

Universidade de Brasília Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Florestal

Pedro Guilherme de Souza Martins

ANÁLISE DE CICATRIZES DE SOLO APÓS O DESASTRE DE 2011 EM ITAIPAVA - RJ

Brasília - DF 2015



Universidade de Brasília Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Florestal

ANÁLISE DE CICATRIZES DE SOLO APÓS O DESASTRE DE 2011 EM ITAIPAVA - RJ

Trabalho apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília como parte das exigências para obtenção do grau de Engenheiro Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Eraldo A. T. Matricardi

Coorientador: Prof. Dr. Renato Fonte Guimarães



Universidade de Brasília Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Florestal

ANÁLISE DAS CICATRIZES NO SOLO PÓS-DESASTRE DE 2011

EM ITAIPAVA - RJ

Estudante: Pedro Guilherme de Souza Martins

Matrícula: 09/0128362

Menção: MS

Prof. Dr. Eratdo A. T. Matricardi Departamento de Engenharia Florestal Universidade de Brasília - UnB Orientador

Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira Universidade de Brasília Membro da Banca

Olívia B. Cota MSc. Olívia Bueno da Costa Universidade de Brasília - UnB Membro da Banca

AGRADECIMENTOS

Aos meus Pais e Avós, Vanda, Armando e Lídia, por me proporcionarem o privilégio da educação, o ingresso em uma universidade federal e todo apoio necessário para a conclusão de um curso superior.

Ao Professor Renato Fontes Guimarães, que me incentivou, não só com apoio acadêmico, mas também emocional, cuja ajuda me estimulou a permanecer no curso e quiçá na universidade. Hoje minha admiração só cresce pela grande pessoa, grande educador e iluminador de jovens que sempre foi.

Ao Professor Eraldo Matricardi por se destacar dentro do Departamento de Engenharia Florestal como grande companheiro e grande colega dos alunos, sempre disposto a ajudar e acompanhar o progresso acadêmico, sendo de extrema importância para a conclusão deste trabalho.

Por fim, a todos os grandes amigos que fiz nessa jornada e a Família Floresta que sempre caminhou de mãos dadas, em qualquer circunstância e adversidade e, principalmente, a Victória Matos, por diversas vezes acreditar mais em mim do que eu mesmo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS	6
RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo Geral	
2.2 Objetivos Específicos	
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	
3.1 Sensoriamento Remoto	
3.2 Série dos Satélites LANDSAT	11
3.3 Movimento de Massa	
3.4. Região Serrana do Rio de Janeiro	13
3.4.1. Geomorfologia	14
3.4.2. Pedologia	14
3.4.3. Hidrografia	15
3.4.4. Vegetação	15
3.4.5. Microclima Regional	
4. MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1. Caracterização da área de estudo	16
4.2. Base de dados	
4.3. Índice de Umidade Topográfico (TWI), Potencial de Deslizamento (PD)) e Índice de
Vegetação (NDVI)	
4.4. Tratamento e análise dos dados	
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1. Altitude	23
5.2. Aspecto	26
5.3. Pedologia	29
5.4. Análise da Drenagem	
5.5. Vegetação e Proteção do Solo	
6. CONCLUSÃO	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação dos movimentos de massa a partir do grau de umidade e a velocidade
de cada tipo. FONTE: Adaptado de Carson& Kirkby (1972)13
Figura 2: Em amarelo o limite municipal de Petrópolis – RJ. Em rosa o limite da área de
estudo, Itaipava – RJ
Figura 3: Etapas de tratamento dos dados para confecção dos mapas e análise20
Figura 4 – Mosaico das 58 ortofotos, resolução da célula de 1 metro, três bandas, e vetorização
das áreas das cicatrizes de solo pós-desastre na área de estudo
Figura 5: Diagrama esquemático da ordem dos cursos d'água, segundo Strahler (1957).
FONTE: State University of New York College of Environmental Science and Forestry 22
Figura 6: Mapa de altitude (m) de Itaipava - RJ
Figura 7: Porcentagem da Área de ocupação de cada classe em relação à altitude (em metro),
Itaipava - RJ
Figura 8: Altitude média(m) de Itaipava - RJ e das áreas atingidas pelos deslizamentos na área
de estudo24
Figura 9: Mapa de declividade (em graus) de Itaipava – RJ
Figura 10: Porcentagem de cada classe de declividade, em graus, para a área total e para o
potencial de deslizamento
Figura 11: Declividade média (em graus) da área total de Petrópolis e das áreas de cicatrizes de
deslizamento de solos na área de estudo
Figura 12: Gráfico de Potencial de Deslizamento (PD) e Ocorrência na área total, em
porcentagem, com relação ao direcionamento das vertentes em Itaipava - RJ
Figura 13: Mapa de orientações (Aspectos) das vertentes em Itaipava – RJ 27
Figura 14: Média de Aspecto (azimute em graus) da área de estudo e das cicatrizes de
deslizamento de solo
Figura 15: Mapa de pedologia de Itaipava e Petrópolis – RJ
Figura 16: Mapa de área de contribuição de drenagem em Itaipava – RJ
Figura 17: Mapa de Índice de Umidade Topográfico – TWI em Itaipava – RJ
Figura 18: Potencial de Deslizamento (PD), em porcentagem, em relação à drenagem
Figura 19: Média de TWI da área total de Petrópolis e das cicatrizes de solo32
Figura 20: Mapa de grau de cursos d'água na bacia do Rio Piabinha do Sul, em Itaipava – RJ.
Figura 21: Mapa de drenagem ilustrando o Índice de Umidade Topográfico (TWI) e a ordem
hidrográfica nos cursos d'água de Itaipava – RJ
Figura 22: Mapa de vegetação de Itaipava, Petrópolis – RJ
Figura 23: Gráfico das médias do Índice de Vegetação para área total e área das cicatrizes para
os anos de 2010 e 2011
Figura 24: Mapa de proteção do solo no ano de 2010 em Itaipava – RJ
Figura 25: Mapa de proteção do solo no ano de 2011 em Itaipava – RJ
Figura 26: Mapa de Potencial de Deslizamento (PD), em porcentagem, em relação à proteção
do solo por cobertura vegetativa no ano de 2010 em Itaipava – RJ

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação das Bandas do LANDSAT-5, quanto ao espectro, compriment	to de onda
e alcance da resolução	11
Tabela 2: Tabela dos dados utilizados, suas resoluções e escalas e obtenção	18
Tabela 3: Análise Descritiva das Variáveis com efeito nos deslizamentos	23
Tabela 4: Classificação da drenagem por meio do Índice de Umidade Topográfico – T	ſWI 30

