



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**INFILTRAÇÃO E SUCCÃO DOS SOLOS: SUBSÍDIOS AOS ESTUDOS DOS
MOVIMENTOS DE MASSA NA BACIA DO CÓRREGO DANTAS, NOVA
FRIBURGO, RJ.**

ALUNA: Giselle Ferreira Borges

ORIENTADOR: André de Souza Avelar

Rio de Janeiro

2016

GISELLE FERREIRA BORGES

**INFILTRAÇÃO E SUCÇÃO DOS SOLOS: SUBSÍDIOS AOS ESTUDOS DOS
MOVIMENTOS DE MASSA NA BACIA DO CÓRREGO DANTAS, NOVA
FRIBURGO, RJ.**

Dissertação de Mestrado apresentado ao
Programa de Pós-Graduação em
Geografia da Universidade Federal do
Rio de Janeiro para TÍTULO DE
MESTRE

Orientador: André de Souza Avelar

Rio de Janeiro

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

732i Borges, Giselle Ferreira
 INFILTRAÇÃO E SUCÇÃO DOS SOLOS: SUBSÍDIOS AOS
ESTUDOS DOS MOVIMENTOS DE MASSA NA BACIA DO CÔRREGO
DANTAS, NOVA FRIBURGO, RJ. / Giselle Ferreira
Borges. -- Rio de Janeiro, 2016.
 91 f.

 Orientador: André de Souza Avelar.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Instituto de Geociências,
Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação
em Geografia, 2016.

 1. Geografia. 2. Planejamento e Gestão Ambiental
. I. Avelar, André de Souza, orient. II. Título.

GISELLE FERREIRA BORGES

**INFILTRAÇÃO E SUCCÃO DOS SOLOS: SUBSÍDIOS AOS ESTUDOS DOS
MOVIMENTOS DE MASSA NA BACIA DO CÓRREGO DANTAS, NOVA
FRIBURGO, RJ.**

ORIENTADOR:

André de Souza Avelar

Aprovada em 30 de Agosto de 2016 pela seguinte Banca Examinadora:

Orientador: Prof. Dr. André de Souza Avelar

Prof. ^a Dr.^a Mônica dos Santos Marçal

Prof. Dr. Otávio Miguez da Rocha Leão

Rio de Janeiro

2016

Dedico este trabalho aos meus pais, a minha irmã e ao meu gato Eusébio, pelo amor, carinho, paciência, força e apoio incondicional a mais esta etapa conquistada! Amo muito vocês!

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao meu orientador pela excelente orientação que recebi em todo o momento do mestrado. Esse homem além de ser um extraordinário profissional, parceiro de campo, posso considerá-lo como um amigo que me ajudou em todas as etapas dentro e fora do mestrado, com conselhos, conversas esclarecedoras e o primordial como toda paciência e calma do mundo. Não poderia ter escolhido um orientador melhor, muito obrigada.

Sou agradecida por ter feito parte da criação do Laboratório Integrado de Estudos Geoambientais – LIEG, onde tive o prazer de conhecer incríveis pesquisadores e profissionais, posso considerar um ambiente de ganho intelectual e produtivo. Esse laboratório tem uma essência única de parceria, amizade, alegria e dedicação.

Agradeço os colegas de laboratório que fizeram e fazem parte dessa casa Leonardo Barbosa, Felipe Soter, Fernando Pessoa, Flávio Rosa.

Agradecimento especial ao meu amigo Fernando Cesário que meu deu força em todo o momento dentro e fora do mestrado. Auxiliou-me com dicas imprescindíveis para minha carreira profissional e evolução pessoal. Pela enorme paciência com minhas crises via WhatsApp.

Agradecimento a minha amiga Gabriela Peluso que me ajudou nas análises de laboratório, que foi fundamental para a obtenção dos resultados da dissertação.

Agradecimento a minha amiga de laboratório Neiva Barbalhos minha parceira de concursos e sempre muito solícita em ajudar nas questões em que surgiam as dúvidas. Nos intervalos das aulas de línguas sempre uma boa conversa regada de muitas gargalhadas, alegrando o dia.

Agradecimento as minhas colegas de laboratório Paula Coelho, Camila Silva, Flávia Osório que me ajudaram na finalização dessa pesquisa, que forneceram muitos momentos de risadas e parcerias de campo.

Agradecimento ao Pablo gerenciador de infraestrutura informacional do nosso laboratório- LIEG, pela atenção com as problemáticas que surgiam, além de instalação de softwares e assistência da rede e computadores.

Agradecimento aos meus colegas de turma Pedro Magalhães, Gil Azevedo e Maria Clara Marques em que estivermos juntos um ajudando ao outro sempre que fosse possível. Os momentos de relaxamento do café e almoço, que forneciam o gás para continuar na luta. As risadas nos corredores que ajudaram a deixar esse momento mais descontraído e feliz.

Agradecimento especial ao Pedro Lima e ao Laboratório GEOHECO, pelo fornecimento dos dados da área de estudo.

Agradecimento aos colegas do laboratório LAGESSOLOS – UFRJ: Aline Muniz, Leonardo Pereira, Rafael Carvalho pelo auxílio no laboratório de Geomorfologia com os ensaios de granulometria. Eles sempre estiveram abertos a ajudar e compartilhar conhecimentos sobre os ensaios.

Gostaria de agradecer aos meus amigos de sempre Carlos André Azevedo, Patrícia Bonfim, Anna Carolina Coimbra, Marcele Barbosa, Isadora Vida pela força, amor, carinho e por mais um momento de superação e realização.

Aos meus pais e a minha irmã um agradecimento mais que especial pelo incentivo e assistência durante a realização do mestrado. Eles me apoiaram muitas vezes achando que era uma loucura o que eu estava fazendo, mas colocando toda credibilidade em mim.

Agradecimento ao meu namorado Antônio Aguiar que estava sempre me dando todo apoio nos momentos de maior fragilidade. Ele passou a entender que o meu amor pela Geografia é tão grande que também há espaço para ele.

Eu prefiro ser
Essa metamorfose ambulante
Do que ter aquela velha opinião
formada sobre tudo.

Raul Seixas

Foi o começo da vida de geógrafo: ler e
interpretar a paisagem, ter a noção da
sequência dos cenários de um determinado
espaço.

Aziz Ab'Saber

A paisagem não se cria de uma só vez, mas por
acréscimos, substituições; a lógica pela qual se fez um
objeto no passado era alógica da produção daquele
momento.

Uma paisagem é uma escrita sobre a outra, é um
conjunto de objetos que têm idades diferentes, é uma
herança de muitos diferentes momentos.

Milton Santos

RESUMO

Borges, Giselle Ferreira. INFILTRAÇÃO E SUCCÃO DOS SOLOS: SUBSÍDIOS AOS ESTUDOS DOS MOVIMENTOS DE MASSA NA BACIA DO CÓRREGO DANTAS, NOVA FRIBURGO, RJ, 2016, 91 f Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 2016.

Os desastres naturais são ocasionados por alterações na paisagem natural para humanizada, devido aos acelerados processos de urbanização. Esses processos estão sendo intensificados pela retirada da vegetação original por áreas de plantio ou habitação. Esses eventos se tornam problemas graves quando há perda social, ambiental e econômica, onde há diversos autores envolvidos. Quando ocorre a mudança do uso e cobertura da região os processos de infiltração e sucção possuem comportamentos diversos, principalmente pela área possuir em sua maioria solos rasos/pouco profundos. O objetivo desta pesquisa visa compreender as interações hidro-pedológicas, para verificação das taxas de infiltração e sucção dos solos, nos diferentes usos de pastagem, olericultura, capoeira e mata. Realizou-se o mapeamento geotécnico associado aos ensaios de granulometria, testes de infiltração com anel simples e medição sucção nos 5cm e 20cm do solo pelo WP4C. Os resultados apresentados mostram que há o predomínio por área de solo raso (42,62 %) seguindo de solo espesso (30,75 %) na região. As áreas de pastagem, olericultura, capoeira e mata foram analisadas e possuem granulometria franco-arenosa. Os ensaios de infiltração mostraram uma característica diferenciada da capoeira, quando comparada com pastagem, plantio e mata. Nas avaliações da sucção a área de mata obteve altos valores, devido a presença da cobertura vegetal e presença de raízes, propiciando condições diferenciadas para água. A área de capoeira obteve rápidas taxas de infiltração, quando comparado com os outros usos. O maior valor de sucção foi encontrado na área da mata, mostrando o papel influenciador da vegetação e das raízes. Podemos concluir que os solos da Bacia do Córrego Dantas se classificam granulometricamente em franco-arenoso, solos com presença de macroporosidade. Sendo assim, seus solos têm uma tendência de rápido preenchimento dos poros pela água, em eventos de intensidade pluviométrica.

Palavras-chaves: solo, infiltração, sucção, deslizamento, diferentes usos e coberturas, Nova Friburgo.

ABSTRAT

Borges, Giselle Ferreira. INFILTRATION AND SUCKING SOIL: THE SUBSIDIES STUDY OF MASS MOVEMENTS IN STREAM BASIN DANTAS, NOVA FRIBURGO, RJ, 2016 91 f Thesis (MA in Geography) - Federal University of Rio de Janeiro, Institute of Geosciences, Post- Program degree in Geography, Rio de Janeiro, 2016.

The natural disasters are caused by changes in the natural landscape to humanized due to the accelerated processes of urbanization. These processes are being intensified by the removal of the original vegetation by areas of planting or housing. These events become serious problems when there is social, environmental and economic loss, where several authors are involved. When the change of use and coverage of the region occurs, the infiltration and suction processes have different behaviors, mainly because the area has mostly shallow / shallow soils. The objective of this research is to understand the hydro-pedological interactions, to verify the rates of infiltration and suction of the soils, in the different uses of pasture, olericultura, capoeira and forest. The geotechnical mapping associated with the granulometry tests, infiltration tests with single ring and suction measurement in the 5cm and 20cm of the soil by the WP4C were carried out. The results show that there is a predominance of shallow soil (42.62%) followed by thick soil (30.75%) in the region. The pasture, olericultura, capoeira and forest areas were analyzed and have a sandy loam size. The infiltration tests showed a distinct characteristic of capoeira when compared to pasture, planting and forest. In the suction evaluations, the forest area showed high values, due to the presence of vegetation cover and the presence of roots, providing different conditions for water. The capoeira area had rapid rates of infiltration when compared to other uses. The highest suction value was found in the forest area, showing the influence of vegetation and roots. We can conclude that the soils of the Dantas Stream Basin are classified granulometrically in sandy-loam, soils with presence of macroporosity. Thus, their soils have a tendency to rapidly fill the pores by water, in events of pluviometric intensity.

Keywords: soil, infiltration, suction, slip, different uses and covers, Nova Friburgo.

Lista de Figuras

Figura 1: Precipitação horária (mm) entre os dias 11 e 12 de janeiro de 2011, na estação Venda das Pedras.	5
Figura 2: Resumo dos Tipos de Movimentos de Massa adaptado. Fonte: Varnes 1978. ..	7
Figura 3: Tipos de escorregamento o A- Escorregamento Translacional e o B- Escorregamento Rotacional. Fonte: Cruden e Varnes, 1996.....	8
Figura 4: Simulação de Fluxo A- Fluxo e B -Rastejos. Fonte: Cruden e Varnes, 1996. ..	9
Figura 5: Esquemas de rupturas A- Queda de Blocos e o B- Desmoronamentos. Fonte: Cruden e Varnes, 1996.....	11
Figura 6: Interações da água. Fonte: Lepsch, 2011.	12
Figura 7: Perfil de umedecimento do solo durante a infiltração. Fonte Pruski et at., 2008.....	13
Figura 8: Porosidade do Solo. Fonte: Courtney & Trudgill, 1988 e Pruski et al., 2008.	17
Figura 9: Valores de condutividade hidráulica de acordo com a classe textural do solo. Fonte: lawall, 2010.....	18
Figura 10: Funcionamento do sistema de capilaridade adaptado. Fonte: Brandy & Weil, 2008.....	20
Figura 11: Curva Característica Bimodal. Fonte: Feuerharmel et al., 2005.....	21
Figura 12: Mapa de localização do Bacia Córrego Dantas.	24
Figura 13: Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Córrego Dantas, Município de Friburgo, Rio de Janeiro. Fonte: Vinagre et al.2015.....	28
Figura 14: Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: CPRM.	31
Figura 15:- Área percorrida da Bacia do Córrego Dantas para identificação e classificação das classes de solos. Fonte: Acervo Pessoal.	34
Figura 16 A e B- Identificação das classes de solos a partir das Fotografias Áreas e classificação do mapa geotécnico. Fonte: Acervo Pessoal.	35
Figura 17: Estradas percorridas para definição das classes de solos da Bacia do Córrego Dantas.....	36
Figura 18: Procedimentos metodológicos para ensaio de granulometria. Fonte: Acervo Pessoal.....	38
Figura 19: Etapas para ensaio de granulometria. Fonte: Acervo Pessoal.	39
Figura 20: Estação Meteorológica, Nova Friburgo 2016. Fonte: Acervo Pessoal.	41
Figura 21: A- Dimensões do Infiltrômetro e B- Imagem do Infiltrômetro de Anel. Fonte: Acervo Pessoal.....	42
Figura 22: Diferentes usos nas áreas de amostragem. Fonte: Acervo Pessoal.	45
Figura 23: A amostras coletadas nos primeiros 5 cm do solo. B amostras coletas em 20 cm do solo. Fonte: Acervo Pessoal.	47
Figura 24: Imagem do Equipamento WP4C. Fonte: Acervo Pessoal.....	49
Figura 25: Mapa de Cobertura de Solos, Bacia do Córrego Dantas, N. Friburgo – RJ. ..	53
Figura 26: Percentuais de areia, silte e argila nos solos estudados.....	56
Figura 27: Classificação americana (USDA) de granulometria dos solos estudados.....	57
Figura 28: Ensaio de infiltração em área de pastagem.	58
Figura 29: Ensaio de infiltração em área de plantio.	59

Figura 30: Ensaio de infiltração em área de capoeira.....	60
Figura 31: Ensaio de infiltração em área de mata.	61
Figura 32: Relação temperatura e umidade relativa da Bacia do Córrego Dantas.	62
Figura 33: Comportamento da sucção da água em seus diferentes usos e coberturas. ...	64
Figura 34: Comportamento da sucção nos 5cm do solo.	65
Figura 35: Comportamento da sucção da água nos 20 cm solo.....	66

Lista de Tabelas

Tabela 1: Planilhas de campo para a realização dos testes de infiltrômetro de anel simples.....	43
Tabela 2: Localização das áreas de amostragem.	45
Tabela 3: Quantificação esquematização dos ensaios realizados.	46
Tabela 4: Especificações técnicas do WP4C.Fonte Decagon Devices.	48
Tabela 5: Distribuição das áreas dos tipos de solos geotécnicos mapeados.	54

Sumário

1-INTRODUÇÃO	1
2-EMBASAMENTO TEÓRICO – CONCEITUAL	4
2.1- Eventos de Desastres Naturais na Região Serrana, RJ	4
2.2 - Movimentos de Massa	5
2.2.1- <i>Escorregamentos - Translacionais/Shallow (solo-rocha) landslide ou Rotacionais /Slumps(colúvio-saprolito)</i>	7
2.2.2- <i>Fluxos - Debris-flow, Rastejos /Creep</i>	8
2.2.3- <i>Quedas de blocos/ Rockfall e Desmoronamento/ Topple</i>	9
2.3- Etapas do Ciclo Hidrológico Relacionadas à percolação da Água no Solo	11
2.3.1- <i>Infiltração e movimento da água no solo</i>	11
2.3.2- <i>Escoamento Superficial e Subsuperficial</i>	14
2.4- Interações Pedo-Hidrológicas	16
2.4.1- <i>Estrutura do solo</i>	16
2.4.2- <i>Condutividade Hidráulica</i>	17
2.4.3- <i>Sucção da Água</i>	19
2.4.4- <i>Curva Característica</i>	21
3-ÁREA DE ESTUDO	23
3.1- Localização Geográfica	23
3.2- Caracterização Físico-Ambiental da Bacia do Córrego Dantas	26
3.2.1- <i>Caracterização Geológica</i>	26
3.2.2- <i>Caracterização Geomorfológica</i>	29
3.2.3- <i>Caracterização Pedológica</i>	32
4-MATERIAS E MÉTODOS	33
4.1. Base Topográfica	33
4.2 – Mapeamento dos Solos do Córrego Dantas	34
4.2.1 <i>Correção Topológica das Classes</i>	37
4.2. Ensaios Granulométricos	37
4.3- Medição de Chuva	39
4.4- Medição de Infiltração	42
4.5- Ensaios para Definição da Curva Característica	44
4.5.1- <i>Áreas de ensaios e amostragem</i>	44
4.5.2- <i>Funcionamento do WP4C</i>	47
5-RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1 Considerações Iniciais sobre a Análise dos Resultados	51
5.2 Análise do Mapeamento Geotécnico	52

5.3. Interações das Análises de Granulometria com Medição da Infiltração e Índices Pluviométricos	55
5.4 Análise da Curva de Potencial Hídrico	62
6-CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

1-INTRODUÇÃO

Os desastres naturais associados aos deslizamentos de massa ocorrem com certa frequência em ambientes como encostas de grande declive, áreas de baixadas e fundos de vale associadas grandes precipitações. Os fatores geológicos, geomorfológicos, vegetacionais e antrópicos do ambiente são combinações para a eclosão de deslizamentos. Os movimentos de massa estão suscetíveis à ocorrência em qualquer ambiente, em que possua condições para o seu desencadeamento. A partir da década de 50 houve um aumento da frequência e intensidade dos desastres naturais em todo o mundo, no Brasil no ano de 1960 há os registros na paisagem desses eventos (Mattedi e Butzke,2001; Kobayama *et al.*, 2004; Marcelino *et al.*, 2006).

Sendo assim, o ciclo hidrológico é um sistema aberto e ativo, sendo interativo com os diferentes agentes naturais (atmosfera por precipitação, formação de nuvens, evaporação e evapotranspiração; os continentes com os diferentes tipos de solos e rochas; e os oceanos que servem como depósitos finais para água). Os elementos geológicos, geomorfológicos e vegetacionais têm influenciado muito as estruturas do solo e também favorecido maior ou menor suscetibilidade, quando relacionado às questões de deslizamento de encostas e erosão. Estes eventos provocados por eventos naturais e induzidos pelo homem, passam a ser considerados desastres por gerar perdas sociais, econômicas e ecológicas (Coelho Netto *et al.*, 2012).

Nos ambientes tropicais há a incidência de altas precipitações em meses de verão contribuindo para os deslizamentos. Assim como, em ambientes montanhosos há uma maior frequência de ocorrência de deslizamento de encostas, devido sua condição natural e evolução paisagem geomorfológica nesses ambientes, pois se apresentam como modeladores do relevo (De Ploy e Cruz, 1979; Coelho Netto,1999).

As precipitações e a interação com a superfície irão influenciar diretamente as taxas de infiltração, sucção e escoamento superficial. As chuvas possuem características diversas desde seu volume, distribuição espacial e intensidade (volume e duração), esses elementos associados modificam estruturas dos solos, estabilização e a formação da pedogênese, podendo também desestruturar grandes conglomerados e provocar perdas aos ambientes.

Estudos desenvolvidos por Avelar, 2011; Coelho Neto, 2013, mostraram que o evento pluviométrico de 11 e 12 de janeiro de 2011 em Teresópolis e Nova Friburgo, foram mapeados 3622 escorregamentos por imagem de satélite, em uma área de 421km². Os deslizamentos foram oriundos em áreas chuvosas, aumentando a relação entre a precipitação e deslizamentos.

Diversos estudos foram realizados na região de Nova Friburgo, a fim de compreender os mecanismos que propiciavam áreas de instabilidade, ocasionando os deslizamentos. Em trabalhos de Avelar, 2011; Fraga, 2014; e Osório, 2016, mostram que o sistema raticular das florestas da região é capaz de permitir a infiltração da água, aumentando a resistência do solo, por influência das raízes laterais. Em zonas de saturação suspensas e fluxos subsuperficiais rasos podem ser gerados por posições na encosta, devido às descontinuidades hidráulicas e a forma da encosta, ocasionando o aumento de poro-pressão no solo (Silva, 2014). Segundo Lima (2015), em áreas montanhosas a hidrografia releva um papel na relação com os deslizamentos translacionais rasos associados com os diferentes índices de tipologia de movimento de massa.

Bem como é importante saber como ocorre o processo de infiltração nos diferentes uso e coberturas na delimitação na Bacia do Córrego Dantas, em Nova Friburgo. Mas também, que diferenças fundamentais estariam associadas as dinâmicas dos usos e como que essa questão influência nos processos de movimento de massa na região.

No caso da região serrana os eventos ocorreram de maneira intensa, segundo dados da defesa civil, houve uma grande quantidade de fatalidades nessa região. Diversas famílias foram desabrigadas devido ao acontecimento, gerando um alerta a sociedade e a necessidade de compreensão da causa desses deslizamentos pela comunidade científica.

Para entender como os deslizamentos translacionais rasos ocorrem, a causa principal se refere na relação dos processos de encostas e solos presentes na Bacia do Córrego Dantas, que é o foco central do presente trabalho. Os solos aqui tratados foram individualizados conforme sua origem (deposicionais ou 'in situ') e sua espessura (maior que 3 m: espessos ou menor que 3 m: rasos), com objetivo de permitir uma categorização geotécnica, diferentemente do que é tradicionalmente feito na área da pedologia. Estas informações subsidiaram a espacialização destes solos frente às condições geomorfológicas relacionadas aos movimentos de massa, em especial

declividades e formas de encostas, assim como alguns parâmetros geotécnicos, tais como, coesão, ângulo de atrito, condições de sucção ou geração de propressão positivas.

A pesquisa foi realizada na Bacia do Córrego Dantas, em Nova Friburgo. A escolha dessa região, se remete a frequente ocorrência de deslizamentos de massa e por diversos estudos na região serrana do Rio de Janeiro. Segundo trabalhos de Avelar, 2011, Coelho Neto, 2013, Silva, 2014, Fraga, 2014, Lima, 2015 e José, 2016, mostram que essa região possui uma fragilidade em seus solos em eventos de alta pluviosidade.

O trabalho visou estudar interações da água em ambientes com diferentes usos e coberturas vegetais, focando nas taxas de infiltração e sucção, envolvendo critérios de condições de saturação do solo e capilaridade. Esses meios nos revelam características importantes para a compreensão dos fenômenos, onde os elementos passam a se interagir com todo e assumir respostas diferenciadas de acordo com o ambiente analisado.

O objetivo da pesquisa consiste em compreender as interações hidro-pedológicas nos solos do Córrego Dantas, a fim de entender como ocorre a variação da infiltração e sucção nos diferentes usos e coberturas. Acredita-se que a variação dos mecanismos hidrológicos e a composição do solo, pode ser um indicativo para áreas suscetíveis ao deslizamento de massa.

