

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE AGRONOMIA**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO**

**Mapeamento Digital de Solos por Regressão Logística  
Múltipla em Ambiente de Mar de Morros em  
Pinheiral, RJ**

**Elias Mendes Costa**

**2015**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS POR REGRESSÃO  
LOGÍSTICA MÚLTIPLA EM AMBIENTE DE MAR DE MORROS EM  
PINHEIRAL, RJ**

**ELIAS MENDES COSTA**

*Sob a Orientação da Professora*  
**Lúcia Helena Cunha dos Anjos**

*e Co-orientação do Pesquisador*  
**Ademir Fontana**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Ciência do Solo.

Seropédica - RJ  
Fevereiro de 2015

## Ficha catalográfica

631.4798153

C837m

T

Costa, Elias Mendes, 1989-

Mapeamento digital de solos por regressão logística múltipla em ambiente de Mar de Morros em Pinheiral, RJ / Elias Mendes Costa. – 2015.

134 f.: il.

Orientador: Lúcia Helena Cunha dos Anjos.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo.

Bibliografia: f. 84-92.

1. Levantamentos do Solo – Pinheiral (RJ) – Teses.
  2. Mapeamento do solo – Pinheiral (RJ) – Teses.
  3. Solos – Sensoriamento remoto – Teses.
  4. Ciência do solo – Teses.
  5. Mapeamento digital – Teses.
- I. Anjos, Lúcia Helena Cunha dos, 1957- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA- CIÊNCIA DO SOLO**

**ELIAS MENDES COSTA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/02/2015

---

Lúcia Helena Cunha dos Anjos. Ph.D. UFRRJ  
(Orientador)

---

Igo Fernando Lepsch. Ph.D. IAC

---

Carlos Eduardo Gabriel Menezes. Dr. Campus Nilo Peçanha – Pinheiral /IFRJ

## DEDICATÓRIA

Dedico em primeiro lugar às pessoas que dedicaram parte de suas vidas em função da minha e de meus irmãos. Aos meus pais (João Raulino Mendes e Marly Mendes Costa), só a nossa família sabe o que passaram para que seus filhos pudessem estudar e fazer um curso superior. Dedico também à pessoa que mais amo nesse mundo, meu filho (Arthur Souza Mendes) muito aprendi sobre a vida com ele, e por ele tento ser a cada dia uma pessoa melhor.

*Dedico!!!*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus pelo Dom da vida, pela família que tenho e pelos amigos que fiz. Agradeço aos meus familiares (principalmente aos meus pais Marly e Raulino, meus irmãos Janaína, Jaqueline e Joabe) pelo apoio, e por estarem comigo mesmo que não fisicamente. Agradeço muito a Luzilene Maria de Souza, que tão bem cuidou de nosso filho, sobretudo na minha ausência durante o mestrado.

Agradeço ao comitê de orientação (Lúcia Helena Cunha dos Anjos e Ademir Fontana) pelos ensinamentos e paciência, comigo e com meu português sofrível.

Agradeço aos Professores Mauro Antonio Homem Antunes e Paula Debiasi pelo ensinamento e ajuda no processamento digital das imagens, ao Alessandro Samuel Rosa pela ajuda com as técnicas de MDS e revisão do texto.

Aos meus orientadores na Graduação que me deram a oportunidade de estágio e que fizeram com que se despertasse em mim o interesse pela ciência, Marcos Gervasio Pereira e Arcângelo Loss.

Aos Pesquisadores da Embrapa Solos, Waldir de Carvalho Júnior e César da Silva Chagas, a Professora Michele Duarte Menezes que contribuíram, sobretudo no entendimento das técnicas de MDS.

A todos os professores da UFRRJ, graduação e Pós-graduação que muito contribuíram para minha formação.

A banca examinadora, Igo Fernando Lepsch e Carlos Eduardo G. Menezes, que muito tem a contribuíram com a versão final dessa dissertação.

Aos órgãos financiadores da pesquisa: CNPQ, FAPERJ, CPGA-CS/UFRRJ, Embrapa Solos e o IFRJ Campus Nilo Peçanha.

Ao pessoal do Laboratório de Gênese e Classificação de Solos (LGCS) da UFRRJ, pela ótima convivência e pela ajuda, desde a coleta a geração dos mapas de solos.

Ao pessoal do Alojamento da graduação (321 e 322), Pós - graduação (da Rural), Pós - graduação (da Embrapa) pelos ótimos momentos de convivência e descontração (churrascos).

Ao CPGA-CS e todos os professores e funcionários (em especial Maria Helena), pela estrutura de pesquisa e conhecimentos transmitidos e apoio no trabalho.

Muitíssimo Obrigado!!!

## RESUMO GERAL

COSTA, Elias Mendes. **Mapeamento digital de solos por regressão logística múltipla em ambiente de Mar de Morros em Pinheiral, RJ**. 2015. 135f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

O levantamento de solos compreende a descrição das características morfológicas, físicas e químicas dos solos, a descrição da superfície e a determinação da distribuição dos solos na paisagem de uma determinada área, e pode ser utilizado para diversos fins. O conhecimento das características dos solos e sua distribuição na paisagem são fundamentais para o planejamento do uso e conservação das terras. O uso de técnicas de mapeamento digital de solos (MDS) pode otimizar a realização e aperfeiçoar os produtos dos levantamentos pedológicos através de ferramentas de sistemas de informações geográficas (SIG). O objetivo geral do estudo foi o de proceder ao MDS em ambiente de Mar de Morros, em Pinheiral (RJ), aplicando a técnica de regressão logística múltipla; além de avaliar se esse método permite boa acurácia dos mapas e demais informações de solos, que possam constituir material base para estudos ambientais e planejamento do uso das terras. O mapeamento de solos envolveu 99 pontos amostrais entre perfis completos e observações de campo, na Fazenda São José do Pinheiros e adjacências, no município de Pinheiral (RJ), com descrição de perfis em pontos pré-selecionados e coleta de amostras para caracterização analítica dos solos. Como a qualidade do levantamento de solos é extremamente dependente do material base disponível, a fase inicial compreendeu a avaliação detalhada da representação da altimetria na área (avaliação do modelo digital de elevação - MDE), além de correções na imagem de satélite (*Rapid Eye*) e avaliação do seu erro posicional. O MDE mais adequado como material base foi identificado e, com o suporte de imagens de satélite e mapas de geologia e solos, foi estabelecida a relação matemática entre os solos e as variáveis discriminantes, ou seja, aquelas intimamente relacionadas com a gênese e distribuição dos solos. Para tal, foram ajustados 5 modelos para predição de classes de solos e 6 modelos para a predição de unidades de mapeamento. Os resultados indicaram que o MDS obtido usando como variável dependente a unidade de mapeamento aumentou o poder de predição dos modelos logísticos (acurácia 84% e kappa 82%) comparativamente a predição de classes de solos (acurácia 54% e kappa 43%). As técnicas de geoprocessamento, processamento digital de imagens e mapeamento digital se mostraram ótimas ferramentas para auxílio no levantamento de solos; além de fornecer produtos de caráter mais quantitativo, onde é possível avaliar o erro. A variedade de produtos gerados por essas técnicas podem auxiliar estudos futuros e o planejamento e uso das terras, para a tomada de decisão quanto ao uso racional dos recursos naturais.

**Palavras-chave:** Pedologia. Pedometria. Sensoriamento Remoto. Relação solo-paisagem.

## GENERAL ABSTRACT

COSTA, Elias Mendes. **Digital soil mapping by multiple logistic regression in the Mar de Morros environment, Pinheiral, RJ.** 2015. 135p Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

The soil survey comprises the description of the morphological, physical and chemical soil characteristics, description of the surface, and determination of soil distribution in the landscape of a certain area, and it may be used for various purposes. The knowledge about soil characteristics and their distribution in the landscape are essential for planning the land use and conservation. The digital soil mapping (DSM) techniques may improve the soil surveying and the products derived from that through the use of geographic information systems tools (GIS). The overall objective of the study was to carry out a DSM in the environment of *Mar de Morros* in Pinheiral (RJ), applying the multiple logistic regression technique; in addition to evaluating if this method allows to obtain good accuracy of maps and other soils information, which may constitute basic material for environmental studies and land usage planning. The soil mapping involved 99 sampling points, among complete profiles and simple field observations, in the Pinheiros farm and adjacent areas, in the municipality of Pinheiral (RJ). Profiles in selected sites were described and sampled for analytical characterization of the soils. Since, the quality of the soil survey is dependent on the base material, the initial phase comprehended the detailed evaluation of the representation of the altimetry in the area (evaluation of the digital elevation model - DEM), and corrections in the satellite image (Rapid Eye) and evaluation of the positional error. The most adequate DEM was selected as base material and, with the support of satellite images and geology and legacy soil maps, it was established the mathematical relationship between soils and the discriminant variables for the most part closely related to the genesis and distribution of soils. For that, 5 models were adjusted to predict soil classes, and 6 models for the prediction of mapping units. The results indicated that the DSM obtained using the soil mapping unit as dependent variable increased the predictive power of the logistic models (84% accuracy and kappa 82%), when compared to the prediction of soil classes (accuracy 54% and kappa 43%). The geoprocessing technologies, the digital image processing, and the digital mapping proved to be good tools to aid in the soil survey; besides they provide products of more quantitative nature, which allow evaluating the error. The variety of products generated by these techniques may help future studies and the planning and usage of the land, to assist in the decision making about the rational use of natural resources.

**Keywords:** Pedology. Pedometry. Remote sensing. Soil landscape relationship.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Figura ilustrativa da área de estudo em Pinheiral, RJ. Adaptada de Santos (2009). .....	8
<b>Figura 2.</b> Estatística descritiva da declividade .....	16
<b>Figura 3.</b> Visualização comparativa entre curvas de nível originais (IBGE – 20 m) e derivadas dos modelos digitais de elevação (MDE).....	17
<b>Figura 4.</b> Visualização comparativa entre curvas de nível (Derivadas de MDE– 10 m) e derivadas dos modelos digitais de elevação (MDE).....	18
<b>Figura 5.</b> Comparação entre redes de drenagem derivadas (linha tracejada) e drenagem mapeada (linha cheia) para cada MDE. ....	20
<b>Figura 6.</b> Imagem <i>RapidEye</i> de 17/08/2011 sem (a esquerda) e com (a direita) correção atmosférica, com a área da Fazenda São José do Pinheiro delimitada em preto. Fonte: Contrato MMA n° 30/2012, celebrado entre o MMA e a Empresa Santiago & Cintra Consultoria.....	34
<b>Figura 7.</b> Reflectância aparente e da superfície em função da banda para diferentes alvos. ....	35
<b>Figura 8.</b> Mapa de uso do solo da Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral – RJ, feito pela classificação supervisionada (MaxVer) da imagem <i>RapidEye</i> de 17/08/2011. Fonte: Contrato MMA n° 30/2012, celebrado entre o MMA e a Empresa Santiago & Cintra Consultoria.....	37
<b>Figura 9.</b> Mapas do Índice de vegetação (NDVI) da Fazenda São José do Pinheiro (esquerda) e do Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) (direita), da Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral – RJ. Obtidos a partir de operações de bandas da imagem <i>RapidEye</i> de 17/08/2011. Fonte: Contrato MMA n° 30/2012, celebrado entre o MMA e a Empresa Santiago & Cintra Consultoria.....	40
<b>Figura 10.</b> Valores médios de precipitação pluviométrica e temperatura, no período de 2005 a 2010. PPT=precipitação; T=temperatura média Fonte: Portilho et al. (2011). Dados da estação meteorológica automática do IFRJ, campus Nilo Peçanha, em Pinheiral-RJ .....	49
<b>Figura 11.</b> Feições morfológicas da região do Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral, RJ. Foto: Elias Mendes Costa, 2012. ....	50
<b>Figura 12.</b> Mapa litológico do município de Pinheiral - RJ. Fonte: <a href="http://www.viconsaga.com.br/lageop/downloads_bases.php#">http://www.viconsaga.com.br/lageop/downloads_bases.php#</a> Processado pelo Laboratório de Geoprocessamento (UFRJ). ....	52
<b>Figura 13.</b> Mapa de litologia da Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral - RJ. Adaptado e recortado de <a href="http://www.viconsaga.com.br/lageop/downloads_bases.php#">http://www.viconsaga.com.br/lageop/downloads_bases.php#</a> . ....	52
<b>Figura 14.</b> Feições Geomorfológicas do município de Pinheiral - RJ. Fonte: <a href="http://www.viconsaga.com.br/lageop/downloads_bases.php#">http://www.viconsaga.com.br/lageop/downloads_bases.php#</a> Processado pelo Laboratório de Geoprocessamento (DG/IA/UFRJ) .....	53
<b>Figura 15.</b> Mapa de unidades de mapeamento da Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral - RJ. ....	64
<b>Figura 16.</b> Proporção das classes de solos observadas na área da Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral, RJ. ....	73
<b>Figura 17.</b> Agrupamento das classes de solos observadas na área da Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral, RJ. ....	73
<b>Figura 18.</b> Proporção das unidades de mapeamento observadas na área da Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral, RJ. ....	74
<b>Figura 19.</b> Agrupamento das unidades de mapeamento observadas na área da Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral, RJ. ....	74

<b>Figura 20.</b> Mapa digital das classes de solos na Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral (RJ), preditas pelo modelo logístico 5. ....	79
<b>Figura 21.</b> Mapa digital das unidades de mapeamento na Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral (RJ), preditas pelo modelo logístico 5.....	80
<b>Figura 22.</b> Mapa digital das unidades de mapeamento na Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral (RJ), preditas pelo modelo logístico 6.....	81

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Forma de obtenção dos MDEs.....	9
<b>Tabela 2.</b> Critérios de classificação das cartas topográficas segundo a PEC para as escalas de 1:25.000 e 1:50.000.....	10
<b>Tabela 3.</b> Estatística descritiva e valores de RSME de cada MDE .....	11
<b>Tabela 4.</b> Valores de tolerância vertical e erro padrão (EP) para cada MDE.....	12
<b>Tabela 5.</b> Avaliação dos MDEs em relação a tolerância vertical .....	13
<b>Tabela 6.</b> Avaliação dos MDEs em relação ao erro padrão.....	13
<b>Tabela 7.</b> Número e extensão das depressões espúrias dos MDEs avaliados.....	14
<b>Tabela 8.</b> Estatística descritiva da declividade .....	15
<b>Tabela 9.</b> Características técnicas gerais dos satélites <i>RapidEye</i> . .....	29
<b>Tabela 10.</b> Parâmetros de entrada usados no modelo 6S.....	30
<b>Tabela 11.</b> Pontos de controle coletados na área de estudo em Pinheiral (RJ) e pontos da imagem <i>RapidEye</i> . .....	31
<b>Tabela 12.</b> Padrão de exatidão cartográfica (PEC) da planimetria dos produtos cartográficos para a escala de 1:25.000. ....	32
<b>Tabela 13.</b> Fórmulas dos índices de vegetação NDVI e SAVI.....	32
<b>Tabela 14.</b> Quantificação das áreas de cada classe de uso do solo classificadas pelo MaxVer, na Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral - RJ.....	38
<b>Tabela 15.</b> Relações entre unidade de mapeamento, unidade litológica, sistema de relevo (geomorfologia) e classes de solos. ....	63
<b>Tabela 16.</b> Modelos de regressão logística multinomial ajustados.....	75
<b>Tabela 17.</b> Matriz de correlação entre as variáveis preditoras.....	77
<b>Tabela 18.</b> Acurácia, Kappa e AIC dos modelos testados para predição de classes de solos .....	78
<b>Tabela 19.</b> Acurácia, Kappa e AIC dos modelos testados para predição de unidades de mapeamento. ....	78

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2 CAPÍTULO I.....	3
AVALIAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PARA ESTUDO DE MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS EM AMBIENTE DE MAR DE MORROS EM PINHEIRAL, RJ.....	3
2.1 – RESUMO.....	4
2.2 – ABSTRACT.....	5
2.3 – INTRODUÇÃO .....	6
2.4 – MATERIAL E MÉTODOS .....	8
2.4.1 – Localização da área de estudo.....	8
2.4.2 – Base de dados .....	8
2.4.3 – Procedimentos para obtenção dos modelos.....	9
2.4.4 – Critérios para avaliação.....	10
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
2.6 CONCLUSÕES .....	21
3CAPÍTULO II.....	22
PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS <i>RAPIDEYE</i> PARA MAPEAMENTO DO MEIO FÍSICO. ....	22
3.1 – RESUMO.....	23
3.2 – ABSTRACT.....	24
3.3 – INTRODUÇÃO .....	25
3.3.1 História da Fazenda São José do Pinheiro e da ocupação e uso do solo na região.....	25
3.3.2 Classificação de imagens de sensoriamento remoto emapeamento do meio físico .....	26
3.4 – MATERIAL E MÉTODOS .....	29
3.4.1 – Forma de aquisição e características das imagens <i>RapidEye</i> .....	29
3.4.2 – Correção atmosférica das imagens <i>RapidEye</i> usando modelo 6S.....	29
3.4.3 – Avaliação da exatidão da ortorretificação das imagens <i>RapidEye</i> .....	31
3.4.4 – Operações de bandas .....	32
3.4.5 – Classificação supervisionada e mapeamento do uso do solo .....	33
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
3.5.1 Correções de imagens e classificação supervisionada com base na reflectância dos alvos .....	34
3.5.2 Avaliação da ortorretificação de imagens <i>RapidEye</i> em ambiente de Mar de Morros .....	41
3.6 CONCLUSÕES .....	43

4	CAPÍTULO III .....	44
	LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS NO AMBIENTE DE MAR DE MORROS EM PINHEIRAL - RJ, COMO SUBSÍDIO AO MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS.....	44
4.1	– RESUMO .....	45
4.2	– ABSTRACT.....	46
4.3	– INTRODUÇÃO .....	47
4.4	– MATERIAL E MÉTODOS .....	49
4.4.1	– Caracterização da área de estudo .....	49
4.4.1.1	- Clima e vegetação .....	49
4.4.1.2	– Relevo.....	49
4.4.1.3	– Geologia .....	50
4.4.1.4	– Geomorfologia .....	52
4.4.1.5	- Solos.....	53
4.4.2	– Amostragem e procedimentos analíticos.....	53
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	55
4.5.1	Classes de solo e aspectos da paisagem relacionados .....	55
4.5.1.1	Sistema de relevo agradacional (planícies aluviais e fundos de vales).....	55
4.5.1.2	Sistema de relevo degradacional (colinas, morros e morrotes).....	56
4.5.2	Unidades de mapeamento.....	57
4.6	CONCLUSÕES .....	65
5	CAPÍTULO IV .....	66
	PREDIÇÃO DOS SOLOS PELA REGRESSÃO LOGÍSTICA MÚLTIPLA .....	66
5.1	– RESUMO.....	67
5.2	– ABSTRACT.....	68
5.4	– MATERIAL E MÉTODOS .....	71
5.4.1	– Variáveis preditoras.....	71
5.4.2	Construção e ajuste dos modelos .....	72
5.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
5.5.1	Avaliação do desempenho dos modelos.....	76
5.5.2	Obtenção dos mapas digitais do solo .....	78
5.6	CONCLUSÕES .....	83
6	CONCLUSÕES GERAIS.....	84
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	85
8	ANEXOS .....	95
9.	APÊNDICE .....	135

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O solo é conceituado como um corpo natural com características próprias e que compõe as paisagens, sendo representado por unidades de referências ou classes de solos estabelecidas pelo homem no mapeamento convencional, atendendo aos critérios taxonômicos dos diversos sistemas de classificação (Cline, 1949). Os métodos convencionais de levantamento de solos baseiam-se nas relações entre solos e fisiografias (relação solo-paisagem) (Ippoliti-Ramiro et al., 2005). Para tanto o pedólogo se utiliza de fotografias ou imagens e faz interpretações visuais das feições do relevo, após o que procede a fase de campo com a identificação dos solos e seu mapeamento (Coelho, 2010).

O profissional da ciência do solo, o pedólogo, se utiliza, para criar, distinguir as classes de solos e estabelecer seus limites, de um “modelo mental”; o qual é intuitivo, e assume a existência de uma forte correlação entre os tipos de solos e os ambientes onde eles ocorrem (Neumann, 2012). Nele, os diferentes tipos ou classes de solos são uma função dos fatores de formação dos solos: clima, organismos, relevo, material parental e tempo. Esse conceito foi divulgado por Jenny (1941) e rapidamente se popularizou, passando a ser o modelo mais utilizado na literatura em pedologia, sendo expresso pela relação:

$$\text{Solo (S) ou qualquer propriedade do solo (s)} = f(\text{cl, o, r, p, t...})$$

Já o mapeamento digital de solos (MDS) é definido como a criação e manipulação de sistemas espaciais de informação de solos, através do uso de modelos numéricos para a inferência das variações espaciais e temporais dos tipos de solos e de suas propriedades, a partir de observações de campo e de laboratório e conhecimento dos solos e de variáveis ambientais correlacionadas (Lagacherie et al., 2007). O MDS está inserido numa área da ciência definida recentemente como pedometria que dentre outras abordagens é o estudo quantitativo da variação dos solos e/ou dos atributos no campo. Esse campo da ciência estabelece relações matemáticas entre classes ou propriedades dos solos e as variáveis preditoras (covariáveis ambientais) para o estudo da distribuição e gênese de solos (McBratney et al., 2000). Segundo esses mesmos autores a pedometria pode ser definida como um método matemático e estatístico para estudo da distribuição e gênese do solo assim como sua caracterização espacial e temporal.

Os princípios do MDS também se baseiam na equação de Jenny (1941), onde os dados (variáveis ambientais) empregados para o mapeamento do solo representam os fatores de formação do solo. Porém, o modelo é complementado por uma componente espacial, a localização geográfica. Assim, a expressão utilizada passa a ser:

$$S(\text{classe de solo ou atributo}) = f(\text{CL, O, R, P, T, N...}) \text{ (McBratney et al., 2003)}$$

Onde: CL (clima), O (organismos), R (relevo), P (material parental), T (tempo) e N (componente espacial).

O mapeamento de classes de solos empregando técnicas de MDS é recente no país e segundo ten Caten et al. (2012a) o primeiro artigo em periódico utilizando o MDS para delimitar classes de solos foi publicado em 2006, no mesmo ano em que ocorreu o 2º Global Workshop em Mapeamento Digital de Solos, no Rio de Janeiro. Dentre as técnicas utilizadas nos onze trabalhos descritos por ten Caten et al. (2012a) predomina a de regressão logística múltipla. Segundo Giasson et al., (2006) essa técnica assim como outras utilizadas no MDS geram um valor de pertinência a cada classe de solo a ser mapeada na paisagem.

Na totalidade dos trabalhos o fator de formação relevo é o mais empregado, o que é justificado pela sua facilidade de uso e ampla disponibilidade, podendo ser obtido a partir de modelos digitais de elevação (MDE) derivados do *Shuttle Radar Topography Mission*

(RSTM) ou de cartas topográficas além de MDE híbridos, que são obtidos por interpolação de informações. Embora, em certos ambientes e paisagens esses modelos apresentam limitações (Pinheiro et al., 2012) e devem ser testados e validados antes de seu uso generalizado. Segundo esses mesmos autores o MDE-híbrido foi o modelo mais adequado para representar a superfície e derivar os atributos topográficos usados no MDS da bacia Hidrográfica Guapi-Macacu (RJ).

As covariáveis que representam os fatores clima e material de origem são menos utilizadas em MDS, possivelmente devido à generalização dos mapas disponíveis (ten Caten et al., 2012a). Ainda segundo esses autores, muitos trabalhos produzidos no país com MDS simplificam a legenda dos mapas, o que aumenta a capacidade preditiva, porém os mapas são mais generalizados e com maiores variações dentro da unidade de mapeamento.

As formas de mapeamento de solos, digital e convencional, são complementares. As informações obtidas no mapeamento convencional são usadas para treinar os modelos para as previsões de classes e atributos dos solos e o mapeamento digital possibilita que grandes áreas sejam previamente mapeadas, gerando mapas de solos e o erro associado (McBratney et al., 2003, Lagacherie et al., 2007; Giasson et al., 2011; ten Caten et al., 2012a).

O objetivo geral do estudo foi o mapeamento digital de solos em ambiente de Mar de Morros, em Pinheiral (RJ), aplicando a técnica de regressão logística múltipla; além de avaliar se esse método permite boa acurácia dos mapas e demais informações de solos, que possam constituir material base para estudos ambientais e planejamento do uso das terras.

A pesquisa foi dividida em capítulos, cujos objetivos são identificados a seguir:

Capítulo I – avaliar os modelos digitais de elevação, obtidos por diferentes fontes de dados e gerados em distintas resoluções, para seleção do melhor modelo para derivar as variáveis morfométricas a serem aplicadas no MDS em ambiente de Mar de Morros, em Pinheiral, Estado do Rio de Janeiro.

Capítulo II – analisar as características das imagens do satélite *RapidEye* para o mapeamento do meio físico de Mar de Morros, e uso dessas e índices derivados no MDS, além da avaliação da sua qualidade quanto a ortorretificação nesse ambiente.

Capítulo III – avaliar a interação entre os processos múltiplos (mecanismos) e os fatores de formação relevantes nos processos específicos (processos de formação dos solos) para entendimento da pedogênese na área em estudo. Os resultados obtidos nesse capítulo, assim como os dos capítulos anteriores constituem a base para a elaboração do MDS através da classificação pela Regressão Logística Múltipla, apresentada no quarto e último capítulo.

Capítulo IV - Avaliar o poder preditivo da RLMM e a qualidade dos produtos gerados; avaliar o efeito da multicolinearidade sobre as previsões; e avaliar a qualidade da previsão da relação solo-paisagem (unidade de mapeamento) em detrimento a previsões de classes de solos.

## **2 CAPÍTULO I**

### **AVALIAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PARA ESTUDO DE MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS EM AMBIENTE DE MAR DE MORROS EM PINHEIRAL, RJ**

## 2.1 – RESUMO

Os atributos topográficos derivados do modelo digital de elevação (MDE) são utilizados como covariáveis ambientais para o mapeamento digital de solos (MDS); para tanto esses devem representar bem a superfície do terreno e os processos envolvidos na formação dos solos. Quando se trabalha com dados espaciais e ferramentas de geoprocessamento em sistemas de informações geográficas, além das diversas formas de obtenção de dados têm-se varias formas de processamento para geração dos MDEs e posterior derivação dos atributos topográficos. Como o mapeamento de solos, sobretudo aplicando técnicas de MDS, é extremamente dependente da base de dados o objetivo desse capítulo foi avaliar diversos MDEs obtidos de distintas fontes de dados e gerados em três resoluções (5, 20 e 30m) e compará-los com modelos já disponíveis na WEB. Os MDEs tidos como base para comparação foram o TOPODATA (30 m), MDE do projeto RJ25 (20 m) e MDE gerado a partir da extração de pontos do MDE do projeto RJ 25 e interpolados para a geração de MDE na resolução de 5 m. Para comparação foram gerados MDEs nas resoluções de 5, 20 e 30 m, utilizando como base de dados cartas planialtimétricas do IBGE, de onde foram extraídas as informações de curvas de nível e hidrografia. Os modelos foram gerados usando a ferramenta *topo to raster* do Arcgis 10.0, onde os dados do IBGE e 67 pontos cotados obtidos em campo foram avaliados com o algoritmo *topogrid* para interpolação das informações e geração do MDE. Nas mesmas resoluções foram gerados modelos utilizando curvas de nível equidistantes de 10 m derivadas do MDE base, com resolução de 5 m. Os modelos foram avaliados usando critérios quantitativos e qualitativos. Os primeiros foram: raiz quadrada do erro médio quadrático da elevação (RMSE), que avalia o erro do MDE, e o padrão de exatidão cartográfica (PEC). Já os qualitativos foram: a) análise do número e extensão das depressões espúrias; b) comparação entre a drenagem mapeada e a drenagem derivada pelos diferentes MDEs; c) comparação entre as curvas de nível derivadas e as curvas de nível “originais”; e d) análise da declividade derivada de cada MDE. De modo geral, os modelos digitais de elevação gerados utilizando as curvas de nível equidistantes de 10 m apresentaram menor RSME, menor área de depressões espúrias em relação a área total, melhor avaliação segundo a PEC, melhor concordância entre as curvas de nível derivadas do MDEs e curvas “originais” equidistantes de 10 m, e melhor concordância entre drenagem derivada dos MDEs e a drenagem mapeada. Os MDEs 2 e 5 foram os mais adequados para representar a superfície e derivar os atributos topográficos a serem usados no MDS; sendo o MDE2 o mais indicado para a área de estudo em Pinheiral (RJ) por ser esta relativamente pequena.

**Palavras-chave:** Modelagem digital. Atributos de terreno. Escala de mapa. *Topogrid*.

## 2.2 – ABSTRACT

The topographic attributes derived from the digital elevation model (DEM) are used as environmental covariates for the digital soil mapping (DSM); therefore they should represent the surface of the terrain and the processes involved in soil formation. When working with spatial data and geoprocessing tools in geographic information systems, besides the various forms of data collection, there are various forms of processing data for generation of DEMs and the subsequent derivation of topographic attributes. Since the soil mapping, especially using DSM techniques, is extremely dependent on the database, the objective of this chapter was to evaluate different DEMs generated from different data sources in three resolutions (5, 20 and 30m), and to compare them with models already available on the WEB. The DEMs taken as the basis for comparison were the TOPODATA (30 m), the DEM from the RJ25 project (20 m), and the DEM generated from the extraction of DEM points of RJ 25 project and interpolated to generate 5 m resolution DEM. For comparison there were generated DEMs in the 5, 20 and 30 m resolutions, using as database the planialtimetric maps of IBGE, to obtain the contour and hydrograph information. The models were generated using the top to raster tool in the Arcgis 10.0, where the IBGE data and 67 points measured in the field were used with the topogrid algorithm for interpolation of information and the model generation. In the same resolutions there were generated models using equidistant contour lines of 10 m derived from the DEM base, with 5 m resolution. The models were evaluated using quantitative and qualitative criteria. The first were the square root of the mean square of the elevation error (RMSE), which evaluates the error of the DEM, and the map accuracy standards (MAS). The qualitative criteria were: a) analysis of the number and extent of spurious depressions; b) comparison of the mapped drainage and the drainage derived by different DEMs; c) comparison of the derived contour lines and the "original" contour lines; d) analysis of the derived slope of each DEM. In general the digital elevation models generated using the equidistant contour lines of 10 m had lower RSME, smaller area of spurious depressions in comparison to the total area, better evaluation by MAS, better agreement among the contour lines derived by the DEMs and the "original" curves equidistant of 10 m, and better agreement between drainage derived from DEMs and the mapped drainage. The DEMs 2 and 5 were the most suitable to represent the surface and to derive the topographic attributes to be used in the DSM; and the DEM2 was the most indicated for the study area in Pinheiral (RJ), since it is relatively small.

**Keywords:** Digital modeling. Terrain attributes. Map scale. Topogrid

## 2.3 – INTRODUÇÃO

No mapeamento digital de solos (MDS) são utilizados atributos de terreno que representam alguns fatores de formação do solo (pedogênese), os quais são na maioria obtidos de: modelos digitais de elevação. Para tanto, tais modelos para derivação dos atributos devem apresentar boa acurácia, pois os atributos derivados serão utilizados como variáveis auxiliares na predição espacial dos padrões solo-paisagem.

Os modelos digitais de elevação (MDE) podem ser obtidos por várias técnicas, pela interpolação de feições vetoriais (pontos cotados, curvas de nível e hidrografia) ou diretamente de sensores remotos (Hutchinson e Gallant, 2000; Carvalho Júnior, 2005; Chagas et al., 2010a; Pinheiro et al., 2012). A acurácia do MDE depende da qualidade e densidade dos dados primários, da estrutura dos dados (matricial, vetorial), da resolução espacial, da complexidade topográfica da área e dos algoritmos utilizados na interpolação (Thompson et al., 2001).

Oliveira et al. (2012) sugerem que o algoritmo *topogrid* é o mais adequado para geração de MDE hidrológicamente consistente. Medeiros et al. (2009), comparando MDEs gerados por distintos algoritmos e o RSTM concluem que o método de interpolação *topogrid* apresenta o melhor desempenho entre os métodos de interpolação utilizados, sendo o único MDE gerado a partir da base cartográfica com erro médio quadrático inferior a 16,6 metros quando comparado com as referências de nível.

Dentre os diversos métodos de avaliação da qualidade dos MDEs, os tradicionais buscam confrontar uma amostra de pontos de elevação do MDE com pontos de elevação provenientes de fonte de dados de maior acurácia (pontos de GPS de alta precisão). Entre as avaliações tem-se a raiz quadrada do erro médio quadrático da elevação (RMSE) (Chagas et al., 2010a), a tolerância vertical e o erro padrão (Brasil, 1984).

Porem, como o MDS trabalha com atributos de terreno, as características da superfície e a estrutura da drenagem também devem ser consideradas para a avaliação dos MDEs. Segundo Wise (2000) e Hutchinson & Gallant (2000) medidas absolutas dos erros de elevação não fornecem uma avaliação completa da qualidade do MDE. Esses autores propõem medidas não clássicas de análise como critérios para avaliação de MDE, tais como: a comparação visual entre feições vetoriais derivadas e as originais, além da avaliação de alguns atributos de terreno derivados do MDE.

Além da fonte de dados a resolução dos MDEs influencia nos atributos derivados e, conseqüentemente, nas predições obtidas no MDS (Hengl, 2006). Assim, conclui-se que não existe resolução ideal, mas sim uma gama de resoluções que podem ser apropriadas. Deve-se, pelo menos, tentar evitar o uso de resoluções que não cumprem com a escala eficaz ou propriedades inerentes ao conjunto de dados de entrada (Hengl, 2006). Segundo esse mesmo autor é interessante selecionar o tamanho do pixel que proporciona melhores propriedades preditivas. Por exemplo, se quiser usar parâmetros de terreno para predição de propriedades do solo ao longo de toda área de estudo, pode-se testar os parâmetros de terreno derivados do MDE em várias resoluções e, em seguida, selecionar o que oferece o melhor resultado.

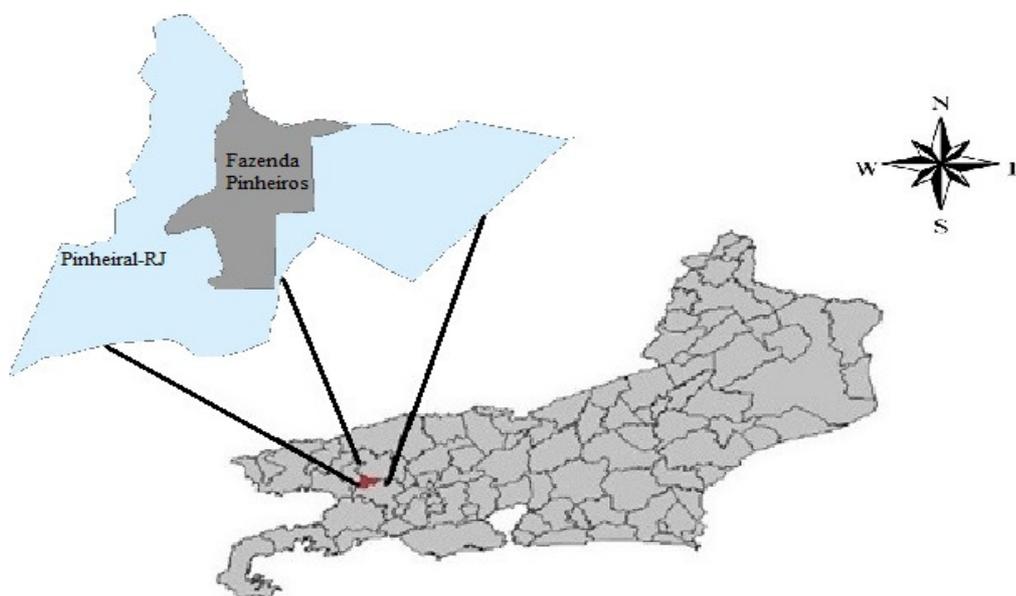
Em estudo feito em três transectos de 27 km, posicionados em áreas do Planalto, Rebordo do Planalto e Depressão Central na região central do Estado do Rio Grande do Sul, para definir a resolução espacial mais apropriada para representar a variabilidade da elevação, declividade, curvatura em perfil e índice de umidade topográfica de um terreno, por meio de avaliações com a transformada *wavelet*, ten Caten et al. (2012b) concluíram que não foi possível estabelecer um valor conclusivo para a resolução espacial mais adequada para a variável elevação. Da mesma forma, Iorio et al. (2012) sugerem que é importante avaliar as vantagens e as limitações de cada um dos MDEs, para alcançar os melhores resultados de acordo o objetivo do trabalho.

Nesse sentido, o objetivo do Capítulo I foi o de avaliar modelos digitais de elevação obtidos de diferentes fontes de dados e gerados em distintas resoluções (5, 20 e 30m) e compará-los com modelos já disponíveis na WEB. Desta forma, permitindo selecionar um modelo apropriado para derivar as variáveis morfométricas a serem aplicadas no MDS em ambiente de Mar de Morros, no município de Pinheiral, Estado do Rio de Janeiro.

## 2.4 – MATERIAL E MÉTODOS

### 2.4.1 – Localização da área de estudo

A região de estudo compreende a antiga “Fazenda São José do Pinheiro”, no município de Pinheiral - RJ que está situada na região do Médio Paraíba do Sul, localizada entre as latitudes 22°29'03`` e 22°35'27``S e entre as longitudes 43°54'49``W e 44°04'05``W (Figura 1). O município abrange uma área de 76,53 km<sup>2</sup> e está situado na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (IBGE, 2008). A área da Fazenda São José do Pinheiro está situada na microbacia do Ribeirão Cachimbal, mais precisamente no terço inferior da microbacia e compreende área de 1462 ha.



**Figura 1.** Figura ilustrativa da área de estudo em Pinheiral, RJ. Adaptada de Santos (2009).

### 2.4.2 – Base de dados

A base cartográfica em formato vetorial é a disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados de curvas de nível com equidistância de 20 m e de hidrografia foram extraídos das cartas planialtimétricas, ambas na escala 1:50.000. Foram usadas as folhas de Volta Redonda-SF-23-Z-A-V-2 e Pirai-SF-23-Z-A-VI-1. Como complementos foram obtidos MDEs disponibilizados gratuitamente na WEB, no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (MDE projeto TOPODATA, disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/dados.php>. Acessado em: 10/02/2014).

O MDE do Projeto TOPODATA é um modelo resultante do processamento do MDE do SRTM original, que buscou incluir informações onde antes existia ausência de dados e também o refinamento dos dados do SRTM. A resolução espacial original do SRTM, que é de 90 metros foi reamostrada para 30 metros, a partir de interpolação por krigagem (INPE, 2009). A folha utilizada que representa a área de estudo foi 22S45\_ZN. O MDE TOPODATA está disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>, para todo o território nacional.

