto os meses de junho 31,71 mm, julho 31,51 mm e agosto 14,34 mm obtiveram as menores médias de precipitação.

A Figura 6 mostra o total de precipitação mensal dos anos de 2006 a 2011 e a média mensal de todos os anos, demonstrando os índices médios de precipitação da região. Observa-se que o mês de novembro de 2010 possui índice de 378,71 mm, superior a média de 2006 a 2011 de precipitação da região (300,31 mm), e em dezembro de 2010 o índice chegou a

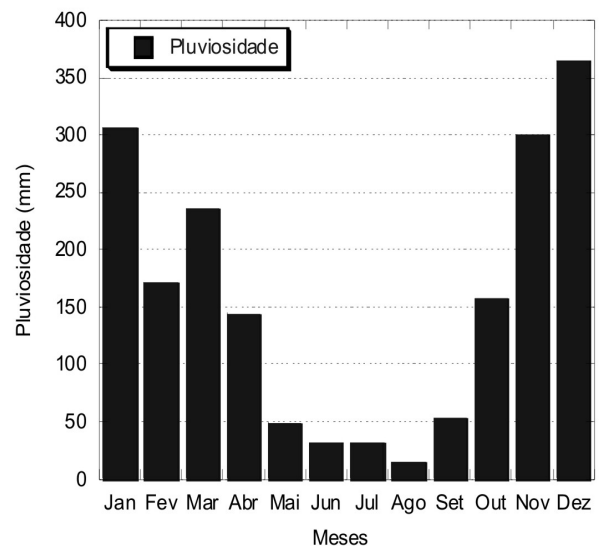


FIGURA 5 - Variação média mensal da precipitação (mm) de 2006 a 2011.
Fonte: Soares (2011).

371,51 mm, ficando novamente acima da média (365,15 mm). No mês de janeiro de 2011, o valor total de precipitação foi de 332,05 mm, ultrapassando 25,29 mm da média de precipitação da região dos de 2006 a 2011. A umidade antecedente é uma condição importante para o processo erosivo, pois quando o solo encontra-se com certa umidade antecedente, o material coloidal tende a se expandir em presença de água reduzindo o espaço poroso e a capacidade de infiltração dos solos, limitando também o volume de água que pode ser estocado no solo.

Foi realizado um histórico dos dias de chuva (24h) no período de 2006 a 2011 e a classificação desses dias em frequência de milímetros (TABELA 1). A análise da frequência simples das classes de chuvas de diferentes tamanhos auxilia na identificação da amplitude de variação pluviométrica, e ressaltam os eventos de ocorrência regular, moderada e extrema.

Dos 49 eventos com mais de 50 mm de chuva, 12 concentram-se nos meses de novembro e dezembro de 2010 e janeiro de