RESUMO

Após o desastre ocorrido em 2011 na região serrana do estado do Rio de Janeiro, onde houve movimentações de terra e enchentes que levaram centenas de pessoas à óbito e desabrigaram outras milhares, estudos acerca das características ambientais da região foram impulsionados visando a compreensão do ocorrido e para prevenir outros potenciais acidentes similares. O presente trabalho buscou entender, de forma integrada, as características físicas e ambientais das áreas de cicatrizes de movimentação do desastre de 2011 na Região do Distrito 3 de Petrópolis, Itaipava, estado do Rio de Janeiro, utilizando dados e técnicas de sensoriamento remoto. Foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 5, Modelo Digital de Elevação (MDE), ortofotos de alta resolução espacial para detecção e delimitação das áreas impactadas pelos deslizamentos (movimentos de massa) na área de estudo. Foi estimado o Potencial de Deslizamento (PD) de acordo com as condições físicas do local (altitude, pedologia, drenagem e cobertura vegetal). Os resultados indicam que a área de estudo apresenta grandes áreas de alta suscetibilidade aos alagamentos, com drenagens ruins e que, somados as características de solo, relevo, vegetação e ocupação humana da região, agravaram os impactos dos movimentos de massa ocorridos em 2011. As cicatrizes detectadas nas imagens estavam localizadas em áreas com altitude média de 888 metros, declividade variando de 22 a 33%, predominantemente com faces orientadas ao Sul e Sudeste, com vegetação dispersa e com maior Potencial de Deslizamento. Os resultados deste estudo contribuem para a definição de zonas críticas e para a definição de medidas preventivas de desastres decorrentes do excesso de chuvas na área de estudo.

Palavras-chave: Movimentação de massa, cicatrizes de solo, sensoriamento remoto, potencial de deslizamento.

ABSTRACT

Scientific research demand substantially increased after the landslide disaster in 2011 in the Petropolis region within the State of Rio de Janeiro, where there have been soil movements and floodings that killed hundreds and left several homeless people. Those studies were required to better understand environmental variables that led to that natural disaster in that region and to prevent future events. This study sought to understand the physical and environmental characteristics of landslide areas of 2011 in the third District of Petrópolis, Itaipava, state of Rio de Janeiro, using remotely sensed data. I used LANDSAT-5 satellite images, Digital Elevation Model (DEM), high resolution orthophotos to detect areas affected by landslides (soils movements) in the study area. Also, I estimated the landslide potential (PD) according to the physical conditions (altitude, pedology, drainage and vegetation cover). The results indicate that there are large areas of high flooding susceptibility within the study site. Those areas showed poor drainage that associated with local soil characteristics, relief, vegetation, and human occupation, enhanced the intensity of the landslides occurred in 2011. The soil scars detected in the high spatial resolution ortophotos were mostly located in areas with an average 888 meters altitude, slope between 22 and 33 degrees, aspect predominantly oriented to the South and Southeast, sparse vegetation and high landslide susceptibility. These study results may contribute to the identification of critical landslide and flooding zones and to prevent future disasters as a result of abnormal precipitation combined with human-environmental characteristics in the study area.

Keywords: Soil movement, soil scars, remote sensing, landslide susceptibility.

1. INTRODUÇÃO

No início do ano de 2011, a região serrana e alguns municípios adjacentes do centro fluminense (Nova Friburgo, Teresópolis, Petrópolis, Itaipava, Sumidouro, São José do Vale do Rio Preto e Bom Jardim) sofreram diversos deslizamentos e escorregamentos de terra matando aproximadamente 900 pessoas e atingindo outros milhares. Devido às fortes chuvas de verão e às características do ambiente local, a área pode ser caracterizada, segundo Oliveira Filho (2012) como propensa a desastres.

Afetando, aproximadamente, 20 municípios e 90 mil pessoas, esse desastre deixou cerca de 30 mil pessoas em situação de desabrigado ou desalojado, e houveram 916 óbitos por conta de enchentes, desabamentos e deslizamentos (BANDEIRA et al., 2011). Os municípios que foram os mais afetados: Nova Friburgo com 389 mortes; Teresópolis com 324; Petrópolis com 65 e Sumidouro com 30 (BANDEIRA et al. 2011).

A região é composta por uma topografia altamente acidentada, uma vegetação densa e solos pouco profundos e/ou não férteis (VELOSO, 1991), além de apresentar altas e complexas redes de drenagens perenes que ocupam com alta diferença de altitude (OLIVEIRA FILHO, 2012).

Entretanto, devido a algumas características naturais (terremotos, ventos, chuva), somada com a ação antrópica, é esperado deslocamentos de massas mais frequentes nas encostas das serras (BRABANT & MILLWARD, 2001). Essas movimentações produzem cicatrizes com uma geometria definida, formada pela cabeceira (onde se inicia o escorregamento), pelo corpo (ao longo da faixa afetada pela remoção e transporte de material) e pela base (onde se deposita o material transportado) (SESTINI & FLORENZANO, 2004).

Em análises dos desastres naturais que aconteceram no município de Petrópolis, RJ, em 1988, Fabriani (1991) certificou que as leis urbanas de proteção ambiental existentes não foram suficientes para impedir que a cidade enfrentasse problemas devido a grande expansão residencial e populacional.

Devido ao caráter gravíssimo dos deslocamentos ocorridos, muitos estudos e pesquisas estão sendo direcionados à área, com apoio do Governo Estadual e da Defesa Civil.Estudos morfométricos de relevo são fundamentais para o desenvolvimento dos planos que visem a utilização sustentável do meio ambiente e a compreensão dos processos naturais do meio ambiente (RECKZIEGEL & EROBAINA, 2006).

Devido a intensidade do desastre no município de Petrópolis, escolheu-se especificamente a área do Distrito de Itaipava para observar o comportamento dos deslizamentos sabendo do crescimento antrópico na área e a mudança de paisagem causada pelo homem.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar, de forma integrada, as características físicas e ambientais das áreas de cicatrizes de movimentação do solo no desastre de 2011 na Região do Distrito 3 de Petrópolis, Itaipava, estado do Rio de Janeiro.

2.2 **Objetivos Específicos**

- Identificar os aspectos de relevo, solo e vegetação que contribuíram para o deslocamento de massas nas áreas de cicatrizes dos deslizamentos;
- Identificar o potencial de deslizamentos futuros na área de estudo.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto é a arte e a ciência de extrair informações e dados sobre um objeto ou área utilizando a análise de dados executada por qualquer dispositivo que não esteja diretamente em contato com a área ou objeto (LILLESAND & KIEFER, 1994). Nesse caso os dados são expostos em formatos de variação da distribuição das ondas eletromagnéticas, sendo conceituado por Curran (1985) como o uso de sensores que transformam variações de radiação eletromagnéticas (REM) em imagens com informações e dados úteis para a análise do ambiente retratado.

A observação e avaliação dos movimentos de massa usando os dados obtidos a partir do sensoriamento remoto permite mapear esses eventos (MILLWARD & BARBRANT, 2001). Singhroy et al. (1998) também conclui que várias técnicas de sensoriamento remoto podem auxiliar na produção de mapas e inventários de deslizamento de terra e, assim, os mapas de avaliação de risco, fornecendo a informação sobre as características morfológicas de deslizamentos de terra.