Outro modelo disponível na WEB no site do IBGE é o MDE projeto RJ-25, apenas para o Estado do Rio de Janeiro. O MDE obtido a partir dos dados do projeto RJ-25 foi desenvolvido a partir de mapeamento sistemático pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008). As folhas utilizadas para obter o mosaico representando toda a área de estudo foram a27432ne e a27441no. Esse MDE foi obtido por processamento fotogramétrico analítico de

fotografias com escala aproximada de 1:25.000, com resolução de 0,7m. As fotografias aéreas foram tomadas em aerolevantamento da empresa Base Aerofotogrametria e Projetos S.A. O MDE foi gerado com espaçamento de grade de 20 x 20 metros. Todos os modelos estão no formato GEOTIFF e são disponibilizados pelo IBGE para uso, através do seguinte acesso eletrônico -[ftp://geoftp.ibge.gov.br/modelo\\_digital\\_de\\_elevacao/projeto\\_rj\\_escala\\_25mil/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/modelo_digital_de_elevacao/projeto_rj_escala_25mil/).

Além dos dados vetoriais disponibilizados pelo IBGE e os modelos digitais de elevação obtidos de material na WEB, foram coletados no campo, na Fazenda São José do Pinheiro, 86 pontos cotados obtidos usando GPS geodésico L1L2 (marca Ashtech Promark 100).

### 2.4.3 – Procedimentos para obtenção dos modelos

Além dos dois MDEs disponibilizados na WEB, foram gerados mais 7 modelos com distintas resoluções e fontes de dados. O MDE na escala 1:25000 do projeto RJ - 25 (site do IBGE) que possui resolução de 20 m foi convertido de arquivo raster para vetorial de pontos e posteriormente interpolado utilizando o algoritmo *Topogrid (Topo to Raster)* para um MDE de 5 m, mas compatível com a escala 1:25000. O MDE foi ajustado para eliminar depressões espúrias (*Fill*) e daí, foram geradas curvas de níveis equidistantes 10 m, as quais também foram submetidas a procedimento denominado *Smooth*, para suavizar os contornos.

De posse dos dados das curvas de nível derivadas desse MDE, da hidrografia (dados do IBGE escala 1:50.000 devidamente corrigido quanto a direção de fluxo), os pontos cotados (GPS) e o limite do município foram gerados, também utilizando o algoritmo *Topo Topogrid*, MDEs nas resoluções de 5, 20 e 30m. Também nas mesmas resoluções foram gerados modelos usando os dados do IBGE com curvas equidistantes de 20 m devidamente cotadas e a hidrografia, ambos na escala 1:50000, os pontos cotados (GPS) e o limite do município. Em ambos os casos, foram usados 67 pontos cotados, e os outros (20%) pontos foram separados para avaliação dos modelos.

A opção pelas resoluções 5, 20 e 30 foi para comparar os modelos disponíveis na WEB, o modelo gerado pela interpolação dos pontos extraídos do MDE do projeto RJ-25 e os produzidos pela interpolação dos dados: curva de nível, hidrografia e pontos cotados utilizando o algoritmo *Topogrid*. Também foram avaliados os MDEs utilizando as curvas disponíveis pelo IBGE e as curvas extraídas de um dos MDE (Tabela 1). Todos os dados foram projetados em sistema *Universal Transversa de Mercator (UTM)*, *Datum* horizontal WGS-84, Zona 23S.

**Tabela 1.** Forma de obtenção dos MDEs

MDEs	MDEs	Resolução (m)	Forma de obtenção do MDE
MDE1	IBGE05	5	CV 20 + HD + Pontos cotados
MDE2	MDE05	5	CV 10 + HD + Pontos cotados
MDE3	MDE Pontos	5	Interpolação de pontos cotados extraídos do MDE do projeto RJ-25
MDE4	IBGE20	20	CV 20+ HD + Pontos cotados
MDE5	MDE20	20	CV 10 + HD + Pontos cotados
MDE6	RJ-25	20	Base de dados do IBGE (Projeto RJ-25)
MDE7	IBGE30	30	CV 20 + HD + Pontos cotados
MDE8	MDE30	30	CV 10 + HD + Pontos cotados
MDE9	Topodata	30	Base de dados do INPE (Topodata)

Nota: CV 20 = Curvas de nível equidistantes 20 m (dados IBGE). CV 10 = Curvas nível equidistantes 10 m. (derivadas do MDE). HD hidrografia escala 1:50.000 (dados IBGE).

#### 2.4.4 – Critérios para avaliação

Os critérios usados para avaliação foram qualitativos e quantitativos. A avaliação quantitativa consistiu em determinar o nível de erro contido nos conjuntos de dados avaliados. Para tal, utilizaram-se os 18 pontos de elevação (pontos de controle) obtidos diretamente no campo com auxílio do GPS geodésico L1L2 (marca Ashtech Promark 100), que representam 20% do total de pontos de elevação medidos com o GPS. Os dados obtidos por GPS foram processados para se atingir precisão submétrica. Para avaliação foram empregados os critérios de *Root Mean Square Error* (RMSE), em português definido como raiz quadrada do erro quadrático médio da elevação, conforme a equação a seguir:

**Equação 1** (USGS, 1997):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}}$$

Onde:  $d$  é a diferença de elevação entre os MDEs avaliados e os pontos de controle e  $n$  é o número de pontos de elevação testados.

Observa-se que para o MDE, o RMSE se refere ao grau de diferença entre os valores interpolados e os valores de elevação mais prováveis, de modo que o termo elevação verdadeira não deve ser usado já que, normalmente, este é considerado desconhecido (Chagas et al., 2010a).

Ainda como critério quantitativo para analisar a acurácia dos MDEs gerados foi utilizado o Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC), definido pelo Decreto Lei 89.817 de 20 de Julho de 1984 (Brasil, 1984), apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Critérios de classificação das cartas topográficas segundo a PEC para as escalas de 1:25.000 e 1:50.000

Classe	Tolerância Vertical (PEC)	Erro padrão (EP)	Escala 1:25.000		Escala 1:50.000	
			Equidistância: 10 m PEC	EP	Equidistância: 20m PEC	EP
A	1/2 Eq	1/3 Eq	90% < 5 m	3,33 m	90% < 10 m	6,7 m
B	3/5 Eq	2/5 Eq	90% < 6 m	4 m	90% < 12 m	8 m
C	3/4 Eq	1/2 Eq	90% < 7,5 m	5 m	90% < 15 m	10 m

O erro padrão ou desvio padrão do erro é calculado pela expressão:

**Equação 2:**

$$EP = \sqrt{\sum (\Delta Z - \Delta \bar{Z})^2 / (n - 1)}$$

Onde:  $\Delta Z = Z_{gps} - Z_{MDE}$  (diferença entre a altitude do ponto medido em campo e medido no MDE);  $\Delta \bar{Z}$  é a média dos desvios ou erros; e  $n$  = número total de pontos de controle.

Além das avaliações da escala, segundo a PEC e o RMSE dos MDEs, foi avaliada a qualidade do modelo, quanto a representação dos aspectos da superfície, conforme sugerido por Hutchinson & Gallant (2000) e Wise (2000). Esses aspectos são os seguintes: a) análise do número e extensão das depressões espúrias; b) comparação entre a drenagem mapeada e a drenagem derivada pelos diferentes MDEs; c) comparação entre as curvas de nível derivadas e as curvas de nível originais; e d) análise da declividade derivada de cada MDE.

## 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De forma geral, nas três resoluções os modelos digitais de elevação gerados a partir dos dados do IBGE (MDE1, MDE4 e MDE7) apresentaram valores mínimos de altitude inferiores aos demais modelos (Tabela 3). Ainda, os maiores valores para as cotas mais baixas foram nos MDEs onde não foram usados os pontos cotados (MDE3, MDE6 e MDE9).

**Tabela 3.** Estatística descritiva e valores deRSME de cada MDE

MDEs	Valor Mínimo (m)	Valor Máximo (m)	Média (m)	Desvio Padrão	RSME (m)
MDE1	339,57	548,09	402,08	37,23	10,07
MDE2	347,00	564,87	408,45	38,86	7,08
MDE3	360,57	563,26	409,12	37,82	7,39
MDE4	335,98	548,08	402,10	37,34	9,16
MDE5	351,57	564,84	408,28	38,94	6,64
MDE6	361,00	566,00	409,18	38,05	9,37
MDE7	338,17	548,50	401,91	37,33	9,79
MDE8	353,62	565,61	408,02	38,87	7,03
MDE9	360,00	560,00	410,06	36,43	10,81

RSME: *Root Mean Square Error* (Raiz Quadrada do Erro Médio) MDE: Modelo Digital de Elevação

Os MDEs gerados a partir das curvas de nível equidistantes de 10 m apresentaram valores mínimos de cota intermediários entre os outros modelos; dentre esses o menor valor foi para a resolução de 5 m (MDE 2). Os valores de cota máxima tiveram pouca variação entre as resoluções e, de forma geral, os modelos gerados a partir de dados do IBGE e curvas equidistantes de 20 m apresentaram menores valores. O MDE6 (projeto RJ-25) apresentou valores superiores tanto de cota mínima como de cota máxima.

Os valores médios de cada MDE se mostraram pouco afetados pela resolução, sendo mais influenciados pela fonte de dados. Os MDEs originados a partir de dados do IBGE apresentaram valores em torno de 402 m nas três resoluções; já nos oriundos das curvas de nível equidistantes de 10 m o valor foi em torno de 408 m, também nas três resoluções.

Com base nos valores de RSME pode se observar que, independente da resolução, os MDEs gerados a partir da curvas equidistantes de 10 m apresentaram menores valores de RSME comparados aos outros modelos na mesma resolução. Também foi obtido o menor valor para a resolução de 20 m. Apesar do melhor valor de RMSE para essa resolução outras características devem ser avaliadas para escolha do melhor MDE para derivação de atributos topográficos utilizados em mapeamento digital de solos (MDS), como sugere Chagas et al. (2010a). Entre os dois MDEs disponíveis na WEB o MDE9 (topodata) apresentou valor de RSME superior ao MDE6 (projeto RJ-25). Provavelmente, devido a melhor qualidade de resolução e a base de dados para geração do segundo modelo.

**Tabela 4.** Valores de tolerância vertical e erro padrão (EP) para cada MDE

MDEs	Tolerância vertical						EP
	Escala 1: 25.000			Escala 1: 50.000			
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe A	Classe B	Classe C	
	% pontos com erro < 5 m	% pontos com erro < 6 m	% pontos com erro < 7,5 m	% pontos com erro < 6,7 m	% pontos com erro < 8 m	% pontos com erro < 10 m	
MDE1	28	33	56	67	83	89	5,8
MDE2	56	61	72	83	94	94	4,6
MDE3	29	47	71	76	88	94	4,1
MDE4	28	33	44	78	83	89	5,2
MDE5	67	72	78	83	89	94	4,7
MDE6	44	56	67	78	78	94	6,5
MDE7	56	56	61	61	72	83	7,4
MDE8	50	50	67	83	83	100	4,7
MDE9	28	33	44	67	78	78	6,4

De modo geral os trabalhos desenvolvidos no Brasil avaliando a qualidade de MDEs, utilizando o critério da PEC, o fizeram para modelos já disponíveis na WEB e/ou MDEs com resoluções mais grosseiras e com tamanho de pixel igual ou superior a 30 m (Medeiros et al., 2009; Miceli et al., 2011; Iorio et al., 2012). Quanto às escalas, a totalidade dos trabalhos citados utilizam 1:50000 e 1:100000.

Nesse estudo, devido ao processamento diferenciado para a geração dos MDEs, usando curvas de nível equidistantes de 10 m e pontos cotados em campo com GPS de alta precisão, optou-se por utilizar para comparação as escalas de 1:25.000 e 1:50.000, esses valores são exatamente os limites de escala inferior e superior respectivamente, recomendados para levantamentos semidetalhados de solos (IBGE, 2007).

Essa escala de detalhamento atende melhor a finalidade do trabalho, pois é indicada para áreas pequenas (fazendas ou parte delas) para levantamento de informações básicas para implantação de projetos de colonização, loteamentos rurais, estudos integrados de microbacias, planejamento local de uso e conservação de solos em áreas destinadas ao desenvolvimento de projetos agrícolas, pastoris e florestais, além de projetos e estudos prévios para engenharia civil (IBGE, 2007).

De acordo com os critérios de avaliação da PEC para os dados de tolerância vertical nenhum MDEs se enquadraram nas classes A, B e C, na escala de 1:25.000. Na escala de 1:50.000, o único MDE e na classe B foi o MDE2, ou seja, nesse modelo mais que 90% dos erros entre o valor de altitude obtidos com GPS e o extraído do MDE são menores que 8 m.

Os modelos obtidos a partir da base cartográfica do IBGE e o MDE9 (topodata) não se enquadraram nas classes da PEC quanto à tolerância vertical, em nenhuma das escalas. Esse resultado corrobora os encontrados por Iorio et al. (2012), trabalhando no Estado do Mato Grosso do Sul, e os de Miceli et al. (2011) na região amazônica, onde os valores de tolerância vertical do MDE topodata não se enquadraram em nenhuma das classes para a escala de 1:50000. Porém, discordam dos encontrados por Miceli et al. (2011) para Petrópolis (RJ) e Moura et al. (2014) na Bacia do Paranoá (SP), em que o MDE topodata atendeu a Classe B da PEC para a escala de 1:50000. Pois na avaliação nesse estudo, em Pinheiral (RJ), apenas o MDE2 atendeu a classe B nessa escala (Tabela 5).

**Tabela 5.** Avaliação dos MDEs em relação a tolerância vertical

MDEs	Escala 1: 25.000			Escala 1: 50.000		
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe A	Classe B	Classe C
MDE1	X	X	X	X	X	X
<b>MDE2</b>	X	X	X	X	<b>Atende</b>	Atende
MDE3	X	X	X	X	X	Atende
MDE4	X	X	X	X	X	X
MDE5	X	X	X	X	X	Atende
MDE6	X	X	X	X	X	Atende
MDE7	X	X	X	X	X	X
MDE8	X	X	X	X	X	Atende
MDE9	X	X	X	X	X	X

Os modelos gerados com as curvas de nível equidistantes de 10 m se enquadraram na classe C para a escala de 1:50.000 em todas as resoluções. Esse resultado indica que o refinamento dos dados através da geração de curvas de nível equidistantes de 10 m e a adição de dados como os de hidrografia e pontos cotados melhora a qualidade do MDE, quanto a avaliação da exatidão e segundo o critério de tolerância vertical da PEC.

Quanto ao erro padrão, que pode ser entendido como desvio padrão dos erros entre os valores de altitude do GPS e do MDE, apenas o MDE7 não atendeu a classe A para a escala de 1:50.000(Tabela 6). Nesse mesmo critério na escala de 1:25.000 os MDEs em que foram utilizadas as curvas de nível equidistantes de 10 m atenderam a classe C nas três resoluções em que foram gerados 5, 20 e 30 m. Nessa escala de avaliação (1:25000) os MDEs disponíveis na WEB não se enquadraram em nenhuma das classes (Tabela 6).

**Tabela 6.** Avaliação dos MDEs em relação ao erro padrão

MDEs	Escala 1: 25.000			Escala 1: 50.000		
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe A	Classe B	Classe C
MDE1	X	X	X	Atende	Atende	Atende
MDE2	X	X	Atende	Atende	Atende	Atende
MDE3	X	X	Atende	Atende	Atende	Atende
MDE4	X	X	X	Atende	Atende	Atende
MDE5	X	X	Atende	Atende	Atende	Atende
MDE6	X	X	X	Atende	Atende	Atende
MDE7	X	X	X	X	Atende	Atende
MDE8	X	X	Atende	Atende	Atende	Atende
MDE9	X	X	X	Atende	Atende	Atende

Assim como os resultados encontrados por Iorio et al. (2012), o erro padrão se mostrou uma análise menos criteriosa que a tolerância vertical; pois apresentou maior número de modelos que atendiam algumas das classes em escala mais detalhada. O mesmo para a tolerância vertical, só que nesse caso em escala menor, mais detalhada, os modelos em que foram utilizadas as curvas de nível equidistantes de 10 m atenderam a classe C da PEC. Assim como os MDEs gerados com tais curvas de nível, o MDE gerado pela extração e posterior interpolação de pontos em resolução mais fina apresentou resultado semelhante. Esse resultado indica que a base de dados do projeto RJ- 25 é compatível e se mostrou mais adequada para uma resolução mais fina de 5 m.

O número de depressões espúrias, o número de células envolvidas e a relação das depressões com a área total para cada MDE são apresentados na (Tabela 7).

**Tabela 7.** Número e extensão das depressões espúrias dos MDEs avaliados

MDEs	Número de depressões	Número de células envolvidas	Relação com área total (%)
MDE1	57	114	0,02
MDE2	101	202	0,03
MDE3	978	1954	0,33
MDE4	36	72	0,20
MDE5	32	64	0,18
MDE6	103	548	1,50
MDE7	22	46	0,28
MDE8	15	32	0,20
MDE9	57	269	1,66

O MDE3 feito pela extração de pontos e interpolação, para geração de modelo na resolução de 5 m, apresentou maior número de células envolvidas nas depressões. E dentre os MDEs com resolução de 5 m, foi esse o que apresentou maior relação das depressões com a área total.

De modo geral, os MDEs obtidos na WEB (IBGE e INPE) apresentaram qualidade inferior comparados aos demais MDEs na mesma resolução, pois apresentaram maiores valores de número de depressões espúrias, células envolvidas e relação com a área total. Esse resultado corrobora os resultados de Pinheiro et al. (2012), também em estudo no Rio de Janeiro, que observaram maiores valores dessas características nos modelos obtidos na WEB, SRTM (Topodata) e MDE (projeto RJ-25). O mesmo para resultados de Chagas et al. (2010a), que encontraram maiores valores para o SRMT originalmente disponível na WEB na resolução de 90 m, o qual foi reamostrado para 30 metros pelos autores utilizando a interpolação bilinear.

Hengl et al. (2004) destacaram que o elevado número de depressões nos modelos derivados de sensores remotos pode ser atribuído a erros intrínsecos ao método de coleta de dados pelos sensores. Outro fator importante é o fato da ferramenta *Topo to Raster* do ArcGIS Desktop 10 implementar um método de interpolação específico para a criação de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente, a partir da combinação de métodos de interpolação local e global, com base no programa Anudem desenvolvido por Hutchinson (1993). Assim, caso não exista adição dos dados de hidrografia aumenta de forma significativa o número e extensão das depressões, como foi observado no MDE3. Nesse caso não há a interação dos dados para geração do modelo hidrologicamente consistente.

Os MDEs gerados com as curvas equidistantes de 20 m apresentaram valores semelhantes de % de depressões em relação a área total aos valores gerados com as curvas equidistantes de 10 m em cada resolução (0,02; 0,03 resolução 5 m, 0,20; 0,18 resolução de 20 m e 0,28; 0,20 resolução de 30 m, paras as curvas de 20 e 10 m, respectivamente).

A adição de dados como a hidrografia e os pontos cotados pode diminuir os erros inerentes as depressões, pois diminui o número e extensão das depressões e, desta forma, sua área em relação a área total de estudo. Tal ocorreu em MDE1 e MDE2, ambos na resolução de 5 m. No caso do MDE3, realizado a partir de uma única fonte de dados (pontos extraídos do MDE6) interpolados para a resolução de 5 m, pode se observar valores significativamente superiores aos encontrados para MDE1 e MDE2, que estão na mesma resolução. Com a diminuição do tamanho do pixel pode se observar a diminuição da relação das depressões com a área total.

Quando se derivam outras variáveis como a declividade, se observa a grande influência da forma de obtenção do MDE (fonte de dados) e a resolução na qualidade dessas variáveis derivadas. Nesse estudo, os modelos com resolução de 5 m, em que foram utilizados os dados de curva de nível, hidrografia e pontos cotados, apresentaram maiores valores de máxima declividade (58,11% e 52,03% para o MDE2 e MDE1, respectivamente). Porém, esses valores de declive, que se enquadram na classe de relevo montanhoso, ocorrem em poucas áreas, como mostra a Figura 2. Tanto os valores médios como a média quadrática da declividade tenderam a aumentar proporcionalmente ao refinamento da resolução.

Segundo Hutchinson (1996), a resolução mais adequada é obtida com o refinamento da resolução do MDE até que a média quadrática da declividade estabilize. A teoria que dá suporte ao método desenvolvido por Hutchinson é que em resoluções mais grosseiras, vários pontos do conjunto de dados base são alocados em um mesmo pixel, o que leva a estimativa de um valor médio para o pixel. Isso resulta na suavização do MDE, quando comparado a superfície real. Em resoluções mais finas esse efeito é minimizado, levando a estabilização das declividades do MDE (Tabela 8). Em muitos casos resoluções mais finas, apesar da melhor qualidade, não são desejadas pela grande demanda computacional para o processamento dos dados (Samuel-Rosa, 2012). Porém, nesse estudo a área é relativamente pequena e esse não seria um problema. Assim, pode-se usar a resolução que apresentar melhor qualidade para o MDE e também para os atributos derivados.

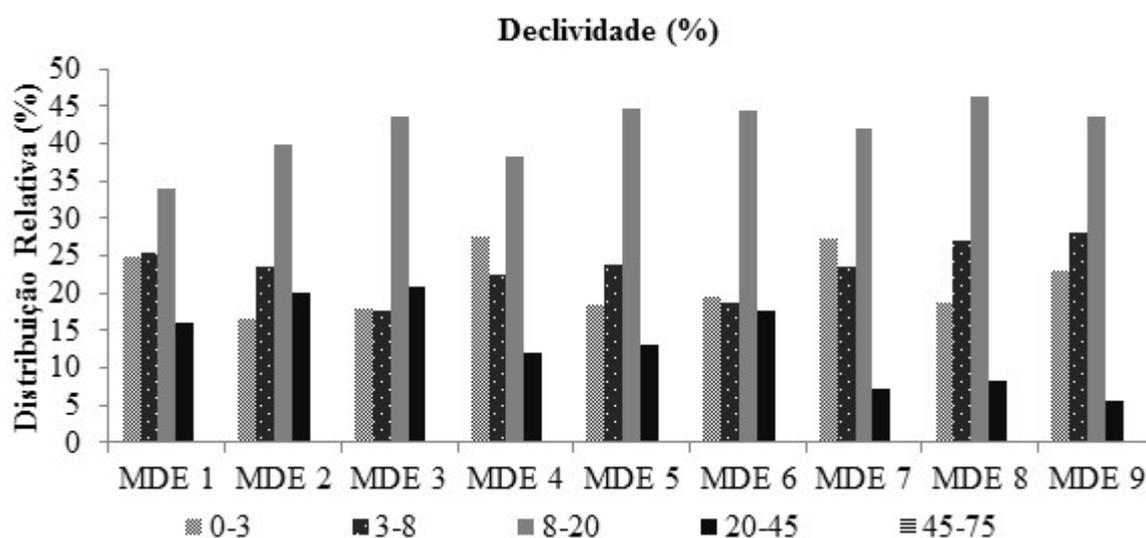
**Tabela 8.** Estatística descritiva da declividade

Declividade	Valor Mínimo (%)	Valor Máximo (%)	Média (%)	Desvio Padrão	$\bar{X}_q$ (%)
MDE1	0,00	52,03	10,49	8,86	13,73
MDE2	0,00	58,11	12,05	8,42	14,70
MDE3	0,00	36,19	12,27	8,43	14,89
MDE4	0,00	36,18	9,67	7,96	12,34
MDE5	0,00	36,84	10,74	7,43	13,06
MDE6	0,00	37,14	11,66	8,18	14,24
MDE7	0,00	34,14	8,97	6,87	11,30
MDE8	0,00	32,69	9,70	6,59	11,73
MDE9	0,00	30,54	8,61	6,30	10,67

Nota:  $\bar{X}_q$ =Média quadrática da declividade

Quando separadas em classes de declividade foi possível observar a influência da fonte de dados e da resolução em cada classe. A exemplo dos MDEs 7, 8 e 9, que na resolução de 30m tenderam a subestimar as áreas com declive forte ondulado (20-45%). Nessa classe de declividade, os MDEs 1, 2 e 3, com resolução de 5m, apresentaram valores mais próximos do real, ou seja o verificado na área de estudo no trabalho de campo, quando da coleta de amostras de perfis para a caracterização e levantamento dos solos.

Na classe de relevo suave ondulado (declive 3-8 %) foi pequena a variação entre os modelos e as resoluções. Na classe de relevo plana (declive 0-3 %) os MDEs 1, 4 e 7, obtidos a partir da fonte de dados do IBGE e com curvas equidistantes de 20 m, apresentaram os maiores valores, quando comparados aos outros modelos na mesma resolução. Os únicos modelos que apresentaram classe de declividade montanhosa (declive 45-75 %) foram os MDEs 1 e 2; porém pelos baixos valores de frequência não aparecem na Figura 2 (devido a escala gráfica).



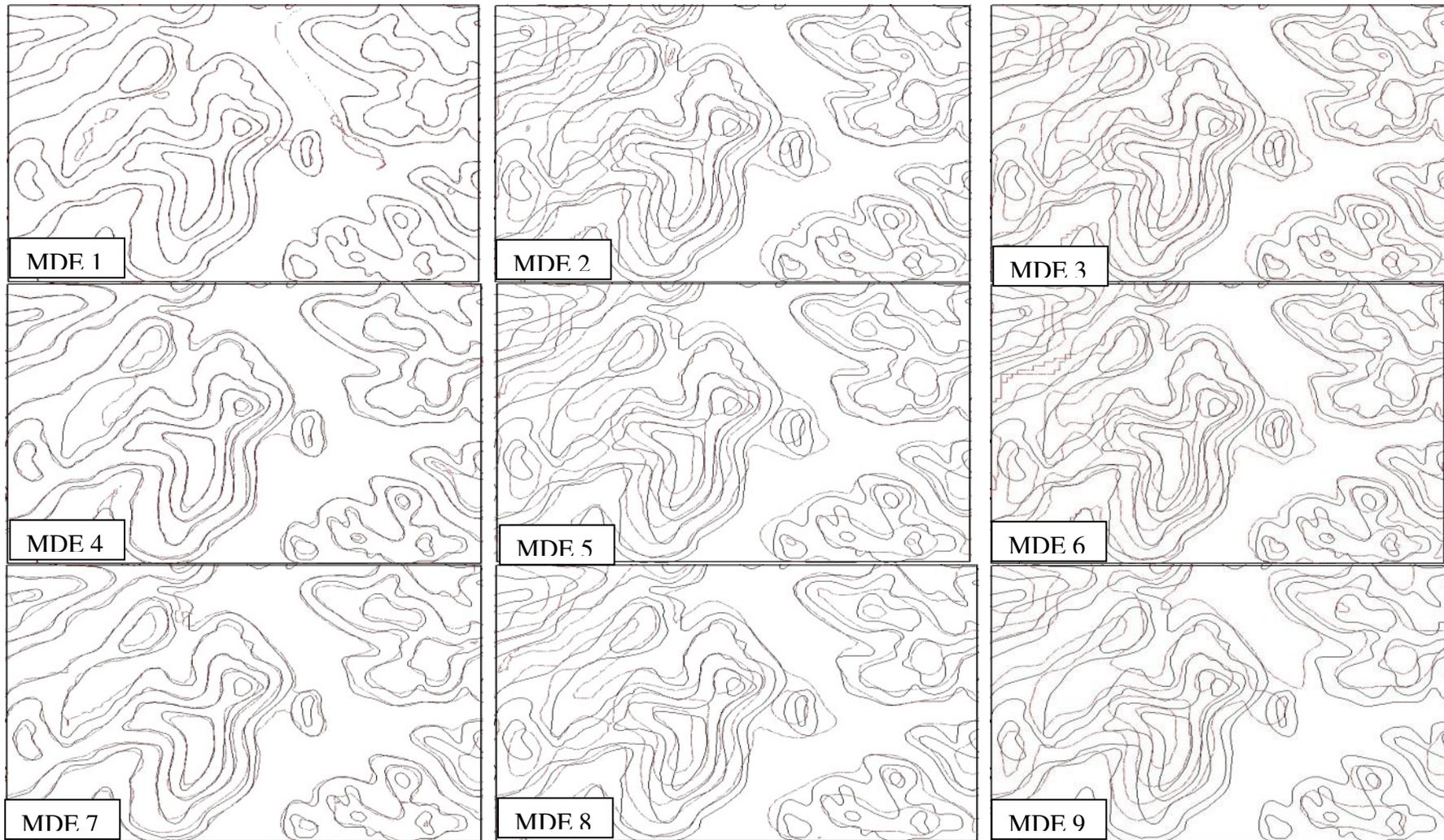
**Figura 2.** Estatística descritiva da declividade

Com base na comparação entre as curvas de nível derivadas do MDE e a mapeada, como descrito por Chagas et al. (2010a) e Pinheiro et al. (2012), pode-se observar tanto a influência da resolução quanto da fonte de dados, além da influência da curva base usada para a comparação (Figura 3; Figura 4).

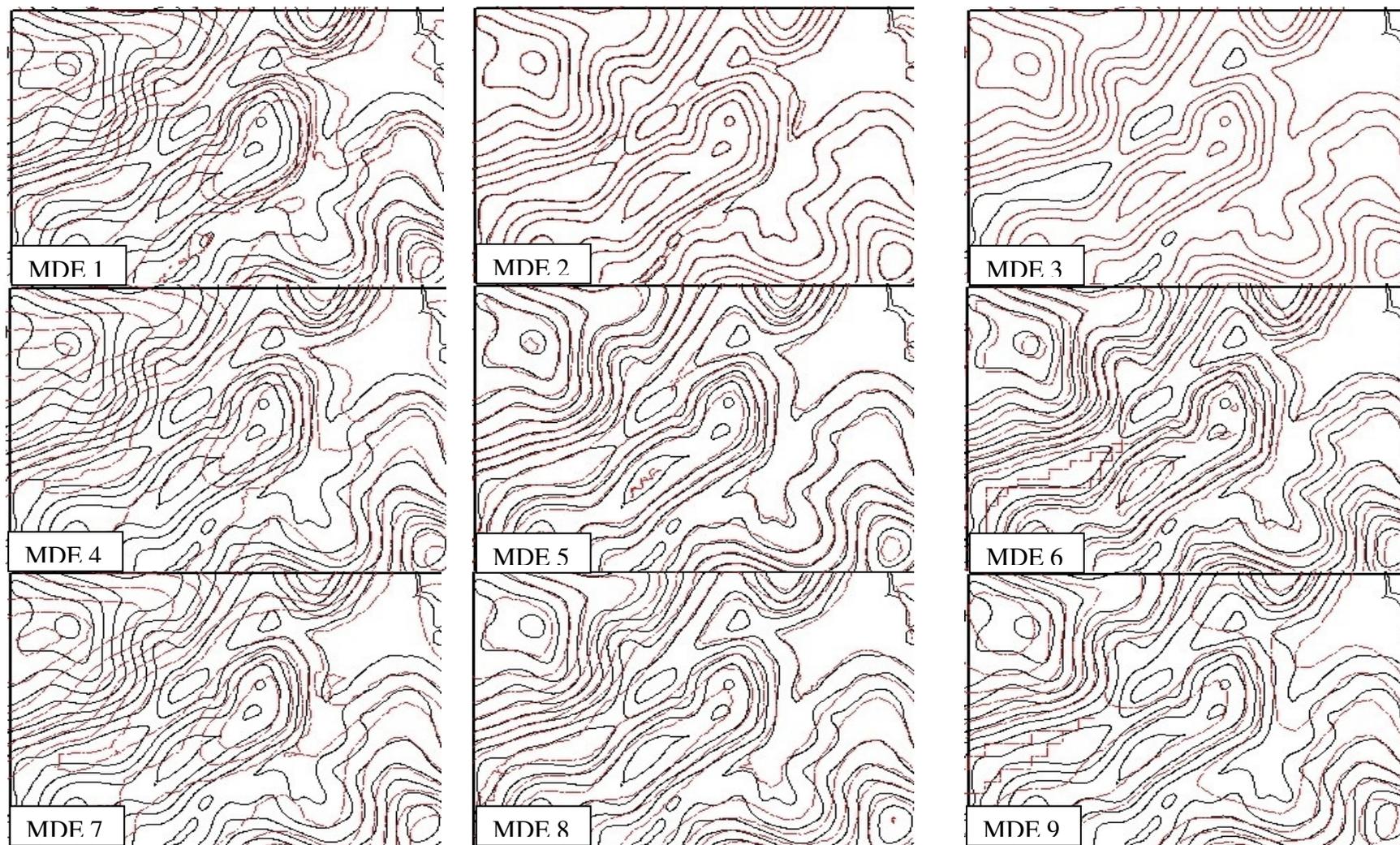
Os modelos em que foram usadas curvas de nível do IBGE equidistantes de 20 m, em geral, apresentaram maior concordância com a curva original nas três resoluções, comparados aos outros modelos (Figura 3). Sendo que se observa tendência de maior concordância com o aumento da resolução (menor tamanho de pixel).

Os modelos obtidos na WEB, em geral, não apresentaram boa concordância; tanto na comparação com as curvas “originais” do IBGE (20 m) e as extraídas de MDE (10 m). Resultado semelhante foi verificado por Pinheiro et al. (2012), que encontrou menor concordância das curvas derivadas desses dois modelos com as do MDE - carta e MDE híbrido. Chagas et al. (2010a) encontraram maior concordância entre curvas derivadas do MDE - Carta e curvas originais do IBGE (escala de 1:50000), comparadas as curvas originais e os MDEs SRTM e ASTER.

Quando comparadas as curvas derivadas de MDE, com equidistância de 10 m, a curva “original”, equidistante de 10 m, utilizada para geração dos modelos 2, 5 e 8, se observa que justamente esses modelos apresentaram maior concordância; principalmente se comparados aos gerados com as curvas equidistantes de 20 m. Esse resultado indica a influência da fonte de comparação, além da fonte de dados e da resolução.



**Figura 3.** Visualização comparativa entre curvas de nível originais (IBGE – 20 m) e derivadas dos modelos digitais de elevação (MDE).



**Figura 4.** Visualização comparativa entre curvas de nível (Derivadas de MDE- 10 m) e derivadas dos modelos digitais de elevação.

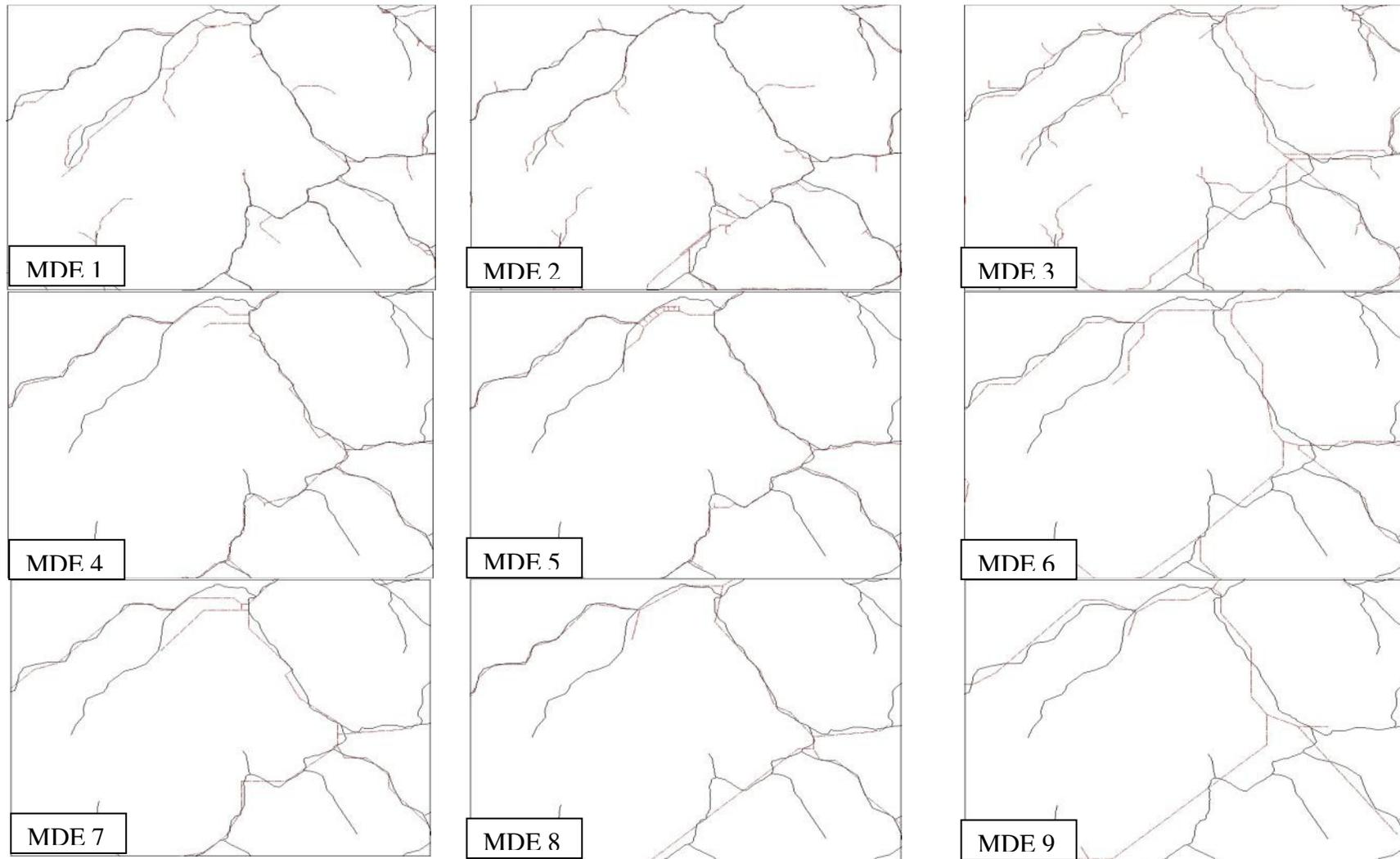
A comparação entre drenagem derivada e drenagem mapeada (Figura 5) mostra que, assim como para curvas de nível, as resoluções mais finas (menor pixel) tenderam a apresentar maior concordância, exceto para o MDE3. Ainda, os modelos gerados usando os dados de hidrografia apresentaram resultados melhores, quanto à concordância entre as drenagens, que os modelos em que esse dado não foi utilizado (MDEs 3, 6 e 9).

De acordo com Oliveira et al. (2012), o MDE hidrologicamente consistente gerado pelo método de interpolação Topogrid, associado ao método D<sub>8</sub> para geração do fluxo acumulado, proporcionou a identificação mais precisa dos caminhos preferenciais do fluxo que formam a rede de drenagem. Segundo os mesmos autores, o MDE hidrologicamente consistente gerado pelo Topogrid apresenta maior consistência hidrológica, verificada na melhor continuidade das curvas de nível (menos arestas) e no maior detalhamento da área de drenagem. Os resultados descritos pelos autores citados indicam que os modelos disponíveis na WEB possuem qualidade inferior aos gerados pelo algoritmo Topogrid e podem não representar de forma consistente as direções de fluxo, fluxo acumulado, e tão pouco a drenagem, comprometendo os trabalhos com MDS.

Os valores de escoamento acumulado para a geração das redes de drenagem, com aproximadamente o mesmo nível de detalhe da drenagem mapeada, foram determinados através de tentativa e erro. Os valores foram de 500, para os MDEs com resolução de 20 m; de 300 para os de 30 m; e de 700 para os de 5 m.

As avaliações dos MDEs buscaram verificar qual modelo seria o mais adequado para derivação dos atributos de terreno e qual a resolução mais indicada. De modo geral, os modelos que utilizaram as curvas de nível equidistantes de 10 m apresentaram melhores resultados nas avaliações e, dentre essas resoluções, as mais finas se destacam.