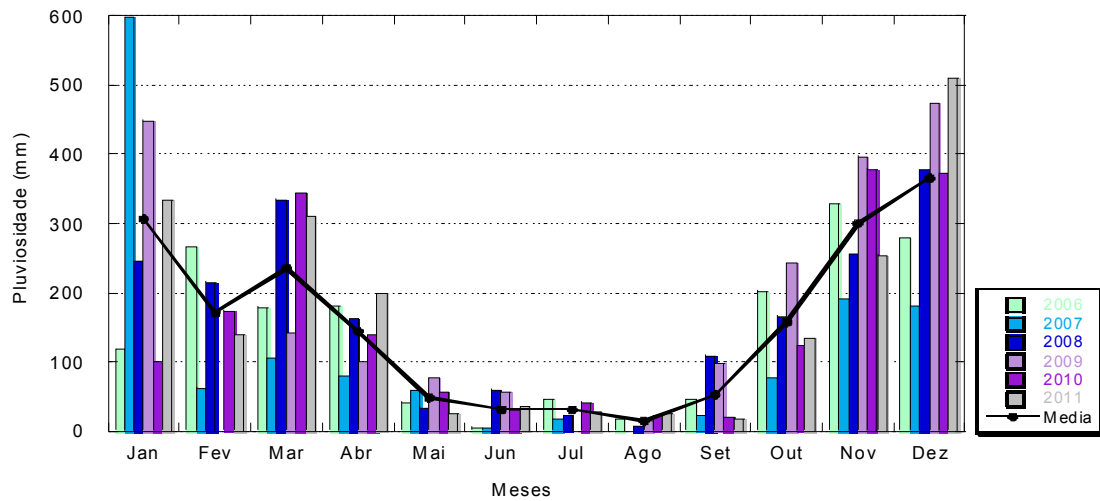


FIGURA 6- Média mensal da precipitação nos meses de janeiro a dezembro dos anos de 2006 a 2011.
 Fonte: Soares (2011).

2011, ao passo que os 37 eventos restantes estão distribuídos entre os demais anos (2006 a 2009) e ao longo dos outros meses dos anos de 2010 e 2011.

A frequência das chuvas influencia as perdas por erosão, se os intervalos entre elas são curtos, o teor de umidade no solo é alto e, conseqüentemente, as enxurradas são mais volumosas, mesmo com chuvas de menor intensidade (REICHARDT, 1989). As concentrações das chuvas de maiores índices durante os meses de novembro, dezembro e janeiro de 2010, contribuíram para uma umidade antecedente, intensificando as perdas de solo e água, bem como proporcionando a saturação do solo.

A obtenção desses dados se relaciona a

efetiva compreensão do evento ocorrido, pois as quantidades relativas de precipitações (volume), seus regimes sazonais ou diários (distribuição temporal) e as intensidades de chuvas individuais (volume/duração) são algumas características que afetam a natureza e magnitude dos trabalhos geomorfológicos no meio físico, como os processos de movimento de massa, influenciando também nas formas de planejamento urbano (COELHO NETTO, 2001).

Na Tabela 2 é apresentada a análise das chuvas e a classificação dos eventos chuvoso dos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, dias em que ocorreram os movimentos de massa na região serrana do Estado do Rio de Janeiro. O evento teve início na noite do dia 11 seguindo até a

Total de 636 dias de chuva		
Frequência	Total	%
0 - 10 mm	319 eventos	50,17
10 - 20 mm	138 eventos	21,69
20 - 30 mm	67 eventos	10,53
30 - 40 mm	40 eventos	6,28
40 - 50 mm	23 eventos	3,61
Maior que 50 mm	49 eventos	7,72

TABELA 1- Frequência da precipitação (mm) dos dias de chuva (24h).
 Fonte: Soares (2011).

Data	Chuva	Hora Inicial	Hora final	ΔT (min)	Chuva (mm)	(mm/min)	(mm/h)	GeoRio
11/01/2011	1	0:40	3:20	160	9,4	0,0	3,6	Leve
	2	3:30	4:30	60	2	0,0	2	Leve
	3	4:40	5:00	20	0,4	0,0	1,3	Leve
	4	5:10	12:50	260	47,2	0,1	10,9	Moderada
	5	13:00	13:10	10	0,2	0,0	2	Leve
	6	18:30	18:50	20	0,8	0,0	2,6	Leve
	7	19:50	20:00	10	0,2	0,0	2	Leve
	8	21:10	21:40	30	3,6	0,1	7,2	Moderada
12/01/2011	9	21:50	7:10	560	145,2	0,2	15,6	Moderada
12/01/2011	1	7:30	7:40	10	0,2	0,0	2	Leve

TABELA 2 - Análise horária das chuvas e classificação dos eventos chuvosos do distrito São Pedro da Serra - Nova Friburgo.
 Fonte: Souza (2011).

madrugada do dia 12 de janeiro de 2011 de forma ininterrupta e intensa.