3.2 Série dos Satélites LANDSAT

A série de satélites LANDSAT teve seu primeiro modelo lançado em julho de 1972 pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) com o nome de *Earth Resources Technology Satellites* (ERTS-1), o qual fora rebatizado para LANDSAT. O primeiro grupo de satélites é composto por 3 modelos, LANDSAT 1, 2 e 3 com dois instrumentos: RBV (*Return Bearm Vidicon*) e o MSS (*Multispectral Scanner*). Já o segundo grupo teve início em 1982 com o lançamento do LADSAT 4, que acrescentou o instrumento *Thematic Mapper* (TM) e o MSS (ENGESAT, 2013)

O satélite Landsat 5, lançado em março de 1984, encontrava-se a 705 km de altitude e possuía uma inclinação igual a 98.2°, o seu período de revolução era igual a 99 minutos e era capaz de realizar 15,5 órbitas por dia. A sua resolução temporal era de 16 dias (NASA, 2015). Cada imagem tem uma área de 185 x 185 km, com resolução espacial de 30 m, para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, e 120 m, para a banda 6 (INPE, 2013), como pode ser observado na **Tabela 1**.

Sensor Thematic Mapper					
Bandas	Posição no espectro	Comprimento	Alcance		
1	Visível	0,45 - 0,52 mm	30 m		
2	Visível	0,52 - 0,60 mm	30 m		
3	Visível	0,63 - 0,69 mm	30 m		
4	Infravermelho próximo 0,76 - 0,90 mm		30 m		
5	5 Infravermelho próximo 1,55 - 1,75 mm 30 m		30 m		
6	Térmica	10,40 - 12,50 mm	120 m		
7	Infravermelho médio	2,08 - 2,35 mm	30 m		

Tabela 1: Classificação das Bandas do LANDSAT-5, quanto ao espectro, comprimento de onda e alcance da resolução.

Em 1999 foi lançado o Landsat-7. Sensor ETM+, que funcionou até 2002, quando apresentou defeitos no sistema de varredura do sensor que passou a gerar imagens com linhas defeituosas (sem informações). Em 2012 foi lançado pela NASA o Landsat-8, em funcionamento até a presente data, que carrega o sensor OLI com três novas bandas: azul para estudos de aerossóis e costeiros, infravermelho de banda curta para estudo de nuvens do tipo Cirrus e uma banda de avaliação de qualidade (*QA band*).

3.3 Movimento de Massa

Movimento de massa é o movimento de material rochoso ou solo que se dá encosta a baixo sob ação da gravidade, sem interação com fatores como água, gelo, ar, etc (SELBY, 1990). Entretanto, segundo Hermann (2002), água e gelo geralmente estão relacionados com esses movimentos, interferindo na fluidez do solo. O mesmo autor afirma a grande relação com a estrutura geológica e as características com o material envolvido, como por exemplo a declividade e forma das encostas.

Tais movimentações estão ligadas à alteração do equilíbrio interno entre as tensões de massa, controlado principalmente pela quantidade de água, de argila e sua estruturação dentro do solo (CRUZ, 1974).

Para Hermann (2002), a movimentação faz parte da dinâmica das paisagens, sendo algo natural e um processo geomorfológico responsável pela evolução do relevo, porém as formas de uso da terra atuam incisivamente na intensidade das movimentações de massa, principalmente quando ocorre em áreas ocupadas.

Compreender, analisar e classificar os vários tipos de movimentos de massa é de essencial importância tanto para a identificação desses casos em campo como para a criação de processos para controlar e conter esses movimentos (GRAY et al., 1980). As classificações brasileiras de movimento de massa propostas por Wolle, 1980, divide os movimentos em escoamentos (rastejos e corridas), escorregamentos (rotacionais e translacionais), subsidências e desabamentos, sendo, posteriormente, simplificado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo - IPT, classificando em rastejamento, corridas, escorregamentos e quedas de blocos, onde:

- rastejamentos são movimentos gravitacionais lentos e contínuos da camada superficial (SELBY, 1990);
- ii. corridas são movimentos rápidos, correlacionados com grande fluxo d'água em pontos de encostas (HERMANN, 2002);
- iii. escorregamentos são movimentos com alta velocidade, de fácil identificação, que ocorrem em um pequeno período de tempos, onde os rotacionais apresentam plano de deslizamento curvo e os transacionais apresentam ruptura de forma planar (FERNANDES & AMARAL, 1996);
- iv. quedas de blocos são quando ocorrem queda livre de blocos ou lascas de rocha, resultando do intemperismo físico e/ou químico das rochas (SELBY, 1990).

A **Figura 1** apresenta, resumidamente, um exemplo de classificação de movimentos em que os escorregamentos são caracterizados como movimentos rápidos de material majoritariamente seco.



Figura 1: Classificação dos movimentos de massa a partir do grau de umidade e a velocidade de cada tipo. FONTE: Adaptado de Carson& Kirkby (1972).

Muitos fatores podem contribuir para a geração de deslizamentos de massa, como por exemplo, a morfologia do terreno, as propriedades pedológicas e geológicas, a cobertura vegetal, o uso do solo, a ocupação do solo, a dinâmica das encostas, entre outros fatores (FERNANDES & AMARAL, 1996; LACERDA et al., 1997). Os escorregamentos rasos, predominantemente de solo mais finos, ocorrem, majoritariamente, em zonas que favorecem o acúmulo do material transportado em superfícies de menor grau de declividade. Por essas características, essas áreas permitem também o acúmulo de fluxo desencadeando a formação de áreas de saturação (DIETRICH et al., 1993 e DIETRICH et al., 1995).

3.4. Região Serrana do Rio de Janeiro

Sendo uma das oito regiões do Estado do Rio de Janeiro (CIDE, 1997), a região serrana apresentou em 2000, uma média de 1.310.000 habitantes (IBGE, 2000),

atingindo a marca de 10% da população no estado daquele ano, e apresentam taxas de crescimento populacional maior que a média estadual.

Quase toda a vegetação de Mata Atlântica que ocupava algumas das encostas dos municípios no início da sua colonização está restrita, atualmente, a alguns trechos das Unidades de Conservação, como por exemplo a APA de Petrópolis. O que é mais um fator de descaracterização das encostas, já que não possuem mais alguma proteção vegetal contra os processos erosivos (BRASIL, 1983).

3.4.1. Geomorfologia

O Estado do Rio de Janeiro está situado dentro da área geológica da Província Mantiqueira, que apresenta características fortes de metamorfismo e do cisalhamento transcorrente de expressão regional e pelo afloramento de diversos corpos rochosos de dimensões muito variadas (CPRM, 2002).