Alguns questionamentos pautaram o interesse na pesquisa como: em buscar a compreensão dos mecanismos de saturação dos solos da área de estudo; entender a variação da capacidade de infiltração da água, considerando a influência das raízes no solo; definir as diferentes taxas de infiltração da água e variação de sucção, nas diferentes profundidades dos solos. Espera-se responder algumas questões para entendimento do estudo como: Quais as variações da infiltração nos diferentes solos? Como as variações de sucção influenciam nos movimentos de massa translacionais?

2-EMBASAMENTO TEÓRICO – CONCEITUAL

2.1- Eventos de Desastres Naturais na Região Serrana, RJ.

Os desastres são fenômenos complexos que envolvem a população e os fenômenos naturais que fazem parte da dinâmica terrestre (como movimentos de massa, terremotos, tsunamis e furacões), podendo causar mortes, perdas materiais e prejuízos financeiros consideráveis (UN-ISDR, 2004; Moura, 2011). Durante as últimas décadas o desmatamento no Brasil tem se associado com a diminuição da taxa de evapotranspiração, deslocamento local, intensidade e tempo de eventos de chuva, um prolongamento da estação seca e aumento da vazão (WOHL *et al.* 2012).

Na paisagem é possível observar cicatrizes de deslizamentos em encostas, esse fenômeno está associado a ambientes com grande ocorrência de precipitação, ou seja, preferencialmente em climas tropicais. Esse processo ocorre devido à alta concentração de chuvas por longos períodos e por diferentes tipos de solos de uma região, que interferem nas taxas de infiltração da água no solo. Quando ocorre a saturação do solo em áreas florestadas ou não, ocorre o preenchimento do solo pela água impedindo a continuidade do processo, esse solo acaba por se romper devido ao seu encharcamento.

Os eventos catastróficos de deslizamentos de massa ocorridos na região serrana do Rio de Janeiro atingiram sete cidades da região serrana do estado, afetando principalmente as cidades de Nova Friburgo, Teresópolis e Petrópolis. Em 11 e 12 de janeiro de 2011 (Fig.1), vitimaram cerca de 1500 pessoas e elevados prejuízos econômicos, principalmente no município de Nova Friburgo (DRM, 2012, dentre outros), sendo considerado como o maior desastre climático registrado no Brasil. Segundo Dourado *et.al.* 2012, este evento oficialmente, causou 947 mortes, com 300 desaparecimentos, mais de 50.000 desabrigados e afetando quase 1.000.000 de pessoas.

O evento se caracteriza por condições climáticas extremas, onde a ação das chuvas de grande intensidade e durabilidade ocasionou uma precipitação acumulada em 24 horas de 241,8 mm, com pico de 61,8 mm em uma hora (Fig.1), o que ajudou a totalizar a precipitação acumulada entre os dias 1º e 12 de janeiro de 573,6 mm. Os desastres naturais ocorrem predominantemente em relevo montanhoso e florestado, nos

remetendo teoricamente como uma região estabilizada, porém não impedindo o seu acontecimento em áreas urbanas menos densas, causando grandes perdas de bens materiais e imateriais.

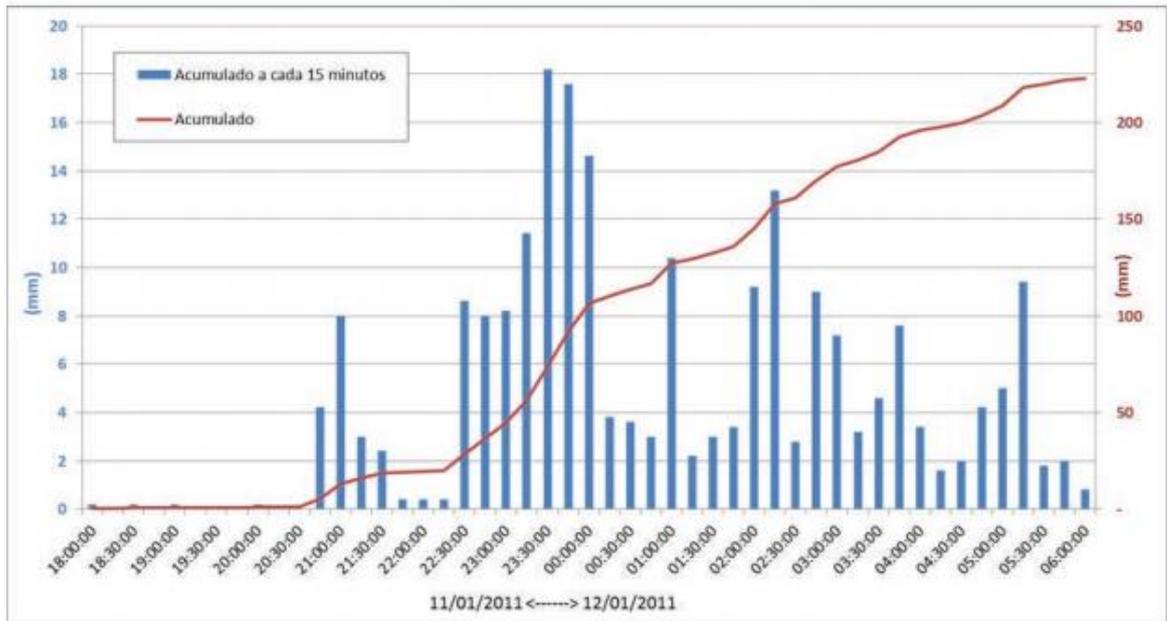


FIGURA 1: PRECIPITAÇÃO HORÁRIA (MM) ENTRE OS DIAS 11 E 12 DE JANEIRO DE 2011, NA ESTAÇÃO VENDA DAS PEDRAS.

Suscitaram inúmeras dúvidas sobre as causas desses fenômenos, havendo predominância dos deslizamentos translacionais rasos, sendo ainda observados alguns fluxos de detritos, quedas de blocos de rocha e deslizamentos rotacionais (Avelar *et al.*, 2011; Coelho Netto *et al.*, 2011; Tupinamba *et al.*, 2012).

Fatores relacionados ao solo, geologia, inclinação da encosta, precipitação de grande intensidade e duração parecem ser os principais parâmetros para o desencadeamento de deslizamentos rasos. Foram observados mais de 3600 deslizamentos, devido às diferentes combinações dos elementos físicos já citados.

2.2 - Movimentos de Massa

Os movimentos de massa são importantes fenômenos que atuam modelando o relevo, sendo o evento relacionado aos desastres naturais que mais causa mortes e prejuízos financeiros em todo o mundo. Christofolletti (1980) define como movimentos

gravitacionais que promovem a movimentação de partículas de partes do regolito pela encosta abaixo, considerando a gravidade como força de grande expressão. Os tipos de movimentos de massa estão associados a diferentes características, como tipo de material, geologia do local, declividade, forma e orientação da vertente, área de contribuição e intensidade/distribuição da precipitação (Guimarães *et al.*, 2008).

Esses processos apontam marcas na paisagem, ou seja, as cicatrizes são resquícios que houve em algum momento a presença do fenômeno de movimento de massa no ambiente. Muitas vezes a dificuldade se remete ao fato na identificação do tipo de movimento ter ocorrido devido às atividades antrópicas no entorno das cicatrizes e a dinâmica do próprio movimento de massa, que em alguns casos, pode começar como um escorregamento translacional e se transformar em uma corrida de massa, em virtude do excesso de água no material movimentado (Silva, 2008). Para Gomes (2006), essa dificuldade em determinar corretamente o tipo de movimento de massa dificulta o entendimento dos mecanismos deflagradores desses processos.

Os movimentos de massa de ordem gravitacional representam um importante agente externo modelador do relevo e são processos ligados ao quadro evolutivo das encostas. Guerra e Marçal (2006) caracterizam-nos como sendo o transporte coletivo de material rochoso e/ou de solo, onde a ação da gravidade tem papel preponderante, podendo ser potencializado, ou não, pela ação da água.

Guidicine e Nieble (1984) acrescentam as variações de temperatura como agente importante na desagregação e possível movimentação de material rochoso. Os autores defendem que as oscilações térmicas diárias ou sazonais provocam variações volumétricas em massas rochosas, podendo conduzir a destaque de blocos, se o bloco estiver sobre um plano inclinado, pode resultar em movimentação. Se a resistência ao cisalhamento for ultrapassada, haverá escorregamento.

Os movimentos de massa possuem diferentes caracterizações para os seus diferentes tipos de movimentos, serão utilizadas as definições, descritas a seguir, que há a separação de tais em escorregamentos, fluxos, quedas e desmoronamentos. Avelar *et al.*, (2011) salienta que no evento de 2011 em Nova Friburgo, a maioria dos deslizamentos de terra foram do tipo translacional raso (Fig. 2) com muitas ocorrências de fluxos de detritos e pouco rotacional slide ou queda de pedras.

Tipo de Movimento	Tipo de Material		
	Rocha	Solos	
		Predominantemente Grosso	Predominantemente Fino
		Engenharia de solos	
Quedas	Queda de bloco	Queda de detrito	Queda de solo
Tombamentos	De rocha	De detrito	De solo
Deslizamentos	Rotacional	Deslizamento de rocha e solo	Deslizamento de solo
	Translacional		
Expansão Lateral	De rocha	De detritos	De solo
Corridas	Rastejo de rochas	Rastejos e Corridas	
Complexo	Combinação de dois ou mais tipos de movimentos		

FIGURA 2: RESUMO DOS TIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA ADAPTADO. FONTE: VARNES 1978.

2.2.1- Escorregamentos - Translacionais/Shallow (solo-rocha) landslide ou Rotacionais /Slumps (colúvio-saprolito).

Os Escorregamentos/Slides podem ser separados em dois principais tipos Translacionais/Shallow landslide (solo-rocha) ou Rotacionais /Slumps (colúvio-saprolito). São movimentos rápidos, que apresentam um plano de ruptura bem definido, que permite a distinção entre o material deslizado e aquele que não foi movimentado.

Os escorregamentos translacionais são de ocorrência mais frequente e ocorrem normalmente durante períodos de chuva intensa. O material no escorregamento pode variar de solo solto e não adensado até grandes placas de rochas, ou ambos (Highland e Bobrowsky, 2008). Possuem a superfície de ruptura plana e normalmente acompanham as discontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas existentes no material (Tominaga *et. al* 2009).

Normalmente, os processos são deflagrados em encostas íngremes, com presença de solos espessos, com o plano de ruptura variando entre 0,5 e 5 m de profundidade (Fig.3 A). Geralmente os escorregamentos translacionais são mais rasos que os escorregamentos rotacionais. A superfície de ruptura possui razão entre a distância e a extensão de menos de 0,1 e pode variar de pequena (tamanho de um lote residencial) a muito grande e regional, com quilômetros de extensão (Highland e Bobrowsky, 2008).

Segundo Passarela *et al.* (2008), os escorregamentos translacionais da Serra do Mar ocorrem principalmente em encostas retilíneas e com declividade acima de 30°. Sendo assim, os escorregamentos rasos possuem larguras medianas (10 a 20 m), podendo atingir grandes comprimentos (até 100 m).

Os escorregamentos rotacionais possuem a superfície de ruptura curva, côncava para cima, onde se dá um movimento rotacional de massa de solo, sendo seu principal fator condicionante a existência de solos espessos e homogêneos, muitas vezes vinculados a cortes na base do material (Fig.3 B). Associa-se a taludes que variam de 20 a 40 graus em inclinação. Em solos, a superfície de ruptura tem geralmente uma relação de profundidade que varia de 0,3 a 0,1 m (Highland e Bobrowsky, 2008).

As fraturas em forma de cunha funcionam como um plano de cisalhamento, fazendo com que o material deslizado pela encosta não sofra alterações significativas em sua estrutura. O movimento de massa é composto por uma única unidade ou algumas unidades associadas que o movimento descendente como uma massa relativamente coerente (Varnes, 1978).

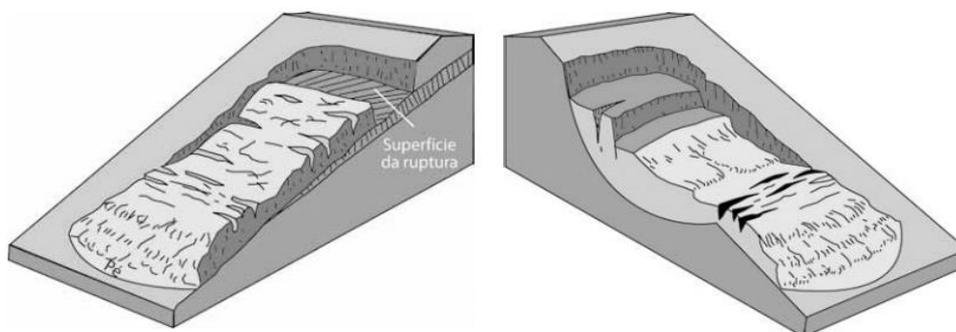


FIGURA 3: TIPOS DE ESCORREGAMENTO O A- ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL E O B- ESCORREGAMENTO ROTACIONAL. FONTE: CRUDEN E VARNES, 1996.

2.2.2- Fluxos - Debris-flow, Rastejos /Creep.

No caso dos Fluxos podem ser separados em Debris-flow e Rastejos /Creep. O material movimentado se comporta como um fluido viscoso devido ao excesso de água que proporciona a perda de atrito interno, podendo apresentar movimentos rápidos que apresentam velocidade superior a 10 km/h.

As corridas ocorrem ao longo de canais de drenagem e têm sua velocidade gradativamente reduzida ao chegar a setores com declividades mais baixas, onde ocorre a deposição do material (Fig.4 A). Conforme Bigarella *et al.*, (2003) são formas rápidas de escoamento de fluidos viscosos, com ou sem uma superfície definida de movimentação. De caráter hidrodinâmico, são ocasionadas pela perda de atrito interno, em virtude da destruição da estrutura, em presença de excesso de água.

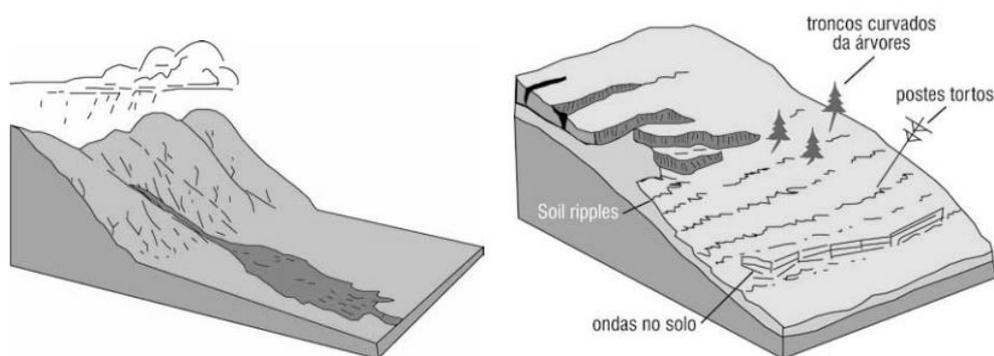


FIGURA 4: SIMULAÇÃO DE FLUXO A- FLUXO E B -RASTEJOS. FONTE: CRUDEN E VARNES, 1996.

Os Rastejos ou “Creep” são os movimentos mais lentos e contínuos, que deslocam o material alguns centímetros por ano, sendo uma deformação de caráter plástico, sem uma superfície de ruptura definida (Fig. 4B).

Christofolletti (1980) esse fenômeno ocorre quando a presença de uma camada impermeável do regolito impede a penetração da água, provocando a concentração e saturando a camada subjacente. Esses movimentos podem ser causados por pisoteio de gado e crescimento de raízes, auxiliados pela presença de água no solo. Um indício do rastejo é a presença de árvores, postes e troncos de árvores inclinados.

2.2.3- Quedas de blocos/ Rockfall e Desmoronamento/ Topple.

As Quedas de blocos /Rockfall consistem em quedas de blocos que ocorrem normalmente em encostas íngremes. A queda se inicia com a separação do solo ou da rocha, ou de ambos, de um talude íngreme, ao longo de sua superfície, na qual tenha

ocorrido pouco ou nenhum deslocamento por cisalhamento (Highland e Bobrowsky, 2008). O desprendimento dos blocos pode ocorrer por alívio de pressão, favorecido pela presença de descontinuidades que podem contribuir para a infiltração de água, o que ocasionará um aumento de pressão dentro do maciço, podendo causar a ruptura da encosta.

Normalmente são movimentos repentinos para baixo, de rocha ou terra, ou ambas, que se desprendem de taludes íngremes ou de penhascos (Highland e Bobrowsky, 2008). O material de origem pode se quebrar com o impacto ou rolar pela encosta até um terreno plano (Fig.5A). Ocorre mundialmente em taludes íngremes ou verticais ao longo de taludes rochosos de rios e ribeirões. O volume de material em uma queda pode variar substancialmente, de rochas individuais ou torrões de solo a blocos maciços de milhares de metros cúbicos de volume.

A velocidade da queda de blocos é comumente muito rápida ou extremamente rápida, queda livre; salto e rolamento da porção livre de solo, rocha ou matacão. A velocidade de rolamento depende da inclinação do talude (Highland e Bobrowsky, 2008).

Os Desmoronamentos/Topple são processos de deslocamento rápido de blocos de terra, quando há a criação de um vazio na parte inferior da vertente. Ocorre por uma rotação frontal de uma massa de solo ou rocha para fora do talude, em torno de um ponto, ou eixo, abaixo do centro de gravidade da massa deslocada (Fig.5 B), causados pela gravidade exercida sobre o peso do material na parte superior da massa deslocada (Highland e Bobrowsky, 2008).

Geralmente ocorrem em encostas íngremes e em cortes de rodovias e ferrovias, podendo deslocar solo ou rochas, com uma velocidade que pode variar de extremamente rápida a extremamente lenta. Pode ser desencadeada pela gravidade exercida pelo material da parte superior da massa deslocada e, por vezes, por água ou gelo presente em fissuras no interior da massa; também por vibração, erosão regressiva, condições climáticas diferenciadas, escavações ou erosões por cursos d'água.

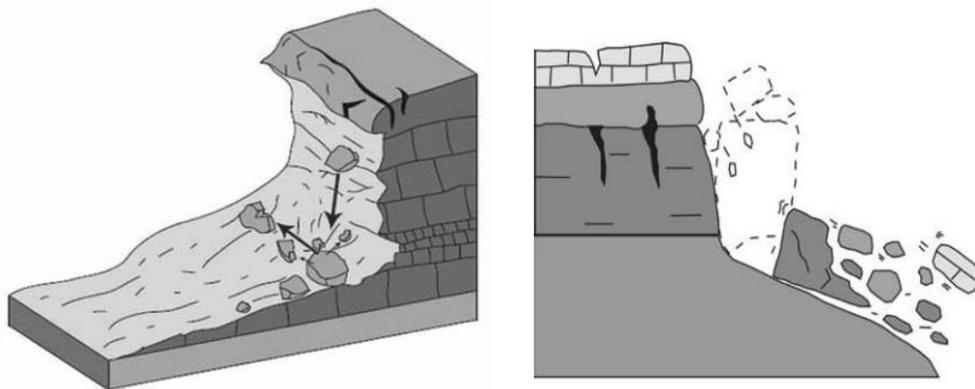


FIGURA 5: ESQUEMAS DE RUPTURAS A- QUEDA DE BLOCOS E O B- DESMORONAMENTOS.
FONTE: CRUDEN E VARNES, 1996

2.3- Etapas do Ciclo Hidrológico Relacionadas à percolação da Água no Solo

2.3.1- Infiltração e movimento da água no solo

Horton (1933) define o termo infiltração da água, como a água que molha ou que é absorvida pelo solo. Em outras palavras, a água encontra caminhos para interagir com a superfície do solo ou caminhos preferenciais, ela ainda possui uma participação acentuada no equilíbrio hidrológico.

A vegetação tem revelado um papel importante na interceptação de parte da precipitação, retendo água em suas copas, facilitando o processo de evapotranspiração (Fig.6). A capacidade de interceptação está relacionada como tipo, forma e densidade, quanto mais intensa e longa as chuvas, menor a capacidade relativa de interceptação.

Há uma estimativa de que sete oitavos da quantidade anual de água que esco para o mar se infiltram, pelo menos momentaneamente. Parte da água infiltrada é perdida para a atmosfera por evapotranspiração e devido à absorção pelas plantas (Fig.6). A outra parte se destina reservatórios subsuperficiais e subterrâneos, onde permanece armazenada e converge lentamente para os fluxos fluviais (Christofoletti, 1980).

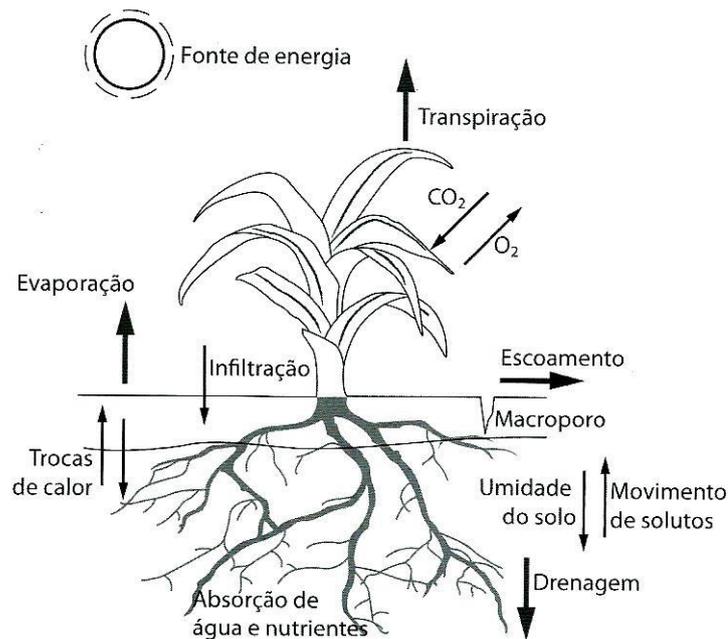


FIGURA 6: INTERAÇÕES DA ÁGUA. FONTE: LEPSCH, 2011.

No processo de infiltração há duas forças que regem esse mecanismo a atração capilar e a força gravitacional. Conforme Coelho Netto (1995), a força capilar impulsiona a água em várias direções, preferencialmente para cima, já a força gravitacional direciona a água verticalmente no perfil do solo, ou seja, há a percolação da água sofrendo resistência da força capilar.