Na Tabela 2, observa-se a intensidade de chuvas nestes dias, através dos horários que começaram e terminaram o evento chuvoso. Os dados mostram claramente o evento de intensidade moderada, com duração de 9 horas ininterruptas, o que também se caracteriza de forma atípica de acordo com o histórico de monitoramento.

No dia 11/01/2011 houve uma precipitação de 209 mm em 24 h, representando 63% da precipitação do mês de janeiro. No dia 11/01/2011 ocorreram ao longo de 24 h a distribuição de 09 chuvas com intensidades diferenciadas, sendo as mais expressivas de 7,2 mm/h moderada, 10,9 mm/h moderada e 15,6 mm/h moderada. A precipitação moderada mais longa ocorreu entre às 21:50 e 7:10 (12/01/2011) representando uma intensidade total de chuva de 145,2 mm distribuídas em 9h, com intensidade de 15,6 mm/h.

A região de Nova Friburgo comumente sofre com as mais diversas tipologias de chuvas devido às suas características naturais, porém

durante o evento em questão prevaleceram as chuvas causadas pela chegada de massas de ar vindas da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (DRM, 2011). Estas massas de ar provocam chuvas intensas e de longa duração que proporcionam eventos de grande magnitude. Apesar da maior parte da chuva ter se concentrado na vertente que corre para o vale do Paraíba, a vertente do Rio Macaé, que engloba a bacia do rio São Pedro também foi afetada, havendo a ocorrência de muitos movimentos de massa.

Vargas et. al. (1986), comprovam que há a necessidade de se determinar o efeito da intensidade das chuvas na estabilidade de uma encosta destacando que é possível fazer previsões da influência da intensidade das chuvas na estabilidade das encostas quando o processo de infiltração atua como principal fator condicionante, pois como nos traz Montgomery et. al. (1997), em áreas íngremes, com cobertura de solo, com predominância de fluxo subsuperficial da água infiltrada, pode ocorrer o aumento da pressão dos poros do solo (poro-pressão positiva).

A relação de diversas variáveis-controla

como, características físicas da chuva (altura pluviométrica, duração, intensidade e frequência), condições de cobertura, textura, profundidade e umidade antecedente do solo são importantes na regulação da capacidade de infiltração do solo, podendo contribuir nas taxas de erosão (COELHO NETTO, 2007). A quantidade de água armazenada pelo solo é dada por sua umidade, como o solo é um reservatório sem fundo, quanto maior a profundidade considerada, maior a quantidade de água armazenada (REICHARDT, 1987).

A partir do mapeamento dos movimentos de massa foram constatadas a presença de 33 movimentos de massa, os quais foram classificados em: deslizamentos translacionais, corridas de massa, deslizamento/queda de blocos e queda de lascas (TABELA 3).

Constata-se o predomínio dos escorregamentos translacionais (85,0%), seguido pelas corridas de massa (9,0%) e pelos escorregamento/queda de bloco (3,0%) e queda de lascas (3%). Os predomínios dos deslizamentos translacionais e das corridas de

massa (93,0%) estão relacionados a diversos elementos, tais como: condições topográficas, elevadas precipitações e tipos de uso. Entretanto, ressalta-se também aqui a importância da umidade antecedente do solo. Sabe-se que os escorregamentos translacionais apresentam um plano abrupto, de ruptura planar, bem definido, além de serem movimentos rápidos e de curta duração (GUIDICINI e NIEBLE, 1984). Estes elementos associados às precipitações de longa duração e intensidades altas, conforme demonstrado neste estudo, podem propiciar a ruptura dos materiais. Na área da bacia constata-se também a presença de contato solo-rocha bastante abruptos, conforme Figura 7 o que auxilia no aumento da poro-pressão positiva durante eventos pluviométricos de alta intensidade ou duração.