Já segundo Ross (1995), a região afetada é parte de conhecida como *planaltos e serras do Atlântico leste-sudeste*, integrando ao Domínio Morfoclimático dos *"mares de morros"*, proposto por Aziz Ab'Saber (2003), característico do sudeste brasileiro (áreas de clima tropical e subtropical úmidos).

Especificamente na região serrana afetada pela catástrofe, o relevo apresenta muitas encostas com declividades bastante acentuadas e elevada densidade de redes de drenagens perenes que ocupam vales profundos e encaixados, obedecendo a um forte controle estrutural (OLIVEIRA FILHO, 2012).

3.4.2. Pedologia

As encostas da região serrana do estado do Rio de Janeiro apresentam, em sua maioria, solos pouco espessos e lixiviados (Cambissolos e Latossolos Vermelho-Amarelos álicos), devido ao um clima, que é bastante úmido (CPRM, 2005). Já as áreas mais rebaixadas e recuadas, apresentam solos menos lixiviados (Argissolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Vermelhos eutróficos) (CPRM, 2005).

Segundo a EMBRAPA (2015) e suas classificações de solos, temos que:

• Os Cambissolos são solos de pequena profundidade, apresentam textura média ou fina, elevado teor de minerais primários e uma grande presença de materiais derivados da rocha;

• O Latossolo Vermelho-Amarelo álicos são solos profundos, e relacionados com uma boa drenagem, com teores de alumínio trocável maior que 50%;

• Argissolo Vermelho-Amarelo são solos que apresentam acúmulo de argila no horizonte B, e possui coloração vermelho-amarelada devido ao alto tero de óxidos de ferro, goethita e hematita. Apresentam textura média;

• Argissolo Vermelho eutrófico são solos que apresentam altas concentrações de óxido de ferro, geram uma cor vermelha acentuada. Solo de boa fertilidade, oriundo de locais bem drenados. Apresenta grande teor de argila num horizonte mais profundo, quando em relação com o horizonte mais superficial.

3.4.3. Hidrografia

Dentre as Bacias da região serrana, a área de estudo pertence a Bacia do Rio Paraíba do sul, a Sub-bacia do Rio Piabinha e, mais precisamente, entre os rios Cuiabá e Santo Antônio, dento do distrito de Itaipava.

3.4.4. Vegetação

A região de estudo se situa na região serrana que, originalmente, era coberta pela porção classificada como Floresta Ombrófila Densa, constituindo parte do bioma popularmente denominado de Mata Atlântica, que, atualmente, está reduzido a manchas e ilhas florestais, reduzidas e estratificadas (VELOSO, 1991).

De acordo com a EMBRAPA (2015), a floresta ombrófila densa é classificada como uma floresta subperenefólia, com uma média de altura de 20 a 30 metros, com alta diversidade de espécies vegetais, porém com solo, predominantemente, de baixa fertilidade.

Utilizando a terminologia usada por Veloso et al. (1991) podemos subdividir a vegetação em três principais formações que se diferenciam principalmente pelos fatores topográficos e, consequentemente, climáticos: Submontana, Montana e Alto-Montana, que se encontram de 50 a 500 m de altitude, 500 a 1500 m e acima de 1500m, respectivamente.

A atual carência de informações e estudos sobre a vegetação local e suas influências levaram o governo a criar a área de proteção ambiental de Petrópolis, com intuito de resgatar a fitofisionomia, solo, fauna, além da aproximação da sociedade com

o meio ambiente, além de fornecer uma maior facilidade para a obtenção futura de dados e conhecimento.

3.4.5. Microclima Regional

O clima da região serrana do Rio de Janeiro é considerado como Tropical de Altitude. Os municípios mais atingidos apresentam uma pluviosidade média anual que ultrapassa os 2500 mm. Segundo Araújo et al. (2011) os municípios que rodeiam as áreas mais atingidas apresentam um comportamento diferente, com uma média inferior a 1300 mm por ano.

Nas datas antecedentes ao desastre (11 e 12 de janeiro de 2011), as condições climáticas eram instáveis na região. O INEA (Instituto Estadual do Ambiente) registrou em suas quatro estações pluviométricas em Nova Friburgo, o acumulado de 24h antes de 221,65 mm de chuva.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada na região Serrana do Rio de Janeiro, na região Leste do município de Petrópolis do estado do Rio de Janeiro, entre os paralelos 22°19'30'' e 22°25'0'' de latitude Sul e os meridianos 43°1'0'' e 43°8'30'' de longitude Oeste, com aproximadamente 67 Km² (Figura 2).



Figura 2: Em amarelo o limite municipal de Petrópolis – RJ. Em rosa o limite da área de estudo, Itaipava – RJ.

4.2. Base de dados

Foram utilizadas 58 ortofotos de alta resolução, de tamanho da célula de 1x1 metro, com três bandas nas ondas visíveis. Foram adquiridas em 2011 logo após o desastre na área de estudo e fazem parte do projeto RJ25, obtidas gratuitamente junto ao corpo docente do Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais (LSIE-UnB), no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As ortofotos foram georreferenciadas utilizando o ArcInfo para o sistema de coordenadas projetadas UTM, zona 23S, no Datum WGS84) para posterior análise e trabalho de vetorização. Os dados pluviométricos e de altimetria foram adquiridos da base de dados do Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais – LSIE da Universidade de Brasília – UnB.

Para observar a frequência e a relação de deslizamentos em determinada formação vegetal, bem como estudar as possíveis causas e consequências dos deslizamentos e suas respectivas frequências, foi preparado um mapa da vegetação a partir do mapa vetorial obtido do projeto RADAM BRASIL de 1975, em escala de 1:1.000.000. O mapa de solos em formato vetorial foi obtido da EMBRAPA, levantamento nacional do ano de 2011, em escala 1:5.000.000.

Foram utilizadas imagens do Modelo Digital de Elevação (MDE) TOPODATA, com resolução espacial de 30 metros, adquiridas do INPE (2015). que foi definido por BURROUGH (1986) como sendo uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica atrelada a uma superfície real. Entretanto, por ser resultado da resposta da luz em contato com o elemento mais alto da paisagem, não atingindo o solo, ocasiona pequenas perdas na informação de altimetria, e consequentemente, problemas nos dados.

As imagens MDE são utilizadas, entre outros, para a produção de mapas de declividade para fins de usos geomorfológicos e o estudo de erosões. É também o elemento principal para a produção de informações de diversos parâmetros, como por exemplo, análises de cicatrizes de solo, já que a declividade e área de contribuição são sempre correlacionadas com este tipo de imagem. As imagens utilizadas estão na escala de 1:25000, possuem resolução espacial de 25m x 25m para cada pixel e foram obtidos do banco de dados do IBGE.

Dado	Resolução/Escala	Obtenção
Ortofoto	1x1m	LSIE-UnB, 2015
Mapa de Vegetação	1:1.000.000	RADAM, 1975 EMBRAPA,
Mapa de Solo	1:5.000.000	2011
MDE	25x25m	IBGE, 2015
Landsat-5	30x30m	INPE, 2015

Tabela 2: Tabela dos dados utilizados, suas resoluções e escalas e obtenção.