A capacidade de infiltração ou taxa máxima de absorção da água de Horton (1933), está atrelada há um conjunto de elementos como da chuva através de sua intensidade em especial, conduzindo solos a sua saturação. A frente de umedecimento é o limite visível da movimentação da água no solo, na qual existe elevado gradiente hidráulico devido à variação abrupta de umidade (Fig.7), sendo este mais acentuado em solos inicialmente secos (Pruski *et al.*,2008).

As condições dos solos se relacionam em sua profundidade de drenagem, textura, quantidade de matéria orgânica; cobertura vegetal que tendem a aumentar a capacidade de infiltração, quanto mais densas; já as atividades biogênicas se relacionam com a formação de poros decorrentes do enraizamento vegetal e da fauna.

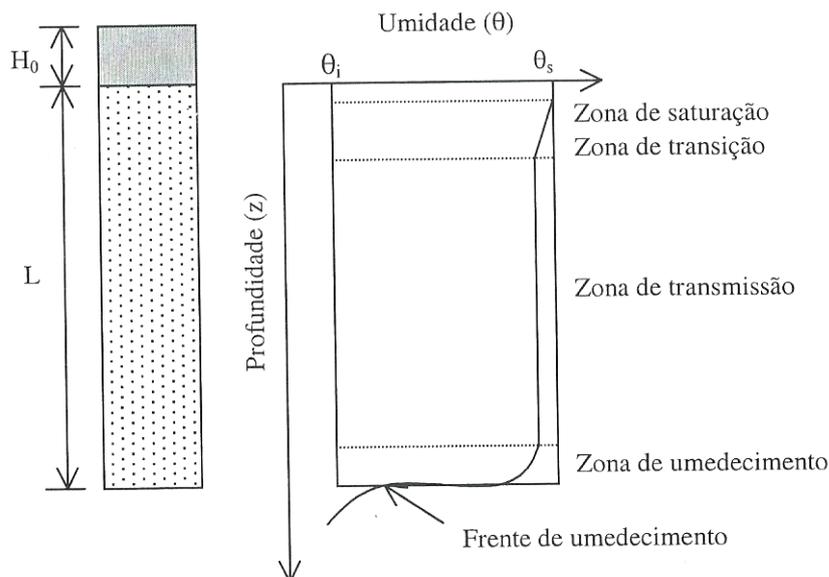


FIGURA 7: PERFIL DE UMEDECIMENTO DO SOLO DURANTE A INFILTRAÇÃO. FONTE PRUSKI ET AT., 2008.

A água entra no solo e parte fica armazenada e outra é drenada, por ação gravitacional. Em relação à água no solo, ela se move através do sistema poroso do solo a velocidades baixas e sua energia cinética é quase sempre desprezível se comparada com suas energias potenciais (Hillel, 1980).

A água no solo tende a se mover de onde sua energia potencial total é maior para onde ela é menor, ou seja, é a energia que contribui para a movimentação da água (Reichardt, 1987). O potencial total da água no solo é composto pela força gravitacional, potencial matricial (atração maior ou menor pressão do solo pela água), potencial osmótico (da presença dos solos), a soma dessas forças constitui o potencial total que atuam na fase líquida do solo (Libardi, 2000).

A cobertura vegetal entra com um papel determinante nas taxas de infiltração, sendo elas em áreas florestadas ou rurais. O comportamento da água é influenciado por caminhos preferenciais e o tipo de situação imposta no ambiente natural. De acordo com Coelho Netto (1995), o maior entendimento da vocação hidrológica em áreas ambientais distintas nos auxilia para previsões de recarga de águas subterrâneas, levando em considerações enchentes, propagação de poluentes e auxiliando no uso mais adequado no manejo dos solos.

2.3.2- *Escoamento Superficial e Subsuperficial*

O escoamento superficial ou fluxo laminar é a água que se move inicialmente encosta abaixo em um filme fino, se concentrando em canais que são sulcos descendentes em pequenas escalas (Christopherson, 2012). Em outros termos, escoamento superficial é constituído pela parcela de água que excede à capacidade de infiltração (Coelho Netto, 1995), sendo ele o responsável pela alimentação dos fluxos fluviais, após as chuvas.

No que se refere à percolação no interior do solo, a Lei de Darcy atende o escoamento da água em meios porosos saturados, sendo representada pela equação (Eq.1):

$$V = K \cdot dh / dx \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

v = velocidade de infiltração

k= condutividade hidráulica

h= a carga piezométrica, ou seja, altura da água confinada no piezômetro

Essa equação é fundamental para compreensão deste fenômeno.

Os conceitos de escoamento superficial e da capacidade de infiltração possuem similares fatores que definem, ou seja, tais fatores atuam em sentido contrário. Por exemplo, enquanto uma vertente com pequena inclinação propicia a infiltração, uma grande declividade favorece o escoamento superficial.

Outra questão está relacionada à morfologia da encosta caracterizando o tipo, a forma e as estruturas que determinam que tipo de ambiente é mais propício para a deflagração dos processos. Em áreas íngremes com alta declividade, o escoamento superficial está mais favorável, de acordo com suas características estruturais. Quando há o processo de erosão hídrica há perdas significativas de nutrientes, elementos químicos e fertilidade dos solos, sendo bastante prejudicial para práticas agropecuárias. Para se definir a erosão de acordo com Curi (1993), como o desgaste/ou arrastamento da

superfície da Terra pela água corrente, vento ou outros agentes geológicos, incluindo processos como o arraste gravitacional.

Segundo Lenzi *et al.* (2009), a erosão se classifica em duas fases para o seu desenvolvimento, o fracionamento que é o alargamento dos grânulos do solo e o impacto das gotas da chuva; e a outra fase é o transporte das partículas soltas pelo escoamento da água. Segundo Dunne *et al.*, (1975), estudos são importantes no planejamento, sobretudo porque permitem o reconhecimento rápido das parcelas da paisagem com maiores vocações para a produção de escoamento rápido em superfície ou escoamentos mais lentos em subsuperfície.

O conceito está ligado muitas vezes às mudanças do uso e cobertura do solo, conforme as ideias de Guerra e Marçal (2010) a ocupação humana e o crescimento populacional, tanto em meios rurais quanto urbanos, principalmente nas grandes metrópoles, são responsáveis pelo maior número de processos antrópicos do ambiente ao longo da sua história. Essas alterações das paisagens refletem o tipo de problema que pode ser causado ao ambiente natural, muito vezes modificando a atuação dos seus processos físicos.

A importância para a compreensão dos fatores hidrogeomorfológicos ou hidrogeográficos no sistema ambiental, pois eles são capazes de expressar espacialmente condicionantes de resistência ao cisalhamento e as forças desestabilizadoras que por sua vez possibilitam sua utilização em diversos cenários. Sendo assim, as bases geossistêmicas com a dinâmica morfogenética e os diferentes tipos de uso do solo, assinados na morfologia, na natureza, direção dos fluxos de matéria e energia na paisagem, a fim de compreender a interação dos fenômenos.

2.4- Interações Pedo-Hidrológicas

2.4.1- Estrutura do solo

A estruturação do solo se baseia em propriedades físicas, mecânicas e a granulométrica em áreas de colúvio, saprolito raso e saprolito espesso estão ligadas ao tipo de estabilização/instabilização que os gerou e às características do terreno em que se localizam. Quando provenientes da instabilização de encostas naturais e modificadas, podem estar suscetíveis ao deslocamento do corpo rígido, muitas vezes mantendo a estrutura original.

Todos os solos contêm partículas de diferentes tamanhos e proporções, a determinação do tamanho das partículas e as suas porcentagens permitem a ocorrência da sua distribuição nos solos (Eguchi, *et al.* 2003). Sendo assim, a granulometria tem um papel fundamental na estruturação do solo, pois a partir da distribuição granulométrica dos materiais granulares, areias e pedregulhos, para siltes e argilas se utiliza uma classificação. Essa classificação nos permite compreender a composição de percentuais de areia, silte, argila presentes no solo para entender como funciona a sua dinâmica em relação a água

As estruturas do solo podem variar em categorias como arenoso, argiloso, franco-arenoso, siltoso, entre outros. A delimitação de acordo com material presente no solo, influencia como a água é incorporada, por infiltração e porosidade do solo e quais serão suas suscetibilidades em eventos de grande pluviosidade (Hillel, 1980).

A água ao entrar no solo passa a transportar sólidos, íons dissolvidos e gases proporcionando novos mecanismos, pois passa a promover às reações químicas diretamente ligadas a infiltração da água no solo, a partir dos poros. As reações químicas e biológicas dos solos são dependentes dos níveis de íons de hidrogênio (H⁺) e hidroxila (OH⁻), isso em solução no solo que determinam o pH (Brandy & Weil, 2008). O pH é um importante parâmetro na determinação de acidez ou alcalinidade no solo, influenciando a química do solo e conseqüentemente a tipologia da água.

2.4.2- Condutividade Hidráulica

A permeabilidade ou condutividade hidráulica do solo seria a capacidade que o solo apresenta de permitir a movimentação da água, variando com o tamanho dos poros e a pressão de sucção (Fig. 8). Os solos podem ter fluxos saturados e não saturados, para os saturados ocorrem quando a água preenche todos os poros do solo, e de modo geral, solos com muitos poros tendem a ter alta permeabilidade.

Diferentemente os solos não saturados são quando os poros não estão preenchidos com água e se mantêm com poros disponíveis, ou seja, com vazios. Lespsch (2011) à medida que a pressão e sucção aumentam para seu valor limite, a condutividade hidráulica decresce e a influência da pressão de sucção é também reduzida. Em solos não saturados a força gravitacional não é decisiva para o movimento da água.

As condições da superfície do solo e a organização ao longo da porosidade no perfil estão entre os fatores que afetam a dinâmica da água no processo de infiltração (Santos *et al*, 2014).

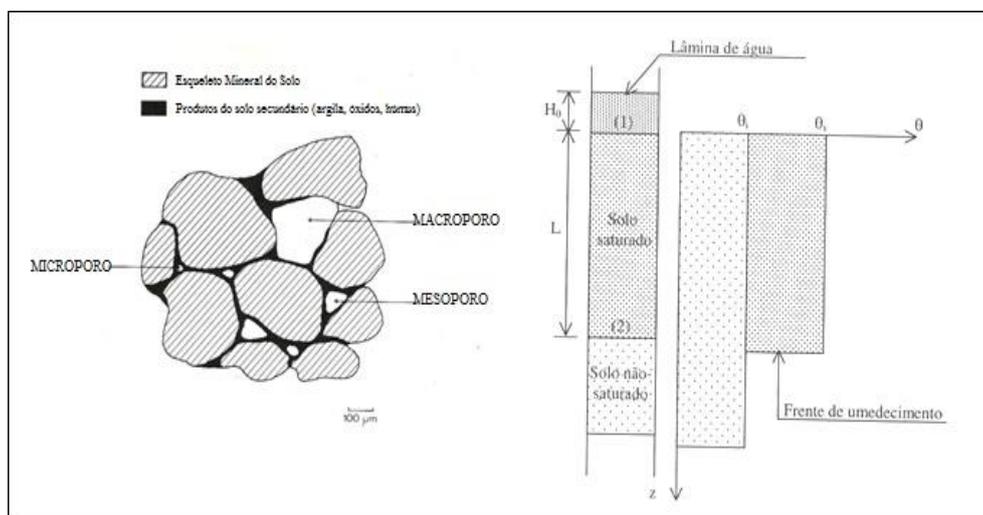


FIGURA 8: POROSIDADE DO SOLO. FONTE: COURTNEY & TRUDGILL, 1988 E PRUSKI ET AL., 2008.

A condutividade hidráulica está relacionada com a classe textural do solo, sendo assim, o tipo de composição presente na solo influência na dinâmica do fluxo d'água no solo (Fig. 9). Os valores de condutividade hidráulica dos principais tipos de solos variam de 10^2 (muito permeável) até 10^{-7} cm/s (muito pouco permeável) (Freeze e Cherry, 1979). O relevo e a topografia e as características intrínsecas do perfil do solo são outros elementos que contribuem para a variabilidade espacial da condutividade.

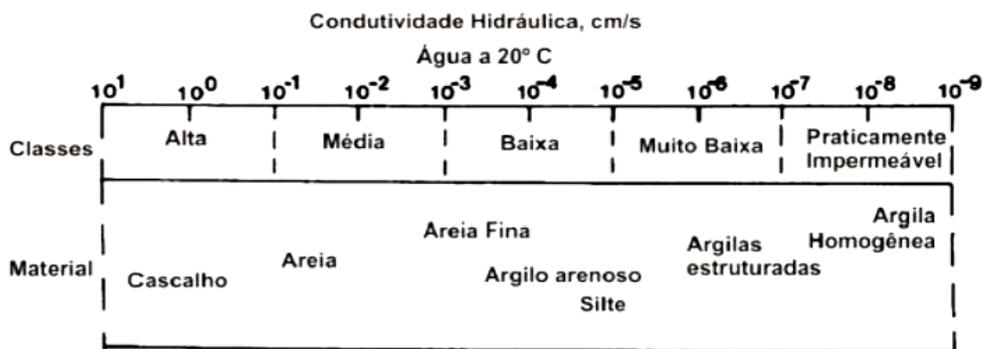


FIGURA 9: VALORES DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE ACORDO COM A CLASSE TEXTURAL DO SOLO. FONTE: LAWALL, 2010.

Em ambientes intertropicais a água caracteriza com o principal agente detonador dos movimentos gravitacionais de massa, isso ocorre devido ao alto grau saturação do solo, ou seja, é a relação entre o volume de água e o volume de vazios no solo. Quando ocorre esse processo há a diminuição da resistência, especialmente as parcelas de resistência relacionadas às tensões capilares. O aumento do peso específico do solo devido à retenção de parte da água, causa instabilidade provocando os movimentos de massa.

Por outro lado, a erosão superficial dos solos também está ligada ao tipo de força e intensidade que a água precipitada se dá em contato com esse ambiente, por isso o tipo de cobertura é importante para as práticas de conservação do solo e da água. Gonçalves e Moraes (2012) analisaram a infiltração de água no solo, influenciado por alterações na porosidade devido a práticas de gestão e observaram valores mais elevados em sistemas de gestão de plantio direto

2.4.3- Sucção da Água

O mecanismo de sucção da água pode ter outros nomes como tensão ou potencial matricial. Podemos caracterizar por forças decorrentes pela atração pela matriz do solo e possui sempre valores negativos, isso devido às reduções de energia da água em relação ao seu estado livre. A energia dentro dos poros é menor em relação à água que está fora dos poros (Lespsch, 2011).

A sucção total (matricial e osmótica) é definida como a energia livre total da água no solo por unidade de volume. A sucção matricial refere-se a uma medida da energia necessária para remover uma molécula de água a partir da matriz do solo, sem a água de alterar o estado (Aldood *et al.* 2014). Representando a diferença entre a pressão de ar dos poros e a pressão da água dos poros. A sucção osmótica surge de diferenças decorrentes entre a concentração de sal da água dos poros e a água pura. A sucção total do solo é dada pela soma matricial e sucção osmótica.

O princípio da capilaridade ocorre devido uma força adesiva da água, ou seja, que se agrega na água por uma superfície sólida de um tubo como à atração coesiva entre uma molécula de água e outra. Em outras palavras, a capilaridade se relaciona em virtude de um líquido que sobe ou desce por uma passagem estreita (tubo capilar), o espaço situado entre as fibras de um tecido ou um material poroso qualquer. A altura de ascensão do líquido no tubo capilar é maior é o seu coeficiente de tensão superficial. Além disso, a altura de ascensão do líquido no tubo capilar é maior quanto menor é o raio interno do tubo.

Vale ressaltar que as moléculas de água possuem polaridades positivas (H+) e negativas (O-), auxiliando na dinâmica da capilaridade. Brady & Weil (2002) e McLaren & Cameron (1996) explicam que a capilaridade no solo retém água contra a força da gravidade a sucção e a elevação da água nos poros. Apesar deles não serem simétricos, elas são maiores onde predominam os microporos do que ao invés dos macroporos.

Decorre das forças que atuam na superfície de contato entre um líquido e um vapor, se a atração entre as moléculas do líquido é fraca, como a água ele sobe pelas paredes do tubo e molha o tubo, em tubos estreitos em que há maior tensão superficial, o líquido sobe mais que em tubos mais largos.

Se o líquido não molha as paredes do tubo capilar, temos a situação inversa: o menisco é convexo, a resultante das forças de tensão superficial aponta para o interior do líquido, mais especificamente, para o centro de curvatura do menisco. Por isso, a pressão faz com que a superfície livre do líquido no capilar fique abaixo da superfície livre do líquido fora do tubo. Neste caso, h é a profundidade do menisco, medida a partir do nível da superfície livre do líquido fora do tubo (Fig.10).

A ascensão da capilaridade está relacionada com a sucção da água no solo, devido as diferentes granulometrias. Sendo assim, para cada tipo classe textural do solo a ascensão capilar se altera em questão temporal, devido a presença de macroporo, mesoporo e microporo na estruturação do solo.

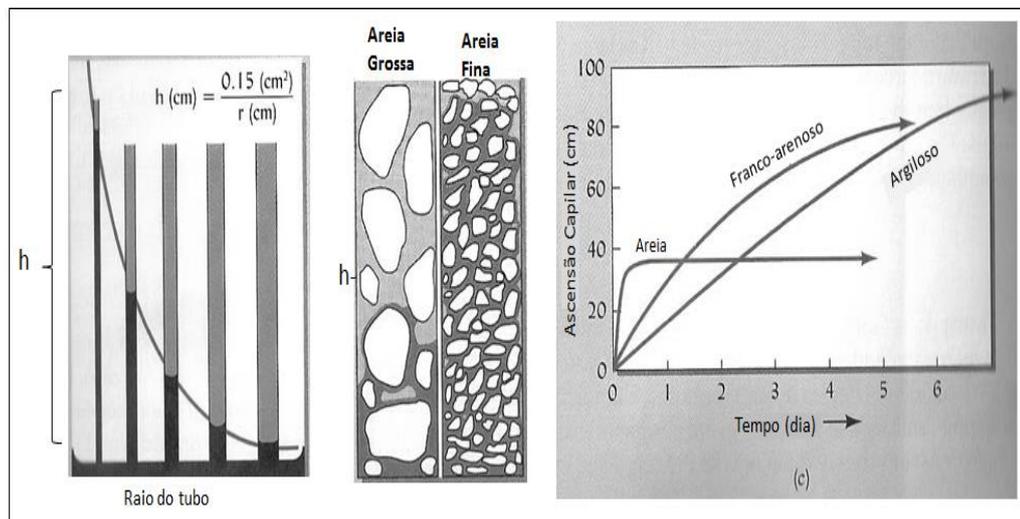


FIGURA 10: FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE CAPILARIDADE ADAPTADO. FONTE: BRANDY & WEIL, 2008.

A diminuição na sucção matricial com a infiltração de chuvas e seus efeitos sobre o resultado de estabilidade de taludes é bem compreendida, no entanto quanto a sucção matricial é afetada que pode levar à instabilidade de inclinação não está bem estabelecida na mecânica dos solos insaturados (Mahmood, *et al.* 2015). Em solos não saturados a precipitação é a mais usual causa desencadeante, devido à água da chuva se infiltrar no solo superficial, o que provoca uma diminuição da sucção matricial e consequentemente na força de cisalhamento. Em solos granulares representam uma

instabilidade, pois sua iniciação em solos não saturados é regulada pela infiltração de chuvas. (Pirone *et al.* 2015).

2.4.4- Curva Característica

A curva característica representa a relação existente entre a quantidade de fluido presente nos poros do solo e sua correspondente sucção. Os fatores que podem influenciar na forma da curva característica seriam: o tipo de solo (estrutura e agregação), o teor de umidade inicial, os índices de vazios, a textura da mineralogia, a história de tensões e os métodos de compactação (Vanapalli *et al.*, 1999).

Essas mudanças podem ocorrer em relação à condutividade hidráulica, resistência ao cisalhamento e variação volumétrica, ao longo das trajetórias de secagem e umedecimento do solo. O valor do ar representa o nível de sucção, a partir do qual começa a entrar nos maiores vazios do solo. O ponto de saturação residual corresponde ao teor de umidade que é necessária para variar a sucção, removendo a água ainda presente no solo (Fig.11).

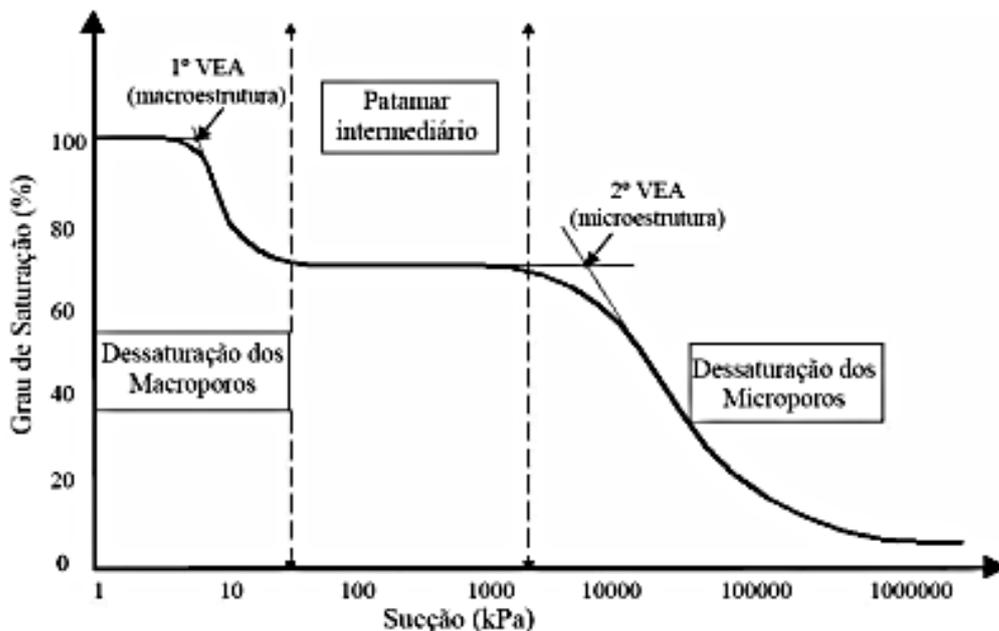


FIGURA 11: CURVA CARACTERÍSTICA BIMODAL. FONTE: FEUERHARMEL ET AL., 2005

Vale ressaltar, a sucção é a quantidade para avaliar a capacidade de reter água, sendo o valor da unidade do volume da água para desprendê-la, ou seja, a energia gasta. O grau de saturação varia de acordo com o volume da água sob o volume de vazios no solo (V_{H_2O}/V_{vazios}).