Segundo Iorio et al. (2012) é importante avaliar as vantagens e as limitações de cada um dos MDEs, visando os melhores resultados para o objetivo do trabalho. Nesse estudo, se busca a derivação de atributos de terreno que representem de forma consistente os fatores e processos de formação de solos, para posterior predição de solos no MDS. A avaliação de modelos de elevação é importante no MDS, pela relação direta entre a variabilidade dos atributos do terreno e a pedogênese condicionada pelo fluxo das águas, temperatura, vegetação e a intensidade de remoção e deposição de material (Pinheiro et al., 2012).



**Figura 5.** Comparação entre redes de drenagem derivadas (linha tracejada) e drenagem mapeada (linha cheia) para cada MDE.

## 2.6 CONCLUSÕES

De modo geral, os modelos digitais de elevação (MDEs) gerados utilizando as curvas de nível equidistantes de 10 m apresentaram menor erro médio quadrático da elevação (RMSE), menor área de depressões espúrias em relação a área total, melhor avaliação segundo o padrão de exatidão cartográfica (PEC), melhor concordância entre as curvas de nível derivadas dos MDEs e curvas “originais” equidistantes de 10 m, e melhor concordância entre drenagem derivada dos MDEs e a drenagem mapeada.

A adição dos dados de hidrografia e a geração de MDE hidrológicamente consistente pelo algoritmo *TopoGrid* diminuiu os erros relativos as depressões, ao diminuir o número e extensão das depressões e, conseqüentemente, sua área em relação a área total, além de aumentar a concordância entre a drenagem derivada e a mapeada.

As resoluções mais finas tenderam a apresentar melhor qualidade de dados, principalmente nas avaliações qualitativas e dos atributos derivados, como a declividade.

A fonte de dados utilizada para comparação (curvas de nível “originais”) influenciou no resultado da concordância entre as curvas de nível derivadas dos MDEs e as “originais”.

Os MDEs 2 e 5 foram os mais adequados para representar a superfície e derivar os atributos topográficos a serem usados no MDS; sendo o MDE2 o mais indicado para a área de estudo em Pinheiral (RJ) por ser esta relativamente pequena.

## **3 CAPÍTULO II**

### **PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS *RAPIDEYE* PARA MAPEAMENTO DO MEIO FÍSICO.**

### 3.1 – RESUMO

A atual e crescente preocupação com a sustentabilidade ambiental requer informações precisas para o planejamento e o uso racional dos recursos naturais, sobretudo o do solo. Nesse sentido, as imagens de sensores remotos e as técnicas inerentes ao processamento dessas são ferramentas essenciais para atender essa demanda. Porém, além de erros posicionais, que dependem da forma da superfície analisada, as imagens geradas por sensores remotos orbitais são afetadas pela atmosfera, causando problemas na extração de informações da superfície terrestre. Nesse contexto, os objetivos desse capítulo foram analisar as características das imagens do satélite *RapidEye* e avaliar a qualidade dessas imagens quanto a sua ortorretificação em ambiente de Mar de Morros, com relevo acidentado. A metodologia consistiu de correção atmosférica usando o modelo 6S (*Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum*) e avaliação da resposta espectral para diferentes alvos na imagem sem correção e corrigida; avaliação da qualidade do erro posicional das imagens ortorretificadas, usando-se pontos de controle obtidos em campo; operações com as bandas e geração de índices derivados (índice de vegetação por diferença normalizada – NDVI; índice de vegetação ajustado ao solo - SAVI), potencialmente utilizáveis no MDS; e por fim a classificação supervisionada do uso e cobertura do solo na área de estudo. Os resultados mostram a importância da correção atmosférica para avaliação e classificação da resposta espectral dos diferentes alvos. A classificação supervisionada possibilitou quantificar as áreas e a porcentagem de cada classe de uso do solo de forma consistente. A distribuição das classes de uso evidencia os reflexos do processo histórico de uso do solo na degradação das terras na Fazenda São José do Pinheiro. A avaliação da ortorretificação da imagem do sensor *RapidEye* enquadrou a mesma na classe C, para a escala de 1:20.000.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto. Classificação de imagens. Mapeamento do meio físico.

### 3.2 – ABSTRACT

The current and growing concern about environmental sustainability requires accurate information for planning and rational use of natural resources, especially the soil. Remote sensing images and techniques for their processing are essential tools to meet this demand. However, in addition to positional errors, which depend on the shape of the analyzed surface, the images generated from remotely sensed data are affected by the atmosphere, causing problems in the extraction of information from the Earth's surface. In this context, the objectives of this chapter were to analyze the characteristics of the RapidEye satellite images; to evaluate the quality of these images related to the orthorectification, in the environment of Mar de Morros, with mountainous relief. The methodology consisted of atmospheric correction using the 6S model (Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum) and the evaluation of spectral response for different targets in the image uncorrected and corrected; quality evaluation of positional error of orthorectified images, using control points from the field; operations with the bands and generation of derived indices (normalized difference vegetation index - NDVI; soil adjusted vegetation index - SAVI), potentially usable in the DSM; and finally the supervised classification of land use and cover in the study area. The results show the importance of atmospheric correction for evaluation and classification of the spectral response of different targets. The supervised classification resulted in a consistent quantification of the areas and percentage of each land use class. The distribution of the usage classes reflects the historical process of soil occupation and degradation in the Pinheiro Farm. The evaluation of the sensor RapidEye image orthorectification fitted the same in the classes C, in the scale of 1:20,000.

**Keywords:** Remote sensing. Image classification. Physical environment mapping.

### 3.3 – INTRODUÇÃO

#### 3.3.1 História da Fazenda São José do Pinheiro e da ocupação e uso do solo na região

A história da origem da Fazenda São José do Pinheiro assim como a do município de Pinheiral se relacionam. As terras, onde hoje está localizado o Município de Pinheiral no Vale do Paraíba do Sul, na bacia do ribeirão Cachimbal, tiveram como primeiros habitantes, os índios da tribo dos “Coroados”. Segundo dados do acervo histórico da Prefeitura Municipal de Pinheiral e do IFRJ Campus Nilo Peçanha, Pinheiral – RJ, em 1851, foi construída a Fazenda São José do Pinheiro, propriedade do Barão de Piraí, José Gonçalves de Moraes, que a deixou como herança a seu genro José Joaquim de Souza Breves por testamento. A Fazenda São José do Pinheiro, atual Fazenda São José do Pinheiro, foi uma das mais prósperas na produção de café do Vale do Paraíba. Contava com trabalho de escravos e para atender a numerosa população, havia dentro da mesma: farmácia, cozinhas para hóspedes e para escravos, capela, um padre e um médico (Pinheiral, 2014). A Fazenda São José do Pinheiro era considerada uma grande propriedade no século XIX e chegou a ter dois milhões de cafeeiros, representando ocupação de em torno de 1500 hectares, provavelmente grande parte na sub-bacia do ribeirão Cachimbal (Breves, 1994).

Em 1879, o Comendador José Joaquim de Souza Breves faleceu, não deixando herdeiros e doando a fazenda para escravos e funcionários. Em 1890, através do Decreto nº 6.862 de 23 de agosto, foram declaradas de utilidade pública, as terras da Fazenda São José do Pinheiro, na Estação da Estrada de Ferro. No ano de 1891, sua sede foi adquirida pela Fazenda Federal. A partir de 1897, a Fazenda São José do Pinheiro foi cedida ao Ministério da Guerra, nela passando a funcionar um Hospital Militar (que hoje abriga a sede administrativa do IFRJ Campus Nilo Peçanha, Pinheiral - RJ). Em 1899, passou para o Ministério da Agricultura que, em 1909, nela instalou o Posto Zootécnico Federal de Pinheiro. No ano de 1910, foi criada a Escola Média de Agricultura, Agronomia e Veterinária de Pinheiro, que formou sua primeira turma em 1914 e, de 1916 a 1918, funcionou nesse local (Silva, 2009).

Em 1985, o antigo prédio da Fazenda São José do Pinheiro e mais duas glebas de suas terras, foram cedidas pelo Ministério da Agricultura para a Universidade Federal Fluminense (UFF) permanecendo assim até 2008, onde a instituição, então Colégio Agrícola Nilo Peçanha, é vinculada ao Ministério da Educação, através da UFF. Em 2008, pela sanção da Lei 11.892, o então Colégio Agrícola Nilo Peçanha passou a fazer parte do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro e a denominar-se campus Nilo Peçanha – Pinheiral, o qual compreende uma área de 318 hectares (IFRJ, 2014).

Quanto à história de uso e ocupação das terras, a colonização resultante do ciclo do café, que expandiu da cidade do Rio de Janeiro para outras regiões do estado, seguiu um padrão nômade de utilização, retratada por modelo de exploração predatório. Como principal marca, a floresta atlântica foi totalmente derrubada e queimada para o plantio dos cafezais. Esse ciclo durou tanto tempo quanto a fertilidade dos solos conseguiu sustentar produções comerciais e a terra, uma vez exaurida, foi abandonada. As transformações da paisagem, principalmente da condição antes inóspita das terras baixas do Vale do Paraíba, proporcionaram condições para o crescimento demográfico, a urbanização, industrialização e a implantação de ferrovias; porém, resultaram em danos ambientais irreversíveis, o que é descrito no livro *-A ferro e fogo: a história e a devastação da floresta atlântica brasileira* de Dean (1997). Segundo o autor, o que restou foi uma paisagem antropizada, fortemente degradada que perdura até os dias atuais.

De acordo com Dean (1997) a baixa fertilidade natural dos solos era o motivador da forma de exploração, pois, com o passar do tempo áreas menos produtivas ou em declínio de produtividade eram abandonadas e novas áreas eram desflorestadas para a implantação dos

novos plantios. Esse padrão de ocupação levou a desnudamento de grandes áreas da floresta atlântica em praticamente todo o vale do Paraíba do Sul (Drummond, 1997). Segundo Dean (1997) o café não foi o único responsável pelo desflorestamento naquela época, junto ao café veio o crescimento demográfico, a construção de ferrovias, a urbanização e industrialização; além da necessidade de produção de alimentos para a crescente população numa modalidade de agricultura intensiva que também causou grandes danos a floresta atlântica.

Com a decadência da cafeicultura, agravada pela falta de mão-de-obra em consequência da abolição da escravatura, as lavouras de café foram relegadas ao segundo plano e em suas áreas teve início a regeneração da floresta secundária (áreas com acesso mais limitado). As antigas e vastas fazendas tiveram as suas terras transformadas em pastos para criação de gado de forma extensiva, por ocupar menor contingente de mão-de-obra e pelo fato das pastagens exóticas, com destaque para a *Brachiaria decumbes* (implantadas nessas fazendas), serem mais resistentes a condições limitantes das terras (Dean 1997; Drummond 1997; Menezes, 2008; Silva, 2009).

As condições climáticas favoráveis do Vale do Médio Paraíba do Sul para a produção do café, como maiores altitudes e, conseqüentemente, menores temperaturas, estação seca pronunciada e com o início das chuvas induzindo a floração, favorecendo a colheita e secagem dos grãos, solos bem drenados e com a fertilidade remanescente da biomassa da própria floresta, após a sua queimada, possibilitaram o desenvolvimento da cultura por certo tempo (Menezes, 2008). Considera-se que o ciclo do café no vale do Rio Paraíba do Sul e suas conseqüências ambientais, as intensas transformações da paisagem e degradação do solo na sub-bacia do ribeirão Cachimbal, se deram, provavelmente, por um período de 50 a 70 anos (expansão da cafeicultura) (Menezes, 2008).

Para a região de Pinheiral, na microbacia do Ribeirão Cachimbal, há poucos relatos na literatura de como se deu o uso da terra no período após o declínio da lavoura de café em suas terras. As principais suposições são baseadas no uso das terras na região de Pirai. Segundo Menezes (2008) relatos de antigos moradores sugerem que nesse período era crescente a pressão sobre as áreas de floresta, sobretudo as em estágios de sucessão mais avançados (Machado, 2011), principalmente para a retirada de madeira para geração de energia (lenha e carvão) e ampliação das áreas de pastagem. Segundo Lima (2004), a pecuária leiteira predominava nessas áreas tendo forte influência da migração oriunda do Estado de Minas Gerais, sendo que nos últimos anos a pecuária de corte vem se expandindo. Ainda predomina na pecuária regional o manejo inadequado das pastagens, com forte pressão de pastejo e uso de queimadas frequentes para limpeza dos pastos, além de preparo do solo em encostas com aração e gradagem morro abaixo, o que favorece a continuidade de degradação dos solos pela intensificação dos processos erosivos (Menezes, 2008).

### **3.3.2 Classificação de imagens de sensoriamento remoto emapeamento do meio físico**

O uso de imagens de sensoriamento remoto e técnicas de classificação de imagens para o mapeamento do uso e cobertura dos solos é consolidado. Onde, a classificação pode ser entendida como a partição do espaço de atributos segundo alguns critérios, no caso do uso do solo, e pode ser não supervisionada (sem a seleção de conjunto de amostras de treinamento) ou supervisionada (onde há seleção de amostras de treinamento) (INPE, 2014a).

Moreira (2001) separa a classificação supervisionada em duas etapas: treinamento e classificação. Entre os classificadores supervisionados o algoritmo da Máxima verossimilhança (MaxVer) é o mais usado nos diversos trabalhos. Segundo Richards (1986), o MaxVer adota a modelagem das classes por uma distribuição de probabilidade no espaço multiespectral, descrita por parâmetros da distribuição Gaussiana; assim, cada classe na área é

descrita por uma distribuição de probabilidade normal. Assume-se então que cada alvo dentro da área de estudo, apresenta uma resposta espectral e segue uma curva de distribuição normal.

Trabalhos recentes classificaram imagens utilizando o algoritmo MaxVer para: diferenciar coberturas do solo, mapeamento do meio físico, monitoramento ambiental, mapeamento do uso do solo, e mapeamento de áreas agrícolas. Em muitos casos, foi comparado esse algoritmo com outros classificadores, como nos seguintes estudos:

Oliveira et al. (2013) utilizaram o classificador MaxVer e Redes Neurais Artificiais (RNA) para o mapeamento de fragmentos florestais com monodominância a partir da classificação supervisionada de imagens *RapidEye* (assim como a usada nesse estudo), em algumas regiões de Minas Gerais, sobretudo na do Rio Doce. Os autores obtiveram melhores resultados com o classificador MaxVer, que apresentou índices Kappa e Kappa Condicional de respectivamente 80 e 90.

No bioma Caatinga, Município de Iguatu – CE e para a classificação do uso e cobertura da terra, Souza et al. (2010) utilizaram o classificador MaxVer e dois algoritmos baseados em aprendizado de máquina (*Multi Layer Perceptron*– MLP, e *Support Vector Machine*- SVM) utilizando imagens do satélite LANDSAT-5/TM. Nesse trabalho os autores encontraram maiores valores de Exatidão Global (EG) e Kappa (K) para os métodos SVM e MLP (EG de 86,03% e 82,14%;K de 0,77 e 0,76), respectivamente. A conclusão dos autores foi a de que os métodos SVM e MLP estão aptos à classificação dos padrões propostos, já que apresentaram resultados semelhantes ao método tradicional da Máxima Verossimilhança. Porém, estes classificadores podem consumir mais tempo na etapa de definição dos parâmetros da rede e de processamento.

Silva et al. (2013), assim como Oliveira et al. (2013), avaliaram a capacidade dos classificadores MaxVer e RNA. Porém nos estudos de Silva e colaboradores (2013) para mapeamento de pastagem em diferentes estágios de degradação no Município de João Pinheiro-MG, os resultados mostraram a eficiência do classificador na separação das quatro categorias de pastagens e os mapas gerados pelo MaxVer e RNAs apresentaram valores Kappa de 0,897 e 0,907, respectivamente. Penha (2009) avaliou dois algoritmos de classificação supervisionada (distância mínima até a média e o MaxVer) utilizando imagens digital do satélite IKONOS na região da Serra do Salitre – MG. O autor concluiu que para as condições do estudo e imagem utilizada o algoritmo MaxVer apresentou melhores resultados na classificação.

Nesses estudos de mapeamento do meio físico utilizando o sensoriamento remoto e técnicas de processamento digital de imagens como a classificação de imagens uma infinidade de métodos (algoritmos) podem ser usados, para a classificação das imagens, tais como: Redes Neurais Artificiais(RNA), Distância Euclidiana, Paralelepípedo, máxima verossimilhança (MaxVer), MaxVer-ICM (*Iterated Conditional Models*), que consideram também a dependência espacial na classificação. Além disso, é grande a gama de imagens de satélites, desde as disponibilizadas de forma gratuita na internet, com menor resolução espacial (maior Pixel), como as imagens LANDSAT (30 m), atéas imagens comerciais, com melhor resolução espacial, como no caso das imagens *RapidEye* (5 m) ortorretificada e da IKONOS (4 m multiespectral e 1 m pancromática).

Outros trabalhos, como Neto et al. (2011), utilizaram imagem do satélite *RapidEye* como auxílio no estudo de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Natuba, Pernambuco. Neste trabalho, a classificação foi feita coletando-se pontos de controle a campo e determinando-se por meio da criação de polígonos, com base no conhecimento da área e o trabalho de campo, as classes de uso do solo (sem aplicação de algoritmo de classificação). Por outro lado, Chagas et al. (2013) utilizaram os algoritmos MaxVer e RNA não para a classificação de imagens de satélites para estudo do uso do solo, mas para classificar os solos, na região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, com base em técnicas de MDS. Os autores

utilizaram as variáveis discriminantes de atributos do terreno, tais como: elevação, declividade, aspecto, plano de curvatura e índice topográfico combinado (CTI) e os índices *clay minerals*, *iron oxide* e, para a vegetação, o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), derivados de uma imagem do sensor ETM<sup>+</sup> do LANDSAT 7. Esses autores concluíram que as RNA apresentaram desempenho superior na geração do mapa de solos comparado ao MaxVer.

Portanto, diante dos distintos métodos disponíveis para análise de imagens e os resultados encontrados por outros autores na classificação das mesmas para diversos fins, acima resumidos, os objetivos desse capítulo foram:

- a) Analisar as características das imagens do satélite *RapidEye* para o mapeamento do meio físico no ambiente de Mar de Morros.
- b) Avaliar a qualidade dessas imagens quanto a sua ortorretificação em ambiente de Mar de Morros, com relevo acidentado.
- c) Gerar índices derivados das bandas do satélite *RapidEye* potencialmente utilizáveis no MDS

### 3.4 – MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.4.1 – Forma de aquisição e características das imagens *RapidEye*

As imagens de satélite foram disponibilizadas para este trabalho pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) por meio do Contrato MMA n° 30/2012, celebrado entre o MMA e a Empresa Santiago & Cintra Consultoria, distribuidora oficial das Imagens RapidEye, e também através de autorização concedida a Embrapa Solos e a UFRRJ. As características das imagens de satélite RapidEye estão na Tabela 9. O produto RapidEye 3A utilizado é uma imagem ortorretificada empregando o Modelo Digital do Terreno (MDT) do SRTM-3 e pontos de controle derivados do Global Landsat Mosaic (Costa, 2009).

**Tabela 9.** Características técnicas gerais dos satélites *RapidEye*.

Itens	Descrição	
Número de Satélites	5	
Órbita	Heliossíncrona com 630 km de altitude	
Passagem pelo Equador	+ou- 11:00 h em hora local	
Tipo do Sensor	Imageador multiespectral <i>pushbroom</i>	
Bandas Espectrais	Banda	Faixa do espectro (nm)
	Blue (1)	440 – 510
	Green (2)	520 – 590
	Red (3)	630 – 685
	Red-Edge (4)	690 – 730
	Infra vermelho (5)	760 – 850
Espaçamento de pixel 6,5 m no nadir	Espaçamento de pixel 6,5 m no nadir	
Tamanho do Pixel (ortorretificada)	5,0 m	
Tamanho da Imagem	Cerca de 77 km de largura, comprimento entre 50 e 300 km, 462 Mbytes/25 km ao longo da órbita para 5 bandas	
Expectativa de tempo de vida do satélite	7 anos	
Tempo de Revisita	Diariamente fora do nadir / 5,5 dias (no nadir)	
Datum Horizontal	WGS84	
Bits de quantização	12 bits	
Coordenadas do retângulo envolvente da cena utilizada	X1= 22,57253061 Y1=44,07102878	X2= 43,8298294 Y2=22,34518265

Fonte: Adaptado de *RapidEye*(2012).

Para que possam ser usadas tanto no estudo de uso do solo como no mapeamento do meio físico e mapeamento dos solos, em geral, as imagens de satélite devem passar por processamento. As principais correções a serem feitas são geométricas (georreferenciamento e ortorretificação das imagens) e radiométricas (eliminação de ruídos e correção atmosférica).

No caso específico das imagens *RapidEye* usadas nesse estudo, não foi necessária a correção geométrica, pois elas já são fornecidas ortorretificadas. Assim, foram feitas apenas a correção atmosférica e a avaliação da ortorretificação a partir de pontos de controle obtidos no campo em Pinheiral (RJ).

#### 3.4.2 – Correção atmosférica das imagens *RapidEye* usando modelo 6S

Para a correção atmosférica foi usado o modelo de transferência radioativa na atmosfera utilizando o 6S (*Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum*),

desenvolvido por Vermote et al. (1997) e adaptado por Antunes et al., (2014). Para esse modelo, os seguintes parâmetros são importantes na entrada dos dados:

- Latitude, data e hora de coleta da imagem
- Tipo de modelo de atmosfera gasosa (espalhamento *Rayleigh*)
- Tipo de modelo de aerossóis (espalhamento *Mie*)
- Visibilidade horizontal (concentração de aerossóis em km)
- Banda espectral que se deseja corrigir

As seguintes etapas foram executadas nas imagens *RapidEye*:

Nas imagens *RapidEye* os números digitais de 12 bits são gravados em arquivos de 16 bits, e já têm a calibração aplicada e representam a radiância a nível de satélite em unidades de  $W/m^2/Sr/\mu m$  vezes 100 (*RapidEye*, 2012). Para a correção atmosférica a imagem foi transformada para o formato RAW usando o programa SPRING 5.2.5 (Câmara et al., 1996). O modelo 6S foi adaptado para a correção atmosférica de imagens em 16 bits e com as funções de resposta do sensor *RapidEye* (Antunes et al., 2013). Os parâmetros utilizados são mostrados na (Tabela 10).

**Tabela 10.** Parâmetros de entrada usados no modelo 6S

Itens	Identificação
Data da Imagem	17/08/2011
Horário UTC decimal	14.1822587
Modelo dos gases	Tropical
Modelo de aerossol	Continental
Longitude do centro da cena	-43.95033078°
Latitude do centro da cena	-22.45885223°
Altitude média	408 m
Distância Sol-Terra	1,01244
Ângulo Zenital Solar	0,79
Visibilidade	25 km
Número total de linhas e colunas	25000000 (5000 L x5000 C)

A refletância da superfície obtida entre valores de 0 a 1 foi multiplicada por 10000 e armazenada em imagens de 16 bits a fim de se aproveitar melhor a capacidade radiométrica do sensor, já que este utiliza 12 bits de quantização, conforme Antunes et al., (2014). As imagens corrigidas para a atmosfera no formato RAW foram importadas para o programa SPRING 5.2.5 e posteriormente exportadas para o formato GEOTIFF, a fim de serem importadas no programa ENVI 4.7 para a classificação supervisionada da imagem *RapidEye*.

Quando se executa o modelo 6S, adaptado para imagens *RapidEye* por Antunes et al., (2014), ao mesmo tempo em que se corrige os efeitos da atmosfera pela imagem é feita a transformação de Radiância vezes100 (caso da imagem *RapidEye*) para reflectância vezes10000. No caso da imagem não corrigida que também vem em Radiância\*100, segundo *RapidEye* (2012), os valores de radiância são aplicados na Equação 3 para que essa possa ser convertida para reflectância. Em ambos os casos, imagem corrigida e não corrigida, foram amostrados vários pixels para cada alvo (de 7 a 10 dependendo do alvo) utilizando o programa de computação SPRING (gerando assim um arquivo txt com os valores da resposta física de cada alvo, no caso da imagem não corrigida radiância\*100 e imagem corrigida reflectância \*10000 e as respectivas coordenadas dos pontos amostrados), posteriormente foi feita uma média desses valores para cada alvo.

No caso da imagem não corrigida o valor médio de radiância \*100 foi utilizado na Equação 3 para conversão para reflectância e a imagem corrigida o valor médio já em reflectância foi dividido por 10000 para que ambos os valores de reflectância aparente e da superfície variassem de 0-1 para posterior confecção dos gráficos de reflectância aparente e da superfície em função da banda para os diferentes alvos.

**Equação 3:**

$$\rho_A = \frac{\pi * L_\lambda / 100 * d^2}{E_{Sol\lambda} * \cos\theta}$$

onde:

$\rho_A$  = Reflectância aparente;

$L_\lambda$  = Radiância espectral na abertura do sensor (nas imagens RapidEye é fornecida multiplicada por 100);

$\Pi$  = Constante matemática (3,1415);

$d$  = Distância entre a Terra e o Sol no dia da aquisição da imagem em unidades astronômicas;

$E_{Sol\lambda}$  = Irradiância solar exoatmosférica perpendicular aos raios solares e na distância média Sol-Terra, para cada banda do sensor RapidEye (Fonte: RapidEye, 2012):

Blue: 1997.8 W/(m<sup>2</sup>μm); Green: 1863.5 W/(m<sup>2</sup>μm); Red: 1560.4 W/(m<sup>2</sup>μm);

RE: 1395.0 W/(m<sup>2</sup>μm);

NIR: 1124.4 W/(m<sup>2</sup>μm)

$\theta$  = Ângulo zenital solar (= 90° - elevação solar)

### 3.4.3 – Avaliação da exatidão da ortorretificação das imagens *RapidEye*

Como as imagens *RapidEye* já vêm ortorretificadas não foi necessária a correção geométrica, mas foi avaliada a exatidão da ortorretificação. Tal procedimento é necessário para o ambiente de Mar de Morros, que pode conduzir a uma menor precisão que em áreas mais planas, como indicam os valores encontrados por Antunes et al., (2014).

Para tanto foram coletados, nos dias 3 e 4 de dezembro de 2013, 6 pontos de controle em campo com auxílio do GPS geodésico L1L2 (marca Ashtech Promark 100) do Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia da UFRRJ. A (Tabela 11) mostra as coordenadas dos pontos de controle.

**Tabela 11.** Pontos de controle coletados na área de estudo em Pinheiral (RJ) e pontos da imagem *RapidEye*.

Pontos de controle	Coordenadas dos pontos (GPS)		Coordenadas da imagem	
	E	N	E	N
1	603807,99	7509113,55	603802,08	7509101,37
2	603266,46	7507755,99	603260,85	7507735,03
3	604824,38	7509748,66	604814,68	7509728,89
4	604242,31	7509192,60	604232,67	7509174,41
5	602244,09	7505298,95	602247,57	7505286,65
6	603797,04	7508445,88	603802,93	7508421,79

Nota – Dados coletados com GPS geodésico Ashtech Promark 100, coletados em campanha de campo nos dias 3 e 4/12/2013 e imagem *RapidEye* de 17/08/2011 ambos no Datum horizontal WGS 84. E (longitude) N (latitude).

A avaliação da exatidão da ortorretificação da imagem, no que se relaciona a acurácia do posicionamento planimétrico de um ponto ou feição espacial qualquer, foi executada com base na comparação dos valores de coordenadas planimétricas de pontos na imagem com seus homólogos no terreno determinados com o GPS.

Como critério de avaliação foi o utilizado o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), definido pelo Decreto Lei 89.817 de 20 de Julho de 1984 (BRASIL, 1984) (Tabela 12).

**Tabela 12.** Padrão de exatidão cartográfica (PEC) da planimetria dos produtos cartográficos para a escala de 1:25.000.

Classe	Erro plan (PEC)	Erro padrão (EP)	Escala 1:25.000	
			PEC	EP
A	0,5 mm x Escala	0,3 mm x Escala	90% < 12,5 m	7,5 m
B	0,8 mm x Escala	0,5 mm x Escala	90% < 20,0 m	12,5 m
C	1,0 mm x Escala	0,6 mm x Escala	90% < 25,0 m	15 m

### 3.4.4 – Operações de bandas

Operações de bandas são operações aritméticas "pixel" a "pixel" entre diferentes bandas de uma imagem, através de uma regra matemática definida, tendo como resultado um índice representando a combinação das bandas originais. As operações mais comuns são a soma, subtração, divisão (ou razão entre bandas) e a multiplicação de uma banda por uma constante (realce linear) (Jensen, 2009; INPE, 2014b).

As várias operações podem gerar distintos índices que variam de acordo com o objetivo do estudo. No caso do MDS é crescente o uso de índices que possam ter alta relação com a gênese dos solos. Dentre esses, os mais usados são os de minerais de argila (*clay minerals*), óxidos de ferro (*iron oxide*) e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Os cálculos dos índices NDVI e o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) foram feitos usando a função operações aritméticas do programa SPRING 5.2.5, por meio das equações na (Tabela 13).

**Tabela 13.** Fórmulas dos índices de vegetação NDVI e SAVI.

ÍNDICES	FÓRMULAS	REFERÊNCIA
NDVI	$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}$	JENSEN (2009)
SAVI	$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_{nir} - \rho_{red})}{\rho_{nir} + \rho_{red} + L}$	JENSEN (2009)

Fonte: Citado por (Viganó et al., 2011)

Onde,  $\rho_{nir}$  é o fluxo radiante refletido no infravermelho próximo, representado pela banda 5 do sensor *RapidEye*,  $\rho_{red}$  é o fluxo radiante refletido no vermelho da região do visível, representado pela banda 3, para tanto foi usada a imagem anteriormente corrigida para reflectância da superfície.

A constante L, pode apresentar valores de 0 a 1, variando segundo a própria biomassa; os valores de referência de L (Ponzoni e Shimabukuro, 2009) são:

L = 1 (para baixas densidades de vegetação)

L = 0,5 (para médias densidades de vegetação)

L = 0,25 (para altas densidades de vegetação)

De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2009), em geral, o valor para o fator L = 0,5 é o mais utilizado, uma vez que engloba maior variação de condições de vegetação. Portanto, esse valor foi escolhido para o cálculo do SAVI, tendo em vista as características da área de estudo.

### 3.4.5 – Classificação supervisionada e mapeamento do uso do solo

Após a correção da imagem para os efeitos da atmosfera e a transformação de radiância para reflectância da superfície, foi feita a classificação supervisionada da imagem utilizando o classificador por Máxima Verossimilhança (MaxVer) (Jensen, 2009).

Na classificação supervisionada, diferentemente da não supervisionada, o operador define o número de classes de acordo com o conhecimento da área e o trabalho de campo e usa essas classes para treinamento do algoritmo. Moreira (2001) divide a classificação feita através do MaxVer em duas etapas:

**a) Treinamento:** nesta etapa são selecionadas as amostras em áreas representativas de cada tipo de uso e cobertura do solo. De posse dessas amostras são extraídos os parâmetros estatísticos (média e matriz de covariância) para cada classe. Estes parâmetros são usados pelo classificador para criar uma regra de decisão que irá determinar a qual classe pertencerá um dado *pixel* dentro da área de estudo e fora das áreas amostradas. Esse procedimento foi feito no programa ENVI 4.7 onde foram identificadas e selecionadas 7 classes de uso do solo para o treinamento.

**b) Classificação:** nesta etapa é calculada a probabilidade de um dado *pixel* pertencer a cada uma das classes fornecidas ao sistema na fase de treinamento. O *pixel* será associado à classe com maior probabilidade de pertencer.

Todos os mapas temáticos finais (classificação supervisionada e os índices de vegetação) foram elaborados utilizando o ArcView do ArcGIS Desktop10.0 (ESRI, 2010).

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.5.1 Correções de imagens e classificação supervisionada com base na reflectância dos alvos

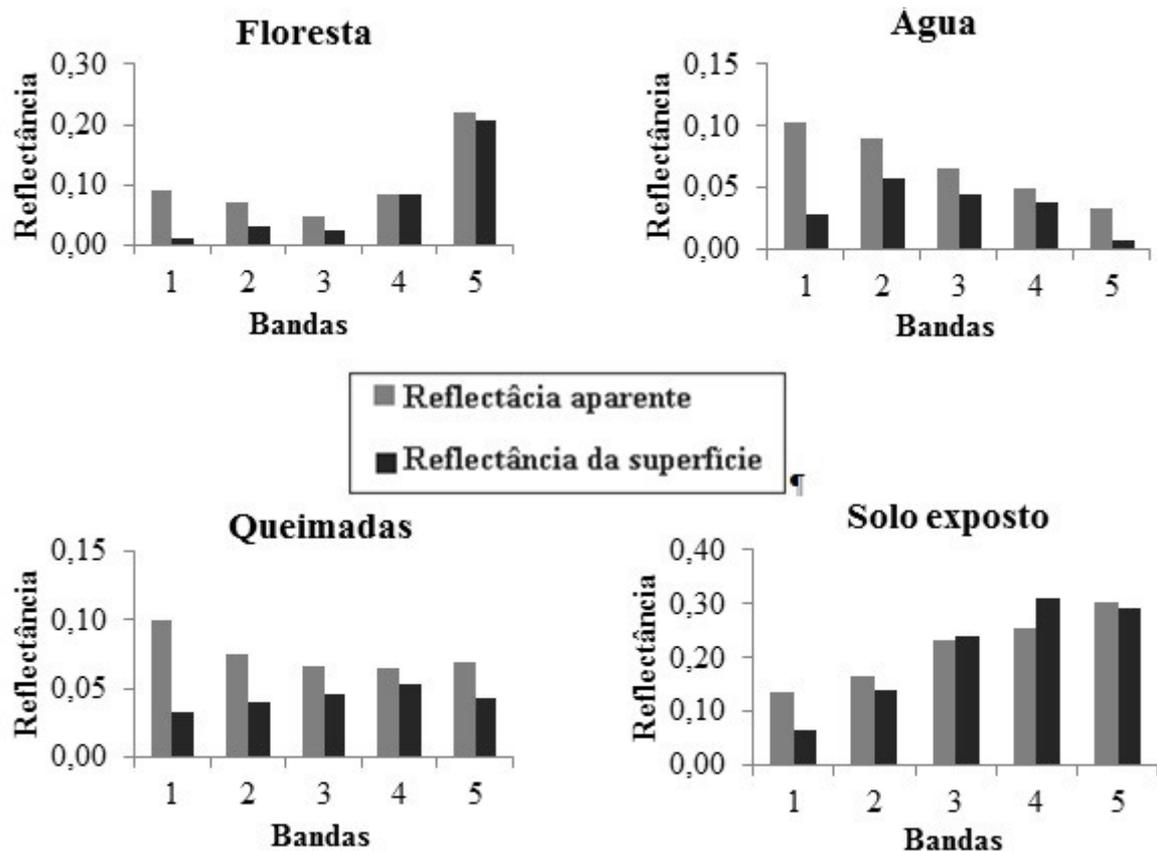
Os primeiros resultados são referentes ao processamento da imagem *RapidEye* para posterior uso no MDS. A Figura 6 é composta por imagens sem correção (à esquerda) e corrigida (à direita), na composição RGB 321. Nessas figuras já pode-se observar o efeito visual da interferência da atmosfera na imagem.



**Figura 6.** Imagem *RapidEye* de 17/08/2011 sem (a esquerda) e com (a direita) correção atmosférica, com a área da Fazenda São José do Pinheiro delineada em preto. Fonte: Contrato MMA n° 30/2012, celebrado entre o MMA e a Empresa Santiago & Cintra Consultoria.

O efeito da atmosfera na resposta espectral dos diferentes alvos é apresentado na Figura 7. Em todos os alvos a influência atmosférica causou valores de reflectância altos na faixa do azul devido ao espalhamento *Rayleigh*, que é proporcional ao inverso da quarta potência do comprimento de onda e, portanto, é maior na faixa azul do espectro (Antunes et al., 2012).

Para o alvo floresta as maiores diferenças de reflectância se deram na faixa do visível (bandas 1, 2 e 3), e os maiores valores de reflectância na imagem corrigida na faixa do verde (banda 2), que reflete mais nessa faixa do espectro devido a presença da clorofila nas folhas. Os maiores valores de reflectância ocorreram na faixa do infravermelho próximo (banda 5), mostrando que essa seria a melhor faixa do espectro para diferenciação desse alvo, sobretudo quanto a água que apresentou reflectância na faixa do verde semelhante à da floresta (em torno de 5%). Esse tipo de resposta, elevado valor de reflectância na faixa do infravermelho próximo, é principalmente devido à estrutura celular das folhas (Antunes et al., 2012).



**Figura 7.** Reflectância aparente e da superfície em função da banda para diferentes alvos.

Para a água uma interpretação errônea poderia ser obtida caso não fosse feita a correção atmosférica, pois esse alvo apresenta um aumento de reflectância na faixa do verde, muito provavelmente devido à presença de algas, pois valores de reflectância da água pura são maiores na faixa do azul.

Na imagem corrigida (Figura 6, imagem a direita) em composição de cor verdadeira o Rio Paraíba do Sul, na parte superior da imagem, aparece com a cor esverdeada. De modo geral, a reflectância da imagem não corrigida diminui com o aumento do comprimento de onda, iniciando em torno de 10% da banda 1 até em torno de 4% da banda 2. Para esse alvo todas as bandas apresentaram valores de reflectância da superfície menores que os valores de reflectância aparente, reforçando mais uma vez a importância da correção atmosférica para avaliação das repostas espectrais dos alvos. As maiores diferenças para esse alvo foram para as bandas 1 e 5, com 72,06 e 79,52 % de diferença respectivamente.