As corridas de massa (*debris flow*) ocorreram em menor proporção na bacia perfazendo um total de 9,0%, entretanto apesar de aparecer em menor proporção são altamente destrutivas, pois apresentam-se como movimentos rápidos nos quais os materiais se comportam como fluidos

	Classificação do movimento de massa	Tipo de uso
Escorregamentos translacionais (<i>slides</i>)	28	02 nuvens/sombras
		05 pousio
		06 agricultura convencional
		15 floresta
Corridas de massa (<i>debris flow</i>)	3	02 nuvens/sombra
		01 pasto
Escorregamento + Queda de blocos (<i>slides + Rock-fall</i>)	1	01 floresta
Queda de lascas	1	01 floresta
Total	33	

TABELA 3 - Classificação dos movimentos de massa na bacia do rio São Pedro - Nova Friburgo. Fonte: Souza (2011).



FIGURA 7 - Deslizamentos translacionais (*slides*) iniciados na parte alta da encosta na bacia do rio São Pedro. Observa-se na imagem o contato solo-rocha.
Fonte: Souza (2011).

altamente viscosos. As corridas estão associadas à concentração excessiva dos fluxos d'água superficiais em algum ponto da encosta e deflagração de um processo de fluxo contínuo de material terroso (GUIDICINI e NIEBLE, 1984). Na bacia do rio São Pedro determinadas características, tais como: disponibilidade de materiais, precipitações intensas e condições topográficas (declividade) podem ter atuado como mecanismos deflagradores das corridas de massa.

O mapa de declividade da bacia (FIGURA 8) demonstra a relação das cicatrizes com as classes de declividade.

Nota-se na Tabela 4 que a classe de maior declividade (>47%), representa 43,0% das cicatrizes, o que demonstra que grande parte dos movimentos de massa ocorreu na classe de declividade mais acentuada. Esta classe representa as áreas de maior instabilidade na região, com presença de solos rasos e/ou contato solo/rocha abrupto. Em seguida, ocorrem as classes de 30-47% e 12-30%, que representam 57,0% das cicatrizes.

Classe de Declividade	Quantidade de cicatrizes
0 - 5%	0
5 - 12%	0
12 - 30%	9
30 - 47%	10
> 47%	14
Total	33

TABELA 4 - Quantidade de cicatrizes por classe de declividade.

Fonte: Asevedo (2011).

O mapa das cicatrizes sobreposto ao mapa de uso do solo auxiliou na identificação dos movimentos de massa sobre os elementos da paisagem (FIGURA 9 E TABELA 5).

Das 33 cicatrizes mapeadas na bacia (23,71 km²), 17 estão sobre área de floresta (12,8 km²), 06 nas áreas de agricultura convencional (3,6 km²), 05 nas áreas de pousio (0,9 km²), 01 na área de pasto (1,9 km²) e o restante representam área urbana, afloramento rochoso e nuvens/sombras, totalizando (4,37 km²).