Deste modo um solo saturado ao secar os poros maiores é esvaziado primeiro e à medida que a umidade do solo vai reduzindo, a energia livre é menor e a água vai ficando mais fortemente retida. Assim na mesma posição gravitacional e no mesmo solo ou horizonte a água se desloca de pontos mais úmidos para mais secos, no entanto, quando a posição gravitacional não é a mesma não necessariamente a água se move de pontos mais úmidos para mais secos. É um excelente indicador da habilidade de um solo reter água a ser utilizada pelas plantas. A textura, matéria orgânica e a agregação são os principais fatores que afetam a disponibilidade de água para as plantas.

3-ÁREA DE ESTUDO

A caracterização físico-ambiental da Bacia do Córrego Dantas está diretamente relacionada à sua localização geográfica. Por estar localizada em uma região serrana no Estado do Rio de Janeiro possui características particulares quanto ao uso e cobertura e atividades desenvolvidas, influenciados diretamente pelos fatores climáticos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos e econômicos da região.

3.1- Localização Geográfica

A Bacia do Córrego Dantas se localiza no Estado do Rio de Janeiro, em Nova Friburgo (Fig.12), fazendo parte do complexo da região serrana, devido suas altas cadeias montanhosas entre outras características físicas presentes. O município de Nova Friburgo faz limite com os distritos de Teresópolis, Sumidouro, Duas Barras, Bom Jardim e também com a região das baixadas litorâneas como Cachoeira de Macacu, Silva Jardim e Casimiro de Abreu. A Bacia do Córrego Dantas possui uma área equivalente a 53 km².

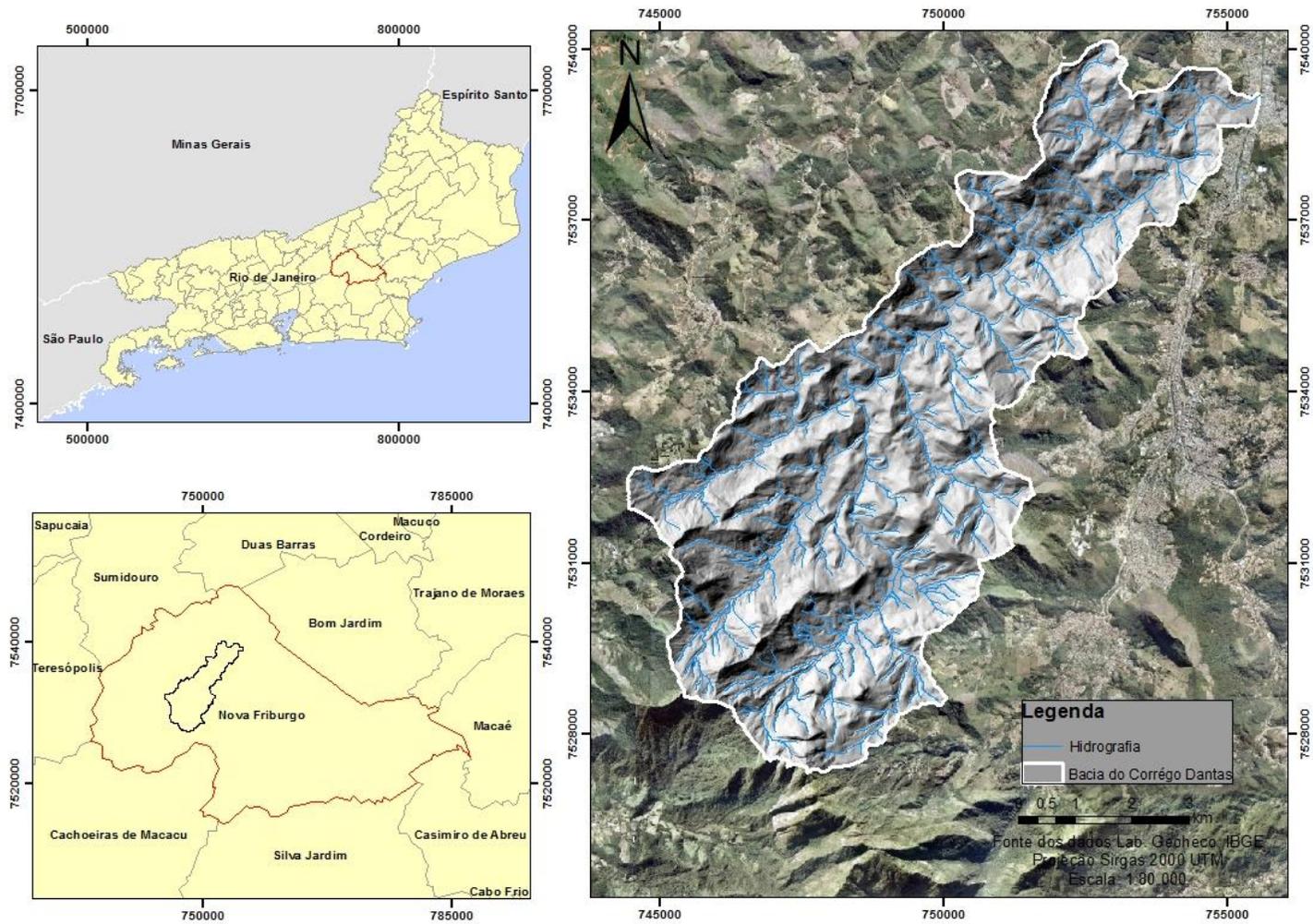


FIGURA 12: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO BACIA CÓRREGO DANTAS.

Nova Friburgo possui uma área de 933,414 km², com uma população em torno de 182.082 hab. (IBGE, 2010). A região se caracteriza por uma alta no setor terciário, ou seja, atividade de serviços quando comparada com os setores de agropecuária e indústria. As principais atividades econômicas que se destacam são: a indústria metal-mecânica, o polo industrial de moda íntima, a agricultura, a floricultura e o comércio, destacando-se o aluguel de imóveis.

O bioma predominante no município é o Bioma Mata Atlântica, inserida na classificação fitogeográfica de Floresta Ombrófila Densa Montana, que reveste as serras e planaltos entre 500 m e 1500m de altitude (Velloso *et al.* 1991).

A vegetação possui fragmentos de vegetação, devido ao aumento da urbanização ao longo dos anos. Os atuais remanescente das vegetações estão limitados a pequenos fragmentos de vegetação secundária, bastante modificados quando próximos das áreas urbanas e áreas de cultivo agrícola, com exceção de áreas de unidades de conservação como a Reserva Ecológica de Macaé e Parque Estadual dos Três Picos (Fraga, 2014).

O município de Nova Friburgo localiza-se numa posição estratégica, pois está situado na região montante das duas Bacias - Paraíba do Sul e Macaé, significando que todos os corpos d'água que passam pelo município têm suas nascentes em seu território.

O clima da região é influenciado pela a altitude, a cobertura vegetal, a disposição do relevo e o processo de urbanização. O município de Nova Friburgo, localizado na chamada zona intertropical, sofre a atuação de diferentes massas de ar, que têm suas características determinadas pela região de sua gênese. O tipo climático do município é classificado como tropical de altitude (Coelho Netto, 2011).

3.2-Caracterização Físico-Ambiental da Bacia do Córrego Dantas

3.2.1- Caracterização Geológica

A Bacia do Córrego Dantas se insere dentro do contexto geológico regional localizado na Província Mantiqueira, se subdividindo em “maciços medianos” e faixas de dobramentos (DNPM-CPRM, 1980). Há o reconhecimento de porções de embasamento retrabalhado, cobertura metassedimentar, zonas de cisalhamento transcorrentes NE–SW, e bacias tardias na evolução neoproterozoica compreende parte de um importante orógeno do sudeste do Brasil conhecida como Faixa Móvel Ribeira Central (Volotão, 2007; Vinagre *et al.* 2015.).

A Faixa Ribeira Central estende-se no rumo NE-SW por cerca de 1.400 km transicionando a nordeste para a Faixa Araçuaí. Sua evolução está ligada a subducção para SE da placa São Franciscana e posterior colisão do paleocontinente São Francisco com o arco Rio Negro (Heilbron *et al.*, 2000 e 2004). Na região serrana ocorrem rochas gnáissicas e ígneas de composição predominantemente granitoide, geradas nos vários estágios de desenvolvimento de um orógeno, do período pré ao pós-colisional (Avelar, 2011; Tupinambá *et al.*, 2012).

Segundo Asmus & Ferrari (1978), tanto os maciços costeiros, quanto os escarpamentos das cadeias montanhosas das serras do Mar e da Mantiqueira são resultantes do soerguimento e basculamento de blocos escalonados de direção WSWENE.

Grossi Sad *et al.* (1980) mencionaram que no Estado do Rio de Janeiro um batólito granítico se estende por ambas as vertentes da crista principal da Serra do mar. Afirmaram que o referido corpo alcança mais de 140 km de extensão, desde o vale do Rio Guandu até um pouco ao sul das cidades de Cordeiro e Cantagalo, constituindo a feição dominante do trecho da referida serra, denominada Serra dos Órgãos. Os mesmos autores o denominaram como Batólito Serra dos Órgãos (Barbosa & Grossi Sad, 1985).

O Batólito Serra dos Órgãos (BSO), em função de sua dimensão, composição e características de alojamento, pode ser comparado a outros corpos ígneos de grande dimensão do Brasil e exterior (Vinagre *et al.* 2015.).

No mapa (Fig.13) observamos as unidades litológicas identificadas no mapeamento de 1:10.000 da Bacia do Córrego Dantas segundo Vinagre *et al.*, 2015, ocorrem a predominância Ortognaisse Granítico/Granodiorítico, seguido Diorito

Equigranular Médio e Granito Porfirítico Médio (Fig.13). As outras unidades geológicas aparecem de forma expressiva, mas sem grande destaque, quando comparadas com as unidades predominantes.

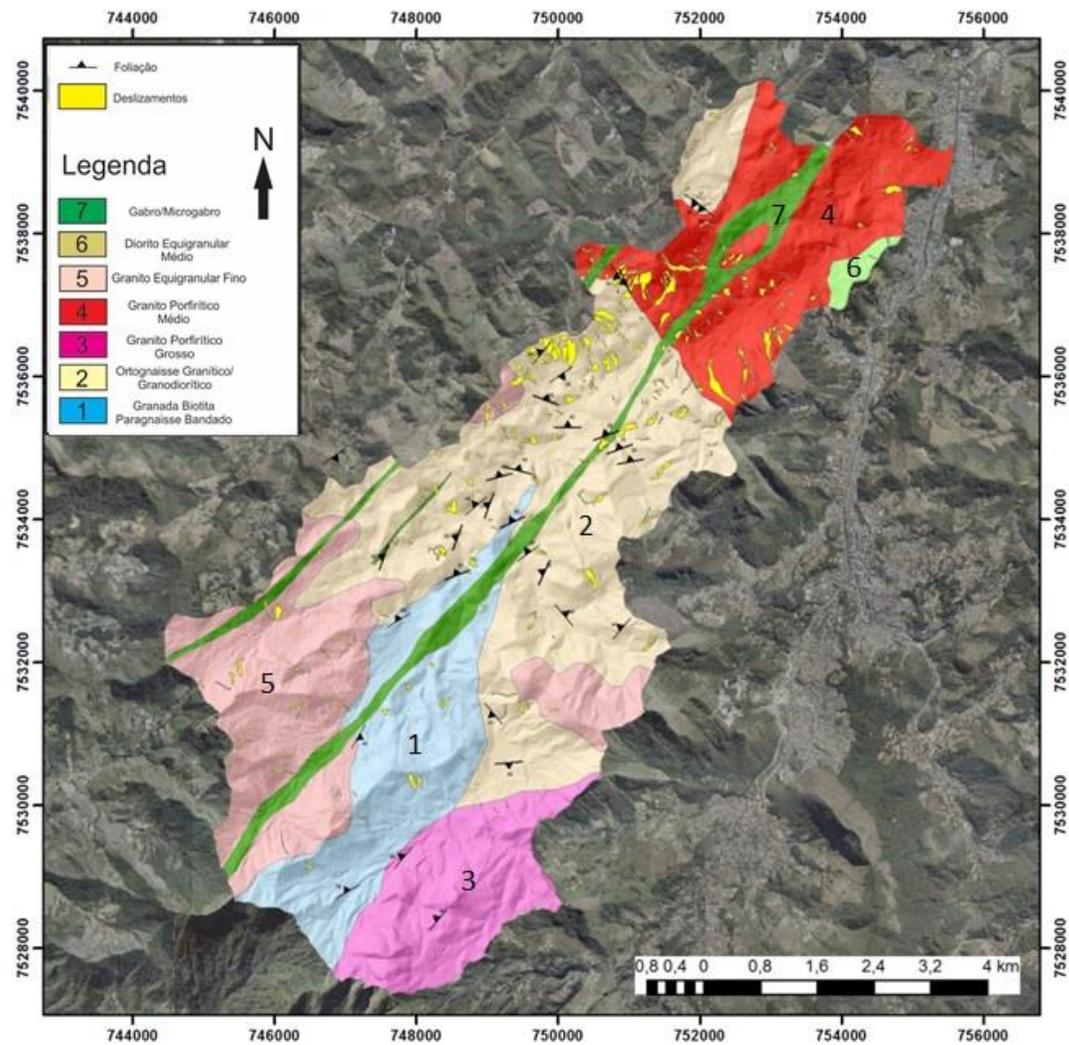


FIGURA 13: MAPA GEOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DANTAS: 1.10.000, MUNICÍPIO DE FRIBURGO, RIO DE JANEIRO. FONTE: VINAGRE ET AL.2015.

3.2.2- Caracterização Geomorfológica

Os Domínios morfoestruturais da região de Nova Friburgo fazem parte do Cinturão Orogênico do Atlântico. A partir dos domínios morfoestruturais, há a divisão em unidades morfoesculturais onde se insere a região serrana, nos Planaltos residuais e Escarpas Serranas (Fig.14). Posteriormente há a classificação das unidades geomorfológicas, se destacando os Planaltos e Serras do Atlântico-Leste-Sudeste, baseadas na classificação geomorfológica de Ross (1990).

Nos planaltos residuais os terrenos são montanhosos e amorceados, de amplitude de relevo elevada, localizados no reverso das escarpas serranas. Ocorrem compartimentos colinosos no interior da zona planáltica, podemos salientar que são de superfícies residuais, soergidas por tectônica e que resistiram aos processos erosivos e de aplainamento atuantes durante o Cenozóico Superior, surgindo terrenos mais elevados (Dantas, 2005).

Esses planaltos residuais associam-se a superfícies de erosão mais antigas que as que modelaram as depressões interplanálticas ou as superfícies aplainadas junto às baixadas litorâneas (Dantas, 2001). Caracteriza-se por relevos colinosos de baixa amplitude, alternados com tipos de relevos mais movimentados com morros mais elevados, degraus estruturais ou zonas montanhosas que se sobressaem em relação à superfície colinosa regional (Avelar *et al.*2011). Apresentam vertentes de gradientes suaves a médios, ou elevados, nas áreas de relevo acidentado, frequentemente recobertas por colúvios (Dantas, 2001).

Conforme Almeida & Carneiro (1998), a escarpa da serra do Mar resulta de um extenso recuo erosivo de antiga escarpa de falha originada junto à falha de Santos, a partir do Paleoceno. As escarpas serranas apresentam, desnivelamentos extremamente elevados, superiores a 2.000m com vertentes muito íngremes e rochosas.

A unidade morfoescultural Escarpas Serranas inclui um sistema de relevo denominado Escarpas Serranas Degradadas e Degraus em Borda de Planaltos. Apresentam vertentes íngremes, rochosas, recobertas por depósitos de tálus e colúvios. Os gradientes são muito elevados e os topos aguçados ou em cristas alinhadas (Taranto, 2011). A densidade de drenagem é muito alta e o padrão de drenagem é, geralmente, dendrítico a paralelo ou retangular.

O fato dessas unidades apresentarem um alto potencial de vulnerabilidade a eventos de erosão e movimentos de massa, tais eventos, são expressivos, devido à falta de preservação da área. A manutenção da cobertura florestal existente se dá principalmente nos terrenos mais íngremes e elevados, onde o processo não há processo de urbanização devido aos altos graus de declividade. Sendo assim, as baixas vertentes das escarpas serranas estão comumente desmatadas devido à expansão das atividades agropastoris, ou mesmo devido à expansão urbana no entorno da região metropolitana.

3.2.3- Caracterização Pedológica

Bigarella et al. (1996) caracteriza o arranjo dos constituintes do solo, compreendendo a reunião das partículas em agregados, os quais apresentam formatos e tamanhos variados, estando separados uns dos outros por superfícies de fraqueza, influencia na velocidade e direcionamento de infiltração da água.

Bigarella et al. (2003) considerando alguns tipos de solos salientam que a espessura argilosa impermeável e o pequeno conteúdo de matéria orgânica dos solos tropicais tornam-nos excepcionalmente susceptíveis aos movimentos de massa. Apenas os latossolos mais permeáveis e os capeamentos lateríticos são mais resistentes aos processos erosivos. Neste contexto, observa-se que as propriedades dos solos superficiais e subsuperficiais e a composição litológica subjacente interferem nos processos de movimentos de massa, tanto como fator desencadeante, como sendo o próprio material envolvido.

Podem ser encontrados solos bastante desenvolvidos e não desenvolvidos, sendo considerada uma unidade de paisagem instável quando prevalecem os processos modificadores do relevo caracterizando a morfogênese com predomínio dos processos de erosão, processos erosivos e movimentos de massa (Ross 1991). O CPRM classifica como de maior fragilidade ou erodibilidade, os solos Litólicos, Hidromórficos, Orgânicos, Areias Quartzosas, e Afloramentos Rochosos; de nível intermediário, os Podzólicos e Cambissolos, e de baixa fragilidade, os Latossolos.

Conforme disposto no Zoneamento Agroecológico do Estado do Rio de Janeiro (2003) as montanhas e escarpas serranas apresentam solos bastantes lixiviados, compreendendo Cambissolos Háplicos, Neossolos Litólicos e, com ocorrência menos expressiva, Latossolos Vermelho-Amarelos, em geral pouco espessos. Os Cambissolos e Latossolos Vermelho-Amarelos são encontrados nos interflúvios, enquanto nas várzeas predominam os Gleissolos e os solos aluviais (UERJ/IBGE, 1999). Na paisagem da região serrana, pode-se observar que provavelmente o Cambissolo está adjunto ao relevo ondulado, oposto do Latossolo, que se posiciona no relevo plano ou suavemente (Avelar, 2011).

4-MATERIAS E MÉTODOS

As etapas metodológicas se basearam inicialmente na delimitação dos diferentes tipos de solos presentes na Bacia do Córrego Dantas, através de um enfoque geotécnico. Esse mapeamento serviu como base para as análises dos deslizamentos que ocorreram na área, quando associado aos índices pluviométricos e a interação com a geologia local. A partir dessas análises foram feitos ensaios com Medidor de Potencial da Água, a fim de, conhecer a capacidade de infiltração nos solos da região. As áreas de coleta das amostras levam em consideração a estrutura geotécnica dos solos em rasos, espessos, fluviais e de colúvio, a fim de uma comparação com os possíveis resultados.

4.1. Base Topográfica

As bases topográficas foram utilizadas como base para auxiliar o preparo dos mapas de campo. Esses mapas de campo forneceram subsídios para o mapeamento geotécnico, pois contiam informações de hidrografia, estradas e da topografia da região do Córrego Dantas. A base topográfica utilizada foi adquirida do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -IBGE para 1:25.000, considerada como muito detalhada nessa escala e além disso, esses dados foram obtidos gratuitamente pela página eletrônica do instituto. Além desse dado, outros materiais digitais foram relevantes para auxiliar a produção de mapas temáticos.

Esta topografia detalhada da região é fundamental para análises geomorfológico-geotécnicas, pois caracteriza a representação do relevo, principalmente por meio de curvas de nível. Essa interpretação do relevo de uma determinada região é ocasionada pela tridimensionalidade da paisagem, facilitando a identificação da região e das áreas mais íngremes, ou seja, altas e baixas do relevo.

4.2 – Mapeamento dos Solos do Córrego Dantas

Foi realizado o reconhecimento dos solos e espessuras em campo, em locais da bacia do Córrego Dantas no alto, médio e baixo curso da bacia, através de visualizações ao longo das estradas percorridas com carro. Além disso, houve o acompanhamento das fotografias áreas e estereoscópio de bolso, para espacialização dos solos vistos.

Houve a visualização das áreas percorridas em campo, além do auxílio das fotografias áreas na interpretação e compreensão do tipo de relevo associado às espessuras dos solos. As áreas percorridas forneceram dados relevantes para o desenvolvimento do trabalho em gabinete (Fig.15). As estradas percorridas para a validação do estudo foram as principais e as que permitiam acesso.



FIGURA 15:- ÁREA PERCORRIDA DA BACIA DO CÓRREGO DANTAS PARA IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS CLASSES DE SOLOS. FONTE: ACERVO PESSOAL.

A segunda etapa consistiu em realizar a interpretação das fotos aéreas do ano de 2010 (Fig.16-A), na escala 1:30.000, para a definição e classificação das diferentes classes de solo, isto é: colúvio, fluvial, afloramento rochoso, saprolito raso e saprolito espesso (Fig.16-B). A identificação dessas classes se baseou na tridimensionalidade do relevo característico da Bacia do Córrego Dantas, uma vez que a área é caracterizada por seu relevo montanhoso.

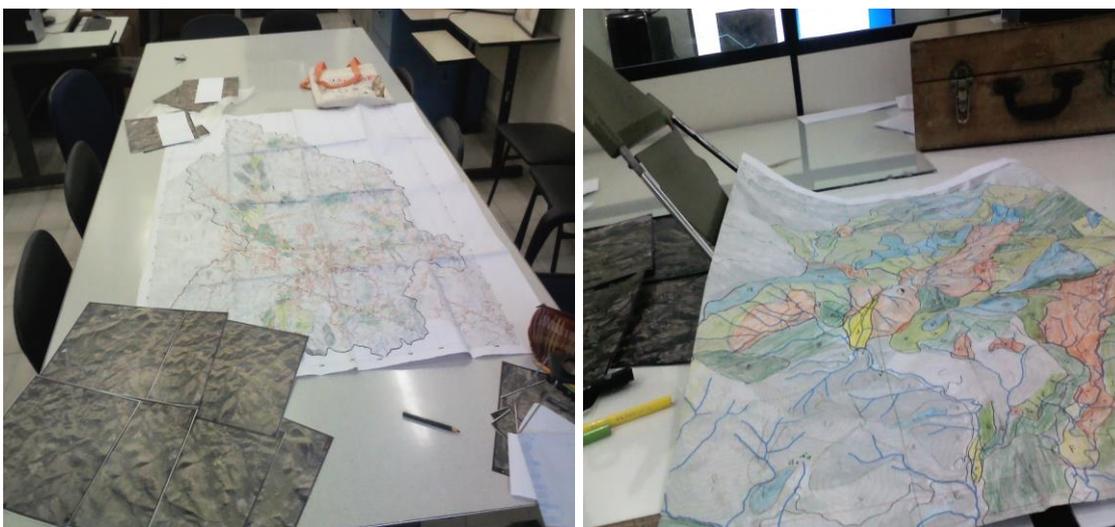


FIGURA 16- A E B- IDENTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE SOLOS A PARTIR DAS FOTOGRAFIAS ÁREAS E CLASSIFICAÇÃO DO MAPA GEOTÉCNICO. FONTE: ACERVO PESSOAL.