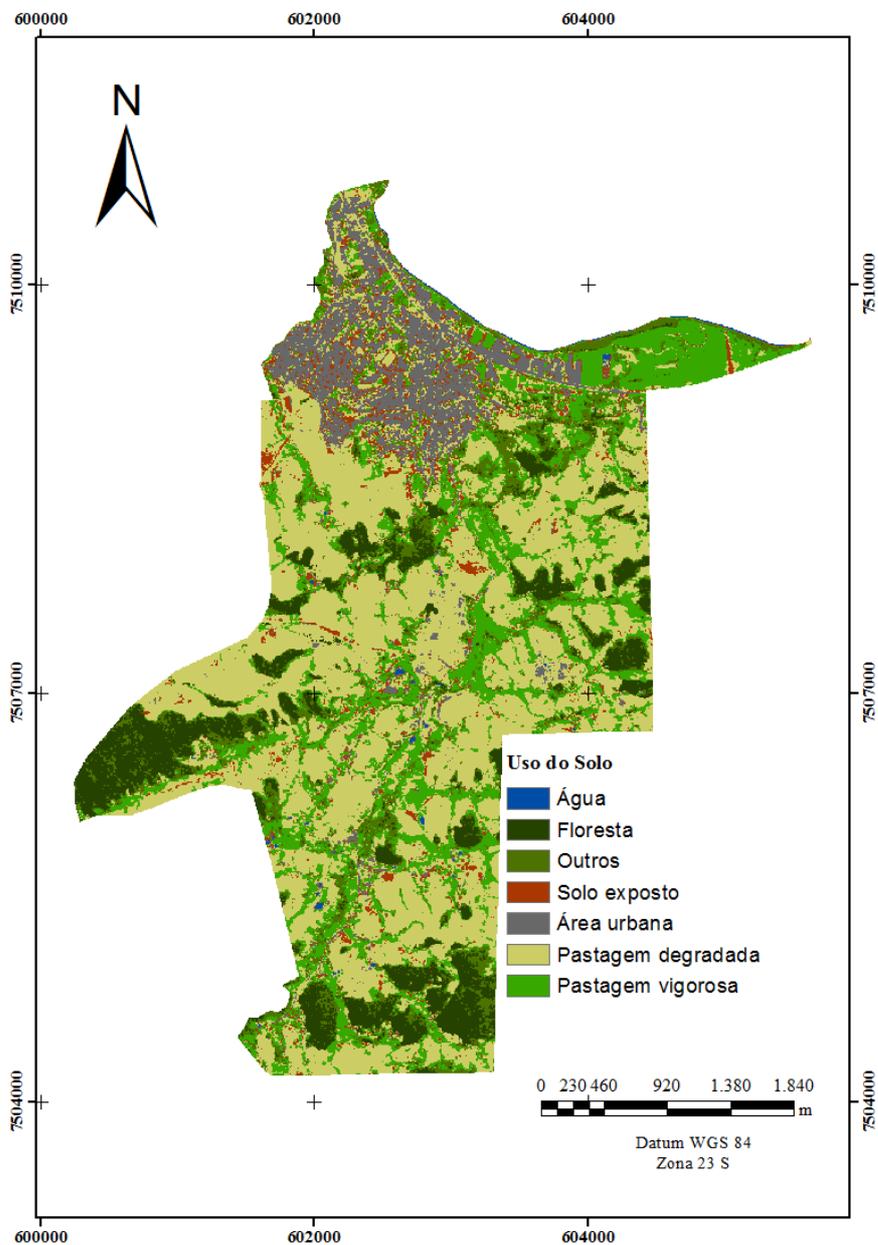
As áreas de pastagem que foram queimadas apresentaram comportamento semelhante ao da água na faixa do azul, tanto para a reflectância aparente quanto para a reflectância da superfície, assim como a água em todas as bandas a reflectância aparente foi maior que a reflectância da superfície. Uma banda ideal para diferenciação desses alvos seria a banda do infravermelho próximo, pois para a água a reflectância da superfície nessa faixa do espectro é bem inferior ao valor das áreas que foram queimadas, podendo chegar a zero a partir desse comprimento de onda. De modo geral, as áreas queimadas apresentaram elevados valores de reflectância em todas as bandas (Figura 7).

Para o solo exposto aumentou a reflectância desde o azul até o infravermelho próximo na imagem não corrigida (Figura 6, a esquerda). Este resultado difere do encontrado por Antunes et al. (2012), que observaram para a imagem não corrigida uma diminuição do azul para o verde e o aumento do verde para o vermelho.

Para a imagem corrigida a maior reflectância ocorreu na faixa de 690 – 730 nm na banda 4; sendo que para as bandas 3 (vermelho) e 4 (*Red-Edge*) os valores de reflectância da superfície (imagem corrigida) foram maiores quando comparados à reflectância aparente (imagem não corrigida). Ao contrário dos outros alvos a diferença de reflectância entre a imagem corrigida e não corrigida foi menor para o solo exposto.

Esses resultados evidenciam a necessidade de se aplicar o modelo de correção atmosférica em imagens de satélites, tanto para o estudo de uso do solo e monitoramento ambiental quanto para estudo que utilizem os índices derivados das imagens dos sensores remotos.

Após a correção das imagens foi possível fazer a classificação supervisionada da área, que foi separada em 7 classes de uso do solo (Figura 8). Foram identificadas as seguintes classes: floresta (áreas com médio a avançado estágio de regeneração), urbana (áreas contruídas, com ruas, casdas, comércio e etc.), água, pastagem vigorosa (passagem manejadas e/ou com maior qualidade devido a sua posição na paisagem, áreas que acumulam mais água, baixadas), pastagem degradada (pastagem falhas e com poucas folhas, com estágio médio a elevado de degradação cobrindo muito pouco a superfície do solo), solo exposto (área sem nenhuma cobertura vegetal), e outras (coberturas que se diferenciam das áreas identificadas pela forma, textura, ou valores de reflectância). Os principais tipos de coberturas vegetais dessa classe foram o plantio homogêneo de (Palmeira Real Australiana – *Archontophoenix cunninghamiana*) para produção de palmito, pastagem com arbustos e plantas invasoras (pasto sujo), capoeiras em diferentes estágios sucessionais, além de bambuzal com bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*), este último principalmente as margens do Rio Paraíba do Sul.



**Figura 8.** Mapa de uso do solo da Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral – RJ, feito pela classificação supervisionada (MaxVer) da imagem *RapidEye* de 17/08/2011. Fonte: Contrato MMA n° 30/2012, celebrado entre o MMA e a Empresa Santiago & Cintra Consultoria.

Após classificação supervisionada usando o classificador MaxVer, foram quantificadas as classe de uso e suas áreas de ocorrência dentro dos limites da Fazenda São José do Pinheiro.

**Tabela 14.** Quantificação das áreas de cada classe de uso do solo classificadas pelo MaxVer, na Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral - RJ.

<b>Uso do Solo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
Água	3,79	0,26
Floresta	152,5	10,43
Outros	142,22	9,73
Solo exposto	68,11	4,66
Área urbana	130,38	8,92
Pastagem degradada	659	45,08
Pastagem vigorosa	306	20,93
<b>Área Total</b>	<b>1462</b>	<b>100</b>

Pode se observar que mais de 45 % da área da fazenda é coberta por pastagem degradada.

Como as práticas agrícolas adotadas na época da instalação da lavoura de café na Fazenda São José do Pinheiro (século XIX) eram rudimentares, com pouca importância dada para a conservação do solo e água, as terras tornaram-se pouco produtivas e foram abandonadas ou passaram a ser utilizadas com pastagem extensiva não manejada e, segundo Menezes (2008), sobretudo com a introdução de espécie exóticas, algumas hoje consideradas naturalizadas. Muitas das terras de lavoura de café foram degradadas e sua decadência foi acentuada com a redução da mão-de-obra quando da abolição da escravatura. Assim, as terras da região alta do Vale do Paraíba já se encontravam em elevado estágio de degradação na época (Dean, 1997; Drummond, 1997). Nas áreas de café abandonadas e depois utilizadas com pastagens, em diferentes estágios de degradação, hoje se observa em algumas áreas capoeiras em diferentes estágios de regeneração da cobertura florestal secundária (Menezes, 2008).

A derrubada das florestas para a implantação de agropecuária, o crescimento demográfico, a urbanização, a industrialização e a criação das ferrovias alteraram a cobertura original e a paisagem da região. No caso da Fazenda São José do Pinheiro (Figura 8), 8,92 % da área total é urbanizada. Somando-se as duas classes de uso (pastagem degradada e área urbana) tem-se 50% do total da área.

A classe de uso de floresta secundária, que se formou após o declínio da atividade cafeeira, apresenta hoje elevado estágio de regeneração e compreende 10,43 % da área da fazenda. Essas áreas, que estão nas partes mais altas e declivosas da Fazenda São José do Pinheiro, foram submetidas a menor pressão antrópica; seja pela implementação da legislação florestal, pois segundo o código florestal brasileiro áreas com declividade acima de 45% são destinadas a preservação e essa declividade é comum nessa posição da paisagem, e / ou pela dificuldade de acesso ou custos do manejo e manutenção de lavouras agrícolas.

A classe de pastagem vigorosa (manejada), que corresponde a 20,93 % da área total (em torno de 218 ha), ocupa principalmente as áreas do IFRJ Campus Nilo Peçanha – Pinheiral. Esta forma de uso ocorre nas áreas de criação de gado de leite, nas planícies aluviais do Rio Paraíba do Sul e nas margens do ribeirão Cachimbal, além de áreas de gado de corte em baixada também próximas ao ribeirão Cachimbal.

A classe de uso identificada como água ocupa, principalmente, açudes particulares e os tanques da área de piscicultura do IFRJ Campus Nilo Peçanha – Pinheiral, localizados próximos ao Rio Paraíba do Sul. Este corpo de água não foi incluído na avaliação, pois está fora do limite da Fazenda São José do Pinheiro.

Com base em pontos de controle obtidos com GPS de navegação foram coletadas 179 amostras para validação da classificação, para tanto foi gerada a matriz de confusão e então

calculados a exatidão global e o Kappa que foram respectivamente 0,72 e 0,89, esse resultado indica uma forte concordância entre a classificação supervisionada e verdade terrestre.

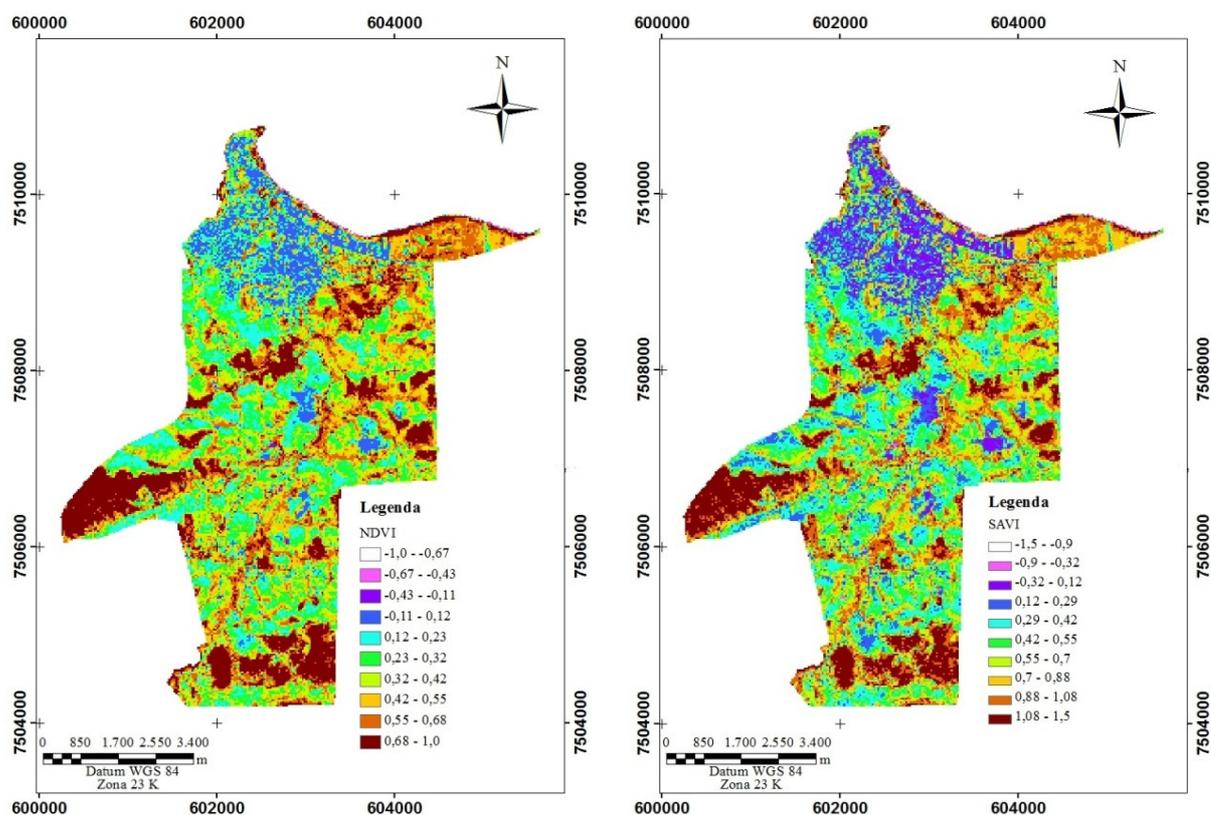
A maioria dos trabalhos com MDS no Brasil utiliza apenas o modelo digital de elevação (MDE) e os atributos de terreno derivados desses como covariáveis preditoras. Porém, é crescente o uso de imagens de satélites e de índices derivados das operações com bandas que possam contribuir nas predições de classes ou propriedades dos solos no MDS.

Chagas et al. (2011) integraram dados do satélite *Quickbird* atributos do terreno no MDS obtido usando a metodologia de redes neurais artificiais, na região Norte do Estado de Minas Gerais, e utilizaram as bandas 1, 2 e 3 desse satélite. Segundo esses autores, o uso de dados de sensores remotos de alta resolução espacial pode tornar a execução dos levantamentos em escala maior que 1:25000 (mais detalhado) mais rápida e com menor custo.

Segundo Demattê et al. (2004), que compararam mapas obtidos por sensoriamento remoto espectral e pelo método convencional, em Uberlândia-MG, os dados espectrais podem ser usados como instrumento no mapeamento de solos e a utilização conjunta dos dados de sensoriamento remoto espectral, curvas de nível e trabalho de campo permite obter mapa detalhado de solos.

Chagas et al. (2010b) utilizaram como covariáveis no MDS os índices de minerais de argila, óxido de ferro e vegetação por diferença normalizada, derivados de imagem do Landsat7. Esses atributos foram combinados e avaliados quanto à capacidade de discriminação dos solos de uma área no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Nesse estudo assim como no de Chagas et al. (2011) o mapa produzido usando todas as covariáveis obteve desempenho superior.

Devido a importância que essas covariáveis podem ter no MDS, influenciando de forma significativa as predições e a acurácia dos mapas gerados, foram aplicados os índices descritos no item 3.4.4 (Capítulo II). O produto gerado é apresentado na (Figura 9), que ilustra a variação dos índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI). A correlação desses índices com as classes de solos e atributos será testada, de acordo com método descrito no item 5.4.1 do Capítulo IV, e poderá ou não ser usada nas predições finais.



**Figura 9.** Mapas do Índice de vegetação (NDVI) da Fazenda São José do Pinheiro (esquerda) e do Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) (direita), da Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral – RJ. Obtidos a partir de operações de bandas da imagem *RapidEye* de 17/08/2011. Fonte: Contrato MMA n° 30/2012, celebrado entre o MMA e a Empresa Santiago & Cintra Consultor.

Esses índices baseiam-se em simples combinações das refletâncias do visível e do infravermelho próximo. O NDVI é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação e os valores variam entre -1 e 1. Tendo a água, por exemplo, que varia de valores de mais negativos próximos de -1, as áreas de floresta com elevado índice de área foliar no outro extremo com valores próximos de 1, já áreas degradadas ou mesmo áreas com baixo índice de área foliar apresentam valores intermediários variando de acordo com o vigor da cobertura vegetal.

O NDVI mostrou boa separabilidade entre as classes mostrando boa correlação visual com a classificação supervisionada feita utilizando o MaxVer (Figura 8). As áreas que foram classificadas como florestas apresentaram valores de NDVI entre 0,68 a 0,96. Já a área urbana predominantemente apresentou valores entre -0,11 a 0,12; a água -1 a -0,67; a pastagem vigorosa de 0,55 a 0,68. Curiosamente, as áreas queimadas apresentaram valores de NDVI próximos aos da área urbana. As áreas de solos exposto, assim como as de pastagem degradada, apresentaram valores de NDVI variando de 0,12 a 0,55, dependendo do vigor da pastagem e cobertura do solo.

Para o índice SAVI a amplitude de variação foi de -1,5 a 1,5; sendo que, assim como no NDVI, a faixa de maiores valores foi para a floresta e os menores para a água. O SAVI está entre um grupo de índices de vegetação que medem ou aproximam a distância entre o *pixel* e a linha do solo, assim retirando o efeito dos solos claros ou escuros (Huete, 1988), amenizando os efeitos do *background* do solo. Porém, assim como o encontrado por Santiago

(2009), os índices SAVI e NDVI não apresentaram distinção. Os índices de vegetação NDVI e SAVI são potencialmente utilizáveis no mapeamento digital de solos da área em estudo, pois possuem elevada relação com o uso da terra e consequentemente com processos de formação de solos sobretudo nos horizontes superficiais.

### 3.5.2 Avaliação da ortorretificação de imagens *RapidEye* em ambiente de Mar de Morros

A avaliação da ortorretificação das imagens *RapidEye* foi feita com base na comparação entre as coordenadas dos pontos coletados em campo e suas coordenadas homólogas na imagem ortorretificada (Tabela 11). Com isso foi possível a geração das análises de erros e a classificação de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), definido pelo Decreto Lei 89.817 de 20 de Julho de 1984 (BRASIL, 1984).

Inicialmente foi calculado o erro em um ponto qualquer definido como vetor erro ou erro planimétrico (EPlan), o qual é dado por:

**Equação 4:**

$$EPlan = \sqrt{(E_{i \text{ imagem}} - E_{i \text{ GPS}})^2 + (N_{i \text{ imagem}} - N_{i \text{ GPS}})^2}$$

A média das diferenças (ME) ou também chamada de média vetor erro, entre o posicionamento dos pontos na imagem e suas coordenadas obtidas em campo:

**Equação 5:**

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n Eplan_i}{n}$$

Também foram calculados a Raiz do Erro Médio Quadrático (Root Mean Square Error= RMSE) em E e em N,

**Equação 6:**

$$RMSE_E = \sqrt{\frac{\sum (E_{i \text{ imagem}} - E_{i \text{ GPS}})^2}{n}}$$

**Equação 7:**

$$RMSE_N = \sqrt{\frac{\sum (N_{i \text{ imagem}} - N_{i \text{ GPS}})^2}{n}}$$

Sendo:

n = número total de pontos;

Ei-imagem = coordenada E do ponto i na imagem;

Ei-GPS = coordenada E do ponto i obtido com GPS;

Ni-imagem = coordenada N do ponto i na imagem;

Ni-GPS = coordenada N do ponto i obtido com GPS.

Aplicando nas equações os valores das coordenadas da imagem e dos pontos de controle obtidos com auxílio do GPS (Tabela 11) têm-se os valores de ME = 19,23; de  $RMSE_E = 7,07$ ; e de  $RMSE_N = 18,44$ . Considerando-se a resolução espacial da imagem *RapidEye* ortorretificada (reamostrada para de 6,5 m para 5 m), verifica-se que os valores de RMSE obtidos são de aproximadamente 1,4 pixels na componente E e 3,7 pixels componente N. Costa (2009), ao verificar a acurácia do produto *RapidEye* 3A, verificou a existência de um erro sistemático de aproximadamente 4 pixels em ambas as componentes. Quando este erro sistemático foi eliminado, utilizando uma transformação polinomial com pontos de

controle, a acurácia posicional, segundo o autor, se apresentou similar (~1 pixel) a da imagem ortorretificada com maior número e mais acurados pontos de controle.

Considerando os valores médios de erro médio e a média do vetor erro, os valores encontrados nesse trabalho foram superiores aos encontrados por Antunes et al., (2014), para as três imagens do sensor *RapidEye* que esses autores avaliaram. Como esses mesmos autores descrevem, os resultados obtidos em seu trabalho foram para área plana; sendo que em área montanhosa, como no ambiente de Mar de Morros, em Pinheiral (RJ), os resultados podem ser distintos. Ainda, pode se observar que o maior erro está na direção N como mostra o RMSE.

Para o cálculo do erro padrão ou desvio padrão usa-se a seguinte equação (EP):

**Equação 8:**

$$EP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (EP_i - ME)^2}{n-1}}$$

$$EP = 4,91$$

Quanto à classificação segundo o PEC, foi realizado o teste t de Student com 90% de confiança para avaliar se a média das discrepâncias planimétricas é compatível com a exatidão esperada no PEC (Tabela 12) e o teste do qui-quadrado para a avaliação da variância. Apesar dos resultados para a área da Fazenda São José do Pinheiro serem inferiores aos encontrados por Antunes et al. (2014) em área plana, a análise da imagem do sensor *RapidEye* se enquadra na classe C escala 1:20.000 do PEC.

Segundo Demattê et al. (2004) os dados extraídos do Sensoriamento Remoto, as curvas de nível e o trabalho de campo permitem delimitar variações de classes de solos de forma detalhada. Nesse sentido, imagens de alta resolução espacial e com qualidade geométrica podem auxiliar o levantamento de solos, independentemente da metodologia usada, convencional ou digital, ampliando áreas com mapeamento de solo em nível de maior detalhe, ainda carentes no país.

### 3.6 CONCLUSÕES

A resposta espectral dos alvos é obtida de forma melhor na imagem de satélite RapidEye onde foi aplicada a correção atmosférica, sendo mais adequada não só para a obtenção de parâmetros da superfície mas também para uma melhor interpretação visual da imagem e para a comparação entre imagens de épocas e áreas diferentes.

A classificação supervisionada possibilitou quantificar as áreas e a percentagem de cada classe de uso do solo de forma consistente. A distribuição das classes de uso evidencia os reflexos do processo histórico de uso do solo na degradação das terras na Fazenda São José do Pinheiro.

A avaliação da ortorretificação da imagem do sensor RapidEye enquadrou a mesma na classe C da escala de 1:20.000, de acordo com o PEC.

## **4 CAPÍTULO III**

### **LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS NO AMBIENTE DE MAR DE MORROS EM PINHEIRAL - RJ, COMO SUBSÍDIO AO MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS**

## 4.1 – RESUMO

Ambientes como o Mar de Morros apresentam elevada complexidade de solos, pois possuem grande variação geológica, geomorfológica e de relevo. Nesse ambiente as interações são complexas e, conseqüentemente, também as relações entre os fatores envolvidos na gênese dos solos e sua distribuição na paisagem. O objetivo desse capítulo foi caracterizar a interação entre os processos múltiplos (mecanismos) e os fatores de formação relevantes nos processos específicos (processos de formação dos solos) para entendimento da pedogênese e distribuição das classes de solos na paisagem na Fazenda São José do Pinheiro, município de Pinheiral, RJ. No levantamento de solos foram utilizadas informações como clima, geologia, geomorfologia, vegetação e formas do relevo; além de dados de 42 perfis completos, identificados nesse estudo e compilados de outros trabalhos na área. Foram considerados também observações e perfis com descrição morfológica, registrados em atividades acadêmicas de campo na área, totalizando assim 99 pontos. A partir do entendimento da interação entre os processos múltiplos e fatores de formação atuantes nos processos específicos, foi possível identificar padrões de solos, estabelecendo assim as unidades de mapeamento e sua distribuição. Nas partes baixas (sistema de relevo agradacional) se observam solos mal e imperfeitamente drenados, influenciados por material de origem de colúvios e alúvios do ribeirão Cachimbal (Neossolos Flúvicos e Cambissolos Háplicos imperfeitamente drenados) e/ou Paraíba do Sul (Cambissolos Flúvicos, Gleissolos Háplicos e Planossolos Háplicos) e solos com maior influência de colúvios nos fundos de vale estreitos (Gleissolos Háplicos). Nas partes altas (sistema de relevo degradacional), tanto a geologia como a forma da vertente são marcantes na gênese dos solos. Nos materiais de origem de composição básica, solos de alta fertilidade natural (Chernossolos Argilúvicos e Háplicos, Argissolos Vermelhos e Neossolos Litólicos) são observados a partir de gabro; já elevados teores de argila (Latosolos Vermelho-Amarelos) são encontrados em solos originados de basalto. Nas formas côncavas da encosta e nos anfiteatros, em rochas de natureza ácida, se observam solos com padrão diferenciado, de coloração amarelada e mais intemperizados (Argissolos Amarelos e Latossolos Amarelos). Nos topos de morros, em muitos casos, destaca-se a presença de pedregosidade e os solos rasos, com predomínio de Argissolos (Vermelhos e Vermelho-Amarelos) e Cambissolos Háplicos de coloração avermelhada e vermelho amarelada. O levantamento de solos, além de fornecer subsídio para o mapeamento digital de solos da Fazenda São José do Pinheiro, irá contribuir com informações importantes para o planejamento do uso da terra para diversos fins - agrícola, pecuário, florestal e urbano; além de subsidiar o manejo dos solos para recuperação de áreas degradadas.

**Palavras-chave:** Pedologia. Pedogênese. Classificação de solos. Relação solo-paisagem.

## 4.2 – ABSTRACT

Environments such as the *Mar de Morros* have high complexity of soils because they have great geological, geomorphological and relief variation. In this environment the interactions are complex and, consequently, the factors involved in the soil genesis and their distribution in the landscape. This chapter aimed to characterize the interaction among multiple processes (mechanisms) and the relevant formation factors in the specific processes (soil formation processes) to understand the pedogenesis and the distribution of the soils in the landscape of Pinheiro farm, in the municipality of Pinheiral, Rio de Janeiro State. To aid in the soil survey information such as climate, geology, geomorphology, vegetation, and relief forms were used; besides data from 42 complete profiles, identified in this study and compiled from other studies carried out in the area. Observations and profiles with morphological description, registered during field teaching activities in the area were also used, thus totaling 99 points. With the understanding of the interaction between the multiple processes and soil forming factors acting on specific processes, it was possible to determine soil patterns, and to establish the mapping units as well as their distribution. In the lower parts (agradacional relief system) it can be observed imperfect or impeded drainage soils, influenced by colluvium and alluvium material from the Cachimbal river (Fluvents and Inceptisols with somewhat poor drainage) and / or the Paraíba do Sul river (Inceptisols, Aquents and Fragiudults), and soils predominant influenced by colluvium at the bottom of narrow valleys (Aquents). In the high parts (degradacional relief system), both the geology and the slope form are relevant in the pedogenesis. In the basic composition parent materials, soils with high natural fertility soils (Molisols and Alfisols, and Lithic Entisols) formed from gabbro; and clayey or very clayey soils (Oxisols) formed from basalt. In the concave slopes and amphitheaters, formed from rocks of acid composition, soils with different patterns can be observed, being yellowish and more weathered (Ultisols and Oxisols). In the hilltops, in many places, stony and shallow soils are observed, predominantly Ultisols (red, and reddish-yellow) and Inceptisols with reddish or reddish-yellow colors, is observed. The soil survey, in addition to providing information for the soil digital mapping of Pinheiro farm, will contribute with information important for planning the land use for different purposes - agricultural, livestock, forestry, and urban; and to give advice the soil management for reclamation of degraded areas.

Keywords: Pedology. Pedogenesis. Soil classification. Soil-landscape relationship.

### 4.3 – INTRODUÇÃO

Estudos relacionados ao meio ambiente e ao recurso natural solo são mais complexos em áreas de grande variação geológica e geomorfológica, como no ambiente de Mar de Morros. A grande variação nos fatores de formação de solos e a interação entre esses, resultam em variedade e complexidade de solos (Lepsch, 2002). As interações dos fatores de formação aliadas aos processos múltiplos, condicionadas, sobretudo pela condição de relevo, levam a semelhante variação de processos pedogenéticos específicos e, desta forma, solos com características distintas em paisagens similares.

Em estudo sobre a gênese de solos, Santos et al. (2010) relatam que no ambiente de Mar de Morros a intensidade dos processos pedogenéticos pode ser alterada pela remoção de material, em consequência do relevo movimentado, rejuvenescendo as superfícies. De acordo com os trabalhos de Menezes (2008), Santos (2009), Santos et al. (2010) e Fontana et al. (2013; 2014), nesse ambiente predominam solos com influência da remoção de material dos horizontes superficiais em consequência do relevo, como os Cambissolos Háplicos e os Argissolos. Nesse último a maior perda de partículas finas em superfície favorece a formação do gradiente textural, que é atributo diagnóstico dessa classe de solos. (Kämpf. e Curi, 2012)

Padrão de solos distinto foi encontrado por Marangon et al. (2013), e mostraram predomínio de Latossolos Vermelho-Amarelos, em ambiente de Mar de Morros na Zona da Mata Mineira. Segundo esses autores, na área de estudo Viçosa (MG) predominam Latossolos, apesar dos declives acentuados (relevo forte ondulado e montanhoso).

No estudo de Santos (2009) também foram descritos Latossolos, originados de rocha ígnea extrusiva básica (basalto) em locais de elevada declividade, o que mostra as interações dos fatores de formação de solos, com a formação de solos profundos, bem drenados e altamente intemperizados, mesmo em relevo acidentado. Já em rocha metamórfica, originada de rocha ácida (muscovita-biotita-gnaiss), Santos (2009) encontrou as Argissolos e Cambissolos Háplicos. Assim, a geologia e o relevo interagem como fatores dominantes na gênese dos solos no ambiente de Mar de Morros.

Também no ambiente de Mar de Morros, estudando três topossequências em Pinheiral (RJ), Fontana et al. (2014) observaram teores de argila em horizontes superficiais maiores em solos originados de rocha básica em relação a rocha ácida, onde os maiores teores de argila ocorreram em solos originados de basalto, gabro e muscovita-biotita-gnaiss, nesta ordem decrescente. Segundo esses mesmos autores os teores de carbono orgânico e a CTC do solo obedeceram a sequência gabro > basalto > muscovita-biotita-gnaiss. Também foi observado aumento dos teores de carbono orgânico do solo com a diminuição da elevação, ou seja, maiores teores em solos de baixada.

Segundo Demattê et al. (2011) o conhecimento do solo é um aspecto essencial para a aplicação de manejo adequado da cultura, além do planejamento de uso das terras para outros fins. Nesse sentido o levantamento de solos apresenta-se não apenas como representação da distribuição espacial das diferentes classes de solos, mas também ao registrar a caracterização dos perfis, permite sua interpretação e obtenção de informações imprescindíveis para a tomada de decisões, tanto em áreas agrícolas como urbanas (Lepsch, 2011).

É essencial conciliar a pedologia ao desenvolvimento de tecnologias agrícolas e, de acordo com Araújo Filho et al. (2013), estudos pedológicos são de natureza interdisciplinar, pois envolvem, mapeamento, gênese, morfologia e classificação necessitando de especialização em diversas linhas do conhecimento científico. Para tanto estudos de levantamentos de solos e mapeamento digital de solos geram produtos que podem subsidiar o planejamento agrícola e ambiental. Para Sampaio (2008), a importância de um mapa de solos é indiscutível, uma vez que nele fica representado elevado número de dados, que variam de acordo com sua escala em quantidade e qualidade. Os dados contidos nos mapas pedológicos e em relatórios baseados na caracterização dos solos podem ser interpretados de formas

distintas, como por exemplo, para: planejamento do uso da terra para fins agrícola, pecuário e florestal; planejamento para recuperação de áreas degradadas; zoneamento e muitos outros.

Praticamente todo o território brasileiro carece de levantamentos de solos em níveis mais detalhados (maiores escalas). O planejamento de uso das terras, em ambientes como o de Mar de Morros, de grande complexidade, requer a caracterização das pedopaisagens e de solos, como apontado por Carvalho Junior (2005). Segundo o autor, para levantamentos detalhados, permitindo que áreas mais homogêneas ou com maior grau de similaridade possam ser identificadas e manejadas de acordo com as características específicas, o advento de tecnologias, sobretudo na área da geoinformação, facilita e reduz o tempo para realização de levantamentos e mapeamento dos solos. Os modelos de elevação obtidos através de geoprocessamento e utilizados em mapeamentos de solos são uma ferramenta útil, ainda que devam ser ajustados para as várias pedopaisagens (Pinheiro et al., 2012).

Sendo, porém, indiscutível a necessidade do trabalho de campo e o conhecimento do pedólogo na caracterização dos solos e definição das unidades de mapeamento. Segundo Menezes et al. (2013) em trabalho realizado com abordagem de mapeamento digital de solos (MDS) baseado em lógica *fuzzy* e conhecimento de campo de especialista, tanto no método automatizado como no método tradicional de levantamentos de solos, o conhecimento do pedólogo sobre as relações solo-paisagem é insubstituível.

O objetivo deste capítulo foi caracterizar a interação entre os processos múltiplos (mecanismos) e os fatores de formação relevantes nos processos específicos (processos de formação dos solos) para contribuir no melhor entendimento da pedogênese e distribuição das classes de solos na paisagem na Fazenda São José do Pinheiro, município de Pinheiral, RJ.

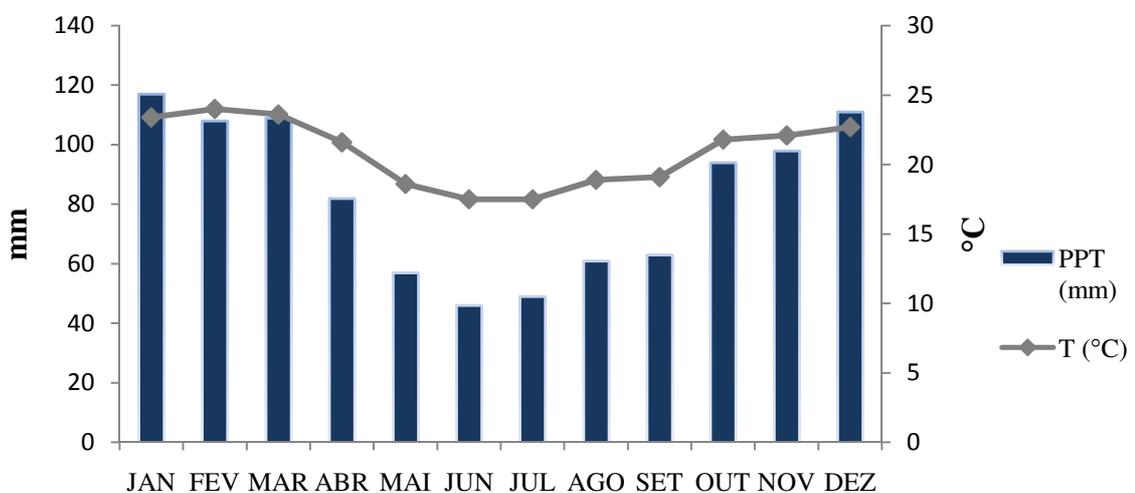
Os resultados obtidos no presente capítulo assim como os dos capítulos anteriores servirão de base para a elaboração do mapa digital de solos através da classificação pela Regressão Logística Múltipla, apresentada no Capítulo IV, subsequente.

## 4.4 – MATERIAL E MÉTODOS

### 4.4.1 – Caracterização da área de estudo

#### 4.4.1.1 - Clima e vegetação

De acordo com a classificação de Koppen o clima da região é identificado como Cwa – clima características de áreas subtropicais com verão quente e chuvoso e inverno com temperaturas amenas e seco (Alvares et al., 2013). Os dados meteorológicos apresentados na (Figura 10) compreendem o período de abril de 2005 a julho de 2010 e foram obtidos, segundo Portilho et al. (2011), na estação meteorológica do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Nilo Peçanha, Pinheiral – RJ. A estação é automática e da marca Metos modelo C-907C, e está instalada em local de coordenadas: latitude de 22° 31' S, longitude de 43° 59' W e elevação de 396 m.



**Figura 10.** Valores médios de precipitação pluviométrica e temperatura, no período de 2005 a 2010. PPT=precipitação; T=temperatura média. Fonte: Portilho et al. (2011). Dados da estação meteorológica automática do IFRJ, campus Nilo Peçanha, em Pinheiral-RJ

De acordo com o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 1992), a região está inserida em área de domínio ecológico da floresta atlântica, cuja vegetação original denomina-se Floresta Estacional Semidecidual Submontana e é característica de zonas de altitudes entre 300 e 800 metros. Como já descrito em capítulo anterior, a vegetação natural foi substituída por lavouras de café, depois abandonadas e substituídas por pastagens e capoeiras em áreas de maior dificuldade de acesso.

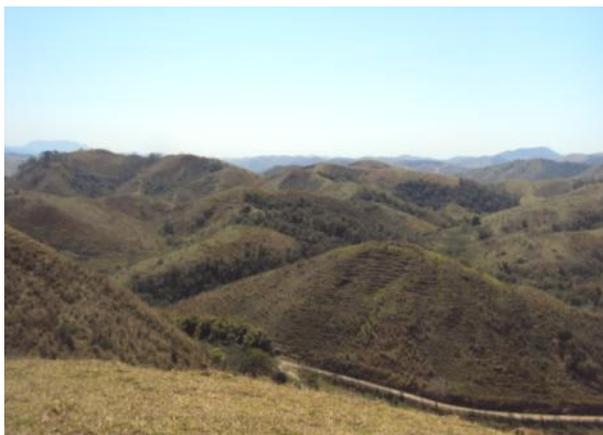
A vegetação atual e dominante na região é constituída por pastagens, implantadas e espontâneas não manejadas; as quais se apresentam em diferentes estágios de degradação, nível de uso e/ou abandono, dando origem às demais formas de vegetação da área, como os pastos sujos e as capoeiras em diferentes estágios sucessionais (Menezes, 2008). São ainda observados fragmentos florestais em diferentes estágios de regeneração (Diniz, 2011; Machado, 2011) além de algumas áreas com cultivos agrícolas.

#### 4.4.1.2 – Relevo

A região apresenta várias formas de relevo com distintos graus de dissecação. São observadas desde áreas mais acidentadas, relacionadas a sistema de relevo denominado degradacional (colinas, morros e morrotes), até relevos planos nas partes baixas da paisagem

em sistema de relevo agradacional (planícies aluviais e fundos de vales), e áreas transicionais como os leques aluviais (Figura 11).

A elevação varia desde 360 metros, na várzea do Paraíba do Sul, foz do ribeirão Cachimbal, até 720 metros na serra do Arrozal, no interflúvio ao sul da bacia do ribeirão Cachimbal (Oliveira, 1998; Menezes, 2008; Santos, 2009; Machado, 2011). Na área de abrangência da sub-bacia predominam encostas com declividades variadas (72,0 %), poucas áreas de topos de morros aplainados (5,7 %) e várzeas estreitas (22,3 %) nos vales estruturais da bacia e às margens de seu canal principal (Oliveira, 1998; Menezes, 2008; Santos, 2009; Machado, 2011).



Feição morfológica característica do Domínio “Mar de Morros”, Morros e Morrotes, Pinheiral, RJ.



Feição morfológica característica do Domínio “Mar de Morros”. Planícies aluviais, Pinheiral, RJ.

**Figura 11.** Feições morfológicas da região do Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral, RJ. Foto: Elias Mendes Costa, 2012.