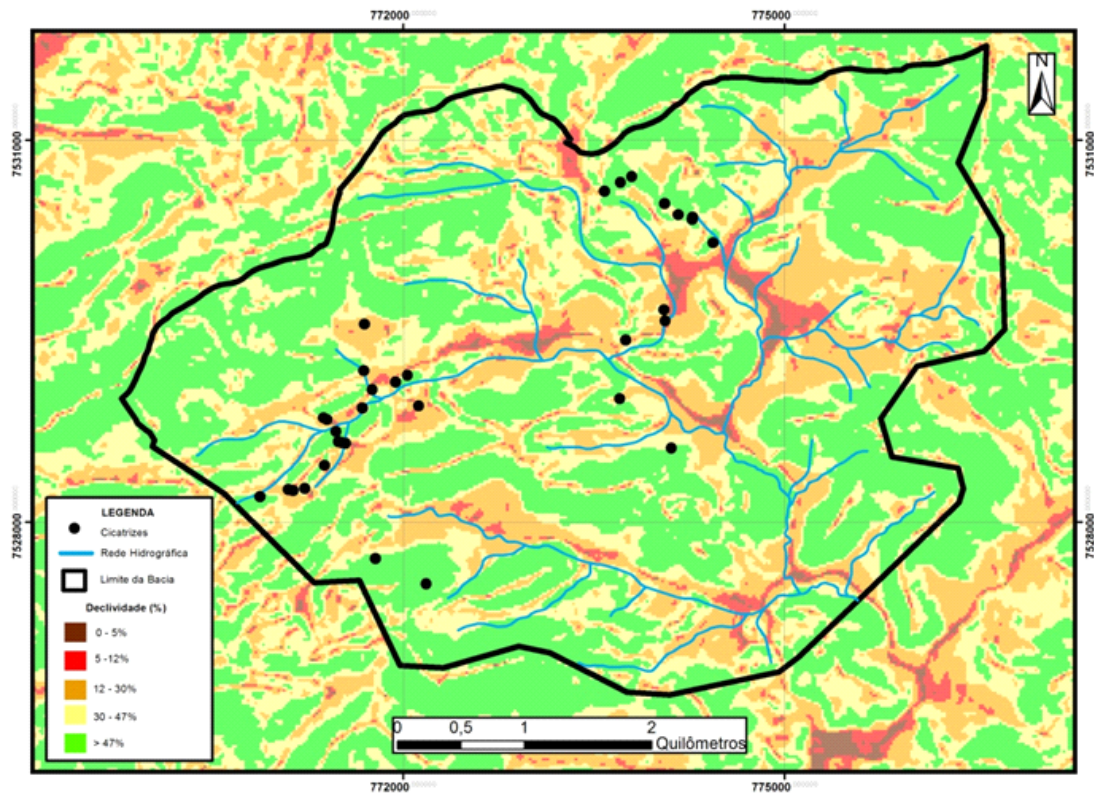


FIGURA 8 - Cicatrizes de movimentos de massa sobre a declividade da bacia do Rio São Pedro.
FONTE: Asevedo (2011).