Após a identificação das distintas classes e lançamento na base topográfica na escala 1: 5.000, parte se para a última etapa em que se baseia na utilização de programa de geoprocessamento, no caso específico foi empregado o Arcgis 10.1. Para a transferência das informações, as feições foram vetorizadas e posteriormente, sobrepostas às bases topográficas, hidroviárias, estradas e mosaico com fotografias da região, todos os dados em SIRGAS 2000 UTM 23S (Fig.17). Os dados foram digitalizados segundo os padrões definidos no mapa manual, ou seja, o mapa utilizado para fazer a demarcação física dos diferentes tipos de solos, sendo necessárias algumas correções no mapa digital sobre a delimitação das classes estudadas.

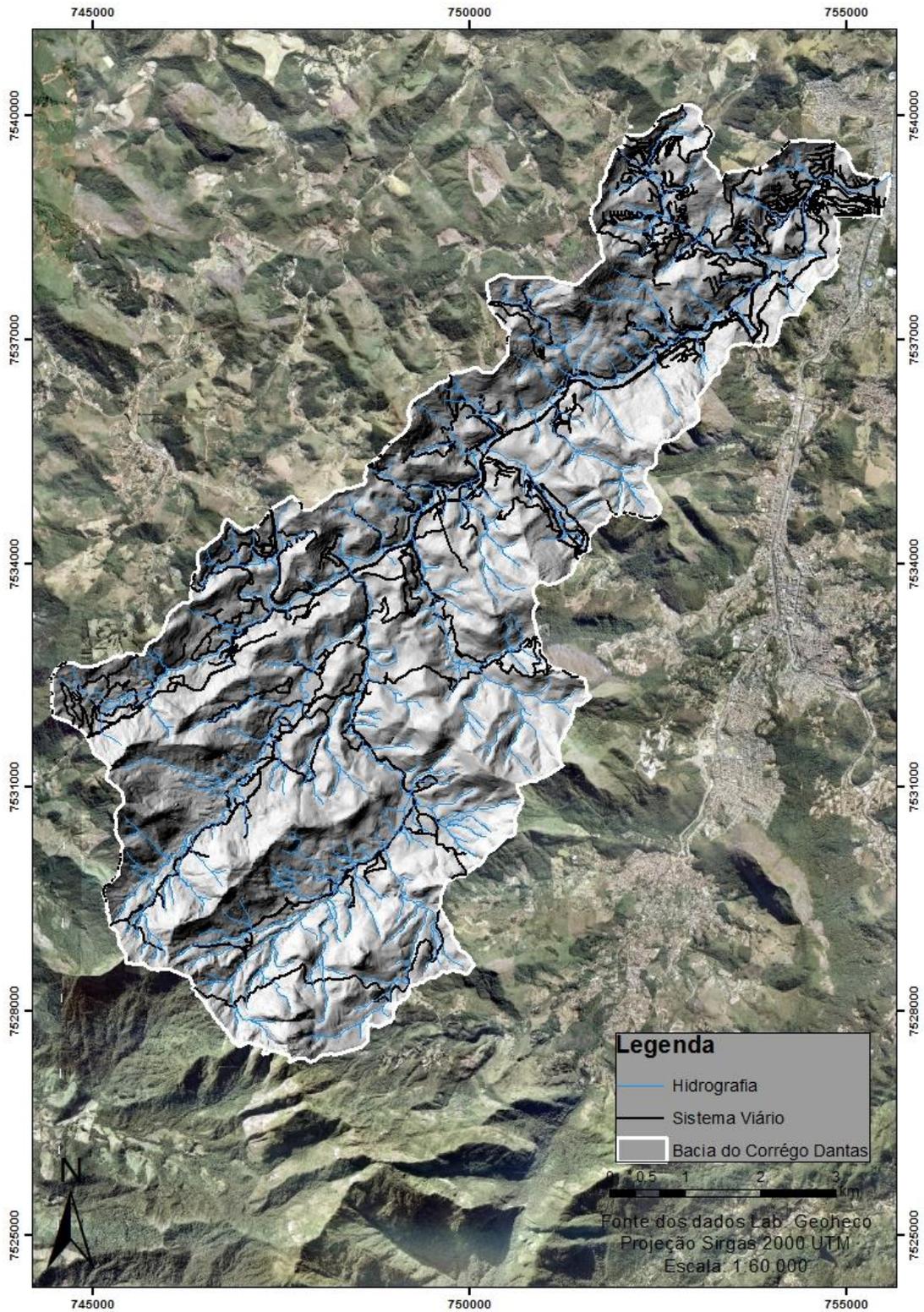


FIGURA 17: ESTRADAS PERCORRIDAS PARA DEFINIÇÃO DAS CLASSES DE SOLOS DA BACIA DO CÓRREGO DANTAS.

4.2.1 Correção Topológica das Classes

Após a digitalização do mapa em formato digital, houve a necessidade de encontrar os possíveis erros do mapeamento preliminar, tomando como base as informações obtidas em campo. Há a necessidade da correção das classes no mapa, pois na digitalização pode ocasionar linhas sobrejacentes, espaçamento entre os polígonos e sobreposição de um polígono ao outro, ou seja, de uma classe sob outra. Para os possíveis cruzamentos de dados com outras informações relevantes, foi se necessário realizar a correção topológica.

Para a realização da correção topológica, houve a junção das diferentes classes solos em um único shape, para que fosse possível corrigir erros, como a sobreposição de polígonos, linhas e buracos entre polígonos. Foi utilizado no ArcGis, pelo conjunto de ferramentas do ArcToolbox. A ferramenta chamada Topology serve para a identificação e correção dos erros existentes dentro dos polígonos de solos. Após descobrir onde estavam os erros, houve a correção manualmente de todos os erros, a fim de deixar os arquivos prontos para fazer os cruzamentos com outras informações de interesse, como no caso as cicatrizes de deslizamentos.

4.2. Ensaios Granulométricos

Os ensaios granulométricos foram realizados no laboratório de Geomorfologia da UFRJ, baseados no método de análise de solo da EMBRAPA. Esse método trata de análises físicas, químicas e mineralógicas, os ensaios realizados se restringem a análises físicas. O objetivo desse ensaio é a classificação dos solos das diferentes áreas de estudo em percentuais de areia, silte e argila.

O método inicia-se com pré-preparo das amostras, ou seja, as amostras de solos assim que chegam de campo devem ser abertas para secá-las ao ar livre. Após a secagem das amostras é necessário utilizar uma esteira e pressão mecânica para descompactar o solo, realizando assim o destorramento. Utiliza-se uma peneira de 2mm para a separação do cascalho do restante do material, guardando o que sobrou do restante peneirado, importante sempre especificá-lo para não misturar as diferentes amostras (Fig.18).

Utilizar água ionizada para lavar o que restou na peneira, colocando-o num recipiente identificado e leva a estufa numa temperatura de 100° C, pesando o valor do recipiente.



FIGURA 18: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA ENSAIO DE GRANULOMETRIA. FONTE: ACERVO PESSOAL.

A outra etapa consiste em utilizar copos descartáveis identificando cada amostra, e mais 100 ml de água ionizada, misturando a solução e tampando-as e deixar descansando por 24 horas. Posteriormente, foi necessário utilizar a solução em descanso e inseri-la no agitador com mais 300 ml de água ionizada por 15 min. Após a amostra saída do agitador, necessário peneirar em uma peneira de 0,0053 mm e ir lavando o que ficou retido com água ionizada, em um funil e levando ao Becker para 1 L e tapá-la (Fig. 19). O que restou da amostra na peneira, colocou-se em um recipiente e levou-se à estufa. Após sua secagem é importante pesar o conteúdo retido identificando areia grossa da fina.



FIGURA 19: ETAPAS PARA ENSAIO DE GRANULOMETRIA. FONTE: ACERVO PESSOAL.

Um outro procedimento importante é a realização da amostra em branco. Para prepará-la utiliza-se 10 ml de calgon mais 100 ml de água ionizada. As amostras que estão no Becker de 1 L têm que ser agitadas por aproximadamente 20 segundos, e em seguida faz-se a mediação da temperatura, realizando o cálculo da temperatura e hora (tempo fornecido pelo manual da EMBRAPA). Após o tempo estipulado é necessário pipetar a amostra para a separação de silte e argila, o que foi pipetado deve ser posto em um recipiente e levado à estufa. Ao finalizar a secagem pesar o que restou no recipiente, descontando o peso do recipiente. Todas as amostras quando saídas da estufa devem ser guardados em recipientes fechados, para não ter contato com o ar e alterar a amostra.

4.3- Medição de Chuva

As medições relacionadas às chuvas foram realizadas por meio de pluviômetros automáticos. Utilizou-se o modelo HOBO U30-NRC para a pesquisa, esta estação é voltada para monitoramento meteorológico, possuindo 5 a 10 canais de energia para a coleta dados ambientais. A aquisição dos dados da estação podem ser obtidas diretamente através de um cabo do tipo USB, que conecta a estação ao computador fornecendo os dados armazenados.

O equipamento mensura a quantidade de chuva que precipita, sendo um importante alicerce para estudos meteorológicos e hidrológicos em conjunto com o sensor

de temperatura. O equipamento possui um coletor da água de precipitação, com área da 314 cm² (20 cm de diâmetro), o pluviógrafo é o instrumento com as mesmas características, mas com capacidade de registrar o tempo. Sendo assim, qualquer pluviômetro conectado a um registrador que indique data e hora é um pluviógrafo ou pluviômetro automático.

O pluviômetro automático tem o princípio de funcionamento composto por um sensor de precipitação tipo balança, que se move e aciona um componente magnético que gera pulsos transmitidos ao registrador, registrando em milímetros e indica o volume em litros de água que caíram em um metro quadrado de área.

A estação meteorológica de superfície automática é composta de uma unidade de memória central ("data logger"), ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc), que integra os valores observados minuto a minuto e os disponibiliza automaticamente a cada hora.

No caso específico da área de estudo foi utilizada uma estação meteorológica da marca HOBO (Fig.20), sendo essa programada de 15 em 15 minutos, para nos informar as condições locais da região. Uma estação meteorológica segundo a nota técnica do INMET, 2011 nos remete informações sobre pressão, temperatura, chuva, voltagem, umidade relativa, no caso da estação utilizada são essas as informações adquiridas.

A escolha do local para a instalação da estação, teve como princípio estar inserida em uma das áreas de pesquisa, além do quesito de segurança, pois se localiza dentro de uma propriedade rural habitada. A instalação da estação meteorológica foi em 2015 e houve coletas dos seus dados em 18 de fevereiro de 2016 durante o desenvolvimento do trabalho em questão.



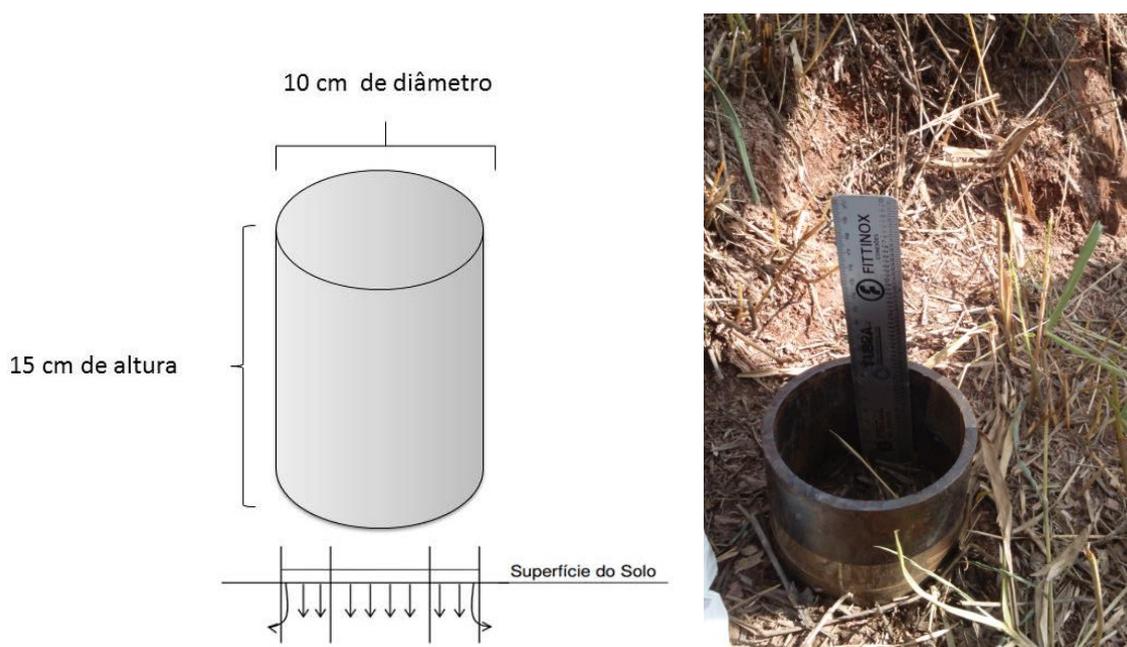
FIGURA 20: ESTAÇÃO METEOROLÓGICA, NOVA FRIBURGO 2016. FONTE: ACERVO PESSOAL.

Foi necessária à instalação de uma estação meteorológica próxima a área de estudo, pois as informações presentes no município de Nova Friburgo são em áreas mais afastadas como Vila Nova e Campo do Coelho, conforme apontam as informações de localização das estações do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - Cemaden.

4.4- Medição de Infiltração

De um modo geral, as técnicas existentes para medição da infiltração em campo podem ser utilizadas por diferentes métodos. Para o estudo em questão, foi utilizada a técnica do infiltromêtro de anel simples, sendo assim, cabe aqui uma breve apresentação do método para sua necessária compreensão.

O Infiltromêtro de Anel consiste na utilização de um cilindro para medir volumes da água aduzida ao cilindro internamente. O cilindro apresenta 10 cm de diâmetro e 15 cm de altura (ROOSE, *et al.* 1993) (Fig.21- A). Deve ser instalado por cravação no solo e ser enterrado 5 cm no solo. Para isso, as bordas inferiores devem ser cortadas a fim de facilitar a penetração no solo (Fig.21 - B).



**FIGURA 21: A- DIMENSÕES DO INFILTROMÊTRO E B- IMAGEM DO INFILTROMÊTRO DE ANEL.
FONTE: ACERVO PESSOAL.**

A água é colocada no marco de 5 cm do anel com uma régua graduada, faz-se a leitura anotando a quantidade de volume de água que é absorvida pelo solo, com intervalos de tempo pré-determinados. A diferença de leitura entre dois intervalos de tempo representa a infiltração vertical neste período.

Os registros do nível da régua para realização dos testes de infiltração foram nos intervalos 10", 20", 30", 40", 50" segundos, 1', 1':30", 2', 2':30", 3', 3':30", 4', 4':30", 5', 6' e 7' minutos, baseando numa coluna d'água inicial de 5 cm (Tab. 1). Os testes foram replicados duas vezes na mesma área, ou seja, foram realizados dois testes em cada área de estudo e estas tendo diferentes coberturas vegetais e respostas distintas. Ao realizar esses testes foi possível determinar a infiltração média do conjunto de solos estudados.

TABELA 1: PLANILHAS DE CAMPO PARA A REALIZAÇÃO DOS TESTES DE INFILTROMÊTRO DE ANEL SIMPLES.

Teste A	
Tempo min\seg	Nível d'água (cm)
0	5
10"	4.6
20"	4.3
30"	4.1
40"	4
50"	3.9
1'	3.7
01'30"	3.5
2'	3.1
02'30"	2.9
3'	2.7
03'30"	2.5
4'	2.2
04'30"	2
5'	1.9
6'	1.5
7'	1.2

Teste B	
Tempo min\seg	Nível d'água (cm)
0	5
10"	5
20"	4.9
30"	4.8
40"	4.7
50"	4.7
1'	4.6
01'30"	4.4
2'	4.2
02'30"	4
3'	3.9
03'30"	3.7
4'	3.4
04'30"	3.3
5'	3.1
6'	2.9
7'	2.4

4.5- Ensaios para Definição da Curva Característica

4.5.1- Áreas de ensaios e amostragem

A escolha dos locais dentro da Bacia do Córrego Dantas engloba pontos de análise e investigação. Após a realização do mapa geotécnico, onde foi possível selecionar as áreas de maior interesse e facilidade de acesso, para realização das amostragens e ensaios. As preferências das áreas escolhidas se relacionam pela proximidade de deslizamentos ocorridos em eventos passados e conseqüentemente pela classificação geotécnica realizada.

Foram elegidas quatro áreas com diferentes manejos de uso do solo variando desde pastagem, floresta, plantio e capoeira (Fig.22). Na tabela abaixo (Tab. 2) pode se observar as coordenadas das áreas de coleta do estudo e seus usos.



Área de Pastagem (área 1)



Área de Olericultura (área 2)



Área de Capoeira (área 3)



Área de Mata (área 4)

FIGURA 22: DIFERENTES USOS NAS ÁREAS DE AMOSTRAGEM. FONTE: ACERVO PESSOAL.

TABELA 2: LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE AMOSTRAGEM.

Amostragem	Coordenadas - UTM /Sirgas 2000	Manejos
Área 1	0747674 - 7534213	Pastagem
Área 2	0745506 - 7532099	Plantio de olericulturas (Brócolis)
Área 3	0745474 - 7532110	Capoeira
Área 4	0745493 - 7534213	Floresta em estágio inicial

Posteriormente à definição das áreas, foram organizados e planejados os ensaios de infiltração de campo, a fim de otimizar a logística das coletas. Os pontos de coleta foram escolhidos em uma área de saprolito espesso, uma de saprolito raso e duas de colúvio, trabalhando com específicas condições de campo com testes materiais.

Para cada área de amostragem realizou-se seis ensaios nos tipos de solos determinados, a fim de se obter um número confiável em relação às amostras coletas (Tab.3). Em campo foram identificados os tipos de solos predominante adjacentes aos pontos amostrais. As coletas foram obtidas em duas profundidades, primeiramente nos 5 cm iniciais do solo e em seguida foram coletas nos 20 cm do solo, com uma menor influência das raízes.

TABELA 3: QUANTIFICAÇÃO ESQUEMATIZAÇÃO DOS ENSAIOS REALIZADOS.

Amostragem	Classificação Geotécnica	Amostras	Ensaio	Total	Profundidade
Área 1 (Pastagem)	Colúvio	2	3	6	5 cm - 20 cm
Área 2 (Olericulturas)	Colúvio	2	3	6	5 cm - 20 cm
Área 3 (Capoeira)	Saprolito Espesso	2	3	6	5 cm - 20 cm
Área 4 (Mata)	Saprolito Raso	2	3	6	5 cm - 20 cm

Planejou-se a execução de ensaios e a coleta de amostras de solo indeformado, ou seja, o solo é cortado, retirando e acondicionando com as menores alterações possíveis, isso realizado em quatro áreas para a determinação dos parâmetros hidrológicos (Fig.23 A-B). Em cada área foram obtidas três amostras nos primeiros 5 cm do solo e posteriormente nos 20 cm do solo.



Figura 23: A- amostras coletadas nos primeiros 5 cm do solo. B- amostras coletas em 20 cm do solo. Fonte: Acervo Pessoal.

As amostras de solo coletadas foram armazenadas a temperatura compatível com o requisitado pelo equipamento. Os compartimentos utilizados para as coletas de solos possuem tamanho de aproximadamente 50 cm. Foram realizadas as transferências e analisadas no Laboratório de Geomorfologia da UFRJ, onde encontra-se o equipamento. O equipamento encontra-se limpo e calibrado no laboratório para a realização das análises necessárias, evitando as variações de pressão. As amostras foram introduzidas no equipamento WP4C e nos forneceu os dados e resultados de acordo com cada amostra coletada. Após a obtenção dos dados, houve uma interpretação e compreensão dos resultados, para a análise das respostas nos diferentes ambientes estudados.

4.5.2- Funcionamento do WP4C

O equipamento para a quantificação da sucção matricial do solo, denominado de Medidor de Potencial da Água e comercializado como WP4C, baseia-se na determinação potencial hídrico onde é muito utilizado para a caracterização de expansão do solo e curvas de liberação de umidade, ou seja, utilizado para medir o potencial de água de qualquer material poroso. Deste modo, o equipamento mede o teor de água no solo amostrado. A tabela 4 abaixo mostra a especificações técnicas importantes para a utilização do instrumento.

O potencial de água é definido como a energia potencial por unidade de volume de água numa amostra. O potencial total de água de uma amostra é a soma de quatro potenciais componentes: gravitacional (depende da posição da água num campo gravitacional), matricial (depende da adsorção forças de ligação de água para uma matriz), osmótica (depende da concentração da substância dissolvida na água) e pressão (depende da pressão hidrostática ou pneumático na água). O WP4C mede a soma dos potenciais osmóticos e matriciais em uma amostra. Muitas vezes, um ou o outro destes potenciais será o dominante fator na determinação do potencial total (Decagon Devices, 2016).

TABELA 4: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO WP4C.FONTE DECAGON DEVICES.

PRECISÃO	±0.05 MPa* de 0 até -5 MPa
	1% de -5 até -300 Mpa
AMPLITUDE	-0.1 até -300 MPa*
TEMPO DE MEDIÇÃO	No modo Preciso:
	10-15 minutos para a maioria das amostras de solos
	20 minutos para amostras de tecidos vegetais
	No modo Rápido:
	<5 minutos (precisão reduzida)
CONTROLE DE TEMPERATURA	15 até 40 °C (± 0.2 °C)
TIPO DE SENSOR	1) Sensor de ponto de orvalho em espelho resfriado
	2) Sensor de temperatura infra-vermelho
AMBIENTE DE OPERAÇÃO	5 até 40 °C (41 até 104 °F)

No aparelho a amostra é selada contra um bloco sensor (de ponto de orvalho, um sensor de temperatura, e um termômetro infravermelho). O sensor de ponto de orvalho mede a temperatura do ponto de orvalho o ar, e as medidas de termômetro infravermelho a temperatura da amostra. A finalidade do ventilador consiste em acelerar o equilíbrio e para controlar a condutância da camada limite do sensor de ponto de orvalho. Calcula-se a pressão de vapor do ar no espaço de topo como a pressão de vapor saturado ao ponto de orvalho. Quando o potencial de água da amostra e o ar estão em equilíbrio, a medição do espaço de cabeça pressão de vapor e a temperatura da amostra (a partir da qual o vapor de

saturação pressão é calculada) dá o potencial da água da amostra (Decagon Devices, 2016).