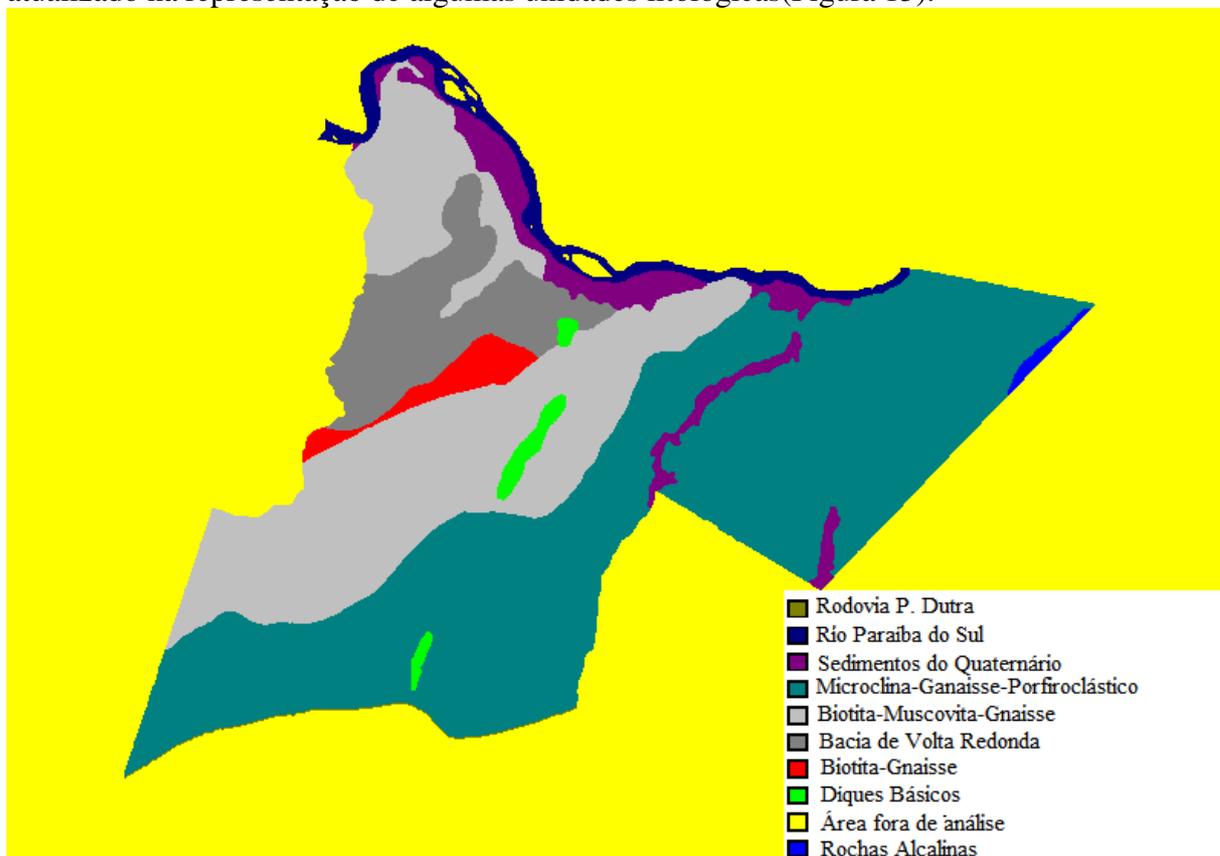
#### 4.4.1.3 – Geologia

A região do município de Pinheiral está inserida nas feições tectônicas e unidades litoestratigráficas do Complexo Paraíba do Sul, predominando rochas com distintos graus de metamorfismo. Segundo Nummer (2001) na região são encontradas rochas gnáissicas com principais litotipos: ortognaisses, biotita gnaisse, horblenda-biotita gnaisse e granada moscovita-biotita gnaisse, milonitos, granodiorito-tonalito além de intrusões de rochas ígneas básicas, São também encontrados material de origem sedimentar como os sedimentos do quaternário principalmente na calha do Rio Paraíba e sedimentos do terciário esse segundo característico da Bacia de Volta Redonda (Sanson et al., 2006) demonstrando a grande variação no arcabouço geológico da região (Santos et al., 2010). Segundo Sanson (2006) A Bacia de Volta Redonda assim como outras bacias que compõem o Rift continental do Suldoeste do Brasil está implantada no segmento central da Faixa Ribeira que foram remobilizadas e metamorfizadas por sucessivas fases orogênicas. Segundo esse mesmo autor a bacia encontra-se assentada predominantemente sobre sucessões metassedimentares do Complexo Paraíba do Sul. O registro sedimentar da bacia de Volta Redonda ocorre em duas principais áreas de acúmulo sedimentar: uma como manchas isoladas em meio ao embasamento pré-cambriano, na área urbana de Volta Redonda e Barra Mansa; e outra, denominada Gráben Casa de Pedra, que constitui a principal área sedimentar, alongada com direção WSW-ENE entre Volta Redonda e Pinheiral (Melo et al.1983). No setor oeste do graben da Casa de Pedra ocorreram derrames de lava ultrabásica alcalina denominados basanita Casa de Pedra (Melo et al.1983)

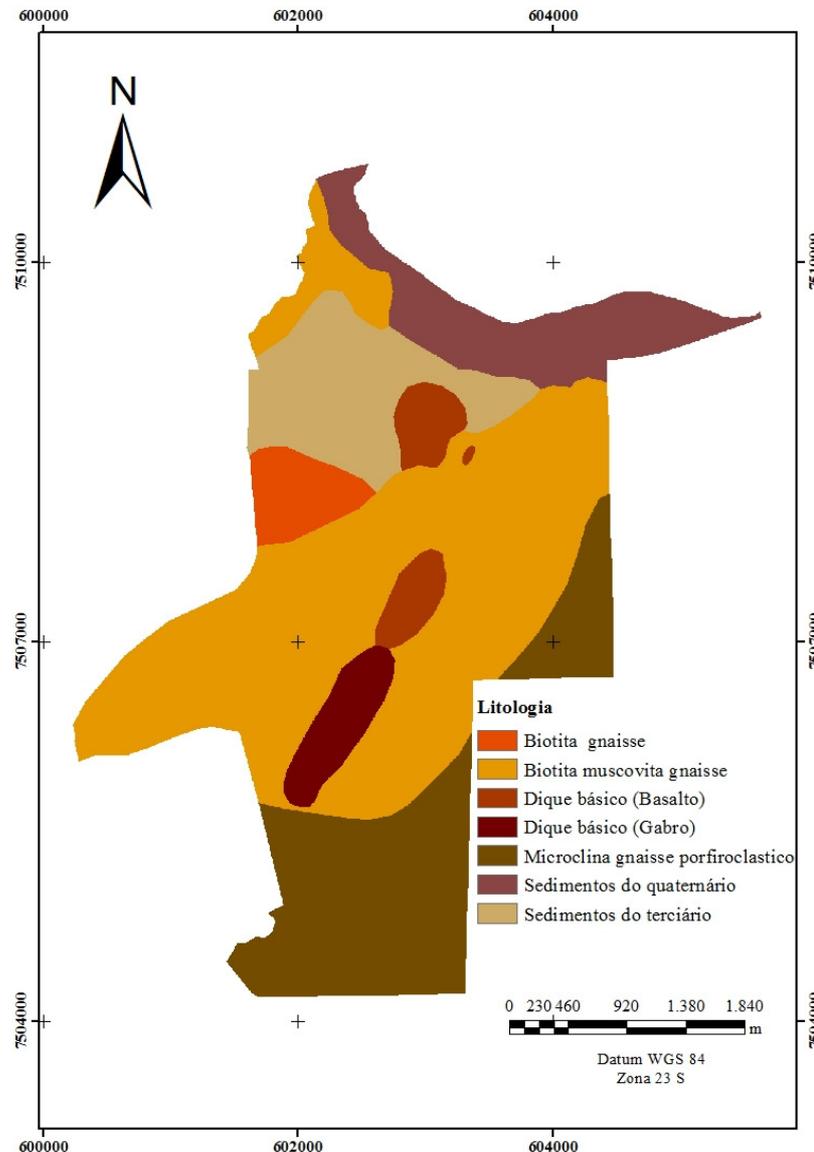
Quanto caracterização litoestratigráfica da Bacia de Volta Redonda (Sanson et al., 2006) sugerem que sucessão sedimentar mais antiga (Paleoceno) corresponde a Formação Ribeirão dos Quatis, cujo depósito ocorre sobre embasamento gnaissico na forma de machas sedimentares isoladas a norte do Rio Paraíba do Sul, fora do Gabren Casa de Pedra. A Formação Resende corresponde a idade Eocena representa o registro de um sistema fluvial entrelaçado, nessa formação os depósitos lamosos podem indicar sedimentação em planícies de inundação com baixo potencial de preservação, o derrame basáltico Casa de Pedra que ocorreu na porção oeste do Gabren se deu diretamente sobre a Formação Resende. O depósito da Formação Pinheiral corresponde a idade oligocena e caracteriza uma incisão fluvial bastante expressiva e de caráter regional e está relacionada a eventos de inundação e avulsão dos canais fluviais. Estes depósitos apresentam-se discordantemente sobre a Formação Resende e, em algumas localidades, sobre o Basanita Casa de Pedra. Recobrimo o registro sedimentar Paleogeno da Bacia de Volta Redonda ocorrem depósitos areno-argilosos castanho-amarelos, de idade supostamente neogena. Sedimentos aluviâis e coluviâis do Quaternário estão preservados nos fundos de vales e cabeceiras de drenagem.

Quanto à geologia local de acordo com levantamento feito pelo Departamento de Geologia do Instituto de Agronomia da UFRRJ (UFRRJ/IA/DG) como relatado por Oliveira (1998), Menezes (1999) e Santos (2009), foram identificados os seguintes materiais de origem: sedimentos do Quaternário (sedimentos colúvio aluvionários) sobretudo nas margens do rio Paraíba do Sul; microclina gnaisse porfiróclástico; biotita muscovita gnaisse; biotita gnaisse, bacia de Volta Redonda (sedimentos do terciário); Diques básicos e rochas alcalinas.

A área da Fazenda São José do Pinheiro apresenta quase toda a variação de geologia indicada para o município, como mostrada em [http://www.viconsaga.com.br/lageop/downloads\\_bases.php#](http://www.viconsaga.com.br/lageop/downloads_bases.php#). O mapa da litologia da Fazenda São José do Pinheiro foi obtido a partir do mapa do município de Pinheiral – RJ (Figura 12). Porém, diante de observações de campo durante o levantamento de solos, o mesmo foi atualizado na representação de algumas unidades litológicas (Figura 13).



**Figura 12.** Mapa litológico do município de Pinheiral - RJ. Fonte: [http://www.viconsaga.com.br/lageop/downloads\\_bases.php#](http://www.viconsaga.com.br/lageop/downloads_bases.php#) Processado pelo Laboratório de Geoprocessamento (UFRJ).

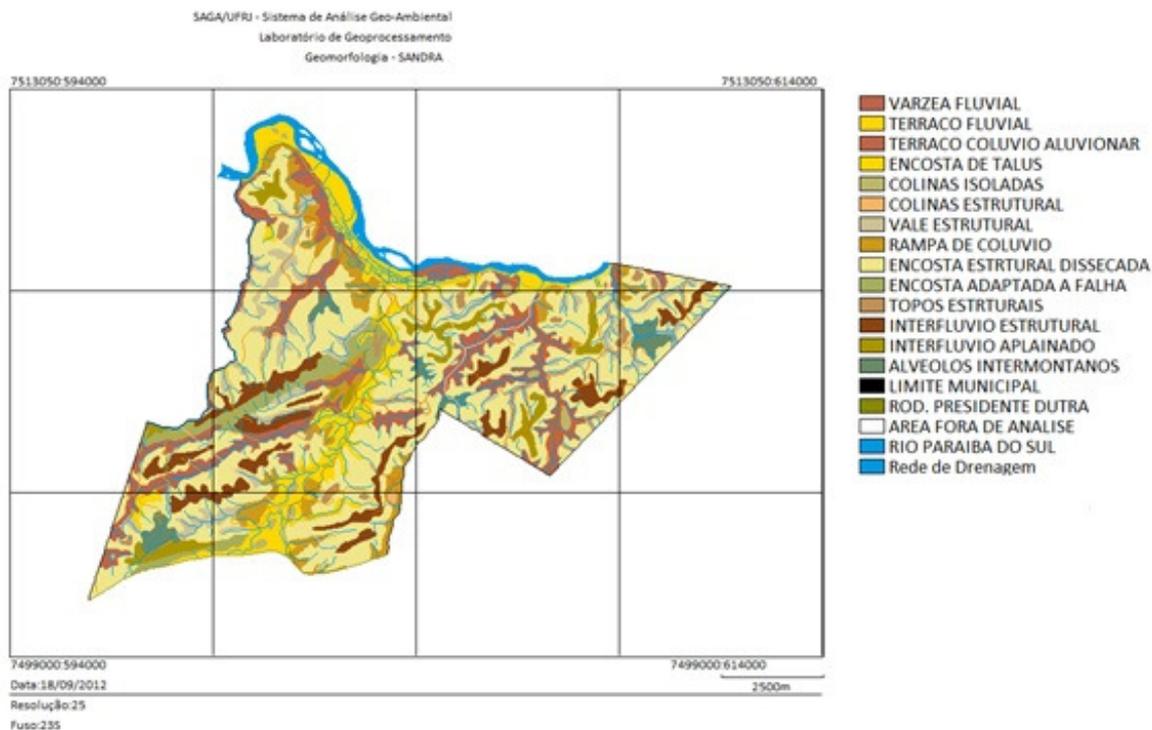


**Figura 13.** Mapa de litologia da Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral - RJ. Adaptado e recortado de [http://www.viconsaga.com.br/lageop/downloads\\_bases.php#](http://www.viconsaga.com.br/lageop/downloads_bases.php#).

#### 4.4.1.4 – Geomorfologia

O município de Pinheiral está situado na unidade geomorfológica da depressão do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, subdivisão do grande domínio regional das faixas de dobramentos remobilizados, que geograficamente caracteriza praticamente toda a região sudeste do Brasil (AB'Saber, 1996). Nessa depressão, cuja formação se deve a fenômenos tectônicos, o modelado geomorfológico se encontra condicionado a um acentuado controle estrutural que foi esculpido por sucessivas fases erosivas e deposicionais (Oliveira, 1998). A formação morfo-estrutural é delimitada pelo delineamento estrutural no sentido Sudoeste-Nordeste, que é predominante na região. Essa formação explica o relevo acidentado que caracteriza a feição geomorfológica conhecida como “Mar de Morros” (AB'Saber, 1997).

A identificação das principais feições geomorfológicas também é advinda de relatório e informações pessoais de Goes, em 1996, do DG/IA/FRRJ, citada por Oliveira (1998); Menezes(1999) e Santos(2009). Segundo essas referências, as feições incluem: bancos de sedimentos arenosos, várzeas ou planícies de inundação, terraços fluviais, terraços alúvio-coluvionares, rampas de colúvio, colinas estruturais aplainadas, colinas estruturais isoladas, encostas de talus, encostas estruturais dessecadas, encostas adaptadas a falhamentos, vales estruturais, interflúvios estruturais, e canais meandranes(Figura 14).



**Figura 14.** Feições Geomorfológicas do município de Pinheiral - RJ. Fonte: [http://www.viconsaga.com.br/lageop/downloads\\_bases.php#](http://www.viconsaga.com.br/lageop/downloads_bases.php#) Processado pelo Laboratório de Geoprocessamento (DG/IA/UFRRJ)

#### 4.4.1.5 - Solos

A partir de trabalhos realizados por Menezes (2008), Santos (2009) e Bernini e Silva (2012), que incluem a descrição e classificação de perfis de solos; atividades de campo feitas por alunos na disciplina de Formação e Caracterização de Solos, da UFRRJ\_CPGA-CS, nos anos de 2004, 2012 e 2013, acompanhados pelos professores Lúcia Helena Cunha dos Anjos e Marcos Gervasio Pereira, puderam ser identificadas as seguintes classes de solos na área de estudo e no município de Pinheiral (RJ): Argissolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo, Cambissolo Flúvico, Cambissolo Háplico, Gleissolo Háplico, Nitossolo Háplico, Neossolo Regolítico, Neossolo Flúvico, Chernossolo Argilúvico, Chernossolo Háplico e Planossolo Háplico.

#### 4.4.2 – Amostragem e procedimentos analíticos

Com base no conhecimento da área de estudo, a partir das informações de meio físico e solos já descritas no item 4.4, foram selecionados pontos representativos, que contemplassem a variação dos fatores de formação de solos na Fazenda São José do Pinheiro. Foram então abertas tricheiras para descrição dos perfis e coleta de amostras dos horizontes para caracterização dos solos. Na descrição morfológica dos horizontes foram avaliados os

atributos: espessura, cor, mosqueado (se presente), textura, estrutura, cerosidade (se presente), consistência e transição entre horizontes; além de descrição geral da paisagem e sobre o perfil das condições de material de origem, relevo e declividade, pedregosidade, drenagem, entre outras características, segundo procedimentos no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2013).

As amostras de cada horizonte coletado foram destorroadas e passadas por peneira de 2,00 mm de malha obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Neste material foram determinadas a granulometria e análises químicas identificadas no texto, segundo metodologia detalhada em EMBRAPA (1997).

De posse dos dados morfológicos, químicos e físicos dos horizontes de cada perfil foi feita a classificação dos solos com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, SiBCS (EMBRAPA, 2013).

#### a) Análises físicas

Foram quantificadas as seguintes frações do solo: percentual de cascalho e calhaus em relação a terra fina; teores de areia, silte e argila total (dispersa em NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>); teor de argila naturalmente dispersa (dispersa com água destilada). Com base nos teores de argila total e natural foi calculado o grau de floculação (GF), e com base nos teores de silte e argila a relação silte/argila. Também foi determinada a densidade do solo (Ds), com auxílio do anel de Kopecky, e das partículas (Dp) por meio de método do balão volumétrico, sendo calculada a partir dessas o volume total de poros do solo (VTP).

#### b) Análises químicas

Foram analisados os atributos: pH em água, pH em KCl, Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup> trocável, Al<sup>+3</sup> extraível, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> trocável, acidez extraível (H<sup>+</sup>+Al<sup>+3</sup>) e P assimilável. A partir desses dados foram calculados: o Δ pH, o valor S (soma de bases trocáveis), o valor T (CTC), o V% (saturação por bases), a saturação por sódio (Na sat %) e a saturação por alumínio (Al sat %), para todas as amostras dos horizontes coletados nos perfis.

Os teores de carbono total (C) e nitrogênio (N) total de cada horizonte foram determinados no CHN- (modelo Elmer PE-2400 CHNSO), no Laboratório de Análise Elementar da Embrapa Solos. O padrão de referência usado foi a acetanilida (C=71,09 %, H=6,71 %, N=10,36 %).

A caracterização dos componentes do complexo de meteorização e óxidos foi feita no Laboratório de Ataque Sulfúrico da Embrapa Solos. Para tal foi aplicado em parte da TFSA o procedimento de ataque sulfúrico para extração dos elementos ferro, alumínio, titânio e posterior extração da sílica no resíduo. O tratamento consiste em colocar amostra de solo (TFSA) em contato com solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1:1 e sob fervura durante meia hora sob refluxo e posterior resfriamento e filtração. No filtrado foram determinados os teores de Fe, Al e Ti, e no resíduo o de Si (EMBRAPA, 1997), expressos na forma de óxidos (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e SiO<sub>2</sub>).

Com base nos resultados foram calculados os valores de Ki e Kr (equações 9 e 10) respectivamente:

#### Equação 9:

$$K_i = \frac{(1,7 * \%SiO_2)}{\%Al_2O_3}$$

#### Equação 10:

$$K_r = \frac{(1,70 * \%SiO_2)}{\%Al_2O_3 + (0,64 * \%Fe_2O_3)}$$

## 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.5.1 Classes de solo e aspectos da paisagem relacionados

De posse do material base foram feitas estratificações da paisagem em unidades de mapeamento relativamente homogêneas.

Nos 1462 ha da área de estudo foram avaliados um total de 42 perfis completos, sendo 14 deles compilados de Santos (2009), 8 compilados de Bernini e Silva (2012), e 20 perfis (Anexo) foram caracterizados no levantamento de campo, como relatado no item 4.4.2.

Além de observações de campo, foram também considerados os perfis descritos na disciplina de Formação e Caracterização dos Solos do CPGA-CS/UFRRJ, nos distintos anos, e informações de relatório de campo da disciplina de Levantamento e Classificação de Solos, na turma de 2012, totalizando assim 99 pontos, entre perfis completos, perfis com descrição morfológica e sem análises químicas e físicas, e observações em tradagens.

Os domínios geomorfológicos na área de estudo compreendem, em primeira instância, sistemas de relevo degradacional e agradacional. Os primeiros compreendem as superfícies de remoção, lixiviação e perda de material. Já os sistemas de agradação tendem a receber o material removido das partes mais elevadas ou de locais mais distantes.

Os dados compilados, os perfis completos e as observações assim como a separação da paisagem em domínios geomorfológicos e as características geológicas e geomorfológicas serviram para a caracterização das unidades de mapeamento.

#### 4.5.1.1. Sistema de relevo agradacional (planícies aluviais e fundos de vales)

Principalmente nas várzeas próximas ao ribeirão Cachimbal foram identificados solos que são influenciados tanto por sedimentos fluviais, quanto de colúvios dos morros e morrotes vizinhos, variável em função de proximidade de um ou outro. Esses solos possuem drenagem imperfeita a mal drenados e estão inseridos no contexto geomorfológico de área de baixada, em vales pouco amplos, em locais de deposição de material, representados pelo sistema de relevo de agradação. Quanto mais próximo do ribeirão, maior a influência dos sedimentos aluviais e menor o grau de pedogênese, onde os perfis são caracterizados por camadas de sedimentos estratificados abaixo do horizonte A, identificando os Neossolos Flúvicos. Em locais com melhor drenagem forma-se o horizonte B incipiente, identificando Cambissolos Háplicos com drenagem imperfeita e, alguns perfis, com mosqueado e/ou cores acinzentadas em profundidade.

Como sistema de relevo agradacional também ocorre as planícies aluviais próximas ao Rio Paraíba do Sul e, assim como nos vales pouco amplos, os solos nessa feição recebem sedimentos tanto de origem colúvia como aluvial e possuem drenagem imperfeita e mal drenada ou foram artificialmente drenados. Além dos sedimentos o fluxo interno de água influi nas propriedades dos solos dessa feição, em que o relevo é um importante fator de formação uma vez que condiciona a influência constante do rio e as distintas épocas de regime hídrico (cheia e vazante). Tal fato pode ser evidenciado através da formação de diferentes camadas a cada deposição, com características distintas, principalmente nas variações na cor e granulometria. Os solos encontrados nessas áreas foram os Cambissolos Flúvicos, Gleissolos Háplicos e Planossolos Háplicos, variando o teor de argila e nutrientes, de acordo com a origem dos sedimentos (colúvia ou aluvial), a dinâmica interna de água no solo e os processos geoquímicos envolvidos.

Ainda dentro do sistema de relevo agradacional tem-se os definidos como fundos de vales estreitos, que são influenciados, principalmente, pelos morros e morrotes circundantes. Estes recebem exclusivamente sedimentos colúviais, que variam com a natureza do material de origem. Os solos nessa feição possuem maiores limitações de drenagem, são mal drenados, e estão em condições de vales mais fechados. Associados com esses alvéolos colúviais, a

presença de quartzo no tamanho de cascalho foi observada nos horizontes, muitas vezes micáceo em profundidade e, por vezes, com indicação de descontinuidade litológica. Os solos encontrados nessas áreas foram classificados como Gleissolos Háplicos.

#### **4.5.1.2 Sistema de relevo degradacional (colinas, morros e morrotes)**

Os solos no sistema de relevo degradacional são em geral bem drenados e relativamente profundos, e ocorrem em feições de relevo onde predominam as colinas, morros e morrotes, em distintos materiais de origem, tais como as rochas: microclina gnaisse porfiroclástico, biotita muscovita gnaisse, materiais da bacia de Volta Redonda e diques básicos (gabro e basalto).

Foram identificadas nesses sistemas as classes de solos Nitossolos Háplicos e Latossolos Vermelho-Amarelos, nas condições relacionadas aos corpos intrusivos tabulares (diques de basalto), destacando-se a relevância do material de origem na gênese destes solos. Ainda nas áreas de ocorrência dos diques básicos, mas com a rocha gabro, foram identificados: Neossolos Litólicos e Chernossolo Háplico Órtico Léptico, mais rasos e menos desenvolvidos no topo de encosta; e Chernossolos Argilúvicos e Argissolo Vermelho Eutrófico, nos terços superior, médio e inferiores. Além desta associação com o material de origem, as condições de relevo e clima favorecem a gênese de solos bem intemperizados e de estrutura bem desenvolvida nas encostas. O clima atua por meio da precipitação pluviométrica, propiciando a transformação dos minerais primários facilmente intemperizados e a translocação de argila. O relevo contribui de forma a permitir uma boa drenagem e favorecendo perda de frações mais finas em superfície. A intemperização do material de origem, com a decomposição dos minerais ferro-magnesianos e a liberação dos elementos que levam a precipitação de óxidos de ferro, contribui para os tons brunados a avermelhados observados nestes solos.

Nos solos relacionados ao material de origem mais ácido (microclina gnaisse porfiroclástico; biotita muscovita gnaisse, materiais da bacia de Volta Redonda), predominam as classes dos Latossolos Amarelos, Argissolos e Cambissolos.

Os Argissolos Amarelos, e Latossolos Amarelos estão geralmente associados aos materiais gnaisses e granitos. Principalmente, os Argissolos estão localizados nas encostas côncavas e os Latossolos em condições de relevo aplainado em topo de elevação; em ambos os casos as cores amareladas são devidas a disponibilidade e o fluxo convergente de água orientado pela forma da vertente. O relevo é classificado como ondulado a forte ondulado, predominando declives superiores a 20%, proporcionando boas condições de drenagem, favorecendo a lixiviação de bases solúveis e o intemperismo químico. A elevada precipitação favorece a transformação dos minerais e, conseqüentemente, a remoção de bases e sílica. Neste sentido, o clima e o relevo se complementam no efeito sobre as perdas de bases e sílica. Os Argissolos Vermelho-Amarelos, assim como os Cambissolos Háplicos de cores avermelhadas e vermelho-amareladas, foram identificados nos morros e morrotes com fluxo divergente de água proporcionado pela forma convexa da paisagem.

Os Argissolos são caracterizados pelo gradiente textural e/ou propriedades que evidenciam translocação de argila em subsuperfície, como a cerosidade. Os processos específicos envolvidos na formação desses solos são eluviação/iluviação de argila e a erosão seletiva de finos (elutriação). Os Cambissolos Háplicos são caracterizados pelo horizonte diagnóstico B incipiente, que indica alterações físicas e químicas incipientes, ou seja, um solo em formação (jovem) em expressão de processo pedogenético. Embora o relevo permita a boa drenagem, conforme observado pela profundidade de ocorrência das raízes, predomina o escoamento superficial nas chuvas mais intensas, provocando a maior remoção do material superficial e impedindo que o solo alcance maior grau de desenvolvimento. Associado ao

clima, o relevo geralmente consiste de áreas de declive acentuado e maior propensão a ocorrência de processos erosivos e de movimentação de massa.

Nessas condições de relevo e de geologia, com material de origem mais ácido, foram observados alguns solos com elevados teores de Al trocável, além da presença de linha de pedra e/ou ocorrência de cascalho em todo o perfil.

#### **4.5.2 Unidades de mapeamento**

As características de paisagem, material de origem e dos solos foram utilizadas para a distinção das unidades de mapeamento descritas a seguir.

##### **Unidade I – Solos bem desenvolvidos e originados de basalto**

A unidade I possui solos profundos, com estrutura bem desenvolvida, bem drenados, situados em paisagem de vertentes e colinas (de unidade geomorfológica definida como topos estruturais, no topo, e encostas adaptadas a falhas, nos terços), em geral com declives de 17 a 27%, e em topos de elevação com declives de 0 a 3%. O horizonte superficial predominante é o A moderado e um dos perfis descritos nessa unidade tem A proeminente. Os horizontes superficiais são de textura argila ou mais fina e os subsuperficiais (B) de textura muito argilosa. Os perfis não apresentam rochiosidade ou pedregosidade e predominam cores vermelho amareladas. Uma característica marcante em alguns solos dessa unidade é a presença de cerosidade, diferenciando ordens de solos, onde nas áreas de menor declive, como no topo de elevações e terços de encosta menos declivosos, há predomínio de Nitossolos Háplicos. Nessas condições de paisagem, o fator de formação relevo favorece a infiltração de água no solo consequentemente a translocação de argila e acúmulo dessa na superfície dos agregados dos horizontes subsuperficiais. Assim, a cerosidade descrita é suficiente, com as outras características já descritas, para caracterizar o horizonte diagnóstico como B nítico, definindo assim a ordem Nitossolo. Em paisagens de declive mais acentuado, porém com fluxo de água favorecido pela condição climática (ambiente de floresta atlântica) e material de origem mais suscetível ao intemperismo, observa-se a intensa alteração da rocha básica (basalto) com a formação de solos caracterizados por avançado estágio de evolução pedogenética, com horizonte diagnóstico subsuperficial B latossólico. Nesses solos ocorrem características que indicam os processos específicos de latossolização e também eluviação/iluviação. A cobertura vegetal atual nessa unidade é a pastagem de *Brachiaria decumbens* (*Urochloa decumbens*) em fase de degradação. Os perfis nessa unidade foram: NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico (topo de encosta), LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (terço superior), LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (terço médio) e NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico (terço inferior), dados compilados de Santos (2009); e LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (terço superior), perfil descrito nesse estudo (item 4.4.2).

##### **Unidade II – Solos pouco desenvolvidos e originados de gabro**

A unidade II possui solos rasos e em alguns locais ocorrem afloramentos de rocha (topo de encosta). Os perfis apresentam estrutura bem desenvolvida, são bem drenados, e estão situados em paisagem de vertentes e colinas (de unidade geomorfológica definida como colinas estruturais isoladas), variando de 6-28 %, sendo o menor declive em topos de elevação. Apresentam horizontes superficiais de coloração mais escura (faixa de matiz 10R a 7,5YR, valor 2,5 a 3; croma de 1 a 2, úmido e valor de 3 a 4; croma 1 a 2, seco), com teores de carbono total (C) no horizonte superficial em torno de 26 g.kg<sup>-1</sup>, elevada saturação de bases (em torno de 92%) e argila de alta atividade no horizonte subsuperficial. Os solos descritos nessa unidade apresentam menor evolução pedogenética, indicada pelo horizonte diagnóstico B incipiente ou mesmo pelo horizonte superficial assentado diretamente sobre a rocha. Dentre os principais fatores na formação desses solos pode se destacar o material de origem e o

relevo. São solos desenvolvidos a partir da decomposição de rocha básica (Gabro), a qual confere os elevados teores de bases e a alta saturação de bases, além da alta atividade da fração argila e a preservação da matéria orgânica no horizonte superficial pela interação com a fração mineral mais ativa. O relevo favoreceu a remoção de material e levou a menor profundidade dos perfis de solo; influenciado a tal ponto que, em alguns locais, o horizonte superficial já não possui espessura suficiente para defini-lo como A chernozêmico, sendo então assumido que se trata de fase erodida, uma vez que todas as demais características diagnósticas para identificar a ordem Chernossolo estão presentes. Dentre os processos múltiplos, além da transformação que caracteriza o horizonte superficial bem desenvolvido, tem-se a perda, com solos rasos, e em menor intensidade, a translocação, esta evidenciada pela cerosidade pouca e fraca descrita em perfil nessa unidade. De modo geral os solos dessa unidade possuem desenvolvimento pedogenético incipiente. A cobertura vegetal atual nessa unidade é a pastagem, com grama Batatais (*Paspalum notatum*) e Brachiaria decumbens (*Urochloa decumbens*), ambas em processo de degradação. Os perfis nessa unidade foram: NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico típico (topo de encosta), dado compilado de Santos (2009); e CHERNOSSOLO HÁPLICO Órtico léptico (topo de encosta), perfil descrito nesse estudo (item 4.4.2).

### **Unidade III - Solos bem desenvolvidos e originados de gabro**

A unidade III possui solos profundos, com estrutura bem desenvolvida e bem drenados, que estão situados nos terços superior, médio e inferior com declives que variam de 6-16 % e a unidade geomorfológica é identificada como colinas estruturais isoladas. Os perfis dessa unidade apresentam horizontes superficiais de coloração escura (matiz de 2,5YR a 7,5YR; valor de 2,5 a 3 e croma de 1 a 2, em amostra de solo úmida; e valor de 2 a 4 e croma de 2 a 4 em amostra seca), com teores de carbono total (C) em torno de 18 g.kg<sup>-1</sup> e elevada saturação de bases (cerca de 64 % para o Argissolo e de 94 % nos Chernossolos). Na maioria dos perfis o horizonte superficial foi descrito como A chernozêmico (fase erodida) e em um dos perfis como A proeminente. Os solos dessa unidade, assim como os da unidade II, são desenvolvidos a partir da decomposição de rocha básica (Gabro), a qual confere os elevados teores de bases e a alta saturação de bases, além da alta atividade da fração argila e a preservação da matéria orgânica no horizonte superficial pela interação com a fração mineral mais ativa. O fator relevo favoreceu a remoção de material da superfície e/ou translocação de argila dentro do perfil de solo (evidenciada pela presença de cerosidade) o que acarretou em desenvolvimento de gradiente textural além da diminuição da espessura do horizonte A nos Chernossolos. Diferindo dos solos da unidade II esses perfis mostram atributos que indicam grau de desenvolvimento pedogenético mais avançado. Os principais processos pedogenéticos (processos específicos) envolvidos na gênese desses solos são: a erosão seletiva de finos (elutriação) e a eluviação/iluviação de argila. A cobertura vegetal atual nessa unidade é a pastagem de grama Batatais (*Paspalum notatum*) e Brachiaria (*Urochloa decumbens*) em fase de degradação. Os perfis nessa unidade foram: CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Órtico típico (terço superior, médio e inferior) dado compilado de Santos (2009); e ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico (terço inferior), perfil descrito nesse estudo (item 4.4.2).

### **Unidade IV – Solos bem desenvolvidos e originados de biotita-muscovita-gnaiss situados em superfície de forma côncava**

A unidade IV possui solos profundos, com estrutura bem desenvolvida e bem drenados, que estão situados nos topos de elevação (declives 2 a 8%) e em segmentos côncavos, em reentrâncias ou depressões na paisagem de anfiteatros com encostas possuindo declives de até 33%. A unidade geomorfológica é identificada como de rampas de colúvio com predomínio de forma côncava da superfície, favorecendo o fluxo convergente de água.

Em todos os perfis descritos nessa unidade o horizonte superficial foi identificado como A moderado, com teor de argila que varia de 20 % (Argissolos) a 45 % (Latosolos); enquanto o horizonte subsuperficial foi identificado como B textural, pelo aumento relativo de argila no horizonte B, ou como B latossólico, respectivamente nos Argissolos e Latossolos. Os perfis têm coloração vermelho amarelada a amarelada (matiz 5YR a 7,5YR) e não apresentam rochosidade ou pedregosidade na superfície; porém, em subsuperfície a pedregosidade varia de ligeira a moderada (calhaus e cascalhos de quartzo). Esses solos são desenvolvidos a partir da decomposição da rocha biotita-muscovita-gnaiss, sendo fortemente influenciados pelo material de origem (ácido), além do relevo e a condição climática, que proporcionam uma dinâmica de água favorável a lixiviação de íons e sílica, intensificando o intemperismo, além da translocação de argila e perdas de material fino em superfície nos Argissolos. Nos solos dessa unidade ocorrem características que indicam os processos específicos de latossolização e eluviação/iluviação (Latosolos) além da elutriação e eluviação/iluviação (Argissolos). A cobertura vegetal atual é a pastagem em fase de degradação com predomínio de Sapê (*Imperata brasiliensis*) e a grama Batatais (*Paspalum notatum*). Os perfis nessa unidade foram: ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico (terço inferior), dado compilado de Santos (2009); ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico (terço médio), dado compilado de Bernini (2011); LATOSSOLO AMARELO Eutrófico típico (terço superior) e LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico (terço superior), perfis descritos nesse estudo (item 4.4.2)

#### **Unidade V – Solos pouco desenvolvidos e originados de biotita-muscovita-gnaiss em superfície de forma convexa**

A unidade V possui solos medianamente profundos, com estrutura bem desenvolvida e bem drenados, que estão situados em paisagem com declives que variam de 7 a 26 %. A unidade geomorfológica é identificada como encosta estrutural dissecada, onde predominam superfícies de forma convexa, que favorecem o fluxo divergente de água. Em todos os perfis descritos nessa unidade o horizonte superficial foi identificado como A moderado, com teor de argila que varia de 23 % a 36 %. Nos solos dessa unidade predomina o B incipiente, ou seja, horizonte subsuperficial pouco afetado pelos processos pedogenéticos. Porém, em dois perfis foi identificado o B textural, definindo a ordem dos Argissolos, nesses solos a relação textural se deve principalmente ao aumento relativo de argila no horizonte B, onde os fatores clima e relevo são decisivos, controlando a dinâmica de água e favorecendo os processos pedogenéticos. Diferindo dos solos da unidade IV, os perfis têm coloração vermelho amarelada e avermelhada (matizes que variam de 7,5YR a 10 R). Esses solos são também desenvolvidos a partir da decomposição da rocha biotita-muscovita-gnaiss, mas diferem dos perfis da unidade IV pelo grau de evolução pedogenética em geral incipiente. Não apresentam rochosidade ou pedregosidade na superfície; mas em todos os perfis foi descrita a presença de seixos de quartzo e ocorrência de minerais primários facilmente intemperizáveis em subsuperfície. Os solos nessa unidade são fortemente influenciados pelo material de origem (ácido), além do relevo e do clima. Estes últimos conduzindo a processos distintos dos observados nas formas côncavas da superfície; nesse caso o fluxo divergente de água influencia nos processos múltiplos de perda e translocação de argila, conduz as cores (avermelhadas), e ao desenvolvimento (incipiente) dos solos. Os processos pedogenéticos envolvidos na gênese dos solos são principalmente a elutriação e eluviação/iluviação de argila, nos Argissolos. A cobertura vegetal atual nessa unidade é a pastagem em fase de degradação com predomínio de Sapê (*Imperata brasiliensis*) e a grama Batatais (*Paspalum notatum*). Os perfis nessa unidade foram: ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico (terço superior) CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico (terço médio), dados compilados de Bernini (2011); CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico (topo), ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (terço superior), CAMBISSOLO HÁPLICO Tb

Distrófico típico (terço médio), dados compilados de Santos (2009); CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico (terço superior), CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico (terço inferior), perfis descritos nesse estudo (item 4.4.2).

#### **Unidade VI - Solos pouco desenvolvidos e originados de microclina-gnaisse-porfiroclástico em superfície de forma convexa**

A unidade VI possui solos medianamente profundos, com estrutura bem desenvolvida e bem drenados, que estão situados em paisagem com declives que variam de 8 a 12 %. A unidade geomorfológica é definida como encosta estrutural dissecada, com predomínio de superfície de forma convexa, que favorece o fluxo divergente de água. Nos dois perfis descritos nessa unidade foram identificados, em um o horizonte superficial A chernozêmico (Argissolo) e no outro o A moderado (Cambissolo), e os teores de argila variam de 27 % a 32 %. Os horizontes subsuperficiais foram identificados como B textural e B incipiente, respectivamente no Argissolo e no Cambissolo. No Argissolo, a relação textural não foi suficiente para identificar o B textural, porém, este foi definido pela ocorrência comum de cerosidade e de grau moderado; em contraste com a cerosidade pouca e fraca no segundo perfil, classificando o como B incipiente. Os solos dessa unidade são de coloração brunada a avermelhada e diferem dos solos da unidade V, entre outros atributos, pela cerosidade, a ausência de pedregosidade e pelo material de origem. Os solos da unidade VI se desenvolveram a partir da alteração da rocha microclina-gnaisse-porfiroclástico, onde o relevo e o clima (fornecendo água que é o agente de transporte) favorecem a dinâmica interna e externa de água conduzindo aos processos pedogenéticos observados. Nos dois perfis a presença de cerosidade indica que a translocação de argila (mais intensa no Argissolo) é um processo múltiplo marcante na pedogênese, além da perda de material da superfície (sobretudo argila); como processos específicos (processos pedogenéticos) os principais nesses solos são a elutriação e a eluviação/iluviação. A cobertura vegetal atual nessa unidade é a pastagem, em fase de degradação, com predomínio de colônia (*Panicum maximum*). Os perfis nessa unidade foram: ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico (terço superior) e CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico (terço inferior), ambos perfis descritos nesse estudo (item 4.4.2).