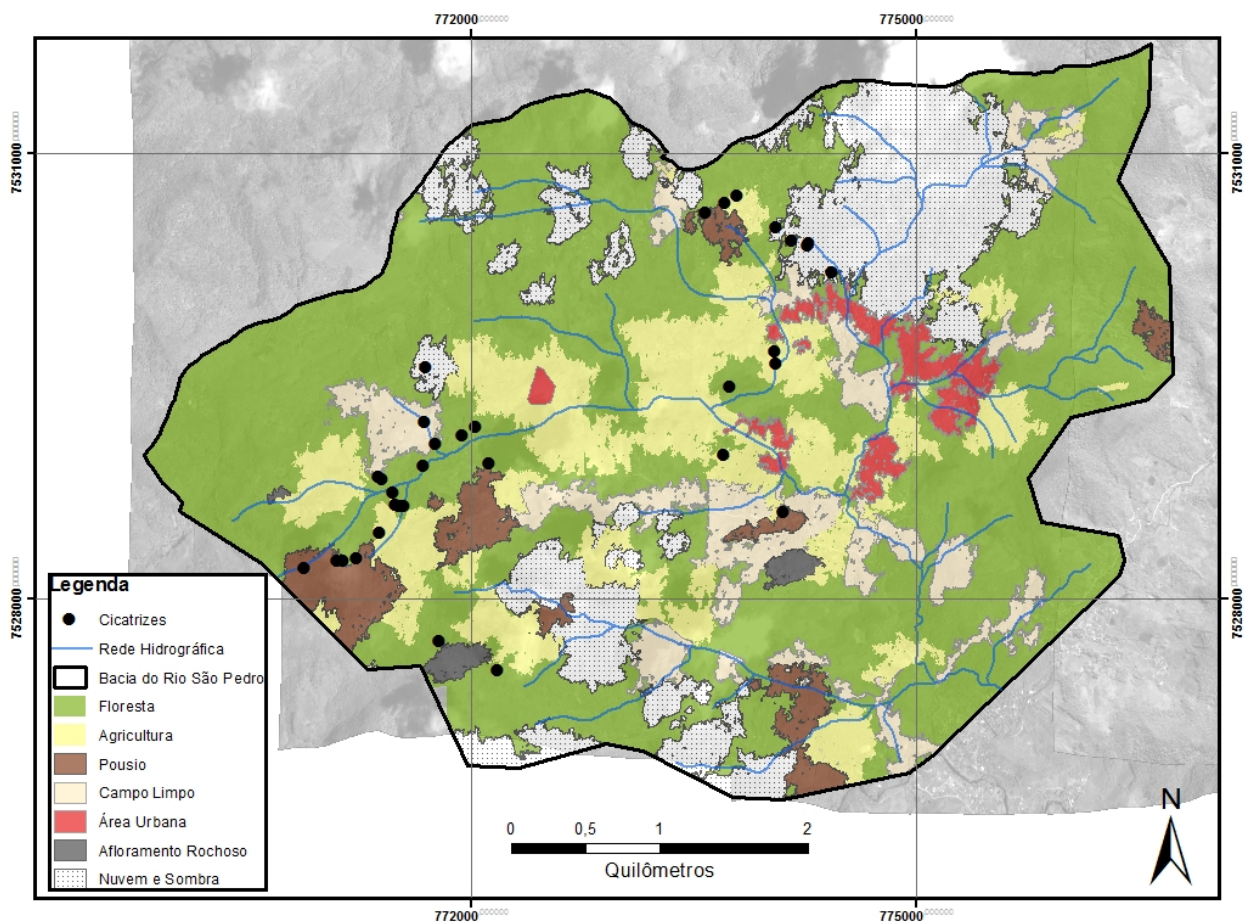


FIGURA 9 - Cicatrizes de movimentos de massa sobre a declividade da bacia do Rio São Pedro.
FONTE: Asevedo (2010).

Cobertura	Área (km²)	Porcentagem	Número de Cicatrizes
Floresta	12,8	54%	17
Agricultura	3,6	15%	6
Pousio	0,95	4%	5
Pasto	1,9	8%	1
Nuvem e Sombra	3,6	15%	4
Área urbana	0,57	3%	0
Afloramento	0,14	1%	0
Total	23,71	100%	33

TABELA 5 - Relação entre o tipo de uso, área em números absolutos e percentuais e quantidade de cicatrizes na área de estudos.

FONTE: Asevedo (2011).

CONCLUSÃO

A ocorrência de movimentos de massa na bacia do rio São Pedro, no distrito de São Pedro da Serra - Nova Friburgo relaciona-se à conjunção de alguns fatores: a alta intensidade da chuva do dia 11 de janeiro de 2011, com duração de nove horas e o histórico pluviométrico acumulativo de chuvas. Outro ponto que merece destaque é a declividade das encostas, que não podem ser observadas como fatos isolados, mas sim conjugados com a formação de solos rasos que irão refletir na dinâmica hidrológica das encostas, resultando em solos que alcançam estágios de saturação rápidos associados às poro-pressões positivas no solo.

Quanto às discussões acerca da localização de cicatrizes sobre o uso do solo, pode-se concluir que não houve perdas materiais, pelo fato de não ter sido registrado nenhum movimento de massa em área urbana. Tais dados mostram que os fatores condicionantes aos movimentos de massa presenciados em janeiro de 2011 no distrito de São Pedro da Serra foram naturais e estão relacionados à própria dinâmica de evolução da paisagem.

NOTAS

ⁱ Os autores agradecem à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo financiamento do projeto E- 26/111.548/2011 e pelas concessões de bolsas de Iniciação Científica; à Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) pelo auxílio institucional e pelas concessões de bolsas (SR-1 e SR-2).

ⁱⁱ Geógrafa; Mestranda em Geografia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ).