O aparelho foi calibrado com o padrão de KCl (Cloreto de Potássio), que estabiliza a temperatura e pressão do ambiente, para a utilização das amostras. Há a necessidade que as cápsulas não estejam muito cheias, pois o equipamento entende que essa amostra está quente, não permitindo a realização da análise. As cápsulas têm que ser inseridas limpas na parte posterior antes de introduzi-las no aparelho, pois se não realizar esse procedimento pode contaminar a câmara, sendo necessário interromper a leitura para limpá-lo.

A temperatura sugerida é de 25° C, porém utilizou-se nas amostras a temperatura de 26°C, esse aumento de 1°C é relativo a dificuldade de o aparelho chegar a temperatura modelo. As amostras foram inseridas no equipamento, sendo que a primeira amostra demora um tempo maior para finalizar o procedimento, diferentemente das outras que o tempo de leitura foi mais rápido. O tempo de leitura dos parâmetros varia de 16 min a 3 min, o manual sugere que a leitura finalize em aproximadamente 15 min. As informações fornecidas foram temperatura, pressão e potencial hídrico, que podem ser visualizadas na figura 24.



FIGURA 24: IMAGEM DO EQUIPAMENTO WP4C. FONTE: ACERVO PESSOAL

O WP4C quando comparado com outros equipamentos é um bom instrumento para análise de sucção de solo, no caso dos deslizamentos precisamos compreender o quanto de água que um solo suporta até chegar à saturação. Essa medição da umidade em dados quantitativos irá ajudar a entender a curva característica, isto é, curva de sucção “versus” umidade volumétrica e saber como ocorre à saturação nos tipos de solos estudados.

5-RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Considerações Iniciais sobre a Análise dos Resultados

Conforme já mencionado, a área de estudo apresenta amplo interesse para pesquisa devido aos diversos aos 3.600 deslizamentos ocorridos na Região Serrana, em especial em Nova Friburgo. Nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, quando houve um evento de grande magnitude. Este evento é considerado um dos mais impactantes na bacia e gerando impactos para a sociedade.

Primeiramente houve a necessidade de se conhecer os solos em caráter geotécnico da Bacia do Córrego Dantas, a fim de compreender quais os tipos de solos eram mais vulneráveis ao deslizamento. Realizou-se um mapeamento geotécnico de toda Bacia do Córrego Dantas, para investigar a relação das cicatrizes de deslizamentos com os solos da bacia.

A partir do mapeamento geotécnico foi importante compreender a composição granulométrica dos solos estudados, para que possa avaliar os comportamentos hidrológicos na região. Os resultados obtidos mostraram uma homogeneidade quando a sua composição, porém os usos e coberturas são muito distintos.

Os ensaios de infiltrações nos mostram que cada área com seu tipo de uso e cobertura, possui mecanismos de infiltração relacionados com seu manejo, tipo de solo e declividade do terreno. As questões climáticas nos salientam para temperaturas quentes durante o dia e com um resfriamento ao entardecer, mostrando variações de temperatura ao longo do dia e com alta umidade relativa. As análises de sucção da água salientaram interações distintas nas primeiras camadas do solo, quando comparadas com as camadas mais profundas. Havendo controles estruturais significativos quando não há mais presença de raízes.

A abordagem metodológica é importante para compreender fenômenos de uma área, porém há a necessidade de uma grande equipe para cobrir toda área e a pesquisa de campo demanda muito tempo, o monitoramento se torna muito caro. A operacionalidade desta metodologia é satisfatória. Mas é importante ressaltar que os resultados podem ser decisivos numa tomada de decisão durante uma ocorrência de evento, por exemplo:

fornece aos gestores um quantitativo bem aproximado das áreas de fragilidade em área prioritárias de risco (grau de risco alto e muito alto).

5.2 Análise do Mapeamento Geotécnico

A distribuição espacial dos solos mapeados no domínio montanhoso da bacia do Córrego Dantas (Fig. 25) destaca a vasta ocorrência de saprolitos que recobrem 64% da área da bacia, porém diferenciando-se entre rasos (35%) e espessos (29%). Os demais solos e coberturas apresentam menor proporção da distribuição espacial, de modo que os colúvios são um pouco mais relevantes (19%) e seguido dos afloramentos rochosos (15%) e depósitos fluviais (2%).

Apesar das diferenças e com exceção dos depósitos fluviais, é possível afirmar as demais categorias seguem uma distribuição equilibrada, quando se observa o percentual dos solos, pois há a presença significativa deles em toda bacia. A presença de deslizamentos ocorridas em 2011 está relacionada aos eventos de grande precipitação que se concentraram na porção NE da bacia (Coelho Netto et al., 2011), que regionalmente apresentaram os maiores valores de intensidade, no entanto, observa-se espacialmente que esses deslizamentos se concentram em áreas de saprolito raso.

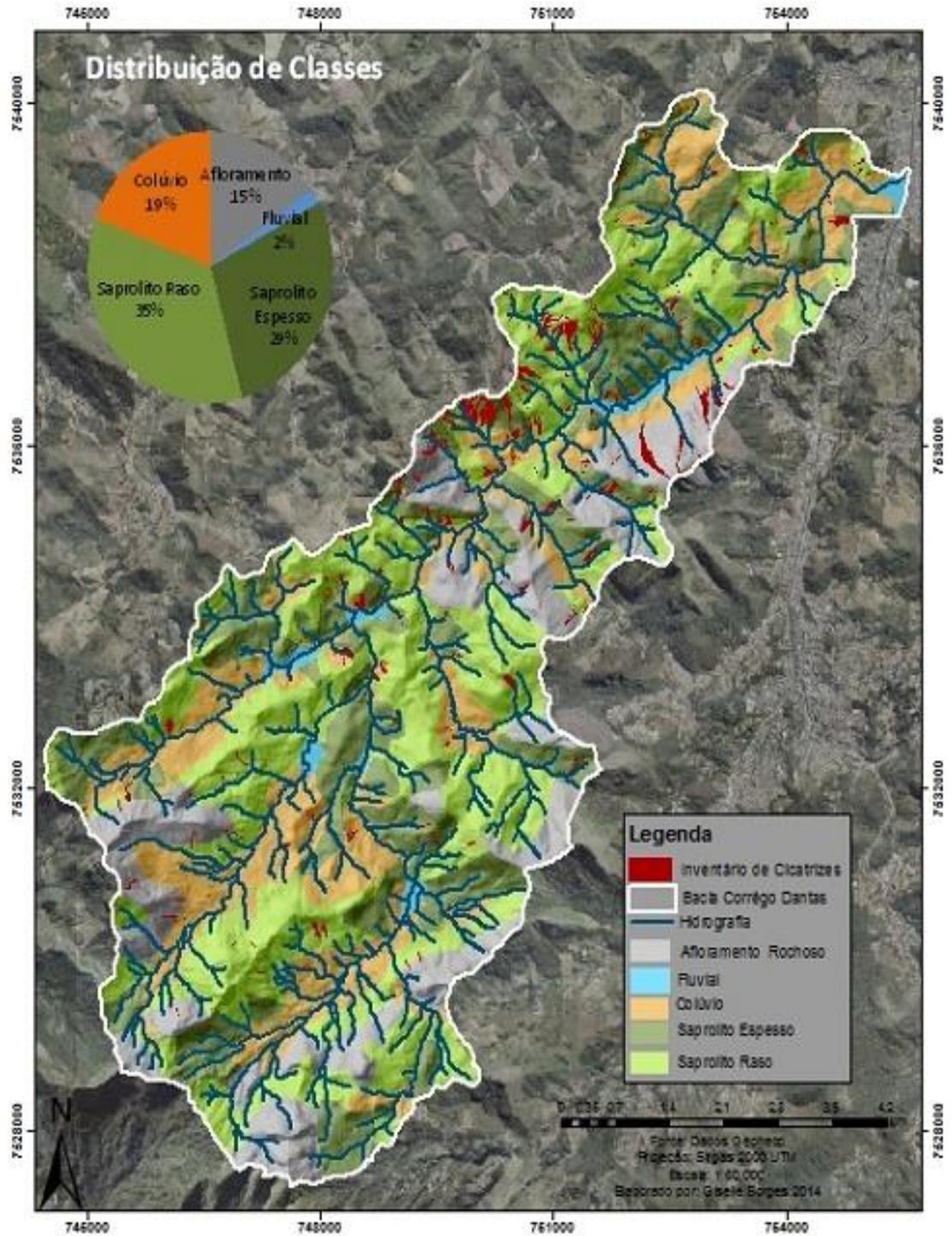
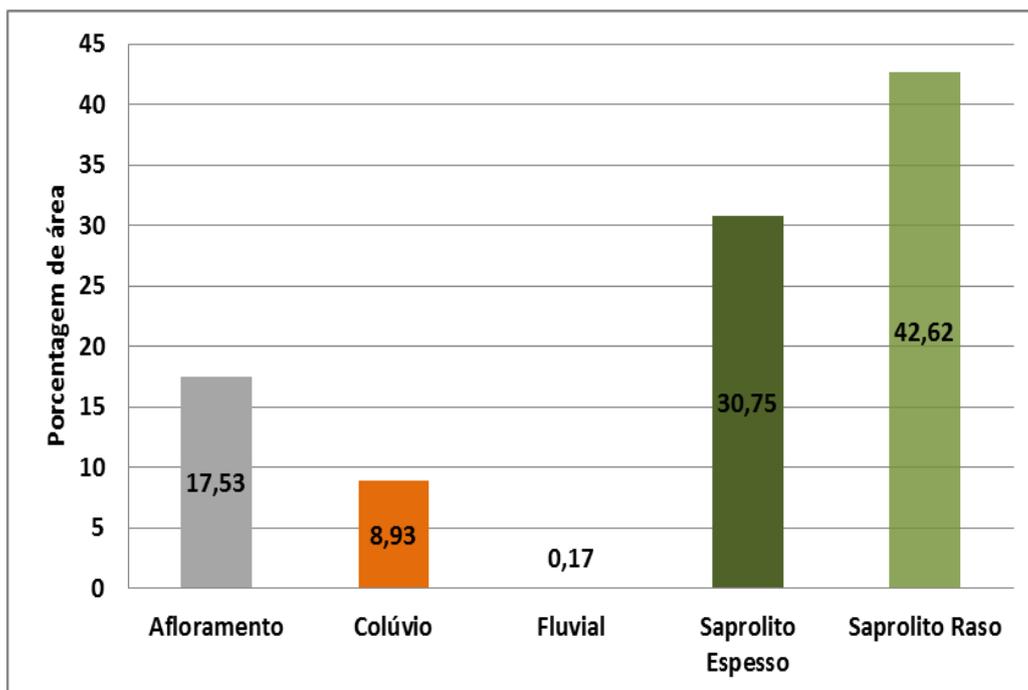


Figura 25: Mapa de Cobertura Geotécnica de Solos, Bacia do Córrego Dantas, N. Friburgo – RJ.

Conforme citado, sendo dominantes os processos translacionais rasos esta correlação pode ser entendida pelo fato de que os saprolitos rasos estão relacionados a elevadas declividades e serem solos de pouca profundidade, sujeitos a rápida elevação de proressão ou redução de sucção.

Na tabela 5 observa-se o percentual de distribuição área dos tipos de solos, onde se observa o predomínio do saprolito raso em 43 %, seguido do saprolito espesso com 31%. Sendo assim, a bacia tem predominância de saprolitos rasos em sua distribuição, tornando a área suscetível ao movimento translacional raso quando há predominância de chuvas intensas. Verifica-se que a classe de afloramento rochoso atinge 17 % da área da bacia, que representam zonas de amplo escoamento e recarga para os demais solos a jusante, em especial os depósitos de colúvio com 9% de distribuição espacial. Há ainda restritas ocorrências de solos fluviais, com menor porcentagem de área com menos de 1%. Isso ressalta que os deslizamentos não ocorrem exclusivamente em um grupo geotécnico, podendo ocorrer nas áreas limítrofes de um grupo a outro.

TABELA 5: DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS DOS TIPOS DE SOLOS GEOTÉCNICOS MAPEADOS.



Cabe ainda ressaltar que as áreas de afloramento rochoso também recebem uma contribuição favorável para zonas de instabilidade, devido à possível presença de solos com espessuras inferiores a 0,5 metro e poderem estar associados com esta classe e sua maior infiltração sob chuvas intensas. Ainda que em menor proporção, outro ponto a ser entendido, é que alguns deslizamentos aparecerem junto ao contato dos colúvios com os saprolitos rasos, em condições de encosta muito próximas aos canais fluviais, que devem ter sofrido maior saturação do terreno e em decorrência, instabilidade.

5.3. Interações das Análises de Granulometria com Medição da Infiltração e Índices Pluviométricos

Para a compreensão da infiltração da água nos solos estudados foi se necessário a determinação do tamanho das partículas que o constituem e na sua distribuição em determinados intervalos. Trata-se de uma característica de extrema importância na determinação das propriedades físicas de um solo, com aplicações práticas. As áreas de análise se subdividem em pastagem, plantio, capoeira e mata, para uma abrangência como o uso e cobertura do solo influenciam nas dinâmicas hidrológicas.

Verifica-se após os ensaios granulométricos das quatro áreas estudadas, que os quatro solos da região são caracterizados pelo predomínio da fração areia. Respectivamente tem-se a área de plantio (58%) e de mata (62%) possuem as maiores porcentagens de areia, quando comparadas aos locais com capoeira (57%) e pastagem (55%) (Fig.23). É de se esperar que em solos arenosos ocorra a predominância de macroporos, uma vez que a origem do tamanho de poros relaciona-se ao tamanho de partículas e são considerados de porosidade textural. Quando as partículas se organizam em agregados, há a criação de poros no solo, geralmente poros grandes entre agregados, sendo considerados porosidade estrutural.

O teor de argila depende diretamente do manejo do solo e da classificação do solo ao longo do perfil. O gradiente textural de uma área está relacionado com o grau de compactação, da disponibilidade de água e da capacidade de troca de cátions da fração argila. As áreas analisadas mostram que a pastagem (19%) e plantio (17%) possuem

percentuais similares de argilas, quando comparados com áreas de capoeira (14%) e mata (9%), em que o percentual decresce (Fig.23). Sendo assim, as argilas possuem a função de disponibilizar água no solo por um período maior, devido à quebra de capilaridade entre os horizontes do solo contrastantes quanto ao teor de argila.

A distribuição do silte se concentra na área de capoeira (29%) e na mata (28%), seguidas da pastagem (26%) e o plantio (24%) (Fig.26). O silte no solo apresenta baixa ou nenhuma plasticidade, isso significa que baixa a resistência quando este solo está seco.

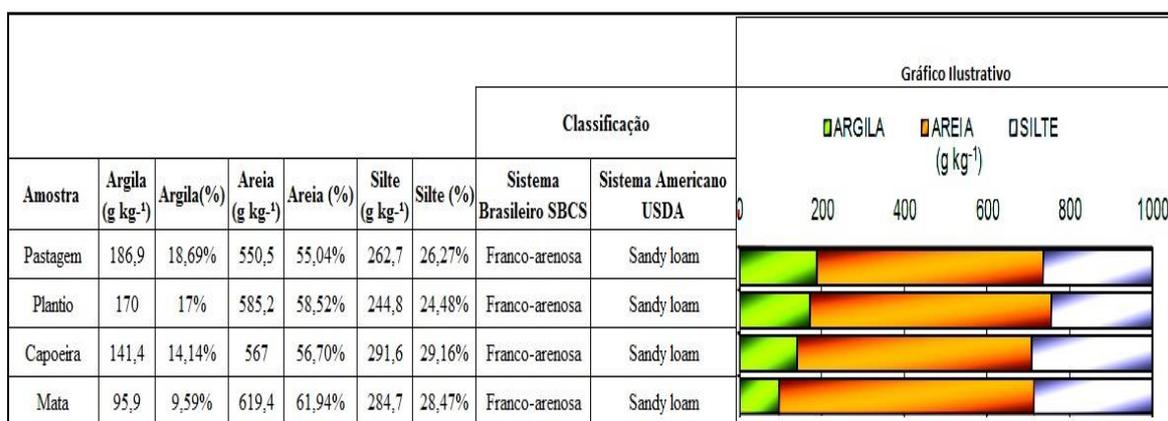


FIGURA 26: PERCENTUAIS DE AREIA, SILTE E ARGILA NOS SOLOS ESTUDADOS.

Segundo o sistema de classificação brasileiro de solos determinado pela Sociedade Brasileira de Ciências dos solos (SBCS), os solos com os diferentes usos e coberturas estudados se classificam em franco-arenoso (Fig.27). Inserindo os dados na classificação americana (USDA), utilizada internacionalmente a partir do triângulo textural, observa-se a mesma classificação franco-arenosa (sandy loam). Essa classificação é constituída por mais partículas de areia que silte e argila, permitindo em média uma infiltração de 20 a 30 mm h⁻¹.

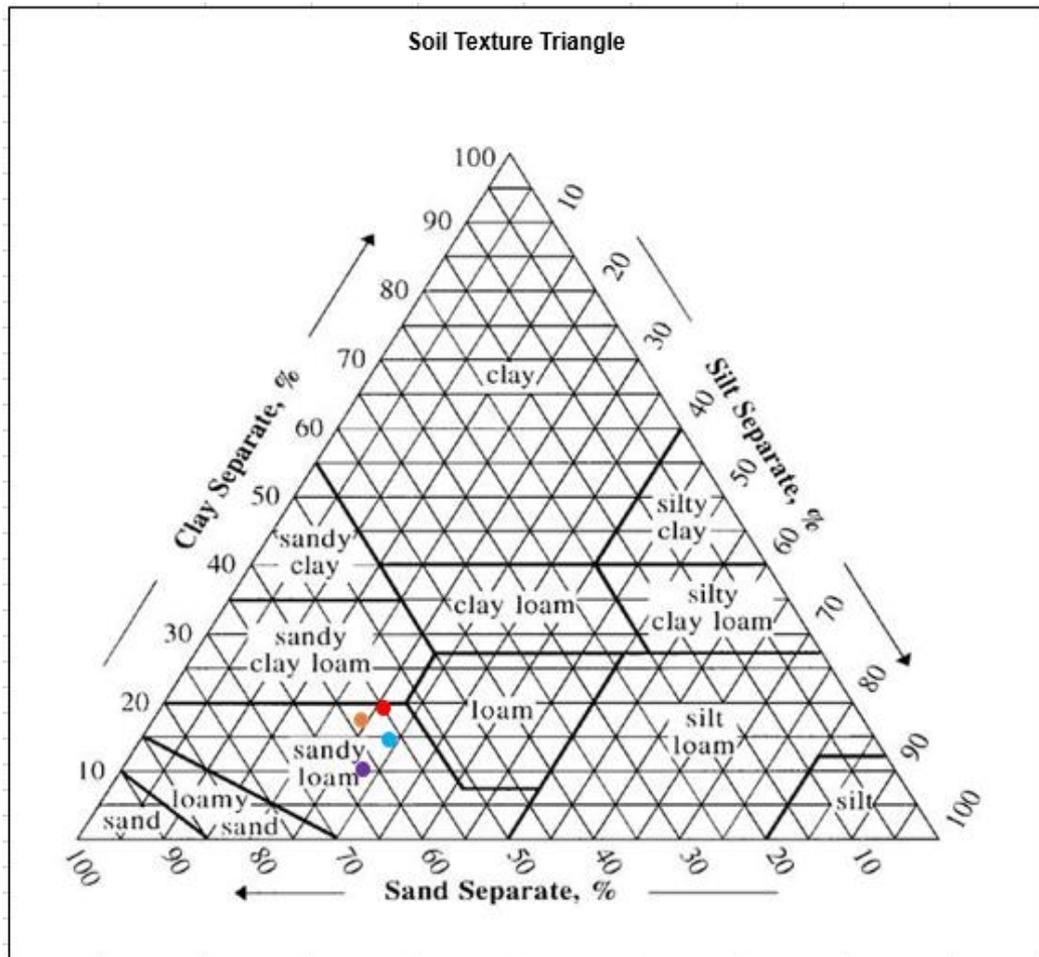


FIGURA 27: CLASSIFICAÇÃO AMERICANA (USDA) DE GRANULOMETRIA DOS SOLOS ESTUDADOS.

Foram realizados ensaios de infiltração com o infiltrômetro de anel simples, a fim de compreender as taxas de infiltração sob as diferentes coberturas vegetais estudadas.

Os percentuais de infiltração estão também relacionadas com temperatura do ambiente, uma vez que esta influência na viscosidade do fluido aquoso, que neste caso não parece ter influência expressiva já que a região de Nova Friburgo, no recorte da Bacia do Corrégo Dantas possui temperaturas amenas. O regime térmico do solo é determinado pelo aquecimento da superfície pela radiação solar e transporte, de calor sensível para seu interior. Diariamente a superfície se aquece, gerando um fluxo de calor para o interior, posteriormente há o resfriamento da superfície, por emissão de radiação terrestre passando do interior do solo para a superfície.

No início da infiltração, o solo ainda está relativamente seco, o gradiente de potencial é muito elevado e a velocidade de infiltração é alta. Após algum tempo, o gradiente de potencial é reduzido e a velocidade diminui. As argilas se expandem e contraem parcialmente os poros, a velocidade de infiltração diminui até chegar a um ponto em que se mantém praticamente constante (infiltração básica).

Observa-se na área de pastagem que as taxa de infiltração variam significativamente no primeiro teste (A), pois o solo está mais apto para a ocorrência da infiltração, ou seja, água que penetra do solo acontece de maneira mais rápida. No segundo teste (B) a infiltração ocorre de maneira mais lenta, porque o solo já sofreu aumento no grau de saturação (aumento da umidade), diminuindo a velocidade a medida que a água atinge as camadas mais profundas ainda com baixa umidade (Fig.28).