#### **Unidade VII - Solos bem desenvolvidos e com alta saturação por Al, originados de biotita-muscovita-gnaisse e em superfície de topos planos.**

A unidade VII possui solos com estrutura bem desenvolvida e bem drenados, que estão situados em paisagem com declive menor que 3 %. A unidade geomorfológica é definida como topo estrutural. Em todos os perfis descritos o horizonte superficial foi identificado como A moderado, com teor de argila que varia de 42 % a 50%. Foi identificado em dois perfis o horizonte subsuperficial B incipiente, ou seja, pouco afetado pelos processos pedogenéticos, e em outro o B latossólico, ambos de textura argilosa. Uma característica marcante dessa unidade é a presença de calhaus e cascalho (de quartzo) em subsuperfície, além dos elevados teores de Al, que variam de 2,93 a 6 cmolc.kg<sup>-1</sup> nos horizontes subsuperficiais. Os solos dessa unidade apresentam: baixos valores de pH (em torno de 4,5); baixos valores de saturação por bases; e elevada saturação por Al, que atinge valores de 93% nos horizontes subsuperficiais. Quanto ao material originário, dois perfis estão em área identificada como de rocha biotita-muscovita-gnaisse, e um sobre litologia definida como Bacia de Volta Redonda. As principais características que levaram ao agrupamento desses solos em uma mesma unidade foram os elevados teores de argila, a posição na paisagem e suas propriedades químicas. Como fatores de pedogênese o material de origem (ácido), o relevo (topos planos) e o clima (ambiente de floresta atlântica) favoreceram processos relacionados a transformação dos minerais primários e a perda (lixiviação) de íons e sílica.

Entre os processos específicos envolvidos na formação desses solos tem-se a eluviação/iluviação (embora menos expressiva) e a latossolização (no Latossolo). Os solos dessa unidade apresentam elevada limitação do ponto de vista de fertilidade, pois são extremamente ácidos e com elevados teores de Al, além de argilosos e apresentarem pedregosidade. A cobertura vegetal atual nessa unidade é a pastagem em fase de degradação, com predomínio de Sapê (*Imperata brasiliensis*), grama Batatais (*Paspalum notatum*) e Colonião (*Panicum maximum*). Os perfis de solos nessa unidade foram: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico típico e inclui LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, todos em topo de encosta e descritos nesse estudo (item 4.4.2).

#### **Unidade VIII - Solos pouco desenvolvidos e com alta saturação por Al, originados de biotita-muscovita-gnaïsse e em terço médio de encosta**

A unidade VIII possui solos bem drenados e com estrutura bem desenvolvida, situados em terço médio de encostas convexas com declives que variam de 13 a 29%. A unidade geomorfológica é intermediária entre topo estrutural e encosta estrutural dissecada. Em dois dos três perfis descritos, o horizonte superficial foi classificado como A moderado e em outro como A proeminente, com teores de argila de 30 % a 37%. Em todos os perfis, o horizonte subsuperficial foi classificado como B incipiente, ou seja, pouco afetado pelos processos pedogenéticos, e o teor de argila variou de 37 a 49% no horizonte B. Os perfis dessa unidade diferem dos solos da unidade VII pelo maior declive, menor teor de argila nos horizontes superficiais e em subsuperfície e por não apresentar quantidade expressiva de calhaus e cascalho em subsuperfície. Assim como na unidade VII, os perfis também possuem elevados teores de Al, que variam de 3,55 a 4,51 cmolc.kg<sup>-1</sup> no horizonte B. Os solos dessa unidade apresentam: baixos valores de pH (em torno de 4,7); baixos valores de saturação por bases; e elevada saturação por Al, que atinge valores de 88% nos horizontes subsuperficiais. Quanto ao material de origem, dois perfis descritos são desenvolvidos a partir da alteração da rocha biotita-muscovita-gnaïsse e um sobre litologia de microclina-gnaïsse-porfiroclástico (perfil este que apresentou horizonte A proeminente). Assim como na unidade VII os fatores de formação material de origem (ácido), relevo (terço médio) e clima foram marcantes na pedogênese. O relevo declivoso associado a clima (água como agente de transporte) favorece o processo múltiplo de perda. Já a dinâmica de água na paisagem dessa unidade pode ser comparada a dinâmica de água observada na unidade V, também de superfície de forma convexa e com solos pouco desenvolvidos. Entre os processos específicos de formação dos solos, ocorrem os processos de elutriação e eluviação/iluviação, mas de modo geral, são incipientes. Assim como na unidade VII os solos apresentam elevada limitação do ponto de vista de fertilidade, pois são extremamente ácidos e com elevados teores de Al, além de argilosos e de estarem em posição da paisagem com elevado declive. A cobertura vegetal atual nessa unidade é a pastagem em fase de degradação com predomínio de Sapê (*Imperata brasiliensis*), grama Batatais (*Paspalum notatum*) e Colonião (*Panicum maximum*). Um dos perfis encontra-se sob floresta secundária em estágio mediano de regeneração. Os perfis de solos nessa unidade foram: CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico típico, CAMBISSOLO HÁPLICO Alíco úmbrico, CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, todos em terço médio de encosta de forma convexa e descritos nesse estudo (item 4.4.2).

#### **Unidade IX - Solos imperfeitamente drenados e originados de sedimentos colúvio-aluvionares na várzea do Ribeirão Cachimbal**

A unidade IX possui solos imperfeitamente drenados, que estão situados em ambiente de várzea com relevo plano (declive de 0 a 3%) a suave-ondulado (3 a 8%). A unidade geomorfológica é definida como terraço colúvio aluvionar e transição para encosta de talus.

Em todos os perfis descritos o horizonte superficial foi identificado como A moderado. Nessa unidade foram descritos três perfis que apresentaram horizonte B incipiente e um perfil (considerado como inclusão) sem horizonte diagnóstico subsuperficial (com sequência AC). Em todos os perfis a proximidade do Ribeirão Cachimbal foi determinante para suas características, seja adicionando sedimentos ou influenciando na drenagem desses solos. Os solos são muito jovens e estão ainda em processo de renovação pela adição de sedimentos. O material de origem desses solos é de sedimentos coluviais e/ou aluviais, o segundo predominando no Neossolo Flúvico Psamítico, que se encontra mais próximo ao Cachimbal, comparado aos outros solos descritos na unidade. O material de origem e o relevo de várzea favoreceram a adição, de sedimentos e/ou de íons provenientes das partes altas da paisagem, com a transformação dos minerais e elementos na solução do solo influenciada por condição sazonal de hidromorfismo. A interação desses fatores e os processos múltiplos favorecem o processo de gleização, sobretudo nos horizontes em maior profundidade no solo. Os perfis nessa unidade apresentam alta saturação por bases (todos com valores acima de 50%) e, de modo geral, desenvolvimento pedogenético incipiente. A cobertura vegetal atual nessa unidade é a pastagem com Colonião (*Panicum maximum*) e Brachiaria (*Urochloa decumbens*). Áreas do IFRJ - Campus Nilo Peçanha – Pinheiral, são também usadas com lavouras perenes e anuais. Os perfis de solos nessa unidade foram: CAMBISSOLOS HÁPLICOS Eutróficos Planossólicos, três perfis, dados compilados de Bernini (2011); e um NEOSSOLO FLÚVICO Psamítico típico, descrito nesse estudo (item 4.4.2).

#### **Unidade X - Solos imperfeitamente drenados e originados de sedimentos colúvio-aluvionares na várzea do Rio Paraíba do Sul**

A unidade X possui solos imperfeitamente drenados, como resultado de drenagem artificial, situados em ambiente de várzea com relevo plano (declive de 0 a 3%) a suave-ondulado (3 a 8%). A unidade geomorfológica é definida como terraço fluvial e terraço colúvio aluvionar. Em todos os perfis descritos o horizonte superficial foi identificado como o A moderado. Nessa unidade foram descritos perfis com horizonte B e um perfil (considerado como inclusão) sem horizonte diagnóstico subsuperficial (com sequência AC). Os solos diferem dos da unidade IX pela influência maior de sedimentos aluviais oriundos do Rio Paraíba do Sul. O material de origem é formado por sedimentos coluviais e aluviais, esse segundo predominando nos Cambissolos Flúvicos, situados próximos das margens do Rio Paraíba do Sul. O relevo relativamente plano em ambiente de várzea, originalmente inundável, favoreceu processos múltiplos de adição e transformação (ex:  $Fe^{+3}$  para  $Fe^{+2}$ ). A interação dos fatores e dos processos múltiplos nesse ambiente leva a expressão dos processos pedogenéticos de gleização, lessivagem e ferrólise. Os solos “rejuvenescidos” a cada adição de sedimentos têm o menor grau de pedogênese. Os perfis apresentam alta saturação por bases (todos com valores acima de 50%), onde um perfil (GLEISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico solódico) possui valor de saturação por bases de 100%, elevados valores de pH (em torno de 7,8) e altos teores de sódio. A cobertura vegetal atual nessa unidade é de pastagem manejada com Tifton (*Cynodon dactylon*), na área da bovinocultura de leite, e lavouras anuais (principalmente hortaliças) nas áreas adjacentes ao prédio central do colégio (IFRJ Pinheiral - Campus Nilo Peçanha). Os perfis de solos nessa unidade foram: CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Eutrófico típico, PLANOSSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico, dados compilados de Bernini (2011); CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Eutrófico típico, GLEISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico, e GLEISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico solódico, perfis descritos nesse estudo (item 4.4.2).

## Unidade XI - Solos mal drenados e originados de sedimentos coluviais

A unidade XI possui solos mal drenados, situados em várzeas com declive de 0 a 6 %. A unidade geomorfológica é definida como vale estrutural. Em todos os perfis descritos o horizonte superficial foi identificado como A moderado e o teor de argila varia de 19 a 25%. Nessa unidade foram descritos perfis sem horizonte B (com sequência AC), sendo o horizonte diagnóstico subsuperficial identificado com glei (Cg) e o teor de argila foi em torno de 30%. O material de origem (sedimentos coluviais) associado ao relevo (plano de várzea) e aos processos múltiplos de adição, de sedimentos ou de íons oriundos das partes altas da paisagem, e de transformação de Fe<sup>+3</sup> para Fe<sup>+2</sup>, devido à condição de redução imposta pela drenagem impedida, condiciona o processo específico de gleização. A cobertura vegetal atual nessa unidade é a pastagem (pasto sujo) e a Taboa (*Typha domingensis*). Os perfis de solos descritos nessa unidade foram: GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, dados compilados de Santos (2009); e GLEISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico, perfil descrito nesse estudo (item 4.4.2).

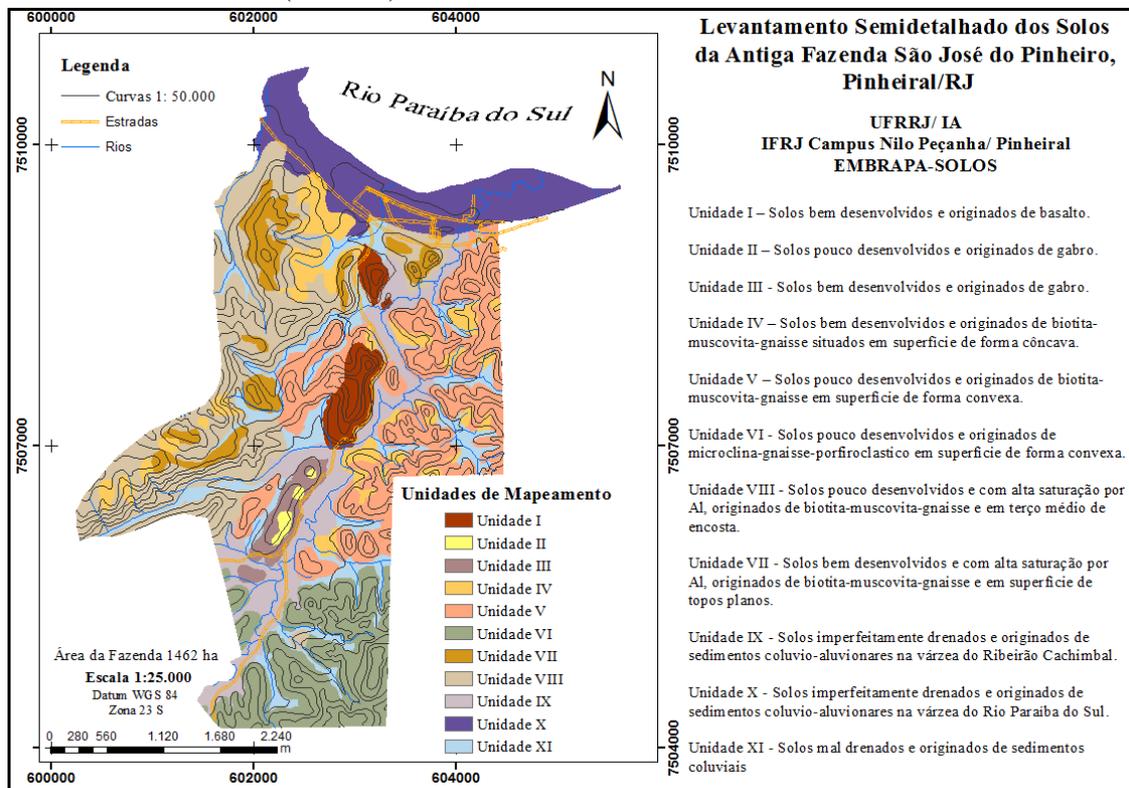
A (Tabela 15) mostra em síntese a relação entre as unidades de mapeamento, a litologia, as formas do relevo, e as respectivas classes de solos observadas na área de estudo.

**Tabela 15.** Relações entre unidade de mapeamento, unidade litológica, sistema de relevo (geomorfologia) e classes de solos.

Unidade de Mapeamento	Unidade Litológica	Sistemas de Relevo	Classes de Solos Predominantes (SiBCS)
Unidade I	Dique básico (Basalto)	Degradacional (topos estruturais e encostas adaptadas a falhas)	Nitossolos Háplicos e Latossolos Vermelho-amarelos
Unidade II	Dique básico (Gabro)	Degradacional (colinas estruturais isoladas)	Neossolos Regolíticos e Chernossolos Háplicos
Unidade III	Dique básico (Gabro)	Degradacional (colinas estruturais isoladas)	Chernossolos Argilúvicos e Argissolo Vermelho
Unidade IV	Biotita-muscovita-gnaiss	Degradacional (rampas de colúvios e segmentos côncavos)	Argissolos Amarelos e Latossolos Amarelos
Unidade V	Biotita-muscovita-gnaiss	Degradacional (encosta estrutural dissecada)	Cambissolos Háplicos e Argissolos Vermelho-amarelos
Unidade VI	Microclina-gnaiss-porfiroclástico	Degradacional (encosta estrutural dissecada)	Cambissolos Háplicos e Argissolos Vermelhos
Unidade VII	Biotita-muscovita-gnaiss	Degradacional (topo estrutural)	Cambissolos Háplicos e Latossolos Amarelos
Unidade VIII	Biotita-muscovita-gnaiss	Degradacional (encosta estrutural dissecada)	Cambissolos Háplicos
Unidade IX	Mista	Agradacional (terraço colúvio aluvionar) sob influência do ribeirão Cachimbal	Cambissolos Háplicos e Neossolo Flúvico
Unidade X	Sedimentos do Quaternário	Agradacional (terraço fluvial e terraço colúvio aluvionar) sob influência do rio Paraíba	Cambissolos Flúvicos, Planossolos Háplicos,

SiBCS- Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (2013)

Com base na relação solo-paisagem, que possibilitou a descrição e definição das unidades de mapeamento, foi feito o mapa da distribuição das unidades de mapeamento para a área de estudo. Para tal foi utilizado como material base, principalmente, os temas: MDE, declividade, geologia e fotografias aéreas com escala aproximada de 1:25.000, com resolução de 1 m, as fotografias aéreas foram tomadas em aerolevanteamento da empresa Base Aerofotogrametria e Projetos S.A. O mapa preliminar de solos feito através de convenio entre o então Colégio Agrícola Nilo Peçanha (atual IFRJ - Campus Nilo Peçanha) e Centro Nacional de Pesquisa em Solos (CNPq) (atual Embrapa Solos) com apoio da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).



**Figura 15.** Mapa de unidades de mapeamento da Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral - RJ.

#### 4.6 CONCLUSÕES

A partir do entendimento da interação entre os processos múltiplos e fatores de formação atuantes nos processos específicos, foi possível identificar padrões de solos, estabelecendo assim as unidades de mapeamento e sua distribuição.

Nas partes baixas (sistema de relevo agradacional) se observam solos de drenagem imperfeita ou impedida, influenciados por material de origem de colúvios e alúvios do ribeirão Cachimbal (Neossolos Flúvicos e Cambissolos Háplicos imperfeitamente drenados) e/ou Paraíba do Sul (Cambissolos Flúvicos, Gleissolos Háplicos e Planossolos Háplicos) e solos com maior influência de colúvios nos fundos de vales estreitos (Gleissolos Háplicos).

Nas partes altas (sistema de relevo degradacional), tanto a geologia como a forma da vertente são marcantes na gênese dos solos. Nos materiais de origem de composição básica, solos de alta fertilidade natural (Chernossolos Argilúvicos e Háplicos, Argissolos Vermelhos e Neossolos Litólicos) são observados a partir de gabro; já elevados teores de argila (Latosolos Vermelho-Amarelos) são encontrados em solos originados de basalto. Nas formas côncavas da encosta e nos anfiteatros, em rochas de natureza ácida, se observam solos com padrão diferenciado, de coloração amarelada e mais intemperizados (Argissolos Amarelos e Latossolos Amarelos). Nos topos de morros, em muitos casos, destaca-se a presença de pedregosidade e os solos rasos, com predomínio de Argissolos (Vermelhos e Vermelho-Amarelos) e Cambissolos Háplicos de coloração avermelhada e vermelho amarelada.

O levantamento de solos, além de fornecer subsídio para o mapeamento digital de solos da Fazenda São José do Pinheiro, irá contribuir com informações importantes para o planejamento do uso da terra para diversos fins - agrícola, pecuário, florestal e urbano, além de subsidiar o manejo dos solos para recuperação de áreas degradadas.

## **5 CAPÍTULO IV**

### **PREDIÇÃO DOS SOLOS PELA REGRESSÃO LOGÍSTICA MÚLTIPLA**

## 5.1 – RESUMO

Regressões nominais logísticas estabelecem relações matemáticas entre variáveis independentes contínuas ou discretas e variáveis dependentes discretas. Essas foram avaliadas quanto ao seu potencial em prever a ocorrência e distribuição de classes de solos e unidades de mapeamento na região de Mar de Morros, Pinheiral-RJ. A partir do modelo digital de elevação (MDE) com resolução de 5 m foram derivadas variáveis de terreno e juntamente com dados de sensor remoto (*RapidEye*) e mapas de geologia e solos foram então estabelecidas regressões logísticas múltiplas entre as classes de solos e as unidades de mapeamento. Foram ajustados 5 modelos para a predição de classes de solos e 6 modelos para a predição das unidades de mapeamento. As regressões serviram para calcular a probabilidade de ocorrência de cada classe de solo e unidade de mapeamento. O mapa final de solos estimado foi produzido atribuindo-se a cada célula do mapa a denominação da categoria (classe ou unidade de mapeamento) com maior probabilidade de ocorrência. Observou-se acurácia de 54 e 84 % e Kappa de 43 e 82 %, para a concordância dos mapas de classes de solos e unidades de mapeamento, respectivamente. As regressões logísticas múltiplas possibilitaram gerar mapas de probabilidade de ocorrência de classes de solo e de unidades de mapeamento. A utilização de covariáveis preditoras ligadas aos fatores de formação, tais como material de origem (geologia), relevo (direção de fluxo, declividade, índice de umidade topográfico) e organismos (índice de vegetação, SAVI) permitiu o melhor ajuste dos modelos. As regressões logísticas nominais adequaram-se como método preditivo da distribuição e ocorrência de unidades de mapeamento de solo. A utilização do mapa de solos como covariável aumentou o poder preditivo, com maior acurácia e Kappa, e maior concordância entre os mapas obtidos pelo método digital e o convencional. A predição de unidades de mapeamento apresentou maior acurácia e Kappa, comparativamente às predições de classes de solos, mesmo quando o mapa de solo convencional, não foi utilizado como variável preditora.

**Palavras-chave:** Pedometria. Modelos lineares generalizados. Mapeamento digital de solos.

## 5.2 – ABSTRACT

Logistics nominal regressions establish mathematical relations amongst continuous or discrete independent variables and discrete dependent variables. These were evaluated for their potential to predict the occurrence and distribution of soil classes and mapping units in the Mar de Morros environment, Pinheiral-RJ. From the digital elevation model (DEM) with 5 m resolution terrain variables were derived and together with remote sensor data (RapidEye) and geological maps and soil, multiple logistic regressions were then established between the soil classes and mapping units. There were adjusted 5 models to predict soil classes and 6 models for the prediction of the mapping units. The regressions were used to calculate the probability of occurrence of each soil class and mapping unit and the final predicted soil map was produced by assigning to each map cell a category name (class or map unity) with a high probability of occurrence. It was observed an accuracy of 54 and 84%, and Kappa of 43 and 82%, respectively, for the matching of soil class maps and mapping units. The multiple logistic regressions allowed generating maps of probability of soil types and mapping units. The use of predictive covariates related to the formation factors such as parent material (geology), relief (flow direction, slope, topographic wetness index) and organisms (vegetation index, SAVI) allowed the best model adjustment. The nominal logistic regressions are suited as predictive method of distribution and occurrence of soil mapping units. The use of the soil map as a covariate increased the predictive power, with higher accuracy and Kappa, and higher correlation between the digital and conventional maps. The prediction of map units showed greater accuracy and Kappa compared to soil classes prediction, even when the conventional soil map was not used as a predictor variable.

**Keywords:** Pedometrics. Generalized linear models. Digital soil mapping.

### 5.3 – INTRODUÇÃO

Os modelos de regressão logística permitem prever a probabilidade de ocorrência de uma variável resposta (no caso desse estudo - tipos de solos), considerando os valores de uma série de variáveis independentes que podem ser qualitativas ou quantitativas. Por ser utilizada mais que uma variável independente, o modelo é considerado múltiplo e, pelo fato de prever mais que duas classes, é considerado multinomial (ou polinômico) (Giasson e Coelho, 2010). Logo, o modelo é denominado de Regressão Logística Múltipla Multinomial (RLMM) e é uma generalização do modelo logístico simples (Agresti, 1990).

A função logarítmica ou logit é a razão entre a probabilidade de o evento ocorrer e a probabilidade deste evento não ocorrer (razão de chance). Ou ainda, exemplificando com classes de solo, a logit é a função logarítmica da razão entre a probabilidade ( $P_i$ ) de um pixel ser membro de uma classe de solo “i”, e a probabilidade de que ele não seja ( $1 - P_i$ ). Seu valor pode ser determinado através da regressão.

**Equação 11:**

$$\text{Logit}_i = \ln \left[ \frac{P_i}{(1-P_i)} \right] = a + b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k$$

O logit é o logaritmo natural de uma razão entre probabilidades. O valor de “a” indica o intercepto da regressão e os valores de “b” são os coeficientes de cada variável explicativa todos os valores de “a” e “b” das regressões serão determinados para cada classe de solo a partir de dados experimentais (DeBella-Gilo et al., 2007).

No Brasil, a maioria dos trabalhos de mapeamento digital de classes de solos utilizou técnicas de regressão logística, e sem sua maioria a abordagem seguiu o sentido de resgatar dados legados com o intuito de construir um modelo estatístico para mimetizar o modelo mental do pedólogo, para tanto as amostragens para construção e ajuste dos modelos se deu em mapas convencionais de solos. Giasson et al. (2006) aplicaram regressões logísticas múltiplas para produção de mapas de solo na região de Sentinela do Sul - RS, e os resultados apresentaram até 71% de coincidência com o mapa de referência. Figueiredo et al. (2008) avaliaram as regressões logísticas múltiplas (RLM) quanto ao potencial em prever a ocorrência e distribuição de classes de solos nos municípios de Ibirubá e Quinze de Novembro (RS). Os resultados variaram de 38% a 61% de coincidência com os mapas originais e os autores concluíram que as RLM têm potencial preditivo para serem usadas como ferramentas no mapeamento supervisionado de classes de solos.

Coelho e Giasson (2010) avaliaram diferentes métodos para o mapeamento digital de solos e concluíram que entre todos os métodos de classificação em estágio único, o método RLM teve os menores índices Kappa (índice que avalia a exatidão ou concordância dos mapas produzidos com a verdade terrestre), porém, obteve melhor acurácia global. ten Caten et al. (2011a) também utilizaram as regressões logísticas múltiplas como modelos preditores. Nesse estudo a classe dos Argissolos foi predita corretamente, em relação ao mapa original, em aproximadamente 85 %. As classes de solos hidromórficos (Planossolos e Gleissolos) foram preditas corretamente em 75 % e, segundo os autores, houve confundimento dos modelos para as classes que ocupam posições muito semelhantes na paisagem.

Uma desvantagem das regressões logísticas é que não possuem um valor de  $R^2$  como as regressões comuns, necessitando assim o uso de uma estratégia pouco mais complexa para excluir variáveis preditoras desnecessárias ao modelo (Wong e Mason, 1985). Modelos com grande número de preditores, bem como a existência de multicolinearidade entre os dados, podem ser ineficazes no mapeamento de classes e de propriedades do solo. Para tanto se procede a estatística multivariada e a aplicação de componentes principais, assim diminuindo o número de preditores e permitindo a seleção de variáveis ambientais não correlatas que

possuem maior potencial de aplicação ao modelo (ten Caten et al., 2011b). Outra abordagem que pode ser dada é a transformação linear das variáveis preditoras em componentes principais, essa técnica diminui o número de preditores, que passam ser as com pontes principais, o que possivelmente aumenta o poder preditivo dos modelos. Porém, de acordo com ten Caten et al. (2011c) deve-se ter cuidado pois quando as variáveis ambientais já são naturalmente pouco correlacionadas o uso de componentes principais pode implicar em perda de potencial preditivo. Outro fator que deve ser levado em consideração é se a transformação das variáveis originais em componentes principais (CP) tornarem mais difícil a interpretação em relação às covariáveis ambientais originais (Hengl & Rossiter, 2003).

Esse capítulo tem como objetivos:

a) Predição da distribuição dos solos através da classificação pela Regressão Logística Múltipla Multinomial, estabelecendo uma relação matemática entre a distribuição e ocorrência dos solos com as variáveis ambientais preditoras.

b) Avaliar o desempenho da classificação pela regressão logística.

c) Avaliar o peso das covariáveis sobre os modelos ajustados e sua relação com a predição dos solos.

d) Gerar mapa digital de solos e avaliar sua qualidade através da validação dos resultados.

## 5.4 – MATERIAL E MÉTODOS

### 5.4.1 – Variáveis preditoras

Além das bandas da imagem *RapidEye*, devidamente corrigidas, e dos índices gerados a partir das operações com bandas como descritos no capítulo II, foram utilizadas como variáveis preditoras o mapa de solos convencional, gerado como descrito no capítulo III, mapa geológico e variáveis topográficas (atributos de terreno) derivadas do MDE selecionado no capítulo I.

Esses atributos foram derivados do MDE com resolução de 5 m, selecionado no capítulo I, utilizando o SAGA GIS versão 2.1.0 SAGA GIS (2013). Onze (11) atributos de terreno (8 atributos primários e 3 atributos secundários) foram selecionados de acordo com sua relação com os processos envolvidos na formação dos solos e sua distribuição espacial e/ou seu uso comum na literatura. Os atributos são identificados resumidamente a seguir:

#### a) Atributos primários:

- Área de contribuição (inglês – *Catchment Area*; unidade – metro<sup>2</sup>): atributo que representa a área acima da célula em questão que contribui para o fluxo superficial que chega até aquela célula (Minella et al., 2010).
- Aspecto (inglês – *Aspect*; unidade graus): atributo que representa as faces de exposição, representado por valores em graus variando de 0 a 360°, medidos a partir do norte em sentido horário (ESRI, 1994).
- Direção de fluxo (inglês – *Flow direction*; unidade números inteiros) atributo que determina a direção do escoamento superficial e que é dado pela direção de água das cotas mais elevadas para as mais baixas em cada célula, varia de 0 a 7 (0=N, 1=NE, 2=E, ... 7=NW) (Wang e Liu, 2006).
- Distância vertical a rede de drenagem (inglês - *Vertical Distance to Channel Network*; unidade metro): atributo que representa a distância vertical para um nível base da rede de drenagem. Para o cálculo o algoritmo consiste em duas etapas principais – a primeira envolve a interpolação de uma elevação de nível base da rede de drenagem, e a segunda a subtração deste nível base a partir das elevações originais (Conrad, 2002).
- Curvatura de perfil (inglês – *Profile Curvature*; unidade – metro<sup>-1</sup>): atributo que representa a primeira derivada da declividade. Valores positivos descrevem curvaturas convexas, enquanto valores negativos descrevem curvaturas côncavas (Olaya, 2004).
- Curvatura planar (inglês – *Plan Curvature*; unidade – metro<sup>-1</sup>): atributo que representa a primeira derivada do aspecto. Valores positivos descrevem curvaturas convexas, enquanto valores negativos descrevem curvaturas côncavas (Olaya, 2004).
- Declividade (inglês – *Slope*; unidade – graus): atributo que representa a primeira derivada da superfície de elevação no sentido do declive, perpendicular as curvas de nível (Wilson e Gallant, 2000).
- Elevação (inglês – *Elevation*; unidade – metro): atributo extraído diretamente do modelo digital de elevação (MDE). Representa a altitude da célula em questão em relação a um plano de referência, geralmente o nível do mar (Wilson e Gallant, 2000).

#### b) Atributos secundários:

- Fator LS (inglês – *LS-Factor*; unidade – adimensional): atributo equivalente ao fator topográfico da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) que representa o efeito da topografia sobre a erosão (quanto maior o LS, maior o potencial erosivo), além de caracterizar os processos de erosão e deposição (Moore et al., 1993).
- Índice de convergência (inglês – *Convergence Index*; unidade – porcentagem): atributo que integra a informação dos valores de curvatura e assim fornece uma maneira mais fácil de interpretar o comportamento do fluxo (Olaya, 2004).

- Índice de umidade topográfica (inglês –*Topographic Wetness Index*; unidade – adimensional): atributo que descreve a tendência de uma célula acumular água, maiores valores de IUT significam maiores tendência de acumular água (Gruber e Peckham, 2009).

#### 5.4.2 Construção e ajuste dos modelos

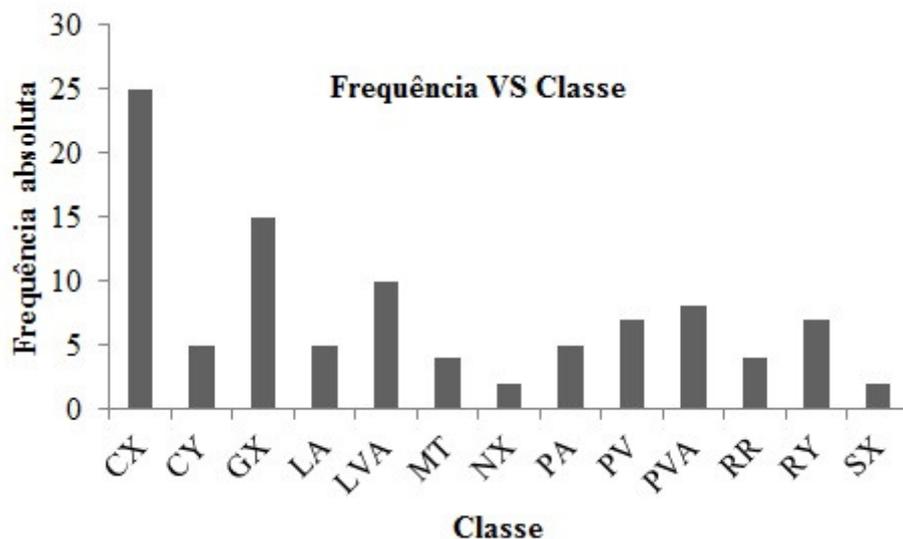
Para construção e ajuste dos modelos foi utilizado o software R (R Core Team, 2013) e o pacote *nnet* (*neural network multinomial modeling*) e a função *multinom* do pacote *nnet* (Venables e Ripley, 2002).

Essa função serve para os modelos log-lineares multinomiais via redes neurais. A regressão logística multinomial é uma simples extensão da regressão logística binária, que permite mais de duas categorias da variável dependente ou resultado (Debella-Gilo & Etzelmüller, 2009).

Ainda utilizando o software R (R Core Team, 2013) foi feita análise por meio o função *varImp* do pacote *caret* para avaliar o peso, ou importância de cada variável sobre o modelo ajustado (Kuhn, 2015). Os resultados são descritos no item 5.5.2 desse capítulo.

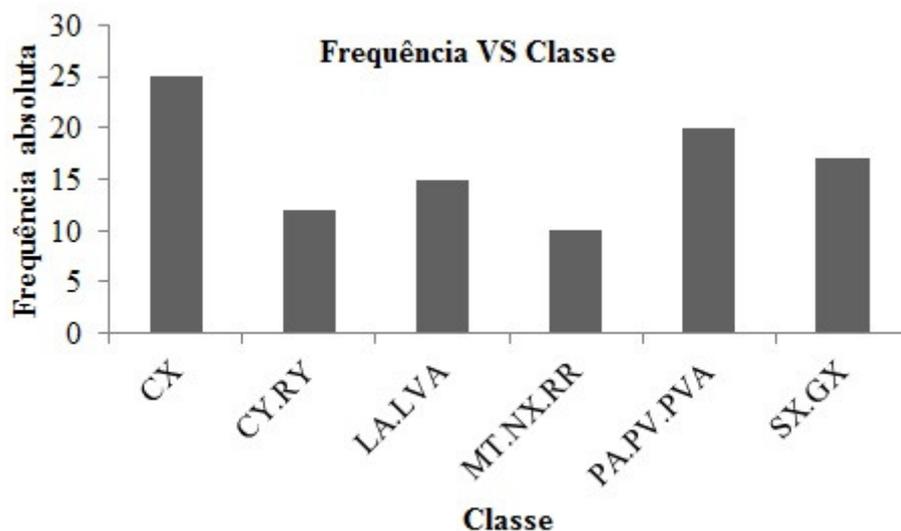
Foram ajustados 5 modelos para a predição das classes de solos e 6 modelos para a predição das unidades de mapeamento. O principal objetivo do ajuste dos modelos para essas duas situações foi avaliar o poder preditivo das classes de solos e unidades de mapeamento na área em estudo com geologia e geomorfologia complexa, bem como as interações entre os fatores de formação de solo. Para ajuste dos modelos foi feita, inicialmente, uma análise de correlação entre as variáveis preditoras. O modelo1 foi ajustado utilizando todas as variáveis, os modelos subsequentes foram ajustados retirando variáveis com alta correlação com uma ou mais variável preditora. Esse procedimento evita a multicolinearidade, a qual confunde o modelo e prejudica o ajuste (ten Caten et al., 2011c). No caso da predição em que a variável dependente é a unidade de mapeamento, um sexto modelo foi ajustado, retirando-se a variável preditora mapa de solos, para então se avaliar a capacidade do modelo em prever as unidades sem a informação de solo.

Para a predição das classes de solos, os perfis completos e os pontos de observação (Figura 16) foram agrupados, pois no ajuste dos modelos e validação dos resultados algumas classes tinham poucos representantes, o que prejudica a calibração do modelo. Dessa forma os solos foram agrupados (Figura 17) de acordo com o nível categórico mais geral do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, assim no caso dos Latossolos - Latossolo Amarelo (LA) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), e nos Argissolos - Argissolo Amarelo (PA), Argissolo Vermelho (PV) e Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA). Também foram agrupados pelas semelhantes características químicas, físicas e/ou morfológicas os Chernossolos Argilúvicos, Nitossolos Háplicos e Neossolo Regolítico bem como os solos com caráter flúvico (SiBCS, Embrapa, 2013), quais sejam: Cambissolo Flúvico (CY) e Neossolo Flúvico (RY), Solos com drenagem imperfeita ou impedida e com características que evidenciam o processo de gleização, como o Planossolo Háplico (SX) e o Gleissolo Háplico (GX) foram agrupadas. A classe dos Cambissolos Háplicos (CX) por ter bastantes pontos e por ser uma classe com características distintas das demais não foi agrupada com nenhuma outra, além do que os modelos logísticos apresentam alta sensibilidade à proporção relativa das amostras usadas para a fase de treinamento (ten Caten et al., 2011a).



**Figura 16.** Proporção das classes de solos observadas na área da Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral, RJ.

Nota: CX= Cambissolo Háplico, CY=Cambissolo Flúvico, GX= Gleissolo Háplico, LA=Latossolo Amarelo, LVA=Latossololo Vermelho-amarelo, MT= Chernossolo Argilúvico, NX=Nitossololo Háplico, PA=Argissolo Amarelo, PV=Argissolo Vermelho, PVA=Argissolo Vermelho-amarelo, RR=Neossolo Regolítico, RY= Neossolo Flúvico, SX= Planossolo Háplico

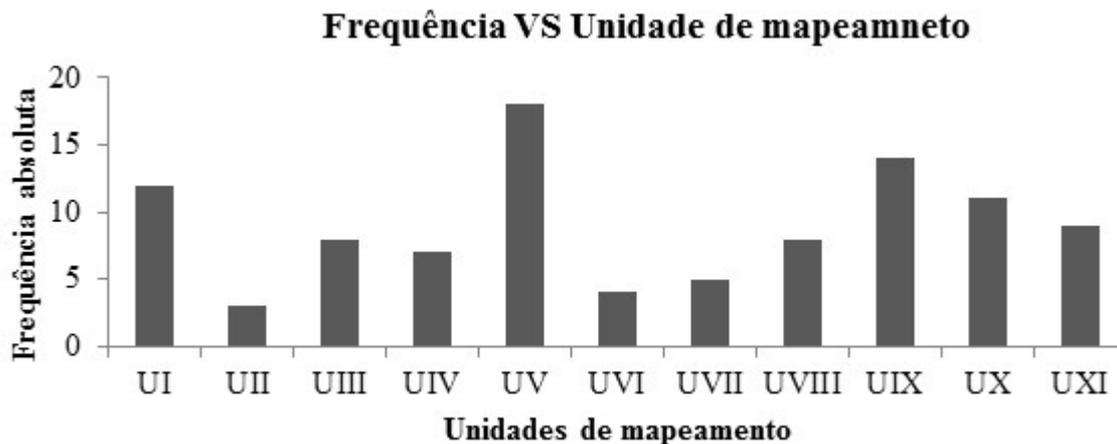


**Figura 17.** Agrupamento das classes de solos observadas na área da Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral, RJ.