4.3. Índice de Umidade Topográfico (TWI), Potencial de Deslizamento (PD) e Índice de Vegetação (NDVI)

A partir das imagens MDE, descritas anteriormente, foi calculado o Índice de Umidade Topográfico (TWI/ITW/ICT). Este índice foi definido por Beven & Kirbky (1979) como um modelo hidrológico que, inicialmente, pondera a área de contribuição e a declividade da área de uma bacia hidrográfica na caracterização, distribuição espacial e identificação das regiões de saturação que, em seguida, determinaram o princípio do escoamento superficial. O índice previsto foi calculado a partir das informações da área de contribuição, o lado da célula e a declividade, como proposto por Wilson e Gallant (2000), adaptado para declividade em radianos e adicionado um valor de 0.0000001 para evitar a divisão por zero, caso ocorra.

 $TWI = Ln(((\alpha+1)*L)/(Tan((\beta*3.1416)/180))+0.0000001))$

Onde:

α é a área de contribuição

L é o lado da célula utilizada

 β é a declividade da célula (em radianos)

Para o cálculo de Potencial de Deslocamentos – PD, utilizou-se a metodologia usada por Gao (1993), onde os dados de deslocamentos de massa e os parâmetros da topografia são analisados de acordo com a relação entre as células (pixels) afetadas e o número total de células (pixels) de cada classe, gerando então o índice de PD, que indica a suscetibilidade à ocorrência de cada classe aos processos de escorregamentos.

Também foi utilizado nesse trabalho o índice de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho e infravermelho próximo (ROUSE, 1974):

NDVI: IVP - V / IVP + V

Onde:

IVP: valor da reflectância da banda no Infravermelho próximo

V: valor de reflectância da banda no vermelho

4.4. Tratamento e análise dos dados

O trabalho seguiu o esquema ilustrado na Figura 3, abaixo:



Figura 3: Etapas de tratamento dos dados para confecção dos mapas e análise.

De forma detalhada, primeiramente foram identificadas as cicatrizes de solos por análise visual das ortofotos obtidas e vetorizadas para utilização posterior, como podemos observar melhor na Figura 4.



Figura 4 – Mosaico das 58 ortofotos, resolução da célula de 1 metro, três bandas, e vetorização das áreas das cicatrizes de solo pós-desastre na área de estudo.

Inicialmente foram gerados polígonos vetorizados por meio do *software* ArcGis (versão 10.2), referentes às cicatrizes de movimentação de massa dentro da região estudada, não levando em consideração a área de arraste nem a área de depósito de material.

Em seguida, com a base de dados previamente obtida de solos e de vegetação, foram gerados mapas das classes que pertencem e compõem a área de estudo, por intermédio da ferramenta Recortar (*Clip*), formando a intersecção do mapa de solos e vegetação com a área de estudo.

Posteriormente, foi criado um mosaico das imagens de MDE para serem utilizadas nos processos seguintes. Foi utilizada a ferramenta Preencher (*Fill*) nas imagens do mosaico do MDE com o intuito de corrigir erros provenientes da captação das informações da Modelagem Digital de Elevação, obtendo uma nova imagem para trabalho. A partir da correção do mosaico de MDE e utilizando a ferramenta declividade de Análise Espacial (*Slope*) foi confeccionado um mapa de declividade em graus da área.

Utilizando o MDE corrigido como ponto de partida, por intermédio da ferramenta Aspecto (*Aspect*) ou Azimute de Orientação das encostas, foi gerada uma imagem contendo a direção, em azimute, das orientações do terreno em relação ao norte geográfico com o valor 0 para o Norte e áreas planas com o valor -1.

Novamente, utilizando os dados da imagem MDE corrigida, foram gerados o Fluxo de Direção (*Flow Direction*) e o Fluxo de Acumulação (*Flow Accumulation*), que representam a direção do fluxo de escorregamentos e escoamentos e a área, em metros quadrados, que cada célula recebe, de escoamento, das células ao seu redor, respectivamente. Na sequência, utilizando o Fluxo de acumulação foi estimado o Índice de Umidade Topográfica para toda a área de estudo.

Finalmente, com os limites das áreas afetadas pelos deslizamentos, foram extraídos dados estatísticos (aspecto, TDI, declividade) correspondentes a cada polígono dessas áreas.

Utilizando as imagens do LANDSAT-5 e as fórmulas para os Índice de vegetação (INDV) para a área a fim de identificar o tipo de cobertura do solo em 2010

(antes do deslizamento) e em 2011 (pós-deslizamento) para comparar o efeito das chuvas, dos escorregamentos na área total e das cicatrizes.

Com os dados de área da média da área de contribuição, foi possível criar, posteriormente, um mapa vetorial com a hidrografia local, utilizando a ferramenta Ordem de rios (*Stream Order*), juntamente com a ordem de cada rio, seguindo a classificação proposta por Strahler (1957), como exemplificado na **Figura 5**.



Figura 5: Diagrama esquemático da ordem dos cursos d'água, segundo Strahler (1957). FONTE: *State University of New York College of Environmental Science and Forestry*.

Por fim, utilizando as ferramentas Histograma Zonal (*Zonal Histogram*) e Estatística Zonal como Tabela (*Zonal Statistics as Table*) foram adquiridos o valor de cada pixel proveniente de cada parâmetro analisado, tanto para a área total, quanto para a área das cicatrizes, obtendo assim, valores numéricos de cada parâmetro para comparação posterior.

5. **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Em toda a área foram abtidas 76 cicatrizes de deslizamentos de solo. Os dados de deslocamentos de massa de solos e os parâmetros morfológicos da topografia foram analisados de acordo com a relação entre as células afetadas e o número total de células de cada classe, gerando então um índice intitulado Potencial de Deslizamento (PD), ou seja, a suscetibilidade à ocorrência de cada classe aos processos de escorregamentos.

A partir das informações de cada pixel foi possível obter as informações de cada variável tanto para a área quanto para a as cicatrizes (Tabela 2).

Darâmatro	Área de Estudo		Área de Cicatrizes					
Farametro	Máx	Mín	x	σ	Máx	Mín	x	σ
Altitude (m)	1557,00	695,00	908,2	151,2	1135,0	735,00	888,0	85,13
Declividade graus)	66,53	0,00	21,69	10,17	39,89	5,64	27,24	6,71
Aspecto	359,69	0,00	186,0	104,5	359,22	0,00	180,8	101,9
TWI	26,86	0,81	4,62	2,81	8,38	1,94	3,82	0,76
NDVI 2010	0,80	0,00	0,45	0,16	0,66	0,18	0,42	0,14
NDVI 2011	0,80	0,00	0,42	0,17	0,65	0,00	0,35	0,15

Tabela 3: Análise Descritiva das Variáveis com efeito nos deslizamentos.