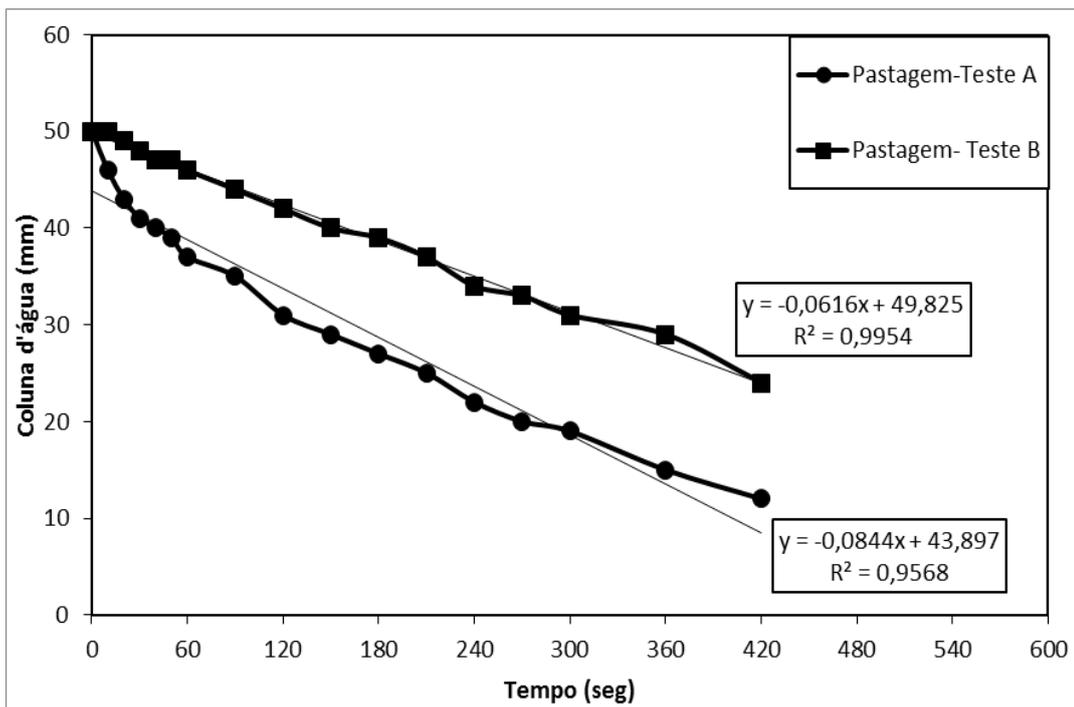


FIGURA 28: ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO EM ÁREA DE PASTAGEM.

Na área de plantio a infiltração no teste A acontece de maneira muito rápida, pois a coluna d'água inicia-se em 50 mm e o decaimento da água começa mais rapidamente até se tornar constante. A infiltração rápida pode ser resultado do retrabalhamento do

solo, pois essa área é de dinâmica agrícola intensa, por causa do plantio de couve e também por estar por vezes com cobertura de herbáceas entre um plantio e outro ao longo do ano. No teste B a infiltração ocorre de maneira mais uniforme, devido ao molhamento prévio da matriz do solo (Fig.29). Vale ressaltar que a área não sofreu processo de irrigação durante a realização dos testes.

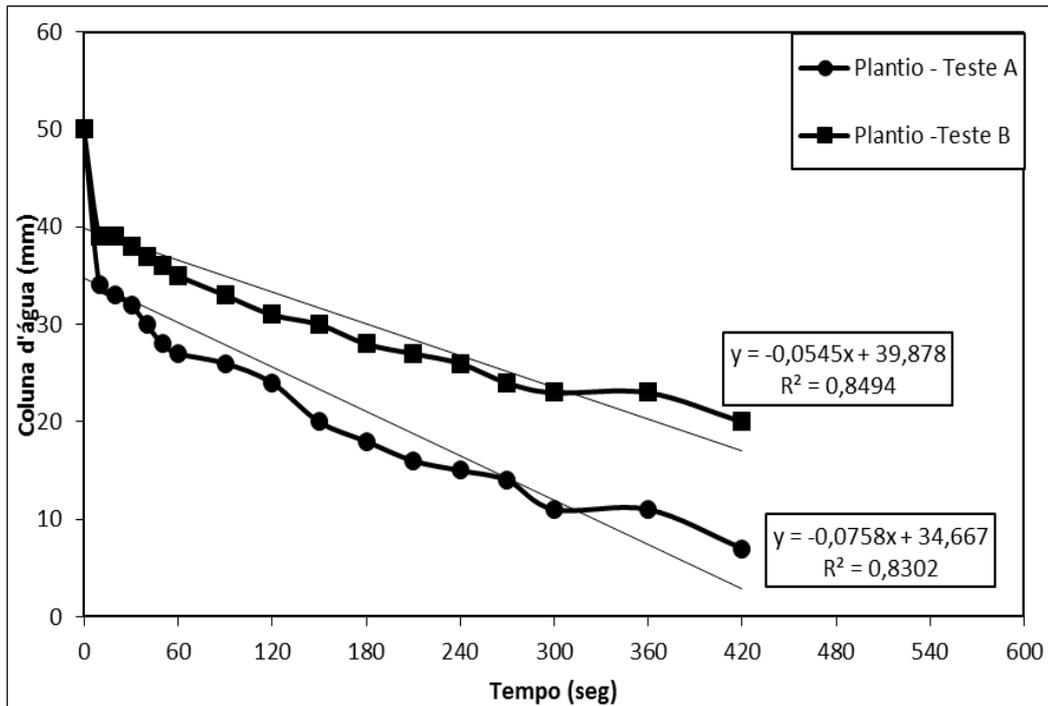


FIGURA 29: ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO EM ÁREA DE PLANTIO.

Na área de capoeira verifica-se uma infiltração diferenciada em relação às áreas de pastagem e plantio, pois as infiltrações anteriores mostravam um tênue decaimento e uma variação constante da água no solo. No caso específico da capoeira no teste A infiltração ocorreu de modo súbito, isto é, houve rápido fluxo para o interior do solo, devido ao seu solo afogado e pela presença de inúmeras raízes. Essa área possui presença vegetal em quase toda sua totalidade e no teste B a ocorrência se replica, ou seja, a infiltração neste tipo de solo é muito ágil (Fig.30). Sendo assim, este fato pode estar relacionado a quantidade e profundidade das raízes.

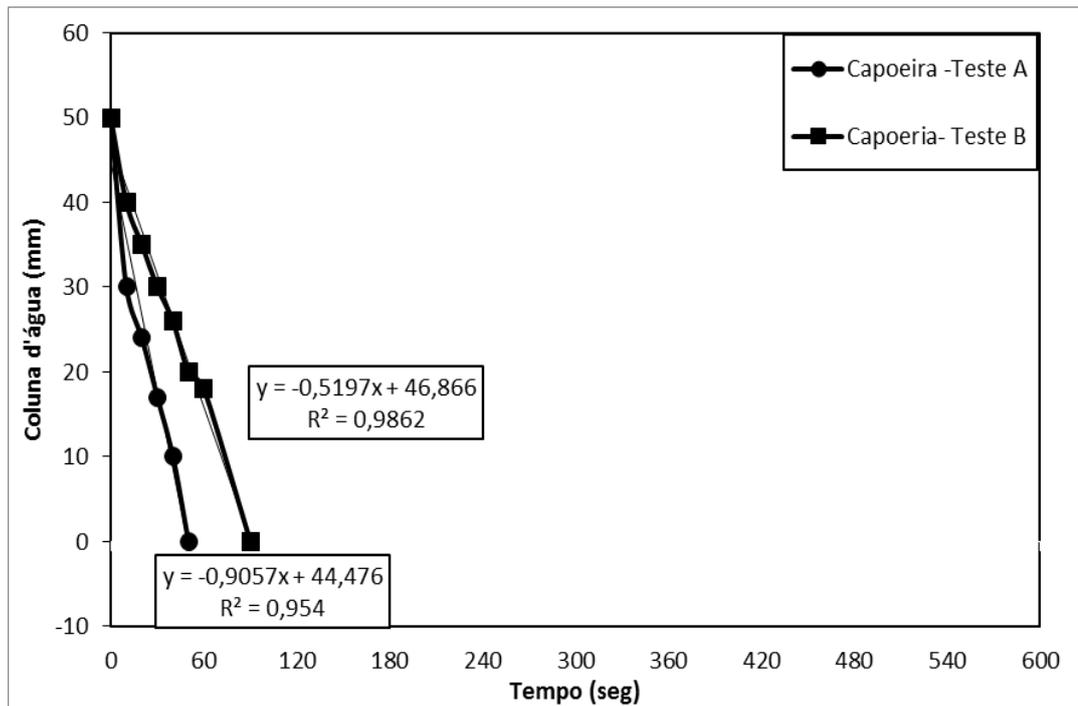


FIGURA 30: ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO EM ÁREA DE CAPOEIRA.

Na área da mata a dinâmica da infiltração se manteve constante, no teste A a infiltração ocorreu mais veloz que em áreas de pastagem e plantio, porém não tão intensa como na área de capoeira. Essa variação na área da mata é favorável pela presença da cobertura florestal e ocorrência de bioporos, que auxiliam no processo rápido da infiltração. No teste B verifica-se que a intensidade da infiltração diminuiu até se manter constante, este fato pode ser entendido pela proximidade de saturação do solo que diminuiu a capacidade de infiltração da matriz do solo abaixo do cilindro (Fig.31).

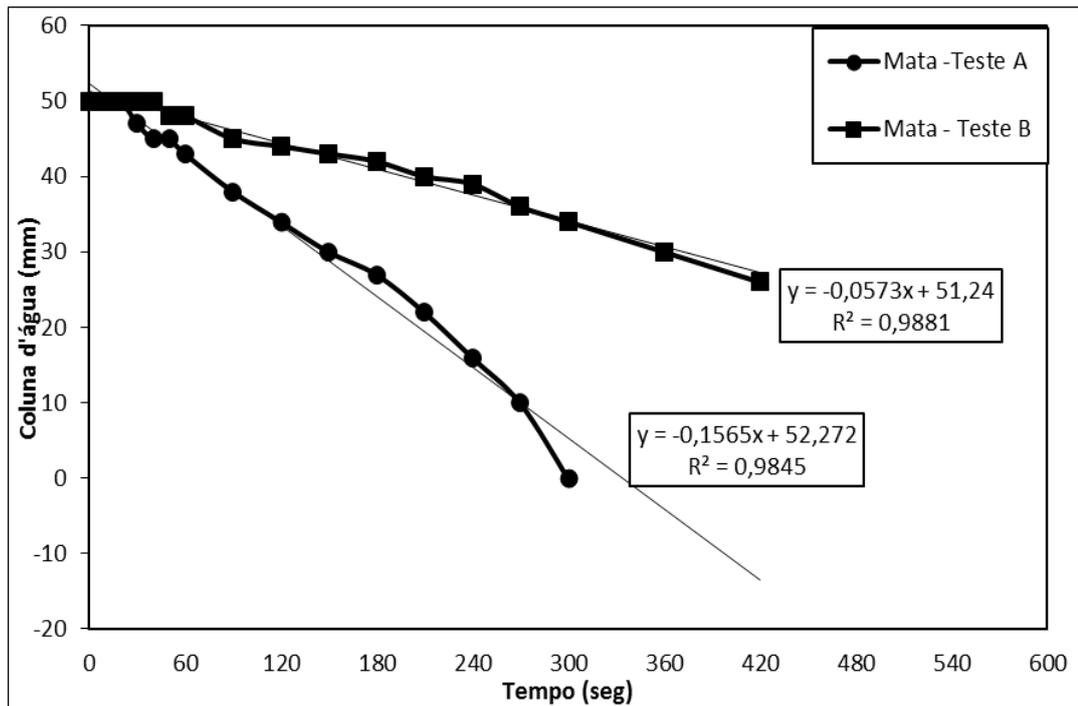


FIGURA 31: ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO EM ÁREA DE MATA.

No período de realização dos ensaios de infiltração, os dados obtidos pela estação pluviométrica mostraram que não houveram precipitações na área estudada. A temperatura teve pouca variação entre 31 °C máximo e 12 °C mínimo, a média diária varia em torno de 20 °C, caracterizando a região do Córrego Dantas como amena (Fig.32). Durante o dia a temperatura se eleva e ao entardecer se resfria, devido por se localizar em área de cadeia montanhosa. As coletas foram realizadas na estação de verão.

A umidade relativa varia de acordo com a temperatura, como a região apresenta áreas com presença de florestas ou vegetação favorece à queda da temperatura. Essa umidade presente no ar é decorrente de uma das fases do ciclo hidrológico, o processo de evaporação da água. Sendo assim a umidade relativa da região varia entre 99% máximo e 46% mínimo, a média varia em torno de 89%, ou seja, a umidade relativa nas áreas estudadas é considerada alta (Fig.29).

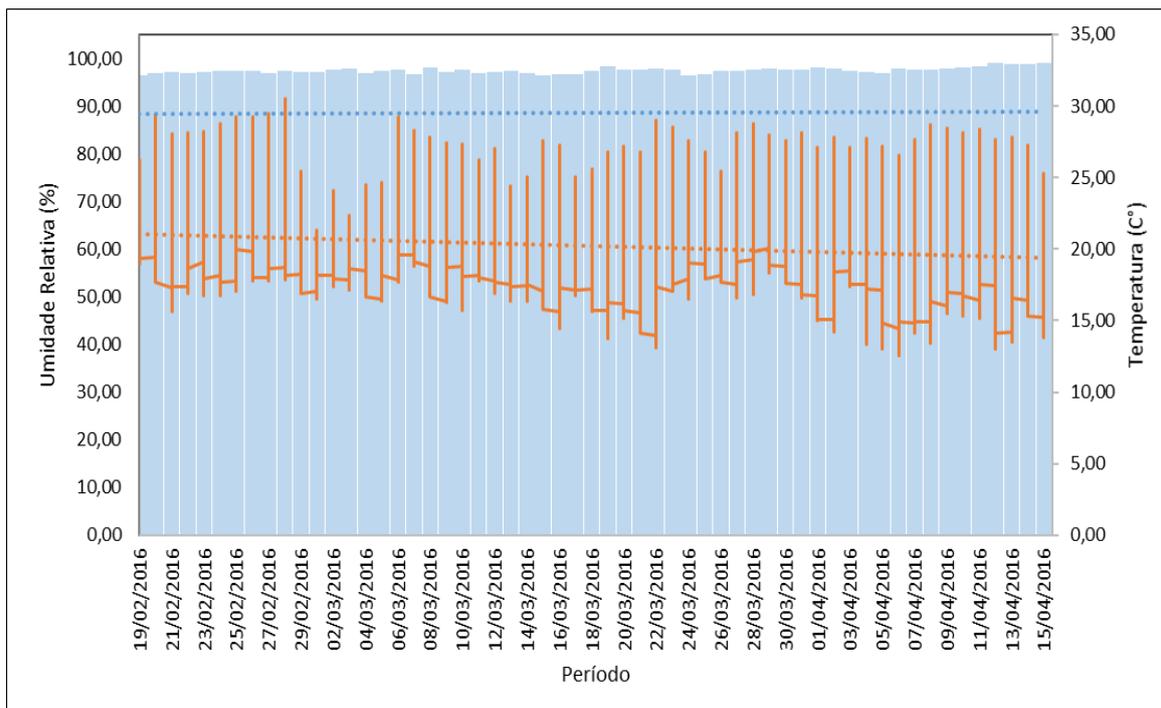


FIGURA 32: RELAÇÃO TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DA BACIA DO CÓRREGO DANTAS.

Quando a temperatura está baixa e a umidade relativa do ar for muito alta, faz com que a sensação térmica seja mais alta. Enquanto que abaixo do ponto de saturação há o ponto de orvalho, sendo assim quando a umidade se acumula sob a forma de pequenas gotas ou neblina torna a ocorrência desse fenômeno comum na região.

5.4 Análise da Curva de Potencial Hídrico

Para a compreensão da dinâmica da água no solo observamos que todas áreas estudadas podem ser classificadas como franco-arenosas. O conteúdo de água no solo depende, também, da textura e da estrutura do solo. Em solos de textura arenosa, os espaços entre partículas são grandes e a água tende a drenar facilmente entre eles, permanecendo somente água nas superfícies das partículas e nos interstícios entre partículas. Essa condição granulométrica dos solos estudados se mostra presente na questão do potencial hídrico do solo, ou seja, as mudanças são distintas na presença d'água no solo nas diferentes profundidades analisadas.

A variação de sucção nos diferentes usos e coberturas mostram-se com comportamentos diversos (Fig.33). Na área de pastagem a sucção teve um aumento nos 5 cm do solo, e nos 20 cm do solo há um aumento de sucção até encontrar uma

estabilidade. Na área de plantio a variação ocorre de forma diferenciada, pois nos 5 cm primeiros do solo há um acréscimo se mostrando menor que a área de pastagem. Portanto há um decréscimo quando essa fração d'água caminha para camadas mais profundas do solo nas amostras apresentadas.

Na área de capoeira observa-se um aumento nos 5cm primeiros do solo e conforme há um aumento da profundidade esse valor diminui, se assemelhando com o comportamento na área de plantio. A área da mata possui um comportamento controverso quando comparado com as outras áreas analisadas. Ela possui os maiores valores de sucção nos 5cm primeiros do solo, se destacando dos outros usos. Nos 20cm abaixo do solo verifica-se uma continuidade do aumento da taxa, podendo está relacionada a malha fina de raízes.

O que podemos notar é que os diferentes usos e cobertura influenciam de maneira significativa o comportamento da sucção e porosidade do solo. A área da mata teve uma maior variação quando comparada com outras pela presença da cobertura vegetal e presença de raízes, propiciando condições diferenciadas para água.

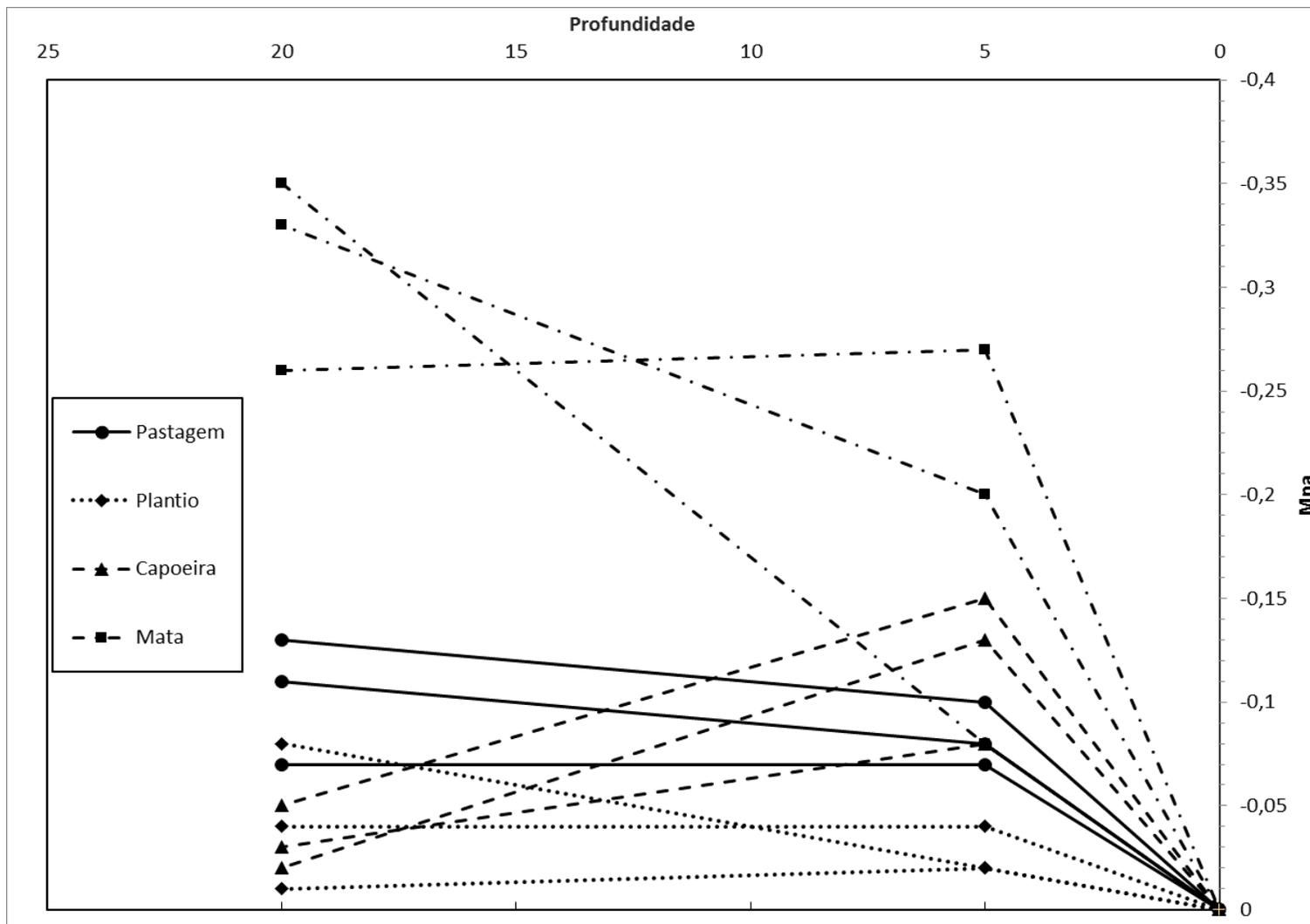


Figura 33: Comportamento da sucção da água em seus diferentes usos e coberturas.

Quando observamos as variações em detalhe fica em evidência que área da mata posui um comportamento muito característico, quando comparada com as outras regiões estudadas (Fig.34 e Fig.35). Essa saliência é nítida nos 5 primeiros cm do solo como nos 20 cm, sem influência das raízes. Nos 5cm do solo que verificamos as maiores alterações de uma área para outra, ou seja, padrões próprios pelo comportamanto e uso da área.

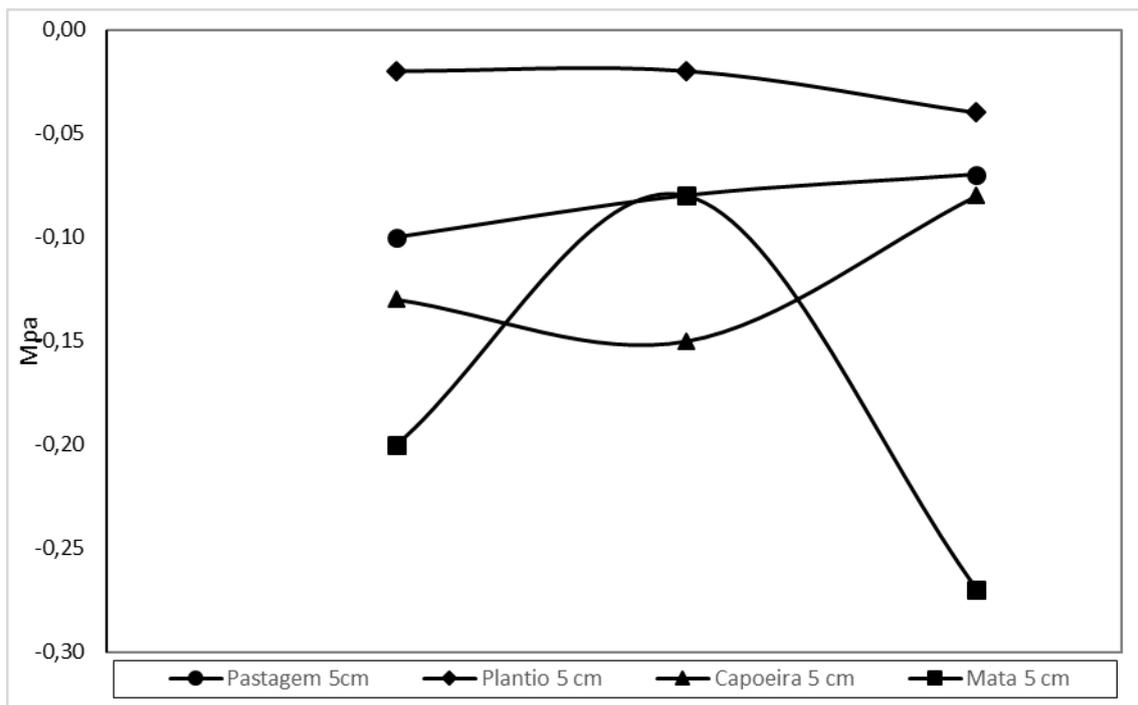


FIGURA 34: COMPORTAMENTO DA SUCÇÃO NOS 5CM DO SOLO.