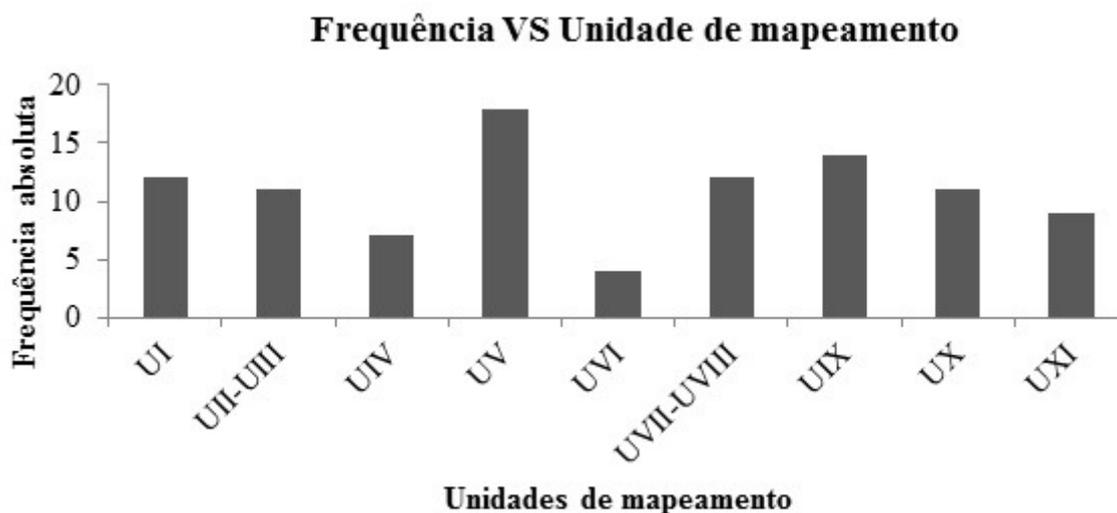
Nota: CX= Cambissolo Háplico, CY=Cambissolo Flúvico, GX= Gleissolo Háplico, LA=Latossolo Amarelo, LVA=Latossololo Vermelho-amarelo, MT= Chernossolo Argilúvico, NX=Nitossololo Háplico, PA=Argissolo Amarelo, PV=Argissolo Vermelho, PVA=Argissolo Vermelho-amarelo, RR=Neossolo Regolítico, RY= Neossolo Flúvico, SX= Planossolo Háplico

No caso em que a variável dependente foi a unidade de mapeamento (Figura 18), da mesma forma que para o ajuste e calibração do modelo logístico das classes de solos, foram agrupadas algumas unidades. Como na unidade VII com a VIII, semelhantes quanto ao material de origem, atributos químicos, físicos e morfológicos, diferindo principalmente pela posição na paisagem. Foram agrupadas também as unidades II e III, com características químicas, físicas e morfológicas semelhantes, diferindo principalmente pela posição na paisagem (Figura 19).

Esse agrupamento se fez necessário, pois a técnica de modelos lineares generalizados é sensível à proporção relativa das amostras utilizadas para gerar os modelos, indicando que aplicações sistemáticas de RLM ao MDS devem considerar o agrupamento (associação ou inclusão) das classes de solos ou unidades de mapeamento pouco representativas (Real et al., 2006; Hengl et al., 2007; Kempen et al., 2009; Tem Caten et al., 2011a).



**Figura 18.** Proporção das unidades de mapeamento observadas na área da Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral, RJ.



**Figura 19.** Agrupamento das unidades de mapeamento observadas na área da Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral, RJ.

Os modelos ajustados para a predição de classes de solos foram os mesmos para a predição das unidades de mapeamento. Exceção para o modelo 6 para as unidades de mapeamento onde foram utilizadas todas as variáveis preditoras do modelo 5 excluindo-se a variável mapa de solos (Tabela 16).

Os critérios usados para avaliação foram qualitativos e foram eles: a) acurácia global ou exatidão global, medida que avalia o erro das classificações tanto o erro de omissão (exatidão do produtor) como de comissão (exatidão do usuário) de uma determinada classe, e se dá a partir da avaliação da matriz de erro ou matriz de confusão (Congalton, 1991). b) Kappa, índice que avalia a concordância entre as predições e a verdade de campo (verdade terrestre) assim como a acurácia o Kappa é calculado a partir da matriz de confusão. Também foi utilizado critério quantitativo, foi ele o critério de informação de Akaike (AIC), que é a

estatística log da verossimilhança. Esse critério aumenta com o aumento da soma dos quadrados dos erros e ainda penaliza modelos com muitas variáveis, valores menores de AIC são desejáveis no ajuste do modelo (Venables e Ripley, 2002).

Tendo em vista o limitado conjunto de pontos de observação para ajuste e avaliação dos modelos, foi aplicado o procedimento de validação cruzada, onde os mesmos conjuntos usados para o ajuste são utilizados para validar os resultados. Ou seja, a acurácia e o Kappa foram gerados com base na validação cruzada. A validação usada foi feita com um nível de saída, nesse tipo de validação o conjunto de dados é dividido n vezes em um conjunto de n - 1 locais para a calibração e um para validação. Para cada local de amostragem, o modelo é adaptado deixando esse local fora do conjunto de dados de calibração. A variável alvo é então prevista para essa localização e o erro de predição é calculado. Isto é feito para todos os locais de amostragem, e então calculada a estatística de acurácia e Kappa (Brus et al., 2011).

**Tabela 16.** Modelos de regressão logística multinomial ajustados.

<b>Modelo</b>	<b>Variáveis preditoras</b>
Modelo 1	Todas descritas no item 5.4.1
Modelo 2	Todas menos as bandas 1, 2, 3, 4 e NDVI
Modelo 3	Todas do modelo 2 menos a banda 5
Modelo 4	Todas do modelo 3 menos o fator LS
Modelo 5	Todas do modelo 4 menos a curvatura de perfil
Modelo 6	Todas do modelo 5 menos o mapa de solos

## 5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.5.1 Avaliação do desempenho dos modelos

Os modelos ajustados seguiram os critérios recomendados pela literatura, onde se preconiza a eliminação de variáveis muito correlatas entre si, pois a multicolinearidade prejudica a calibração dos modelos (Debella-Gilo&Etzelmüller, 2009; Kempen et al., 2009; ten Caten et al., 2011b; ten Caten et al., 2011c ) e diminui o poder preditivo.

Dessa forma foi feita uma análise de correlação entre as variáveis predictoras e aquelas com alta correlação com uma ou mais variáveis foram eliminadas a medida que se ajustava cada modelo. No caso do modelo 1 (Tabela 16) foram utilizadas todas as variáveis, para ajuste do modelo 2 foram eliminadas as bandas 1, 2, 3, 4 e o NDVI que tinham além de alta correlação entre si(Tabela 17), alta correlação com os índices NDVI e SAVI, que por sua vez tinham uma alta correlação entre si. Dessa forma, as únicas variáveis derivadas da imagem de satélite que permaneceram foram o SAVI e a banda 5, a qual tem baixa correlação com as outras bandas. Para ajuste do modelo 3, optou-se por retirar a banda 5 que apresentou alta correlação com o SAVI, curvatura de perfil, índice de umidade topográfico e distância vertical a rede de drenagem(Tabela 17). Para ajuste do modelo 4 foram todas a variáveis do modelo 3, exceto o fator LS que apresentou uma alta correção com a declividade (0,88). Para o modelo 5 foram usadas todas as variáveis do modelo 4 exceto a curvatura de perfil, que tem uma alta correção com a curvatura planar e a distância vertical a rede de drenagem. O modelo 6, ajustado apenas no caso em que a variável dependente é a unidade de mapeamento, foi ajustado utilizando todas as covariáveis do modelo 5 exceto o mapa de solos. Esse procedimento foi realizando com o objetivo de avaliar o poder preditivo do modelo sem essa informação (Tabela 19).

Dos modelos ajustados para predição das classes de solos o melhor foi o modelo 5 (Tabela 18), pois apresentou maior acurácia, Kappa. O modelo 1 embora apresente baixo valor de AIC (comparativamente aos demais) obteve o menor valor de acurácia e Kappa. Esse resultado foi devido a baixa capacidade preditiva de algumas variáveis pouco correlatas com as classes de solos usadas no ajuste do modelo 1. De posse do melhor modelo ajustado foi feita a predição da probabilidade de cada pixel pertencer a uma dada classe de solo e gerado o mapa temático de classes de solo (Figura 20).

**Tabela 17.** Matriz de correlação entre as variáveis predictoras.

	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>	<b>GEO</b>	<b>UM</b>	<b>MDE</b>	<b>SAVI</b>	<b>NDVI</b>
B1	1,00	<b>0,93</b>	<b>0,92</b>	<b>0,85</b>	0,07	0,22	-0,16	0,19	<b>-0,78</b>	<b>-0,78</b>
B2	<b>0,93</b>	1,00	<b>0,94</b>	<b>0,95</b>	0,24	0,21	-0,14	0,06	<b>-0,71</b>	<b>-0,71</b>
B3	<b>0,92</b>	<b>0,94</b>	1,00	<b>0,89</b>	0,01	0,18	-0,13	0,17	<b>-0,86</b>	<b>-0,86</b>
B4	<b>0,85</b>	<b>0,95</b>	<b>0,89</b>	1,00	0,42	0,17	-0,17	-0,03	<b>-0,56</b>	<b>-0,56</b>
B5	0,07	0,24	0,01	0,42	1,00	-0,03	-0,19	-0,44	<b>0,47</b>	<b>0,47</b>
GEO	0,22	0,21	0,18	0,17	-0,03	1,00	<b>-0,47</b>	0,13	-0,25	-0,25
UM	-0,16	-0,14	-0,13	-0,17	-0,19	<b>-0,47</b>	1,00	-0,02	0,04	0,04
MDE	0,19	0,06	0,17	-0,03	-0,44	0,13	-0,02	1,00	-0,36	-0,36
SAVI	<b>-0,78</b>	<b>-0,71</b>	<b>-0,86</b>	<b>-0,56</b>	<b>0,47</b>	-0,25	0,04	-0,36	1,00	<b>1,00</b>
NDVI	<b>-0,78</b>	<b>-0,71</b>	<b>-0,86</b>	<b>-0,56</b>	<b>0,47</b>	-0,25	0,04	-0,36	<b>1,00</b>	1,00
DF	0,05	0,03	0,14	-0,06	-0,38	0,05	0,01	0,25	-0,31	-0,31
DCL	0,02	-0,01	0,10	-0,10	-0,40	0,06	-0,04	0,39	-0,25	-0,25
ASP	0,07	0,05	0,14	0,06	-0,14	-0,10	0,02	0,03	-0,18	-0,18
CPL	0,41	0,37	0,39	0,34	-0,02	0,13	-0,18	0,24	-0,38	-0,38
CP	<b>0,48</b>	0,40	0,43	0,35	-0,08	0,20	-0,22	0,35	<b>-0,46</b>	<b>-0,46</b>
IC	0,28	0,22	0,23	0,17	-0,11	-0,02	0,00	0,28	-0,27	-0,27
AC	-0,10	-0,05	-0,09	-0,01	0,19	-0,11	0,00	-0,19	0,15	0,15
IUT	-0,36	-0,29	-0,37	-0,18	0,36	-0,15	0,03	<b>-0,47</b>	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>
FLS	-0,16	-0,17	-0,09	-0,23	-0,32	-0,02	0,05	0,25	-0,04	-0,04
DVD	<b>-0,50</b>	-0,37	<b>-0,45</b>	-0,25	0,32	-0,29	0,20	-0,43	<b>0,58</b>	<b>0,58</b>
	<b>DF</b>	<b>DCL</b>	<b>ASP</b>	<b>CPL</b>	<b>CP</b>	<b>IC</b>	<b>AC</b>	<b>IUT</b>	<b>FLS</b>	<b>DVD</b>
B1	0,05	0,02	0,07	0,41	<b>0,48</b>	0,28	-0,10	-0,36	-0,16	<b>-0,50</b>
B2	0,03	-0,01	0,05	0,37	0,40	0,22	-0,05	-0,29	-0,17	-0,37
B3	0,14	0,10	0,14	0,39	0,43	0,23	-0,09	-0,37	-0,09	<b>-0,45</b>
B4	-0,06	-0,10	0,06	0,34	0,35	0,17	-0,01	-0,18	-0,23	-0,25
B5	-0,38	-0,40	-0,14	-0,02	-0,08	-0,11	0,19	0,36	-0,32	0,32
GEO	0,05	0,06	-0,10	0,13	0,20	-0,02	-0,11	-0,15	-0,02	-0,29
UM	0,01	-0,04	0,02	-0,18	-0,22	0,00	0,00	0,03	0,05	0,20
MDE	0,25	0,39	0,03	0,24	0,35	0,28	-0,19	<b>-0,47</b>	0,25	-0,43
SAVI	-0,31	-0,25	-0,18	-0,38	<b>-0,46</b>	-0,27	0,15	<b>0,50</b>	-0,04	<b>0,58</b>
NDVI	-0,31	-0,25	-0,18	-0,38	<b>-0,46</b>	-0,27	0,15	<b>0,50</b>	-0,04	<b>0,58</b>
DF	1,00	0,32	0,41	0,02	0,17	0,03	-0,23	-0,37	0,27	-0,20
DCL	0,32	1,00	0,19	0,05	0,00	-0,05	-0,25	<b>-0,64</b>	<b>0,88</b>	-0,17
ASP	0,41	0,19	1,00	0,05	0,07	-0,08	-0,01	-0,19	0,15	-0,03
CPL	0,02	0,05	0,05	1,00	<b>0,65</b>	<b>0,58</b>	-0,03	-0,40	-0,26	<b>-0,53</b>
CP	0,17	0,00	0,07	<b>0,65</b>	1,00	<b>0,57</b>	0,00	-0,35	-0,25	<b>-0,65</b>
IC	0,03	-0,05	-0,08	<b>0,58</b>	<b>0,57</b>	1,00	-0,11	-0,32	-0,25	-0,37
AC	-0,23	-0,25	-0,01	-0,03	0,00	-0,11	1,00	<b>0,54</b>	-0,19	0,22
IUT	-0,37	<b>-0,64</b>	-0,19	-0,40	-0,35	-0,32	<b>0,54</b>	1,00	-0,39	<b>0,56</b>
FLS	0,27	<b>0,88</b>	0,15	-0,26	-0,25	-0,25	-0,19	-0,39	1,00	0,07
DVD	-0,20	-0,17	-0,03	<b>-0,53</b>	<b>-0,65</b>	-0,37	0,22	<b>0,56</b>	0,07	1,00

Nota: B1,2,3,4 e 5 (bandas 1, 2, 3, 4 e 5 do satélite *RapidEye*), GEO (Geologia), UM (Unidade de mapeamento) MDE (Modelo Digital de Elevação), SAVI (Índice de Vegetação ajustado ao Solo, sigla em inglês), NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, sigla em inglês), DF (Direção de Fluxo), DCL (Declividade), ASP (Aspecto), CPL (Curvatura Planar), CP (Curvatura de Perfil), IC (Índice de Convergência), AC (Área de Contribuição), IUT (Índice de Umidade Topográfico), FLS (Fator LS), DVD (Distância Vertical a Rede de Drenagem).

**Tabela 18.** Acurácia, Kappa e AIC dos modelos testados para predição de classes de solos

	Acurácia	Kappa	AIC
Modelo 1	0,46	0,33	390
Modelo 2	0,51	0,39	458
Modelo 3	0,51	0,39	450
Modelo 4	0,54	0,43	444
Modelo 5	0,54	0,43	434

Assim como para as classes de solos o modelo que apresentou melhores resultados para unidades de mapeamento foi o de número 5, com elevados valores de acurácia (84%) e Kappa (82%) e o menor valor de AIC (496) comparativamente os modelos de 1 a 4 (Tabela 19). O mapa gerado a partir dos valores de probabilidade de determinada unidade para cada pixel através das predições feitas com o modelo selecionado (Figura 20) apresentou elevado grau de compatibilidade com o mapa de unidade de mapeamento feito pelo método convencional (Figura 15, Capítulo III). Esse resultado pode ser explicado pelo fato da covariável solos ter maior peso sobre o modelo e ser uma das variáveis com maior grau de explicação da distribuição das unidades de mapeamento.

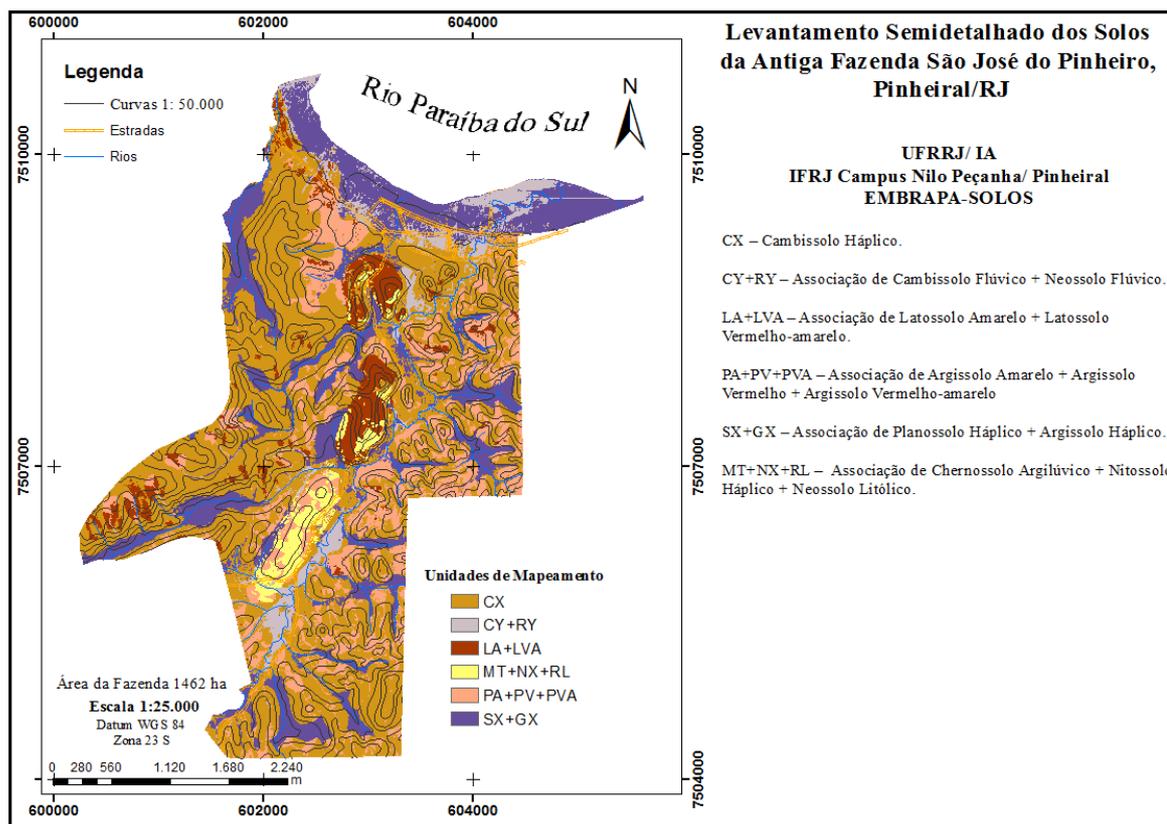
Na avaliação da qualidade do mapa produzido sem a informação de solos, o sexto modelo ajustado apresentou valores de acurácia e Kappa semelhantes ao do de número 1, porém com menor AIC (o que é desejável). Assim como para o modelo 5 foi gerado o mapa temático utilizando o modelo 6 para predição das unidades de mapeamento (Figura 22).

**Tabela 19.** Acurácia, Kappa e AIC dos modelos testados para predição de unidades de mapeamento.

	Acurácia	Kappa	AIC
Modelo 1	0,64	0,58	624
Modelo 2	0,78	0,75	544
Modelo 3	0,81	0,78	528
Modelo 4	0,84	0,82	512
Modelo 5	0,84	0,82	496
Modelo 6	0,64	0,58	352

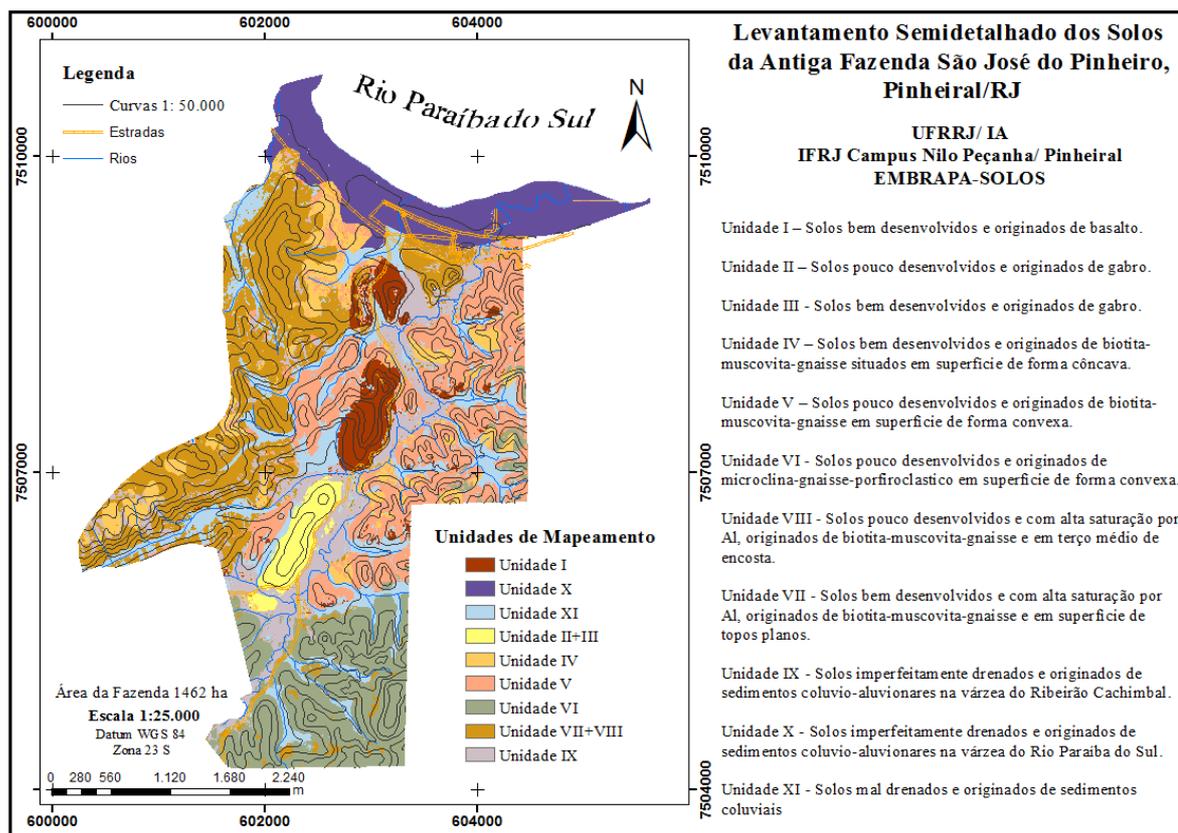
### 5.5.2 Obtenção dos mapas digitais do solo

Para as classes de solos as 5 covariáveis de maior peso para o modelo 5 ajustado foram na ordem decrescente: Solos, SAVI, direção de fluxo, geologia e declividade. Essas covariáveis são aquelas que melhor explicam a distribuição espacial das classes de solo, na área em estudo. Os resultados apresentados mostram uma boa concordância entre as classes de solos geradas pela predição utilizando o modelo 5 para classe de solos e as classes de solos presentes em cada unidade de mapeamento. Os valores de acurácia (54%) e Kappa (43%) são considerados bons, de acordo com o estabelecido por Landis e Koch (1977). Esses autores sugerem seguintes intervalos de índice Kappa (k) e sua qualidade para uma dada classificação: k menor que 0,2 (ruim), 0,2-0,4 (razoável), 0,4-0,6 (bom), 0,6-0,8 (muito bom), maior que 0,8 (excelente).



**Figura 20.** Mapa digital das classes de solos na Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral (RJ), previstas pelo modelo logístico 5.

Das variáveis preditoras utilizadas no modelo 5 para a predição das unidades de mapeamento as mais importantes, com maior grau de explicação, foram na ordem decrescente: Mapa de solos, geologia, SAVI, direção de fluxo e declividade. Esse resultado pode ser comprovado pela alta concordância entre o mapa produzido com base na relação solo-paisagem (Figura 15, Capítulo III) e o previsto pela RLM (modelo 5, Figura 21), além de elevados valores de acurácia e Kappa (84% e 82%, respectivamente).

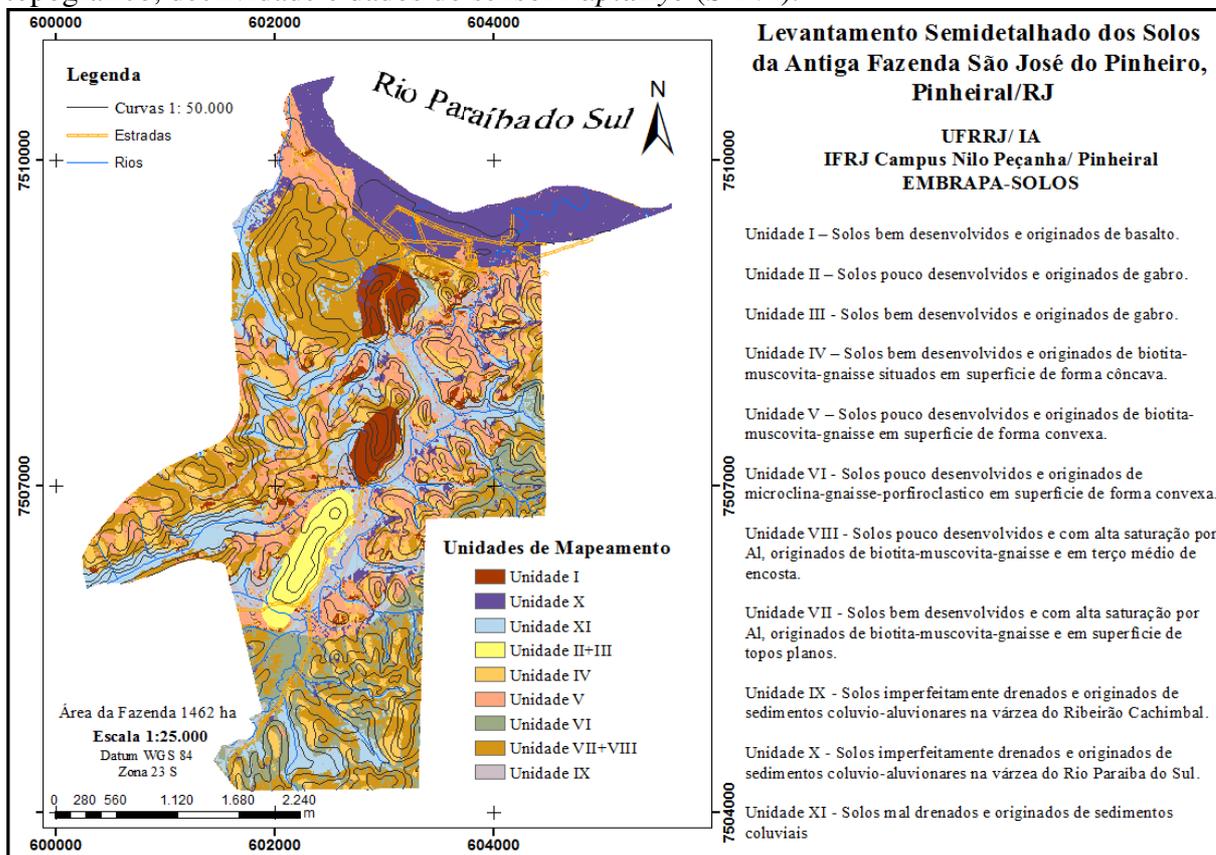


**Figura 21.** Mapa digital das unidades de mapeamento na Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral (RJ), previstas pelo modelo logístico 5.

Para o modelo 6, onde não se utilizou a co-variável solos as 5 variáveis preditoras com maior peso sobre o modelo ajustado foram em ordem decrescente: geologia, direção de fluxo, declividade, SAVI e índice de umidade topográfico. Esses resultados indicam que apesar do mapa de solos ser uma ótima co-variável e aumentar o poder preditivo do modelo, em casos em que essa informação não está disponível o mapa digital de solos pode ainda apresentar elevada acurácia (Tabela 19), desde que estejam disponíveis variáveis que representem bem os fatores de formação. Com destaque para o material de origem (mapa de geologia); condições do relevo (declividade) e fatores relacionados a dinâmica e acúmulo de água, como a direção de fluxo e o índice de umidade topográfico. Além destes, índices que refletem o estado da cobertura vegetal são úteis na predição. Como exemplo o SAVI, pois lugares mais baixos ou com forma mais côncava da superfície tendem a acumular mais água e apresentam de forma geral vegetação mais verde, o que influencia diretamente na reflectância, portanto, nos índices derivados das bandas.

Em mapeamento digital de solos na região noroeste do Estado do Rio de Janeiro, Chagas et al. (2013), comparam a classificação pelo algoritmo (MxVer) e por redes neurais artificiais e concluem que o uso de atributos do terreno junto com dados de sensoriamento remoto pode contribuir para facilitar o mapeamento de solos. Em estudo na bacia hidrográfica do rio Itacambirucu, afluente do rio Jequitinhonha, Estado de Minas Gerais, Chagas et al. (2011) concluíram que a utilização conjunta dos dados do sensor Quickbird, dos atributos do terreno (declividade e índice CTI) e do mapa geológico em uma abordagem por redes neurais artificiais permitiu resultados satisfatórios, tanto no processo de treinamento das redes (exatidão global de 89,3 % e índice Kappa de 0,881) quanto na comparação com o mapa de solos convencional (concordância de 67,4 %).

Esses resultados corroboram os encontrados nesse trabalho, onde, além do mapa de solos e direção de fluxo, as covariáveis com maior influência sobre os mapas digitais de classes de solos e de unidades de mapeamento foram: geologia, índice de umidade topográfico, declividade e dados do sensor *RapidEye* (SAVI).



**Figura 22.** Mapa digital das unidades de mapeamento na Fazenda São José do Pinheiro, Pinheiral (RJ), previstas pelo modelo logístico 6.

Como relatado por Giasson et al. (2006) o agrupamento das classes de (simplificação da legenda) aumentam a precisão dos métodos para a predição da distribuição dos solos. Coelho e Giasson (2010), trabalhando com mapeamento digital de solos e sistema de informação geográfica em área que integra os municípios de Ijuí, Bozano e parte de Coronel Barro no RS, concluíram que a simplificação da legenda aumentou significativamente a acurácia, uma das implicações da simplificação da legenda e generalização do mapa de solos.

Silva et al. (2013) em mapeamento pedológico digital da folha Botucatu (sf-22-z-b-vi-3), com treinamento de dados em mapa tradicional e validação de campo, concluíram que no treinamento quanto mais representativa for a unidade de mapeamento melhor será a reprodução dos padrões solo-paisagem na área a ser mapeada.

Segundo Lepsch (2013) – “em um levantamento detalhado de solos (escala 1:25.000, ou maior) os pedólogos mapeiam corpos de solo que podem ser considerados como objetos, representados por imagens (chamados “perfis de solo”) - as quais podem receber denominações conceituais de acordo com um dado sistema de classificação. O simples fato de se definir as unidades de mapeamento (corpos de solos, baseados nos padrões solo-paisagem) que dependem além da imagem (perfil de solo) e do conceito (classe de solo de um dado sistema taxonômico)” de características das superfície. Este fato pode aumentar o poder preditivo na modelagem, pois em áreas com complexidade de interações entre os fatores,

mecanismos e processos podem não resultar em uma boa correlação entre as covariáveis ambientais e as classes de solos (conceito). Assim, quando o pedólogo define os padrões solo-paisagem, as relações entre as covariáveis e as unidades de mapeamento passam a ter maior relação, pois além das classes de solos atributos da superfície são levados em consideração nas definições das unidades.

## 5.6 CONCLUSÕES

As Regressões Logísticas Múltiplas possibilitam gerar mapas de probabilidade de classes de solo e unidades de mapeamento.

A utilização de covariáveis preditoras ligadas aos fatores de formação, tais como material de origem (geologia), relevo (direção de fluxo, declividade, índice de umidade topográfico) e organismos (índice de vegetação, SAVI) permitiu o melhor ajuste dos modelos.

As regressões logísticas multinominais adequaram-se como método preditivo da distribuição e ocorrência de unidades de mapeamento de solo.

A diminuição no número de preditores aumentou o poder preditivo dos modelos lineares generalizados.

A utilização do mapa de solos como covariável aumentou o poder preditivo, com maior acurácia e Kappa, e maior concordância entre os mapas obtidos pelo método digital e o convencional.

A predição de unidades de mapeamento apresentou maior acurácia e Kappa, comparativamente às predições de classes de solos, mesmo quando o mapa de solo não foi utilizado como variável preditora

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

As técnicas de geoprocessamento, processamento digital de imagens e mapeamento digital se mostraram ótimas ferramentas para auxílio no levantamento de solos, além de fornecer produtos de caráter mais quantitativo, onde é possível se avaliar o erro ou incerteza. Nesse tipo de abordagem a relação solo-paisagem é modelada por relações matemáticas entre covariáveis ambientais e tipos de solos, onde covariáveis ambientais que representam os fatores de formação dos solos são utilizadas para determinar a ocorrência e distribuição dos solos na paisagem, através da predição a partir de modelos matemáticos, estatísticos ou híbridos.

A qualidade do levantamento de solos é extremamente dependente do material base, nesse sentido, foi necessária a avaliação detalhada da representação da altimetria na área (avaliação do MDE), além de correções na imagem de satélite e avaliação do erro posicional.

Ambientes como o de Mar de Morros, que apresentam relações complexas entre os fatores de formação, condicionadas principalmente pela complexidade de geologia e relevo, devem ser mapeadas utilizando-se conceitos que integrem componentes da paisagem, ou seja, através de unidades de mapeamento ou ainda, em levantamentos detalhados, o de série.

Dentre as vantagens do mapeamento digital de solos estão a possibilidade de avaliação das incertezas, diminuição da subjetividade, e geração de maior quantidade de informações que podem aperfeiçoar os levantamentos de solos; além de fornecer material base para outros estudos tais como: recuperação de áreas degradadas, erosão e perdas de solo, hidropedologia.

Historicamente, o uso inadequado das terras no ambiente de Mar de Morros, onde se insere o município de Pinheiral (RJ), propiciou intenso processo de degradação do solo. Atualmente a região possui grande parte da área ocupada por pastagens degradadas e a ocorrência de voçorocas é comum. Milhares de toneladas de terras são perdidas todos os anos causando assoreamento dos leitos dos rios (ribeirão Cachimbal e rio Paraíba do Sul). Problemas socioeconômicos e ambientais na região são desencadeados, principalmente, por mudanças no regime de chuvas e o assoreamento dos corpos hídricos, limitando tanto o fornecimento de água quanto o de energia elétrica. Este estudo pode auxiliar trabalhos para avaliar a perda de solo e água decorrente de processos erosivos, além de fornecer material base para tomada de decisão pelos órgãos governamentais, municipais e estaduais.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB' SABER, A. Domínio Morfoclimático e Solos do Brasil. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. SBCS e UFV, Viçosa-MG, p. 1–18, 1996.

AGRESTI, A. Categorical data analysis. **New York: John Wiley & Sons**, p. 558, 1990.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVE, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v 22, p 6, 711–728, 2013.

ANTUNES, M. A. H.; DEBIASI, P.; SIQUEIRA, J. C. S. Avaliação espectral e geométrica das imagens RapidEye e seu potencial para o mapeamento e monitoramento agrícola e ambiental. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.66, p.101-113, 2014.

ANTUNES, M. A. H., DEBIASI, P., COSTA, A. R., GLERIANI, J. M., Correção atmosférica de imagens ALOS/AVNIR-2 utilizando o modelo 6S. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 64, p. 531-539, 2012.

ARAÚJO FILHO, J. C. de; NETO, M. V. B. SILVA, C. B. da.; ARAÚJO, M. do S. B. de.; MENEZES, J. B. de. Levantamento Semidetalhado dos Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Natuba, Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 06, n. 03 p. 384-397 2013.

BERNINI, T. A.; SILVA, M. S. Levantamento de solos como auxílio no planejamento de atividades da microbacia do córrego Nilo Peçanha, Pinheiral-RJ. **XIX Reunião Brasileira de Manjo e Coservação do Solo e da Água**, 29 julho a 3 de Agosto de 2012, Lajes-SC.

BRASIL 1984. **Decreto nº 89.817 de 20 de Julho de 1984**. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/D89817.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm). Acessado em: Junho de 2014.

BREVES, R. Santa do Piraí e a sua história. Rio de Janeiro: **Daiadorin Editora**, p258, 1994.

BRUS, D.J.; EMPEN, B. K.; HEUVELINK, G.B.M. Sampling for validation of digital soil maps. **European Journal of Soil Science**, v.62, p.394-907, 2011.

CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS. U.M.; GARRIDO, J. SPRING, Integrating remote sensing and GIS by objectoriented data modelling. **Computers and Graphics**, v. 15, n. 6, p. 395-403, 1996.

CARVALHO JUNIOR, W. Classificação supervisionada de pedopaisagens do Domínio do Mares de Morros utilizando redes neurais artificiais. **Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Universidade Federal de Viçosa**, 2005.

CHAGAS, C. D. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; VIEIRA, C. A. O.; SCHAEFER, C. E. G. R.; CARVALHO JÚNIOR, W. DE. Atributos topográficos e dados do Landsat7 no mapeamento digital de solos com uso de redes neurais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 497–507, 2010b.

CHAGAS, C. DA S.; CARVALHO JÚNIOR, W.; BHERING, S. B. Interação de dados do Quickbird e atributos do terreno no mapeamento digital de solos por redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, 693-704, 2011.

CHAGAS, C. da S.; FERNANDES FILHO, E.; ROCHA, M.F. da; CARVALHO JÚNIOR, W. de; SOUZA NETO, N.C. de. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.218-226, 2010a.

CHAGAS; C. D. S.; VIEIRA, C. A. O.; FILHO, E. I. F. Comparison between artificial neural networks and maximum likelihood classification in digital soil mapping. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, p. 2013.

CLINE, M. G. Basic principles of soil classification. **Soil Science**, v. 67, p. 81–91, 1949.

COELHO, F. F. Comparação de métodos de mapeamento digital de solos através de variáveis geomorfométricas e sistemas de informações geográficas. **Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2010.

COELHO, F. F.; GIASSON, E. Métodos para mapeamento digital de solos com utilização de sistema de informação geográfica. **Ciência Rural**, v. 14, p. 2099–2106, 2010.

CONGALTON, R.G. A review of assessing the accuracy of classificationsof remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, v. 37, p. 35 – 46, 1991.

CONRAD, O. **Vertical distance to channel network**, [http://www.saga-gis.org/saga\\_module\\_doc/2.1.3/ta\\_channels\\_3.html](http://www.saga-gis.org/saga_module_doc/2.1.3/ta_channels_3.html). acesso em 14/12/14, 2002.

COSTA, J.K.N. RapidEye – Initial findings of Geometric Image Quality Analysis. **JCR Scientific and Technical Reports**, 2009.

DEAN, W. A ferro e fogo: a história e a devastação da floresta atlântica brasileira. **São Paulo: Campania das Letras**, 484p, 1997.