5.1. Altitude

Os resultados deste estudo indicam que as áreas de maior Potencial de Deslizamento (PD) são comuns nas classes de altura média na área de estudo. Resultados diferentes foram encontrados por Gao (1993), que observou os deslizamentos eram mais comuns em áreas de maior altitude por apresentarem maior declividade, mas isso pode ser devido à baixa representatividade de áreas muito elevadas na área de estudo. As cicatrizes de deslizamentos se encontram nas cotas estão entre 695 e 1557m de altura, e foram classificados em 10 classes de intervalos de 86,2 m, com amplitude total de 862m (Figura 6).



Figura 6: Mapa de altitude (m) de Itaipava - RJ.

A Figura 7 apresenta o crescimento abrupto (161,4%) do Potencial de Deslizamento da segunda classe (20,5%) para a terceira classe (52,8%) de altitude utilizada nesta pesquisa. Então uma queda para a quarta classe (17,4%) de aproximadamente 67%.



Figura 7: Porcentagem da Área de ocupação de cada classe em relação à altitude (em metro), Itaipava - RJ.

Os resultados indicam também que existe uma similaridade entre as médias da área de estudo e da área das cicatrizes de deslizamentos (Figura 8). Percebe-se um alto desvio padrão proveniente da grande amplitude dos dados e da grandeza da variável, ou seja, as áreas atingidas pelos deslizamentos estavam localizados em áreas de altitude menos variáveis comparadas com a área de estudo.



Figura 7: Altitude média(m) de Itaipava - RJ e das áreas atingidas pelos deslizamentos na área de estudo.

5.2. Declividade

A variável "declividade" foi dividida em seis classes, com intervalo de 11,08 graus entre as classes e amplitude de 66,5 graus (**Figura 9**).



Figura 8: Mapa de declividade (em graus) de Itaipava – RJ.

A distribuição espacial das cicatrizes de deslizamentos detectados na área de estudo indica que os escorregamentos não foram muito frequentes nas classes de declividades mais altas. O maior potencial de deslizamento (66%) foi observado na terceira classe (22,17 a 33,26°). Foi observado o crescimento do PD da segunda para a terceira classe de declividade de aproximadamente 615%.Em seguida houve um decréscimo para a quarta classe, 33,26 a 44,35 graus, de aproximadamente 64%. **A Figura 10.** apresenta mais detalhes desta variação.



Figura 9: Porcentagem de cada classe de declividade, em graus, para a área total e para o potencial de deslizamento.

Já para a declividade média, a área total apresentou um valor menor (21,7°) quando comparada ao valor médio de declividade das cicatrizes, 27,2° (Figura 11). Pode-se observar que mesmo em uma altitude semelhante, as áreas que ocorreram os escorregamentos são as mais íngremes.





5.2. Aspecto

Em relação ao aspecto apresentado (direção das vertentes, dada em Azimute, onde os valores representam as direções), observou-se, no **Figura 12**, que há predominância da direção Sul (valor médio de 180) tanto para a área quanto para as cicatrizes.



Figura 11: Gráfico de Potencial de Deslizamento (PD) e Ocorrência na área total, em porcentagem, com relação ao direcionamento das vertentes em Itaipava - RJ.

Esse comportamento pode ser observado na **Figura 13**, apresentando o aspecto para toda a área de estudo e para as áreas de cicatrizes de deslizamento.





As orientações das vertentes na área, com as cicatrizes sobrepostas, foram classificadas em 10 classes que representam as direções de preferencias dos fluxos e a plana. Verificou-se a igualdade das classes Sul (S), Sudeste (SE), Sudoeste (SO), Oeste (O) e Noroeste (NO) na área total. Contudo, apenas nas classes Sul (S) e Sudeste (SE), com potencial de deslizamento de 27,7% e 22%, respectivamente, observam-se os maiores graus de PD.

Há também a concentração das cicatrizes ao redor do valor de 180 graus, que indica fielmente a predominância para a direção Sul (S) (Figura 14). Considerando o desvio padrão, observa-se a predominância dos deslizamentos nos aspectos com direções a nordeste a noroeste (Azimute variando de 300° a 100°).



Figura 13: Média de Aspecto (azimute em graus) da área de estudo e das cicatrizes de deslizamento de solo.

5.3. Pedologia

A área de estudo (Figura 15) apresenta formação de Cambissolo Háplico, geralmente identificados em relevos fortemente ondulados chegando a montanhosos, de drenagem ruim e que, em maioria, apresentam uma maior resistência a penetração de raízes das plantas, o que dificulta sua coesão do solo facilitando os processos de escorregamento (EMBRAPA, 2015).



Figura 14: Mapa de pedologia de Itaipava e Petrópolis – RJ (EMBRAPA, 2011).

5.4. Análise da Drenagem

Ao gerar o mapa da área de contribuição (**Figura 16**) foi estimado o fluxo cumulativo de águas para cada pixel, que revela os fluxos d'água, indicando locais de acumulação, áreas de escorregamentos e direção de escoamento da área.



Figura 15: Mapa de área de contribuição de drenagem em Itaipava – RJ.

A partir das informações obtidas da área de contribuição, foi obtido o mapa do Índice de Umidade Topográfico (TWI). A classificação utilizada para o TWI foi dada em cinco classes adaptadas às condições locais, dividas igualmente, como é apresentada na **Tabela 4**.

Valor do	Classes de
Índice	Drenagem
0,8-6,0	Ótima
6,0-11,2	Boa
11,2 – 16,4	Média
16,4 – 21, 6	Ruim
21, 6 – 26,8	Péssima

Tabela 4: Classificação da drenagem por meio do Índice de Umidade Topográfico – TWI.

A partir das divisões das classes pode-se interpretar melhor os valores do TWI, mapa de drenagem do solo, ou seja, um mapa de potencial de alagamento (**Figura 17**). Observando o Potencial de Deslizamento de cada classe discriminados no Figura **18**, observa-se que quase todas as cicatrizes,(aproximadamente 95%), se encontram em áreas de ótima drenagem. Fato que pode ser relacionado com a altitude o escoamento de água das áreas em que se encontram as cicatrizes.



Figura 16: Mapa de Índice de Umidade Topográfico – TWI em Itaipava – RJ.



Figura 17: Potencial de Deslizamento (PD), em porcentagem, em relação à drenagem.

Já se tratando das médias (Figura 19) dos valores do TWI podemos observar o valor da área total e das áreas das cicatrizes, como também seus desvios. Podemos atribuir o menor desvio da área das de cicatrizes ao fato de estarem localizadas nas mesmas faixas de declividade, visto que o índice TWI possui os valores de declividade como origem..



Figura 18: Média de TWI da área total de Petrópolis e das cicatrizes de solo.

A **Figura 20** ilustra a ordem dos cursos d'água da bacia da região, de acordo com o modelo proposto por Strahler (1957).