E-mail: julianamds@yahoo.com.br

ⁱⁱⁱ Geógrafa; Mestranda em Geografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ, Campus Faculdade de Formação de Professores em São Gonçalo).

E-mail: lorenaasevedo@gmail.com

^{iv} Graduanda em Geografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

E-mail: linharesgeo@hotmail.com

^v Geógrafa; Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

E-mail: anabertolino@uol.com.br

REFERÊNCIAS

ASEVEDO, L. A. *Mapeamento de declividade e movimentos de massa na bacia do rio São Pedro em Nova Friburgo-RJ: Um estudo para gestão do território.* (Monografia) São Gonçalo: DGEO UERJ/FFP, 2011.

ASEVEDO, L. A. *Mapeamento de uso do solo da sub-bacia dos rios São Pedro e Boa Esperança em Nova Friburgo- RJ com suporte do geoprocessamento.* (Monografia) São Gonçalo: DGEO UERJ/FFP, 2010.

BARROS, A L. R. e LIMA, L. G. Propriedades Físicas e Químicas em Diferentes Manejos na Região Serrana/ Rj sob bioma de Mata Atlântica. XV 74 REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. *Anais...*, Aracaju- Sergipe, 2006. CD - ROM.

BARROS, A. L. R. *Propriedades físicas em diferentes manejos na região serrana/RJ sob Bioma de Mata Atlântica.* (Monografia) São Gonçalo: DGEO UERJ/FFP, 2008.

BERTOLINO, A. V. F. A. & BERTOLINO, L. C. Agricultura Migratória e seus Efeitos sobre o Solo. In: CARNEIRO, M. J.; BERTOLINO, A. V. F. A. & BERTOLINO, L. C (orgs.). *Agricultores e Território: práticas e saberes.* Rio de Janeiro: Trasso Comunicação/CNPq/FAPERJ, 2010.

BERTOLINO, A. V. F. A. *Influência do Manejo na Hidrologia de Solos Agrícolas em Ambiente Serrano: Paty do Alferes - RJ.* Tese de Doutorado, Rio de Janeiro: UFRJ, 2004.

CARVALHO, R. de. *Utilização de insumos agrícolas em plantações de olerícolas: um estudo de caso da Região de São Pedro da Serra-Nova Friburgo.* (Monografia) São Gonçalo: DGEO FFP/UERJ, 2005. 120p.

CHAVES, M. V. S. *Análise da Precipitação Interna em Fragmentos de Mata Atlântica em Diferentes Estágios Sucessionais Submetidos à Pousio na APA de Macaé de Cima - Nova Friburgo/RJ.* (Monografia) São Gonçalo: DGEO UERJ/FFP, 2009.

CHAVES, M. V. S.; SANTOS, E. R. B.; BERTOLINO, A. V. F. A.; BERTOLINO, L. C. Análise das propriedades químicas da precipitação interna em fragmento de Mata Atlântica em diferentes estádios sucessionais no município de Nova Friburgo/RJ. In: XVII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. *Anais...*, Rio de Janeiro. Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais, 2008. CD-ROM.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia.* São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda/EDUSP, 1974.

CIDE. CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DO RIO DE JANEIRO. *Estado do Rio de Janeiro: território.* Rio de Janeiro: CIDE, 2000.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (org). *Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos.* Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

DNPM-CPRM. *Projeto Faixa Calcária Cordeiro - Cantagalo. Relatório final das Minas e Energia*, vol. 1, Rio de Janeiro, 1980.

EMBRAPA, Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. *Centro Nacional de Pesquisa de Solos.* Ministério de Agricultura e do Abastecimento. p. 412. Brasília-DF, 1999.

EMBRAPA. *Manual de Análises Químicas, Plantas e Fertilizantes.* Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

FARAH, Flavio. *Publicação IPT 2795.* S.P, 2003.