Nas camadas mais profundas as variações comportamentais da água são menos intensas, quando comparadas com as camadas iniciais do solo (Fig.35). Podemos resaltar que as interações nas camadas mais inferiores sofrem poucas perturbações, pois a influência das raízes passa a ser menos intensas ou nulas em alguns casos.

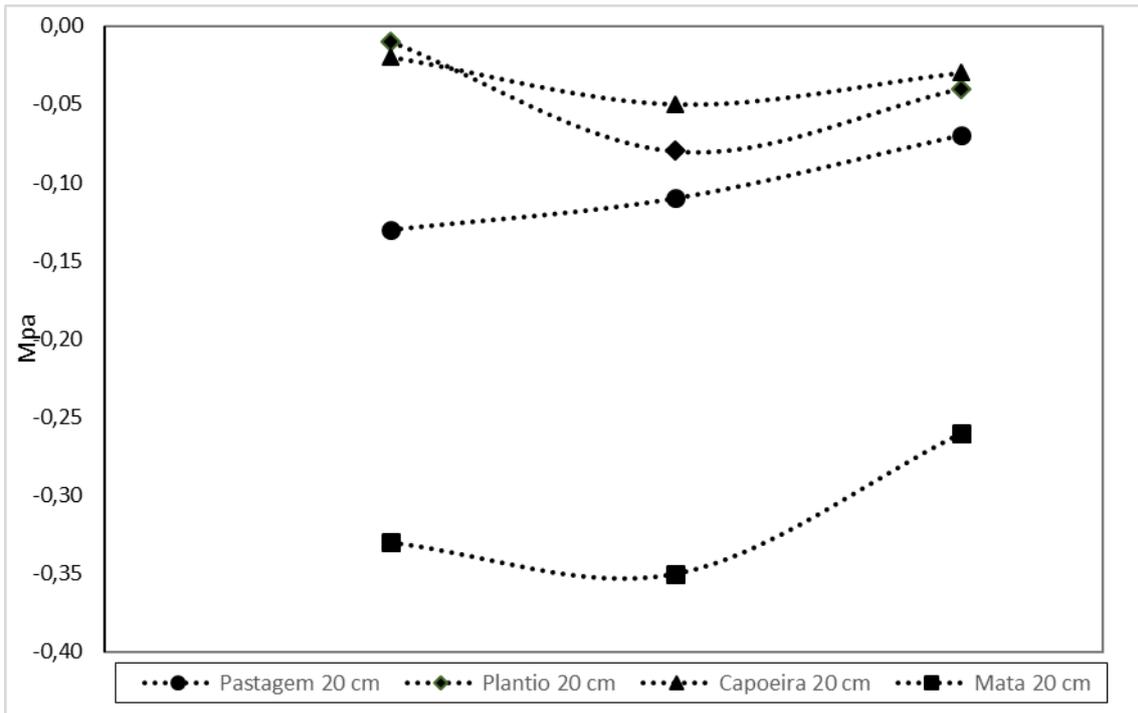


FIGURA 35: COMPORTAMENTO DA SUÇÃO DA ÁGUA NOS 20 CM SOLO.

6-CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se que os saprolitos rasos estão muito sujeitos aos movimentos de massa do tipo translacional, que é esperado, mas poucas vezes é confirmado por trabalhos de campo e mapeamentos de solos em escala de detalhe (1:10.000). O mapeamento de solos com conotação geotécnica, bem mais simples que os mapeamentos pedológicos tradicionais, mostram-se adequados para individualização de unidades distintas em termos de comportamento hidrológico e mecânico, que influenciam a resistência aos cisalhamentos dos solos de encosta. Sendo de grande importância para conhecimento das características presentes na bacia estudada, compreendendo como e porque ocorre o processo de infiltração diferenciado em diversos usos e manejos.

Os ensaios de granulometria pela classificação SBCS (brasileira) e UDSE (americana) mostram que a tendência dos solos da bacia do Córrego Dantas é franco-arenosos. Os solos dessa região apresentam uma proporção significativa de partículas de areia, possuindo em sua dispersão fragmentos grosseiros. O tipo de estrutura de solo influencia nos mecanismos de infiltração da água e também nos possíveis deslizamentos na região, pois sua estrutura favorece ao rápido preenchimento dos poros pela água.

Nos testes de infiltrações mostram uma rápida e alta taxa de infiltração na área de capoeira, ressaltam como uso e cobertura do solo influenciam na dinâmica hidrológica e no favorecimento de áreas de deslizamentos. As áreas de pastagem, plantio e mata mantêm comportamentos similares, onde há decréscimos da infiltração tendendo a se manterem constantes.

Nos ensaios de potencial hídrico mostram que a mata possui um grau de sucção muito distinto quando comparado com os outros usos. Esse fato pode estar relacionado pela presença de raízes, aumentando os caminhos preferenciais da água no solo e a sua porosidade. Essa porosidade está correlacionada com a granulometria, sendo assim o preenchimento dos espaços dos macroporos pela água são mais velozes, acelerando a saturação do solo. O solo saturado em um pequeno espaço de tempo, torna suscetível o deslizamento de massa.

Apesar das limitações dos ensaios relacionados a viabilidade financeira e as idas a campo, de maneira geral, os resultados e os dados obtidos foram interessantes sobre

como os diferentes usos alteram mecanismos de infiltração da água no solo. Estes resultados expressam comportamentos da água dos 5 cm e 20 cm do solo, mostrando que na camada mais superficial as taxas de infiltração são mais acentuadas. De acordo com as análises da Bacia do Córrego Dantas os solos têm uma tendência de preenchimento rápido dos poros pela água, em eventos de intensidade pluviométrica.

Como sugestão de pesquisas futuras, recomenda-se a execução de ensaios de porosidade nos centímetros iniciais do solo para compreender a variação nesse espaço-tempo o processo inicial de infiltração. Para melhor investigação e confirmação da diferença sazonal das taxas de infiltração, como se daria o comportamento desses ambientes em estação de inverno. Bem como, a determinação de ensaios de macroporosidade e microporosidade para entender a umidade antecedente dos diferentes usos, para permitir análises de fluxo que modelem a evolução do mecanismo de infiltração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDAOO, A.; BOUASKER, M.; AL-MUKHTAR, M. Soil-water characteristic curve of lime treated gypseous soil. *Applied Clay Science*. Elsevier. 128- 138 p. 2014.

ALMEIDA, F.F.M. & CARNEIRO, C.D.R. Origem e evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 135-150, jun. 1998.

ASMUS, H.E. & FERRARI, A.L. Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil. *Revista do Instituto Geológico, IG São Paulo*, 1999. Projeto REMAC, 4, p. 75 - 88.1978.

AVELAR, A.S; COELHO NETTO, A.S; LACERDA, W.L. BECKER, L.B & MENDONÇA, M.B. (2011) "Mechanisms of the Recent Catastrophic Landslides in the Mountainous Range of Rio de Janeiro, Brazil", *Proc. of the 2nd World Landslide Forum*, Roma, em CD.

BARBOSA A.L.M. & GROSSI SAD J.H.,. Batólito granítico da Serra dos Órgãos, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Contribuições à Geologia e a Petrologia*, Núcleo de Minas Gerais – SBGM 1985, pp. 49-61. 1985.

BRADY, N.C & WEIL, R.R. *The Nature and Properties of soil*. 13. Ed Nova Jersey: Pearson. 2002.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. Cap. 2. Vertentes: processos e formas. Editora: Edgard Blucher. 2ª Edição. Pag. 26-61. 1980.

CHRISTOPHERSON, R.W. Cap. 14 *Sistemas e Geoformas Fluviais*. *Geossistemas: Uma introdução à geografia física*. Editora Bookman, 7º ed, 2012. p 429- 458.

COELHO NETTO, A.L. Cap. 3 *Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia*. Organizadores GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. *Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos*. Rio de Janeiro. Editora Bertrand Brasil, 2º ed, 1995. p 114-122.

COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A.; CRUZ, E.S. 1999. Conditions and problems for landslides in southeastern Brazil. In: *Symposium on Mitigation of Water-related Disasters*, Nagoya, Japão. 1999. 16-18 p. 1999.

COELHO NETTO, A. L.; SATO, A. M.; AVELAR, A. S.; VIANNA, L. G. G.; ARAÚJO, I. S.; FERREIRA, D. L. C.; LIMA, P. H.; SILVA, A. P. A.; SILVA, R.

P.2011. January 2011: The extreme landslide disaster in Brazil. 2011.roc. of the 2nd World Landslide Forum, Roma, em CD.

COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S.; SATO, A. M; DIAS, M. A.; NEGREIROS, A. B. Vulnerabilidade em Geossistemas Montanhosos e Desastres Causados na Interface Floresta-Urbana: Controles Geológicos, Geomorfológicos e Geoecológicos. In: LARCEDA, W. A.; PALMEIRA, E. M, COELHO NETTO, A. L.; EHRLICH, M. Desastres Naturais: Suscetibilidade e riscos, mitigação e prevenção gestão e ações emergenciais. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2012. 211 p.

COURTNEY,F.M. & TRUDGILL,S.T. The Soil: An Introduction to Soil Study. Chapter 2. Page 11-30. Second Edition. 1988.

BIGARELLA, J. J. BECKER, R. D.; PASSOS, E.; Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1996 v. 2. 875 p.

BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E.; Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: Ed. Da UFSC. Vol. 3 Pag.877-1436. 2003.

BRADY,N.C & WEIL,R.R. The Nature and Properties of Soils. Chapter 1: The soils Around Lis. Page 17 Chapter 5: Soil Water: Characteristics and Behavior. Page 174-216. Pearson. Fourteenth Edition. 2008.

BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Mapeamento de Riscos em Encostas em Margens de Rios. CARVALHO, E. S. M.; OGURA, A. T. (Orgs.). Brasília. 2007, 176p.

CPRM. Serviço Geológico Brasileiro. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/rj/geomorfologico/geomorfo_mpunid.pdf>. Acessado em 22 de jan de 2015.

CRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo. Editora Edgard Blucher, 2º ed. 1980. p 149.

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. Landslide types and processes, in Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L. eds. Landslides—Investigation and mitigation: Transportation Research Board, Special report no. 247, National Research Council, National Academy Press, Washington. D.C, 1996. p 36—75.

- CURI, N.; LARACH, J. O.I.; KAMPF, N.MONIZ, A.C.; FONTES, L.E.F. Vocabulário de ciências do solo. Campinas. Sociedade Brasileira de Ciências do solo, 193.90p.
- DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; MEDINA, A. I. M. SILVA, C.R.; PIMENTEL, J.; LUMBRERAS, J. F.; CALDERANO, S. B.; CARVALHO FILHO, A. Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Oficina Internacional de Ordenamento Territorial Mineiro. Rio de Janeiro. 2005.
- DEGACON. Informações sobre aparelho WP4C. Disponível em < <http://www.decagon.com.br/> >. Acessado em 15 de janeiro de 2014.
- DE PLOY, J; CRUZ, O. Landslides in the Serra do Mar, Brazil. *Catena*, v.6, n.2. P111-122.1979.
- DOURADO, Francisco et al. (2012) - 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. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ - Vol. 35 - 2 p.43-54.
- DRM. Departamento de Recursos Minerais. Correlação de Chuvas x Escorregamentos no Estado do Rio de Janeiro no mês de Fevereiro de 2012. Relatório Técnico 03-2012. Rio de Janeiro.
- DUNNE, T.; MOORE, T.R. & TALYOR, C.H. Recognition and Prediction of Runoff Producing Zones in Humid Regions. *Hydrological Sci. Bull-Sci. Hydrologiques*, 3, 9 305-327, 1975.
- EGUICHI, E. S.; SILVA, E. L.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade da condutividade hidráulica do solo saturado e da taxa de infiltração básica determinada “in situ”. In: *Ciênc. Agrotec. Lavras. Edição especial*. 2003. 1607-1613 P.
- EMBRAPA. Zoneamento Agroecológico do Estado do Rio de Janeiro. ISSN 1517-1981. 2003.
- FEUERHARMEL, C. GEHILING, W.Y.Y. BICA, A.V. Determination of the Soil-Water Characteristic Curve of Undisturbed Colluvium Soils. In: *International Symposium Advanced Experimental Unsaturated Soil Mechaniscs*. Experrus. Trento Itália. Vol. I. Page 345-349. 2005.

- FRAGA, J. S. Aspectos Vegetacionais Relevantes à Hidrologia de Florestas Secundárias com Idades Distintas: Subsídios à compreensão da estabilidade de encostas. Dissertação de Mestrado. UFRJ. 2014.
- FREEZE, A.; CHERRY, J. Groundwater. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 603 p.1979.
- GONÇALVES, F. C.; MORAES, M. H. Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo. Irriga. v. 17. 337-345 p. 2012.
- GOMES, R.A.T. Modelagem de previsão de movimentos de massa a partir da combinação de modelos de escorregamentos e corridas de massa. 2006. 102p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2006.
- GROSSI Sad, J., PINTO, C.P., SERPA, J.C., DUTRA, J.E., HETTICH, M., Andrade, N.E., Folhas Anta, Duas Barras, Teresópolis e Nova Friburgo. Projeto Carta Geológica do Rio de Janeiro, DRM/GEOSOL. 1980.
- GUERRA, A. J. T.& MARÇAL, M. S. Geomorfologia Ambiental, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.
- GUERRA, A.J.T. & MARÇAL, M.S. Cap 3 Geomorfologia e Unidade de Paisagem. Geomorfologia Ambiental. Editora Bertrand Brasil, 3 ° ed. 2010. P 93-147.
- GUIDICINI, G. e NIEBLE, C.M. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavações. Edgard Blucher, 2 eds., 194p. 1984.
- GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; GOMES, R.A.T.; FERNANDES, N.F. Movimentos de Massa. In: FLORENZANO, T. (org) Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- HILLEL, D. Fundamentals of soil physics. San Diego, California. Academic press. 1980.
- HEILBRON, M., PEDROSA-SOARES, A.C., CAMPOS NETO, M., SILVA, L.C., TROUW, R.A.J., JANASI, V.C., A Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. (Eds.), O desvendar de um continente: a moderna geologia da América do Sul e o legado da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, 203-234. 2004.
- HEILBRON, M.; MOHRIAK, W.; VALERIANO, C.M.; MILANI, E.; ALMEIDA, J.C.H. & TUPINAMBÁ, M. From Collision to Extension: The Roots of the

Southeastern Continental Margin of Brazil. In: Mohriak, W.U. & Talwani, M. (Eds), Atlantic rifts and continental margins. Washington, Am. Geoph. Union, Geoph. Monogr. Ser. 115; 1-32. 2000.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. O Manual de Deslizamento – Um Guia para a Compreensão de Deslizamentos. Contribuição e tradução para o Brasil por Paulo R. Rogério, Engenheiro Civil e Geotécnico, MSc em engenharia a University of California at Los Angeles e PE (Professional Engineer) licenciado nos estados de Washington, Oregon, California e Colorado, E.U.A. e Juarês José Aumond, Geólogo/Dr. em Engenharia Civil. Serviço Geológico dos Estados Unidos e Serviço Geológico do Canadá. U.S. Geological Survey. 2008.

HORTON, R.E. The role of infiltration in the hydrological cycle; Trans. Am. Geophys. Union, 14, 446-460, 1993.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=330340>>. Acessado em 22 de jan de 2015.

KOBIYAMA, M.; CHECCHIA, T.; SILVA, R. V.; SCHRODER, P. H; GRANADO, A.; REGINATTO, G. M. P. Papel da Comunidade e da Universidade no gerenciamento de Desastres Naturais. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais. 2004. 834-846p.

JOSÉ, O. F. Análise do Incremento de Resistência ao Cisalhamento do Solo Conferido por Raízes Florestais em Nova Friburgo, RJ. Dissertação de Mestrado. COPPE, UFRJ. 2016.

LAWALL, S. Modificações na hidrologia dos solos em respostas as alterações de uso e cobertura da Bacia Hidrográfica do Bonfim, Região Serrana do Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado. Instituto Geociências. UFRJ. 2010.

LENZI, E.; FAVERO, L.O.B.; LUCHESE, E.B. Cap. 11 Água no Solo. Introdução a Química da Água: Ciência, Vida e sobrevivência. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2009. P 388-406.

LESPSCH, I. F. 19 Lições de Pedologia. Cap. 7 Física do Solo II: Retenção e Movimento da Água, Temperatura etc. Editora Oficina Textos. Pág. 139 -159. 2011.

- LIMA, P. H. M. O Índice de Drenagem como Subsídio à Análise Espacial de Áreas Suscetíveis a Ocorrência de Movimentos de Massa. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia. URFJ. 2015.
- LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba. 497 p. 2000.
- MAHMOOD, K.; KIM, J. M.; ASHRAF, M.; ZIAURREHMAN. The Effect of Soil on Matric Suction and Stability of Unsaturated Slope under Uniform Rainfall. Journal of Civil engineering. 1294- 1299 P. 2016.
- MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBIYAMA, M. Banco de dados de desastres naturais: análises de dados globais e regionais. In: Caminhos de Geografia, v. 6. 2006. 130-149 P.
- MATTEDI, M. A.; BUTZKE, I. C. A relação entre o social e o natural nas abordades de hazards e de desastres. In: Ambient. Soc., July/Dec. v.9. 2001. 93-114 p.
- MCLAREN, R.G. & CAMERON, K. C. Soil Science: Sustainable Production and Environmental Protection. 2. Ed Auckland: Oxford University Press. 1996.
- MOURA, E.F. Percepção de risco em áreas de população vulnerável a desastres naturais do município do Guarujá – SP. 2011. 88p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2011.
- PASSARELA, S.M.; MACHADO, F.B.; RIEDEL, P.S.; LOPES, E.S.S.; FERREIRA, M.V.; MOREIRA, M.R.; AZZI, A.A. Análise da relação entre escorregamento e formas de vertentes no município de Cubatão (SP) e seus arredores. Geociências, v.27, n.1, p. 7-20, 2008.
- PIRONE, M.; PAPA, R.; NICOTERA, M. V.; URCIUOLLI, G. Soil water balance in an unsaturated pyroclastic slope for evaluation of soil hydraulic and boundary conditions. Journal of Hydrology. 63-68 p. 2015.
- PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V.S.; SILVA, D.D. Infiltração da Água no Solo. Editora UFV. Universidade Federal de Viçosa. 2ª Edição. 2003.
- REICHARDT, K. Águas em sistemas agrícolas. São Paulo. Manual.1987.
- ROSS, J.L.S. Geomorfologia: Ambiente e Planejamento. São Paulo: Contexto, 1990. 85p.

- ROSS, J. L. S. Geomorfologia Ambiente e Planejamento. 2ª ed. São Paulo: Contexto, 1991.
- ROOSE, E.; BLANCANEAU, Ph.; FREITAS, P.L. Un simple test de terrain pour évaluer la capacité d'infiltration et le comportement hydrodynamique des horizons pédologiques superficiels: méthode et exemples. Cahiers Orstom, Série Pédologie (Spécial érosion: réhabilitation des sols), Paris, vol. XXVIII, n.2:413-419. 1993.
- SANTOS, M. A. N; PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Water infiltration in na Ultisol after cultivation os common bean. Revista Brasileira de Ciência do Solo. V.38. 1612-1620 p. 2014.
- SILVA, M.A. Aplicação de lógica nebulosa para previsão do risco de escorregamentos de taludes em solo residual. 2008. 150p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, 2008.
- SILVA, R. P. Comportamento Hidrológico de Encosta em Substrato Rochoso Granítico sob Influência de Deslizamento Raso -Nova Friburgo, Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Geologia e Engenharia ambiental. UFRJ. 2014.
- THOMAZ, E. L.& ROSS, J. L. S. Processos Hidrogeomorfológicos em Vertente com Solos Argilosos Rasos em Guarapuava- PR, Brasil. Revista Brasileira de Geomorfologia. Ano 7. Nº 2. 2006.
- TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir. São Paulo. Instituto Geológico. p.196. ISBN 978-85-87235-09-1. 2009.
- TUPINAMBÁ, M.; WILSON, T. & HEILBRON, M. (2012) "Evolução Tectônica e Magmática da Faixa Ribeira entre o Neoproterozoico e Paleozoico Inferior na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil", Anuário Inst. Geoc., v. 35, n. 2, p. 140-150.
- UN-ISDR. Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives. United Nations. Genebra, Suíça: UN, 2004. 457p. Disponível em: <<http://www.unisdr.org/we/inform/publications/657>>. Acesso em: 28 de jan. 2015.
- VANAPALLI, S.K; FREDLUND, D.G; PUFAHL, D.E. The Influence of Soil Structure and Stress History on the Soil-Water Characteristics of a Compacted Till. 1999.

VARNES, D.J. Slope Movement and Types and processes. In: Schuster, R.L. e Krizek, R.J.(Eds), Landslides: Analysis and Control. Transportation Research Board Special Report 176. National Academy of Sciences, Washington DC, 11-33pp. 1978.

VELOSO, R. B.; RANGEL FILHO, A, L, R, LIMA, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira, adptada a um sistema universal. IBGE. Rio de Janeiro. 1991

VINAGRE, R.; AVELAR, A.S.; COELHO NETTO, A.L.; BARROS, L.; LACERDA, W. A Geologia Estrutural e sua Influência nos Movimentos de Massa, Friburgo, RJ, SE do Brasil. In Prep.

WOHL, E.; BARROS, A.; BRUSELL, N.; CHAPPELL, N. A.; COE, M.; GIAMBELLUCA, T.; GOLDSMITH, S.; HARMON, R.; HENDRICKX, J. M. H.; JUVIK, J.; MCDONNELL, J. ORGDEN, F. The hydrology of the humid tropics. Nature Climate Change. DOI: 10.1038/NCLIMATE1556. 2012.