Em seguida, no cruzamento do mapa do índice de TWI (Figura 17) e do mapa de hidrografia local (Figura 20),é melhor observado que a hidrografia existente encontra-se sobreposta nas áreas de piores drenagens e alto risco de alagamento (Figura 21).Tal fato ajuda a legitimar o modelo do TWI e demonstrar risco de alagamento em quase todo comprimento da bacia, que pode levar ao arraste do material deslizado ao longo de toda hidrografia local.



Figura 19: Mapa de grau de cursos d'água na bacia do Rio Piabinha do Sul, em Itaipava - RJ.



Figura 20: Mapa de drenagem ilustrando o Índice de Umidade Topográfico (TWI) e a ordem hidrográfica nos cursos d'água de Itaipava – RJ.

5.5. Vegetação e Proteção do Solo

Na **Figura 22** é apresentada a distribuição espacial das classes de vegetação na área de estudo, que inclui predominantemente área de Floresta Ombrófila Densa Montana, conhecida também como Floresta Atlântica. Essa formação florestal se caracteriza como Densa Montana quando esta situada em altitude de 500 m até os 1500 m, essa amplitude podendo variar de acordo com a localização geográfica, modificando mais ao sul e mais ao norte (VELOSO, 1991). As demais áreas são ocupadas por vegetação secundária..



Figura 21: Mapa de vegetação de Itaipava, Petrópolis - RJ (RADAM, 1975).

Ao utilizar a análise do Indice de Vegetação, ou Índice de Proteção do solo(variando de 0 a 1, sendo 0 o solo completamente exposto e quando próximo a 1 uma cobertura vegetal densa) é constatado que houve abertura de cicatrizes na área entre os anos de 2010 e 2011, já que o valor mínimo na área das cicatrizes em 2010 era de 0,18 e passou para 0 em 2011. Com base no exposto, pode-se inferir pela diminuição das médias de 2010 para 2011, que ocorreu a abertura de áreas de solo exposto, proveniente de deslizamentos e desmatamentos. Pode-se observar no Figura 23 a 34

diferença da média do Índice quando feita a comparação entre as áreas das cicatrizes, mostrando a perda de vegetação e a citada abertura de manchas de solo exposto.



Figura 22: Gráfico das médias do Índice de Vegetação para área total e área das cicatrizes para os anos de 2010 e 2011.

A partir dos mapas do Índice de vegetação, proteção do solo de 2010 e de 2011(**Figuras 24** e **25**) foi observado como se comporta a vegetação no local antes e após as chuvas que causaram o grande volume de deslizamentos na região. Quando o índice atinge o valor de 0 absoluto, é atribuído a Classe de sombra ou corpo d'água ao pixel; e quando assume valor 1 é vegetação densa, visto que os valores base que é feita a imagem se originam das ondas de infravermelho próximo, que é de alta refletância pelas plantas.

As classes do índice de vegetação foram separadas em valores iguais, onde valores mais próximos de 0 pertencem a classe de solo exposto, e valores mais próximos de 1, pertencem a classe de vegetação densa. Ainda restando duas classes intermediárias: a de vegetação dispersa e de solo pouco protegido (arbustos e gramíneas). Já o valor de zero absoluto, como já citado, foi atribuído a classe de corpo d'água ou sombras presentes nas imagens, para evitar erros e superestimações de áreas de solo exposto.



Figura 23: Mapa de proteção do solo no ano de 2010 em Itaipava - RJ.



Figura 24: Mapa de proteção do solo no ano de 2011 em Itaipava – RJ.

O Potencial de Deslizamento referente ao Índice de Vegetação (Figura 26) foi analisado no ano base de 2010, precedente ao desastre e aos escorregamentos. A analise no ano anterior ao desastre proporciona a facilidade na identificação da ocorrência das cicatrizes para anos seguintes, como proposto pelo PD. A predominância das cicatrizes no solo se encontram em vegetação dispersa ou de baixa proteção, 55% e 28,3% respectivamente. O tipo de solo do local e altitude que, unidos a declividade, propiciam uma área não favorável ao crescimento radicular e pioram a coesão do solo das encostas. Ainda assim, pelo percentual da área de vegetação densa total, o Potencial de Deslizamento dessa classe é elevado, 16,66%, reforçando que as variáveis relacionadas com altitude são mais condicionais ao escoamento de massa de solo do que vegetação.



Figura 25: Mapa de Potencial de Deslizamento (PD), em porcentagem, em relação à proteção do solo por cobertura vegetativa no ano de 2010 em Itaipava – RJ.

6. CONCLUSÃO

Na região de predominância de Cambissolo Háplico e Vegetação Ombrófila densa montana, com altitude média de aproximadamente 910m, as cicatrizes ocorreram em altitude média de 888m, sendo que o Potencial de Deslizamento de 52% foi observado na faixa de altitude de 867 a 953m. Já o Potencial de Deslizamento relativo a declividade foi de, aproximadamente, 66% na faixa de 22 a 33° de declividade, mesmo a média de declividade da área sendo 21%. Quanto ao direcionamento das vertentes observou-se que mesmo com áreas de valores aproximadas das vertentes voltadas para

região Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste, observou-se a predominância das cicatrizes nas faces voltadas para o Sul e Sudeste, com Potencial de Deslizamento de 28 e 22%, respectivamente.

A estimativa do Índice Topográfico de Umidade (TWI) revelou que a área de estudo apresenta grandes áreas suscetíveis a alagamentos (acumulação de água e sedimentos), com sistema de drenagem ruim que, somados com as características da região, se tornam agravantes do desastre ocorrido em 2011.

Por fim, observou-se que houve diminuição dos valores médios do Índice de Vegetação nas áreas afetadas pelos deslizamentos em 2011. Isto indica que os impactos da chuva foram bastante severos na vegetação e solo da área de estudo. Tais índices poderão ser utilizados para o acompanhamento futuro do processo de recuperação das áreas afetadas pelos deslizamentos, em especial para verificação de novos riscos de acidentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB' SABER, A. N. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê, 2003.

ARAÚJO, J. P. C. Análise morfométrica de corridas de detritos na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro: Estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Córrego Dantas. Programa de Pós-graduação em Geografia, UFRJ, Dissertação de Mestrado, 2012.

BANDEIRA, R.A.M., CAMPOS, V.B.G., BANDEIRA, A.P.F. **Uma visão da logística de atendimento à população atingida por desastre natural.** XXV ANPET – Belo Horizonte, p.599. 7 a 11 de novembro de 2011.

BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A physically based variable contributing areamodel of basin hydrology. Hydrology Science, Wallingford, v. 24, n. 1, p. 43-69, 1979.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil. Levantamento dos Recursos Naturais. Brasília, vol. 32, 1983.

BURROUGH, P. A. MCDONNELL R. A. Principles of Geographic Information Systems. Oxford, Oxford University Press, 1998.

BURROUGH, P. A. Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford, Oxford University Press, 1986.