FERNANDES, N.F. & AMARAL, C.P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.). *Geomorfologia e meio ambiente.* Rio de Janeiro, 1996.

FREITAS, M. M. Funcionalidade Hidrológica dos Cultivos de Banana e Geomecânicas. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, nº 2, maio, 2003, p. 9-18.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DE RIO DE JANEIRO – GEO-RIO. *Investigações e Análises / Coleção Manual Técnico de Encostas*. Rio de Janeiro: GEO-RIO, 2000.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. *Estabilidade de taludes Naturais e de Escavação*. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1985.

LIMA, L. G.; BARROS, A. L. R.; BERTOLINO, A. V. F. A.; BERTOLINO, L. C. Degradação ambiental dos solos: manejos diferentes em bioma de Mata Atlântica na Região Serrana/RJ. In: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, *Anais...* Goiânia: 2006. p. 11.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E.; TORRES, R. Hydrologic response of a steep, unchanneled valley to natural in applied rainfall. *Water Resources Research*, v.33. 1997.

PEREIRA, R. R. *Manejo Convencional ou Agricultura Itinerante? A Dicotomia dos Problemas Socioambientais: Estudo de Caso do Distrito de São Pedro da Serra- Região Serrana Fluminense*. (Monografia) São Gonçalo: DGEO UERJ/FFP, 2005.

QUEIROZ, J. P. C. *Estudo sobre a distribuição do herbicida 2,4 D nos solos da região de São Pedro da Serra - RJ e sua importância ambiental*. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica) – Rio de Janeiro: PUC - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 2007.

REICHARDT, K. *A água em sistemas agrícolas*. São Paulo: Manole, 1990.

SALGADO, J. C. R. S. S. *Propriedades físicas, interpretação pluviométrica e potencial matricial do solo em parcelas hidroerosivas experimentais de usos distintos, sob chuva natural na Apa de Macaé de Cima em São Pedro da Serra/RJ*. (Monografia) São Gonçalo: DGEO UERJ/FFP, 2010.

SANTOS, E. R. de B. *Solos agrícolas sob Pousio e resultantes hidro-erosivas em bioma de Mata Atlântica: São Pedro Da Serra – Nova Friburgo/RJ*. UERJ – FFP / Departamento de Geografia, 2009

SIDLE, R. C., PEARCE, A. J.; O Loughlin, C. L. Natural factors affecting slope stability. In: American Geophysical Union (ed.). *Hillslope stability and land use*. Washington: American Geophysical Union, 1985.

SILVA, A. P. *Influência do Pousio nas propriedades físicas e químicas dos solos em bioma de Mata Atlântica: o caso de São Pedro da Serra – Nova Friburgo*. (Monografia) São Gonçalo: DGEO UERJ/FFP, 2005.

SOARES, I. L. P.; MERAT, G. dos S.; BAPTISTA, E. C. da S.; LEMES, M. W.; BERTOLINO, A. V. F. A. Monitoramento do comportamento hidrológico em área de Pousio no distrito São Pedro da Serra/RJ. In: XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. *Anais...*, Minas Gerais. Solos nos Biomas Brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas, 2011. CD-ROM.

SOUZA, J. M. de. *Diagnóstico de cicatrizes dos movimentos de massa na Bacia do Rio São Pedro no distrito de São Pedro da Serra e seus mecanismos desencadeadores*. (Monografia) São Gonçalo: Departamento de Pós Graduação, UERJ/FFP, 2011.

VARGAS Jr., E; BARBOSA DE OLIVEIRA, R.; COSTA FILHO, N.; PRADO CAMPOS, E. A study of the relationship between the stability of slopes in residual soils and rain intensity. *International Symposium on Environmental Geotechnology*, 1986.

WHIPKEY, R.Z., KIRKBY, M.J. Flow within the soil. In: Kirkby, M.J. (ed.). *Hillslope Hydrology*. New Jersey: John Wiley & Sons. 1978. pp.121-143.