CARSON, M. A. and KIRKBY, M. J., Hillslope Form and Process. Cambridge University Press, Cambridge, 1972.

CASTILHO, L.V.; OLIVEIRA, P.M.C.; FABRIANI, C. B. Análise de uma tragédia ambiental e a participação da população no equacionamento dos problemas de moradia: um estudo de caso da tragédia na região serrana do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.

CIDE - Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro. **Anuário estatístico do Rio de Janeiro.** CDROM. 1997.

COUTO, E. V. do ; BONIFÁCIO, C. M. Análise Cienciométrica Temporal com Referência Aos Modelos Digitais de Elevação – MDE: Importância e Tendências.
ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA Campo Mourão, PR. Revista GEOMAE. v.2n.2 p.69 – 84. 2011.

COUTO, E.V. do; BONIFÁCIO, C.M. CÂMARA, G.;CASANOVA, M. A.;HEMERLY, A. S.;MAGALHÃES, G. A.; MEDEIROS, C. M. B. Anatomia de 39

Sistemas de Informação Geográfica. 10a. Escola de Computação. Campinas. Instituto de Computação - UNICAMP. 197p. 1996.

CPRM - Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. **Serviço Geológico do Brasil.** Acessado no diaem 20/06/2015. Disponível em: < http://www.cprm.gov.br/publique/media/artigo_geoambientalRJ.pdf>

CRUZ O. A Serra do Mar e o litoral na área de Caraguatatuba-SP. Série teses e monografias, Instituto de Geografia – USP, 1974.

CURRAN. P. J. Principles of Remote Sensing. Londres, 1985.

DEGET. Serviço Geológico do Brasil. Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. 2005.

DIETRICH, W. E., REISS, R., HSU, M.-L. and MONTGOMERY, D. R., A Process-Based Model for Colluvium Soil Depth and Shallow Landsliding Using Digital Elevation Data. Hydrol. Process., v. 9, p.383-400.1995.

DIETRICH, W. E., WILSON, C. J., MONTGOMERY, D. R. and McKEAN, J., Analysis of Erosion Thresholds, Channel Networks and Landscape Morphology Using a Digital Terrain Model. The Journal of Geology, v. 101, p.259-278.1993.

DOURADO, F.; ARRAES, T.C.; FERNANDES E SILVA, M. O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro – as Causas do Evento, os Mecanismos dos Movimentos de Massa e a Distribuição Espacial dos Investimentos de Reconstrução no Pós-Desastre. Rio de Janeiro, Anuário do Instituto de Geociências, Vol. 35, pag. 43-54, 2012.

DRM. Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. **Megadesastre da Serra, 2011**, disponível em http://www.drm.rj.gov.br/index, acessado em julho de 2015.

ENGESAT: http://www.engesat.com.br/?system=news&action=read&id=528 acesso realizado em 23 de novembro de 2015.

FABRIANI, C. B. Por Uma Política de Conservação da Natureza: O Desafio de Petrópolis. Rio de Janeiro, Revista de Administração Pública Vol. 25, 1991.

FERNANDES, N.F. & AMARAL, C.P.do. Geomorfologia e Meio Ambiente. GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. da. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, pag 123-194, 1996.

GAO, J. Identification of topographic settings conducive to landsliding from DEM. Earth Surface Processes and Landforms, Virginia, EUA, vol. 18, pag 579-591. 1993.

GRAY, D.H & LEISER, A.T. Biotechnical Slope Protection and Erosion Control. Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA, 1 vol., 271 p. 1982.

HERMANN, M.L.P. de., DIAS, F.P. **Análise da Suceptibilidade a Deslizamentos no Bairro Saco Grande, Florianópolis – SC.** Florianópolis, Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra, Vol. 21, pag 91-104, 2002

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2015. Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. São José dos Campos, SP. Disponível no sítio da internet http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/. Último acesso em 10 de dezembro de 2015.

LILLESAND, T. M. & KIEFER, R. W. Remote Sensing and Image Interpretation, Geological Magazine, vol 132, pg 248-249, 1994.

MCKEAN, J.; BUECHEL, S.; GAYDOS, L. Remote Sensing and Landslide Hazard Assessment. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 57, pag. 1185-1193, 1991.

MILLWARD. A.A , BRABANT, R.V., Mapping Mass Movements Using Remotely Sensed Sources. 2001.

NASA, disponível em <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?page_id=2/history.html> Acesso em: 10 de novembro de 2015

NOGUEIRA, P. M. Influência de Variáveis Ambientais no Processo de Regeneração Natural da Mata Atlântica no Vale do Paraíba do Sul. Seropédica, RJ. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. INSTITUTO DE FLORESTASUFFRJ, Rio de Janeiro. 2012.

OLIVEIRA FILHO, G.R., Os movimentos de massa na região serrana do estado do Rio de Janeiro em 2011: diagnótisco e proposição de medidas para enfrentamento de desastres ambientais. CES Revista, Juiz de Fora, vol. 26, pag. 149-164, 2012.

RECKZIEGEL, E. W., ROBAINA, L. E. de S. Estudo de Parâmetros Morfométricos do Relevo e da Rede de Drenagem da Área Situada Entre os Rios Jaguari e Ibicuí no Município de São Vicente – RS. VI Simpósio de Geomorfologia Nacional, Goiânia, 2006.

ROSS, J. L. S. **Os fundamentos da geografia da natureza.** In: ROSS, J. L. S. Geografia do Brasil. São Paulo: EdUSP, 1995.

ROUSE, J.W., R.H. HAAS, J.A. SCHELL, D.W. DEERING, J.C. HARLAN. Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, 1974, 371 p. SABER A.B., AZIZ, N. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo, 2003.

SAUCHYN, D.J; TRENCH, N.R. Landsat Applied to Landslide Mapping. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing., vol 44, pag. 735-741, 1978.

SELBY, M.J. Hillslope Materials & Processes. Oxford University Press, Oxford. 1990.

SESTINI, M. F., FLORENZANO, T. G. Caracterização de Cicatrizes de Deslizamento por Processamento de Dados TM Landsat em Caraguatatuba – SP. Revista do Instituto de Geociências, São Paulo, vol 4, pag 57-69, 2004.

SINGHROY, V., Mattar, K., and Gray, A.: Landslide characteristics in Canada using interferometric SAR and combined SAR and TM images, Adv. Space Res. 21, 465–476. 1998.

STRAHLER, A. N., **Quantitative analysis of watershed "geomorphology".** Transactions of the American Geophysical Union 8,, pag. 913–920, 1957.

VELOSO, H. P., Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. IBGE – Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro, 1991.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. **Digital terrain analysis**. In:_____ (Ed.). Terrain analysis: principles and applications. New York: Wiley & Sons, 2000, p. 1-27

WOLLE, C.M. Taludes Naturais Mecanismos de Instabilização e Critérios de Segurança. São Paulo, USP (Dissertação de Mestrado). 1980.