DEBELLA-GILO, M.; ETZELMULLER, B.; KLAKEGG, O. Digital soil mapping using digital terrain analysis and statistical modeling integrated into GIS: Examples from Vestfold county of Norway. **In: Scandinavian research conference on geographical information sciences**, v. 11, p. 237–253, 2007.

DEBELLA-GILO, M.; ETZELMÜLLER, B. Spatial prediction of soil classes using digital terrain analysis and multinomial logistic regression modeling integrated in GIS: Examples from Vestfold County, Norway. **Catena**, v. 77, p 8–18 2009.

DEMATTE, J. A. M.; GENÚ, A. M.; FIORIO, P. R.; ORTIZ, J. L.; MAZZA, J. A.; LEONARDO, H. C. L. Comparação entre mapas de solos obtidos por sensoriamento remoto espectral e pelo método convencional. **Pesquisa. Agropecuária Brasileira.**, Brasília, v.39, n.12, p.1219-1229, dez. 2004.

DEMATTE, J. A. M.; RIZZO, R.; BORTOLETTO, M. A. M. Método geotecnológico integrativo na caracterização de solos desenvolvidos de diferentes materiais de origem. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p.638-648, 2011.

DINIZ, A. R. Dinâmica de Fragmentos Florestais da Floresta Atlântica na Região do Médio Vale Paraíba do Sul, Rio de Janeiro. **Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**, 2011.

DRUMMOND, J.A. Devastação e preservação ambiental no Rio de Janeiro. **Niterói: EDUFF**, p180, 1997.

EMBRAPA- Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de Métodos de análise de solo** 2a ed. ver. atual. Rio de Janeiro, p, 212, 1997.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ªed. Revisada e ampliada. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 353p. 2013.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. ESRI. ARC/INFO. **Command references**. New York. p, 281, 1994.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Software**: ArcGIS e ArcINFO. Version 10.0 Redlands: ESRI, 2010.

FIGUEIREDO, S. R.; GIASSON, E.; TORNQUIST, G. C.; NASCIMENTO, P. C. DO. Uso de regressões logísticas múltiplas para mapeamento digital de solos no Planalto Médio do RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2779–2785, 2008.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G. SANTOS, A. do C.; BERNINI, T A.; ANJOS, L. H. C. dos; FERNÁNDEZ, C. F. D.; PEINADO, F. J. M. Fósforo remanescente em solos formados sob diferentes materiais de origem em três topossequências, Pinheiral- RJ **Ciências Agrárias**, v. 34, n. 5, p. 2089-2102, 2013.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos.; SANTOS, A. do C.; BERNINI, T A. Matéria orgânica de horizontes superficiais em topolitossequências em ambiente de Mar de Morros, Pinheiral, RJ. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 2, p. 221-229, 2014.

GIASSON, E.; CLARKE, R. T.; INDA JUNIOR, A. V.; MERTEN, G. H.; TORNQUIST, C. G. Digital soil mapping using multiple logistic regression on terrain parameters in Southern Brazil. **Scientia Agricola**, v. 63, p. 262–268, 2006.

GIASSON, E.; SARMENTO, E. C.; WEBER, E.; FLORES, C. A.; HASENACK, H. Decision trees for digital soil mapping on subtropical basaltic steeplands. **Scientia Agricola**, v. 68, n. April, p. 167–174, 2011.

GRUBER, S.; PECKHAM, S. Land-surface parameters and objects in hydrology. In: HENGL, T.; REUTER, H.I. (Eds.). **Geomorphometry - Concepts, Software, Applications**. Amsterdam: Elsevier, 2009. p.171-194.

HENGL, T. E HEUVELINK, G. B. M. New Challenges for Predictive Soil Mapping. **Anais. Global Workshop on Digital Soil Mapping**. Montpellier AGRO-M/INRA Campus. September 14-17. 2004.

HENGL, T. Finding the right pixel size. **Computers and Geosciences**, v.32, p.1283-1298, 2006.

HENGL, T.; ROSSITER, D. G. Supervised Landform Classification to Enhance and Replace Photo-Interpretation in Semi-Detailed Soil Survey. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, p. 1810–1822, 2003.

HENGL, T.; TOOMANIAN, N.; REUTER, H.I. & MALAKOUTI, M.J. Methods to interpolate soil categorical variables from profile observations: Lessons from Iran. **Geoderma**, 140:417-427, 2007.

HUETE, A. R. Adjusting vegetation indices for soil influences. **International Agrophysics**, v.4, n.4, p.367-376, 1988.

HUTCHINSON, M. F. Development of continent-wide DEM with applications to terrain and climate analysis. In: **GOODCHILD, M.F. (Ed.) Environmental Modeling with GIS**. New York: Oxford University Press. . p.392-399. 1993.

HUTCHINSON, M. F.; GALLANT. J. C. Digital elevation models and representation of terrain shape. In: **WILSON, J. P. & GALLANT, J. C. (Eds.) Terrain analysis: principles and applications**. New York: John Wiley & Sons. p.29-50. 2000.

HUTCHINSON, M.F. A Locally Adaptive Approach to the Interpolation of Digital Elevation Models, In: **Proceedings: Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling**, National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara 1996.

IBGE. Divisão Territorial do Brasil. Divisão Territorial do Brasil e Limites Territoriais Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (1 de julho de 2008).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia**. 2 Ed. Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. IBGE. 316 p. (Manuais Técnicos em Geociências, n 4) 2007.

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. , v. 85, p. 240–427, 1992.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TOPODATA: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. 2009. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/dados.php>. Acessado em: 10/02/2014.

INPE, **Manuais; Tutorial de geoprocessamento; Classificação de imagens**, Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>. Acesso em 05/03/2014a.

INPE, **Manuais; Tutorial de geoprocessamento; Operações aritméticas**, Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/operacao.html>. Acesso em 05/03/2014b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Geociências. Departamento de Cartografia. **Ponta do forno**: modelo de elevação projeto RJ-25: metadados. Rio de Janeiro: IBGE, 2008. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10/02/2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Geociências. Departamento de Cartografia. **Ponta do forno**: modelo de elevação projeto RJ-25: metadados. Rio de Janeiro: IBGE, 2008. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10/02/2014.

INSTITUTO FEDERAL DO RIO DE JANEIRO CAMPUS NILO PEÇANHA, PINEIRAL, **Quem Somos** Disponível em <http://www.ifrj.edu.br/node/333> Acesso em: 05/03/2014.

IORIO, M. M.; LASTORIA, G.; MIOTO, C. L.; ALBREZ, E. A.; PARANHOS FILHO, A. C. Avaliação de modelos digitais de elevação extraídos de imagem ALOS/PRISM e comparação com os modelos disponibilizados gratuitamente na WEB. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 31, n. 4, p. 650-664, 2012.

IPPOLITI-RAMIRO, G. A.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FILHO, E. I. F.; GAGGERO, M. R. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de “Mar de Morros” (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 269–276, 2005.

JENNY, H. Factores of soil formation. **New York, London: Mac Graw-Hill**, p. 324, 1941.  
JENSEN, J.R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: **Parêntese**, p 604, 2009.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J.C.; SHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: fundamentos**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa-MG, p 207-302, 2012.

KEMPEN, B.; BRUS, D. J.; HEUVELINK, G. B. M.; STOORVOGEL, J. J. Updating the 1:50,000 Dutch soil map using legacy soil data: A multinomial logistic regression approach. **Geoderma**, p 311-326, 2009.

KUHN, M.A Short Introduction to the caret Package. <http://cran.r-project.org/web/packages/caret/vignettes/caret.pdf>. Acesso em 15/02/2015.

LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A. B.; VOLTZ, M. Digital soil mapping an introductory perspective. **Developments in Soil Science**, v. 31, p. 600, 2007.

LANDIS, J.; KOCH, G. The measurement of observer agreement for categorical data, Washington, USA. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo. Oficina de textos, 2011.

LEPSCH, I. F. As necessidades de efetuarmos levantamentos pedológicos detalhados no Brasil e de estabelecermos as séries de solos. **Revista. Tamoios**, nº 1, p 03-15, 2013.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo. Oficina de textos, 2002.

LIMA, R.G.S. Volta Redonda do Café e do Leite. 140 anos de história. **Volta Redonda – RJ:Nogueira Artes Gráficas**, p 70, 2004.

MACHADO, D. L. Atributos Indicadores da Dinâmica Sucessional em Fragmento de Floresta Atlântica na Região do Médio Vale do Paraíba do Sul , Pinheiral , Rio de Janeiro. **Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**, 2011.

MARANGON, L. C.; SOARES, J. J. FELICIANO, A. L. P.; LANI, J. L.; MATOS, L. V. Relação entre vegetação e pedoformas na mata do paraíso, município de viçosa, minas gerais. **Revista Árvore**, v.37, n.3, p.441-450, 2013.

MCBRATNEY, A. B.; MENDONÇA-SANTOS, M. L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v. 117, p. 3–52, 2003.

MCBRATNEY, A. B.; ODEH, I. O. A.; BISHOP, T. F. A.; DUNBAR, M. S.; SHATAR, T. M. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. **Geoderma**, v. 97, p. 293–327, 2000.

MEDEIROS, L. C.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. GUIMARÃES. Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas **Revista Brasileira de Cartografia**. n 61/02, 2009.

MELO, M.S.; RICCOMINI, C.; CAMPANHA, G.A.C.; MIOTO, J.A. ; ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L. & GIMENEZ, A.F. Estudos geológico-tectônicos na Bacia de Resende (RJ) e sedimentos terciários de Volta Redonda (RJ) e Bacia de Taubaté (área de Cruzeiro-SP). **Relatório 17.737, IPT**, São Paulo, 1983,124 p.

MENEZES, C. E. G. Diagnostico de degradação do solo em função da topografia e cobertura vegetal no município de Pinheiral - RJ. **Dissertação (Mestrado em ciência do Solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**, 1999.

MENEZES, C. E. G. Integridade de Paisagem , Manejo e Atributos do Solo no Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral-RJ. **Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**, 2008.

MENEZES, M. D. de.; SILVA, S. H. G.; OWENS, P. R.; CURI, N. Abordagem de mapeamento digital de solos baseado em lógica fuzzy e conhecimento de campo de especialista. **Ciência Agrotecnica Lavras**, v. 37, n. 4, p. 287 - 298, 2013.

MICELI, B. S.; DIAS, F. M.; SEABRA, F. M.; SANTOS, P. R. A.; FERNANDES, M. C. Avaliação vertical de modelos digitais de elevação (MDEs) em diferentes configurações topográficas para médias e pequenas escalas. **Revista Brasileira de Cartografia**. n 63/01, 2011.

MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H.; RUHOFF, A.L. Use of spatial representation to calculate the topographic factor in the revised universal soil loss equation in watersheds. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1455-1462, 2010.

MOORE, I.D.; GESSLER, P.E.; NIELSEN, G.A.; PETERSON, G.A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.443-452, 1993.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, p 250, 2001.

MOURA, L. Z.; BIAS, E.S.; BRITES, R. Avaliação da acurácia vertical de modelos digitais de elevação (MDEs) nas bacias do Paranoá e São Bartolomeu. **Revista Brasileira de Cartografia**, n 66/1, p. 1-14, 2014.

NETO, M. V. B.; SILVA, C. B.; FILHO, J. C. A.; ARAÚJO, M. S. B.; BRAGA, R. A. P. Uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Natuba, Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 05, p. 961-973, 2011.

NEUMANN, M. R. B. Mapeamento digital de solos, no Distrito Federal. **tese (Doutorado em Geociências) Universidade de Brasília**, 2012.

NUMMER, A. R. Coluna Tectonoestratigráfica do domínio Paraíba do Sul entre a Serra das Araras e a Ilha da Madeira, Oeste do estado do Rio de Janeiro. **Anais do XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Camburiú, SC**, v. 2, p. 53–54, 1994.

NUMMER, A. R. Geometria e cinemática de alojamento do maciço granítico de Arrozal Sudoeste do Estado do Rio de Janeiro. 2001. 171p. **tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica). Universidade de São Paulo**, SP. 2001.

OLAYA, V. **A gentle introduction to SAGA GIS**. 2004. 202p. Disponível em: <http://downloads.sourceforge.net/saga-gis/SagaManual.pdf>. Acesso em 13/12/15.

OLIVEIRA, A. H.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; NETO, G. K.; SILVA, M. A.; ARAÚJO, E. F. Consistência hidrológica de modelos digitais de elevação (MDE) para definição da rede de drenagem na sub-bacia do Horto Florestal Terra Dura, Eldorado do Sul, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v, 36 p, 1259-1267. 2012.

OLIVEIRA, F. P.; FILHO, F. E.; SOARES, V. P.; SOUZA, A. L. Mapeamento de fragmentos florestais com monodominância de aroeira a partir da classificação supervisionada de imagens *RapidEye*. **Revista Árvore**, v.37, p.151-161, 2013.

OLIVEIRA, J. A. Caracterização Física da Bacia do Ribeirão Cachimbal - Pinheiral , RJ e de suas Principais Paisagens Degradadas. **Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**, 1998.

PENHA, J. W. Avaliação de algoritmos de classificação supervisionada de imagem digital do satélite ikonos na região da serra do salitre – MG. **Revista Agrogeoambiental** p, 73-79, 2009.

PINHEIRO, H. S. K.; CHAGAS, C. DA S.; CARVALHO JÚNIOR, W.; ANJOS, L. H. C. Modelos de elevação para obtenção de atributos topográficos utilizados em mapeamento digital de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 1384–1394, 2012.

PORTILHO, A. P., CASTRO, M. C., ALVES, G. S., AGUIAR, N. F., SILVA, M. S. **Balço Hídrico para Pinheiral, Rio de Janeiro**, Revista Agroambiental - Agosto/2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PINHEIRAL **Acervo Histórico** Disponível em <http://www.pinheiral.rj.gov.br/cidade/acervo-historico/> Acesso em 05/03/2014.

R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

*RAPIDEYE*, Satellite Imagery Product Specifications. Disponível em: < [www.RapidEye.com](http://www.RapidEye.com) >. Acesso em 20/01/2013.

REAL, R.; BARBOSA, A. & VARGAS, J. Obtaining environmental favourability functions from logistic regression. **Environ. Ecol. Stat.**, 13:237-245, 2006.

RICHARDS, J. A. **Remote sensing digital image analysis**. an introduction. Berlin: Springer-Verlag, p 281, 1986.

SAGA DEVELOPMENT TEAM. **SAGA GIS**. Hamburg, Alemanha, 2013. Versão 2.1.0. Disponível em: <<http://www.saga-gis.org>, 2013>.

SAMUEL-ROSA, A. Funções de predição espacial de propriedades do solo dissertação de mestrado. **Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal de Santa Maria**, 2012.

SANSON, M. S. R.; RAMOS, R. R. C.; MELLO, C. L. Bacia Sedimentares Brasileiras: Bacia de Volta Redonda. **Phoenix, Fundação Paleontológica Phoenix**. p. 1-6, 2006

SANTOS, A. C. Pedogênese e Alterações Geoquímicas em Área de Mar de Morros , na Região do Médio Vale do Paraíba □: Estudo em uma Litosseqüência no Grupo Paraíba do Sul. **Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**, 2009.

SANTOS, A. do C.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos; BERNINI, T A.; COOPER, M.; NUMMER, A. R.; FRANCELINO, M. R. Gênese e classificação de solos numa toposequência no ambiente de mar de morros do Médio Vale do Paraíba do Sul, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, p. 1297-1314, 2010.

SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6<sup>o</sup>ed. Revisada e ampliada. SBCS. Viçosa, p. 100, 2013.

SILVA, C. C.; COELHO, R. M.; OLIVEIRA, S. R. M.; ADAMI, S. F. Mapeamento pedológico digital da folha Botucatu (sf-22-z-b-vi-3): treinamento de dados em mapa tradicional e validação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.37 p, 846-857, 2013.

SILVA, E. P.; SOUZA, E.; PEREIRA, R. M. ; CANTARUTTI, R. B.; FILHO, E. I. F Algoritmos de classificação de imagem no Mapeamento de pastagem em diferentes estádios de degradação. **Revista Brasileira de Cartografia** v. 65/1, p. 53-61, 2013.

SILVA, M. R. A Formação do Técnico em Agropecuária do Colégio Agrícola Nilo Peçanha Canp/RJ: Um Estudo de Caso Sobre a Interface com a Agroecologia. **Dissertação (Mestrado**

em Ciências no programa de Pós-Graduação em Educação Agrícola) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009.

SOUSA, B. F. S.; TEIXEIRA, A. S.; SILVA, F. A. T. F.; ANDRADE, E. M.; BRAGA, A. P. S. Avaliação de classificadores baseados em aprendizado de máquina para a classificação do uso e cobertura da terra no bioma caatinga. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 62 p. 385-399, 2010.

TEN CATEN, A.; DALMOLIN, R. S. D.; MENDONÇA-SANTOS, M. DE L.; GIASSON, E. Mapeamento digital de classes de solos: características da abordagem brasileira. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1989–1997, 2012a.

TEN CATEN, A.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; MENDONÇA-SANTOS, M. L. Resolução espacial de um modelo digital de elevação definida pela função wavelet. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.47, n.3, p.449-457, 2012b.

TEN CATEN, A.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; MENDONÇA-SANTOS, M. DE L. Regressões logísticas múltiplas: fatores que influenciam sua aplicação na predição de classes de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 53–62, 2011a.

TEN CATEN, A.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; MENDONÇA-SANTOS, M. DE L. Estatística multivariada aplicada à diminuição do número de preditores no mapeamento digital do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 1, p. 554–562, 2011b.

TEN CATEN, A.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; MENDONÇA-SANTOS, M. DE L. Componentes principais como preditores no mapeamento digital de classes de solos. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1170–1176, 2011c.

THOMPSON, J.A.; BELL, J.C.; BUTLER, C.A. Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modelling. **Geoderma**, v.100, p.67-89, 2001.

United States Geological Survey (USGS), Standards For Digital Elevation Models, **Department of the Interior**, Washington, DC 1997.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. Modern Applied Statistics with S. Quarta edição. **Springer**. 2002.

VENABLES, W.N.; RIPLEY, B.D. **Modern applied statistics with S**. 4.ed. New York:Springer, 2002. 495p.

VERMOTE, E. F., TANRE, D., DEUZE, J. L., HERMAM, M., MORCRETTE, J. J., Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview., **IEEE Transactionson Geoscience and Remote Sensing** v 35, n 3, p 675-686, 1997.

VIGANÓ, H. A.; BORGES, E. F.; FRANCA-ROCHA, W. DE J. S. Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster. In: **Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto**, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 30 de abril a 05 de maio de 2011.

WANG, L.; LIU, H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. **International Journal of Geographical Information Science**, v 20, p 193-213, 2006.

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

WISE, S. Assessing the quality for hydrological applications of digital elevation models derived from contours. **Hydrological Processes**, v.14, p.1909-1929, 2000.

WONG, G. Y.; MASON, W. M. The Hierarchical Logistic Regression Model for Multilevel Analysis. **Journal of the American Statistical Association**, v. 80, n. 391, p. 513–524, 1985.

## 8 ANEXOS

### DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 19 IGO PV1

DATA: 11/03/2014

CLASSIFICAÇÃO: LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argila.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, RJ.

7508415,98 e 604434,35 UTM. Datum horizontal: WGS 84, Fuso: 23k

SITUAÇÃO DE ABERTURA DO PERFIL: Corte de abertura de estrada (barranco) no terço superior da encosta

ELEVAÇÃO: 468 m

LITOLOGIA Biotita-muscovita- gnaïsse

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Paraíba do Sul

MATERIAL ORIGINÁRIO: Intemperismo do material supracitado

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregoso

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Ondulado (15% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado

EROSÃO: Laminar moderada

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pasto sujo, predominante Sapê (*Imperata brasiliensis*)

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Elias Mendes Costa

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap- 0 a 10 cm; bruno-escuro (7,5YR 4/4, úmido) e bruno (7,5YR 5/4, seco); argila; moderada, média e grande granular e moderada pequena a média blocos subangulares; macio, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

BA- 10 a 34 cm; bruno forte (7,5YR 4/6); argila; moderada pequena e média, blocos angulares e subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual (10-32/36 cm).

Bw1- 34 a 60 cm; bruno forte (7,5YR 4/6); argilo-arenosa; moderada pequena e média blocos angulares e subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual (32/36-58/62 cm).

Bw2- 60 a 94 cm; bruno forte (7,5YR 5/6); argila; moderada média e grande blocos angulares e subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição ondulada e clara (58/62-92/96 cm).

Bw3- 94 a 155<sup>+</sup> cm; bruno forte (7,5YR 5/8); argila; moderado médio e grande blocos angulares e subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa.

RAÍZES: Raízes abundantes, finas e médias no A, BA e Bw1; Comuns finas e médias no Bw2 e poucas e finas no Bw3.

OBSERVAÇÕES: Presença de poucos cascalhos e calhaus no decorrer do perfil.

Teor de minerais primários facilmente intemperizáveis, na fração areia, estimado por avaliação visual em microscópio, em 3%, 2% e 2% para Bw1, Bw2 e Bw3 respectivamente.

**Tabela 1.** Análises físicas e químicas do Perfil 19

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap	0-10	0	8	92	249	147	154	450	300	33	0,34	1,30	3,03	57
BA	10-34	0	3	97	210	119	115	556	370	34	0,21	1,37	2,56	47
Bw1	34-60	0	3	97	331	131	105	433	320	26	0,24	1,50	2,50	40
Bw2	60-94	0	4	96	267	114	115	504	380	25	0,23	1,42	2,50	43
Bw3	94-155 <sup>+</sup>	0	6	94	205	101	98	596	0	100	0,16	1,49	2,56	42
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	100Al <sup>3+</sup> S+Al <sup>3+</sup> m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T (soma)				
Ap	4,7	3,9	0,8	0,8	2,0	0,3	4,0	1,9	5,6	9,6	41	33	2	
BA	4,4	3,8	0,3	0,1	1,1	0,2	1,7	2,7	5,0	6,7	26	61	1	
Bw1	4,4	3,8	0,3	0,1	0,5	0,3	1,2	2,3	5,2	6,4	18	67	1	
Bw2	4,4	3,7	0,1	0,2	0,5	0,3	1,0	3,2	4,8	5,8	18	76	1	
Bw3	4,5	3,8	0,0	0,2	0,3	0,2	0,7	3,0	4,1	4,8	15	80	1	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ki)	SiO <sub>2</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap	18,4	180	170	51	6,7	5,23	1,80	1,51						
BA	14,7	-----	-----	-----	-----	-----	----	----						
Bw1	9,9	152	139	51	5,6	4,28	1,86	1,51						
Bw2	8,6	186	175	51	6,5	5,39	1,81	1,52						
Bw3	5,4	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

Relação textural = 1,1

**Foto Perfil 19**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 21 IGO PV3

DATA: 11/03/2014.

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A moderado, textura argilo-arenosa.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7508057,61 e 604254,95 UTM, Datum horizontal: WGS 84, Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Terço superior da encosta,

ELEVAÇÃO: 450 m

LITOLOGIA Biotita-muscovita- gnaisse

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Paraíba do Sul

MATERIAL ORIGINÁRIO: Intemperismo do material supracitado

PEDREGOSIDADE: Pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Forte ondulado (35% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado

EROSÃO: Laminar ligeira

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem: Grama Batatais (*Paspalum notatum*)

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Elias Mendes Costa

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap- 0 a 23 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, úmido) e cinzento-avermelhado-escuro (5YR 4/2, seco); argilo-arenosa; moderada média a grande granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

BA- 23 a 40 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4); argila; moderada média granular e moderada pequena a média blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual (23-38/42 cm).

Bi1- 40 a 70 cm; vermelho (10R 4/6); argila; moderada média, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual. (38/42-68/72 cm)

Bi2- 70 a 95 cm; vermelho (10R 4/6); argila; moderada média, blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual.

BC- 95 a 120<sup>+</sup> cm; vermelho (10R 4/8); franco-argilosa; moderada média, blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES- Comum fina no horizonte A e AB, poucas e finas no Bi1 e Bi2, raras e finas no BC.

OBSERVAÇÕES- No horizonte BC o material possui aspecto siltoso e se desfaz com facilidade quando umedecido.

Presença de fragmentos de rocha nos horizontes Bi1, Bi2 e BC e em maior quantidade no horizonte BA.

Teores de minerais primários facilmente intemperizáveis, na fração areia, estimados por avaliação visual em microscópio de 5% e 7% para Bi1 e Bi2 respectivamente.

**Tabela 2.** Análises físicas e químicas do perfil 21

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap	0-23	0	21	79	354	114	171	361	250	31	0,47	1,34	2,50	46
BA	23-40	0	13	87	253	79	149	519	410	21	0,29	1,50	2,47	39
Bi1	40-70	0	10	90	210	70	175	545	460	16	0,32	1,41	2,53	44
Bi2	70-95	1	7	92	243	82	244	431	230	47	0,57	1,45	2,56	43
BC	95-120 <sup>+</sup>	0	5	95	235	98	349	318	90	72	1,10	1,22	2,56	53
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	100Al <sup>3+</sup> / S+Al <sup>3+</sup> m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap	5,0	3,9	1,6	1,4	2,7	0,3	6,0	0,9	4,5	10,5	57	13	2	
BA	4,8	3,8	0,6	1,0	0,6	0,3	2,5	2,0	3,9	6,4	39	44	1	
Bi1	4,9	3,9	0,6	0,8	0,5	0,4	2,2	2,2	4,0	6,2	36	50	1	
Bi2	5,2	3,9	0,0	1,3	0,5	0,3	2,2	2,0	2,3	4,4	48	48	0	
BC	5,3	4,0	0,0	1,6	1,6	0,4	3,6	1,9	3,6	7,1	50	34	1	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ki)	SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap	12,8	155	119	40	4,9	4,67	2,21	1,82						
BA	18,1	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						
Bi1	7,9	231	216	72	6,2	4,71	1,82	1,50						
Bi2	4,4	229	202	66	5,5	4,81	1,93	1,59						
BC	3,1	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

Relação textural = 1,5

**Foto Perfil 21**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 30 IGO PV6

DATA: 10/03/2014

CLASSIFICAÇÃO: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A proeminente, textura argila.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7508792,69 e 603193,65 UTM, Datum horizontal: WGS 84 Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Terço superior da encosta,

ELEVAÇÃO: 414 m

LITOLOGIA Dique Máfico (Basalto)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Paraíba do Sul

MATERIAL ORIGINÁRIO: Intemperismo do material supracitado

PEDREGOSIDADE: Não Pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Forte ondulado (30% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado

EROSÃO: Laminar ligeira

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem: Colônia (*Panicum maximu*), Antigo plantio de Pinhão Manso (*Jatropha curcas*).

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Elias Mendes Costa

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

Ap- 0 a 17 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 2,5/2, úmido) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, seco); argila; moderada pequena e média granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

AB- 17 a 32 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3 úmido) e bruno-avermelhado-escuro (5YR3/4 seco); argila; moderada pequena granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

BA- 32 a 50 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); muito argilosa; moderada pequena granular e, moderada pequena blocos subangulares; cerosidade pouca e fraca; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bw1- 50 a 95 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4); muito argilosa; moderada pequena blocos subangulares; cerosidade pouca e fraca; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

Bw2- 95 a 140<sup>+</sup> cm; vermelho amarelado (5YR 4/6); muito argilosa; moderada pequena e média blocos angulares; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES- Abundante fina e muito finas no horizonte A, Poucas finas e muito finas no AB e Bw1, pouca muito fina no BA e raras finas e médias nos de mais.

OBSERVAÇÕES- Presença de fragmentos de rocha nos horizontes subsuperficiais (quartzo). Horizonte Bw2 com aspecto Siltoso.

**Tabela 3.** Análises físicas e químicas do perfil 30

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap	0-17	0	1	99	112	96	275	517	280	46	0,53	1,31	2,60	49
AB	17-32	0	2	98	125	145	147	583	350	40	0,25	1,34	2,63	49
BA	32-50	0	3	97	101	122	161	616	210	66	0,26	1,17	2,67	56
Bw1	50-95	0	3	97	76	87	163	674	0	100	0,24	0,97	2,67	63
Bw2	95-140 <sup>+</sup>	0	2	98	98	112	183	607	0	100	0,30	1,09	2,67	59
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	100Al <sup>3+</sup> / S+Al <sup>3+</sup> m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap	5,6	4,6	4,3	2,1	2,2	0,5	9,1	0,1	5,2	14,2	64	1	15	
AB	5,0	4,1	1,2	0,9	0,5	0,2	2,8	0,5	4,5	7,3	38	16	1	
BA	4,8	4,0	0,6	0,6	0,2	0,2	1,6	1,0	3,7	5,3	31	39	1	
Bw1	4,9	4,1	0,6	0,4	0,1	0,1	1,3	1,0	3,7	5,0	26	43	5	
Bw2	5,0	4,1	0,2	0,5	0,1	0,1	0,9	1,2	3,4	4,3	22	56	7	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ki)	SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap	27,8	168	161	136	41,6	1,86	1,77	1,15						
AB	15,0	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						
BA	10,2	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						
Bw1	6,5	210	205	140	28,0	2,30	1,74	1,21						
Bw2	4,6	200	204	143	27,5	2,24	1,67	1,15						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total  
Relação textural = 1,2

**Foto Perfil 30**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 32

DATA: 11/03/2014

CLASSIFICAÇÃO: NEOSSOLO FLÚVICO Psamítico típico, A moderado, textura areia franca.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7508778,03 e 603890,52 UTM, Datum horizontal: WGS 84, Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Baixada (Margem direita do ribeirão Cachimbal),

ELEVAÇÃO: 360 m

LITOLOGIA Bacia de Volta Redonda

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Sedimentos do Quaternário

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos aluviais

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Plano (2% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem: Colonião (*Panicum maximum*) e Plantio de Coco (*Cocos nucifera*)

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Elias Mendes Costa

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap - 0 a 10 cm; bruno - acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido) e bruno - acinzentado (10YR 5/2, seco); areia franca; fraca pequena granular; macia, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

C1- 10 a 27 cm; bruno-escuro (10YR 3/3, úmido); areia franca; grão simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

2C2- 27 a 63 cm; bruno-avermelhado (10YR 3/2); franco-arenosa; fraca muito pequena, granular; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

3C3- 63 a 85 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4); areia franca; grão simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

3C4- 85 a 123 cm; ; bruno-amarelado-escuro (10YR 3/6); areia; grão simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta. (85-120-126 cm)

4C5- 123 a 160<sup>+</sup> cm; bruno (7,5YR 4/4); franco-argilo-arenosa; maciça; ligeiramente dura, friável, não plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES- Abundantes, finas e grossas e raras no Ap, C1 e 2C2; poucas e finas no 3C3; raras e finas no 3C4.

**Tabela 4.** Análises físicas e químicas do perfil 32

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap	0-10	0	0	100	544	266	87	103	10	90	0,84	1,14	2,47	54
C1	10-27	0	0	100	543	316	83	58	20	66	1,43	1,11	2,60	57
2C2	27-63	0	2	98	374	298	184	144	80	44	1,28	1,38	2,56	46
3C3	63- 85	2	1	97	544	301	83	72	40	44	1,15	1,40	2,67	48
3C4	85-123	0	0	100	566	319	67	48	20	58	1,40	1,35	2,56	48
4C5	123-160 <sup>+</sup>	0	0	100	176	346	226	252	200	21	0,90	1,44	2,58	44
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	100Al <sup>3+</sup> / S+Al <sup>3+</sup> m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap	6,6	5,6	2,7	2,5	12,8	0,3	18,3	0,0	1,1	19,4	95	0	31	
C1	6,4	5,6	1,2	1,4	4,0	0,2	6,9	0,0	0,3	7,1	96	0	24	
2C2	5,9	5,0	4,1	2,0	1,4	0,5	8,0	0,0	2,0	10,0	80	0	160	
3C3	6,4	5,5	2,0	1,4	1,3	0,5	5,2	0,0	0,8	6,0	87	0	153	
3C4	6,4	5,2	0,9	1,4	1,5	0,5	4,3	0,0	0,5	4,8	89	0	36	
4C5	6,3	4,4	5,1	3,4	1,3	0,4	10,2	0,0	1,9	12,1	84	0	20	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ki)	SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap	11,6	62	40	28	6,0	2,24	2,64	1,82						
C1	4,3	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						
2C2	7,7	78	55	32	7,4	2,70	2,41	1,76						
3C3	2,4	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						
3C4	1,4	35	21	20	7,1	1,65	2,83	1,76						
4C5	5,6	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC a pH 7,0; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

**Foto Perfil 32**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 36

DATA: 14/03/2014

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico, A proeminente, textura franca a franco-argilo-arenosa

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7506683 e 602342 UTM, Datum horizontal: WGS 84, Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Terço médio de encosta,

ELEVAÇÃO: 392 m

LITOLOGIA Dique Máfico (Gabro)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Paraíba do Sul

MATERIAL ORIGINÁRIO: Intemperismo do material supracitado

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Ondulado (15% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado

EROSÃO: Laminar ligeira

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem: Grama Batatais (*Paspalum notatum*) e *Brachiaria (Urochloa decumbens)*

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Elias Mendes Costa

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap1 - 0 a 16 cm; preto (2,5YR 2,5/1, úmido) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, seco); franca; moderada; média granular; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

A2- 16 a 44 cm; vermelho-muito-escuro-acinzentado (2,5YR 2,5/2, úmido) e vermelho-escuro-acinzentado (2,5YR 3/2, seco); franco-argilo-arenosa; moderada pequena e média granular; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

BA- 44 a 58 cm; vermelho-escuro-acinzentado (2,5YR 3/2); argila; moderada pequena blocos subangulares; cerosidade pouca e fraca; macia muito friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bt1- 58 a 134 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); muito argilosa; moderada média blocos angulares e subangulares; cerosidade comum e moderada; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

Bt2- 134 a 210<sup>+</sup> cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4); muito argilosa; moderada média blocos angulares e subangulares; cerosidade abundante e moderada; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES- Abundantes e finas no Ap1, comuns e finas A2 e BA, poucas e finas no Bt1 e raras e finas no Bt2

**Tabela 5.** Análises físicas e químicas do perfil 36

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap1	0-16	0	5	95	212	249	314	225	100	56	1,40	1,49	2,82	47
A2	16-44	0	3	97	278	239	234	249	160	36	0,94	1,63	2,82	42
BA	44-58	0	1	99	180	208	203	409	0	100	0,50	1,54	2,70	43
Bt1	58-134	0	1	99	134	136	130	600	80	87	0,22	1,42	2,63	46
Bt2	134-210 <sup>+</sup>	0	2	98	56	88	22,3	633	270	57	0,35	1,39	2,70	48
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	100Al <sup>3+</sup> / S+Al <sup>3+</sup> m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap1	6,0	4,9	4,3	3,3	2,2	0,6	10,4	0,0	5,0	15,4	67	0	3	
A2	5,7	4,4	3,8	2,0	0,4	0,5	6,8	0,0	4,4	11,1	61	0	1	
BA	5,6	4,6	3,8	2,1	0,3	0,6	6,9	0,0	3,0	9,9	69	0	2	
Bt1	5,3	4,0	2,3	2,5	0,4	0,7	5,9	1,1	4,2	10,1	58	16	6	
Bt2	5,4	4,2	3,2	2,6	0,3	0,5	6,6	0,2	3,4	9,9	66	2	7	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ki)	SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap1	19,2	-----	-----	-----	-----	-----	-----							
A2	10,4	-----	-----	-----	-----	-----	-----							
BA	9,2	-----	-----	-----	-----	-----	-----							
Bt1	6,1	193	162	138	43,0	1,84	2,03 / 1,31							
Bt2	5,4	202	176	148	40,7	1,87	1,95 / 1,27							

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Flocculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

Relação textural = 2,1

**Foto Perfil 36**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 40

DATA: 14/03/2014

CLASSIFICAÇÃO: LATOSSOLO AMARELO Eutrófico típico, A moderado textura argila arenosa

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7508152,04 e 603589,24 UTM, Datum horizontal: WGS 84, Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Terço médio de encosta,

ELEVAÇÃO: 410 m

LITOLOGIA Biotita-Muscovita-Gnaiss

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Paraíba do Sul

MATERIAL ORIGINÁRIO: Intemperismo do material supracitado

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Forte Ondulado (30% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado

EROSÃO: Laminar ligeira

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem degradada: Grama Batatais (*Paspalum notatum*) Sapê (*Imperata brasiliensis*)

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Elias Mendes Costa

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap- 0 a 28 cm; bruno-escuro (7,5YR 4/2, úmido) e bruno (7,5YR 5/2, seco); argila arenosa; moderada média granular e moderada pequena blocos subangulares; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

BA- 28 a 59 cm; bruno-forte (7,5 YR 5/6); argila; moderada pequena blocos subangulares; cerosidade pouca e fraca; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual (28-58/60).

Bw1- 59 a 113 cm; bruno-forte (7,5 YR 5/8); franco-argilo-arenosa; moderada pequena e média, blocos subangulares; cerosidade pouca e fraca; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual (58/60-110/116 cm).

Bw2- 113 a 145<sup>+</sup> cm; vermelho-amarelado (5YR 5/8); muito argilosa; moderada pequena e média, blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa.

RAÍZES- Comuns finas e médias no A e BA e raras e finas no Bw1 e Bw2

OBSERVAÇÕES- Presença de Cascalho e quartzo no B2 (tamanho mais ou menos 2 cm), Presença de galerias e túneis nos horizontes BA e Bw1.

Teores de minerais primários facilmente intemperizáveis, na fração areia, estimados por avaliação visual em microscópio de 2% e 1% para Bw1 e Bw2 respectivamente.

**Tabela 6.** Análises físicas e químicas do perfil 40

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap	0-28	0	6	94	316	120	184	380	300	21	0,48	1,53	2,56	40
BA	28-59	0	2	98	213	100	142	545	90	84	0,26	1,52	2,53	40
Bw1	59-113	0	2	98	162	79	249	510	2	100	0,39	1,37	2,60	47
Bw2	113-145 <sup>+</sup>	0	3	97	128	58	130	684	150	78	0,19	1,26	2,56	51
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	100Al <sup>3+</sup> / S+Al <sup>3+</sup> m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap	4,6	3,7	0,9	0,5	4,4	0,2	6,0	1,1	4,7	10,7	56	15	2	
BA	4,6	3,7	0,7	1,3	2,9	0,2	5,1	1,4	4,3	9,4	55	21	1	
Bw1	4,7	3,9	0,4	0,9	2,3	0,2	3,9	0,9	3,2	7,0	55	18	1	
Bw2	4,7	3,9	0,4	1,0	1,3	0,3	3,0	1,2	3,3	6,3	48	28	2	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ki)	SiO <sub>2</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap	11,1	148	112	55	9,6	3,20	2,25	1,71						
BA	9,0	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						
Bw1	5,7	226	202	83	10,8	3,82	1,90	1,51						
Bw2	4,2	226	198	94	11,1	3,31	1,94	1,49						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas=Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

Relação textural = 1,39

**Foto Perfil 40**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 200

DATA: 11/03/2014

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico, A moderado textura franco-argilo-arenosa.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7508359,90 e 603757,45 UTM, Datum horizontal: WGS 84, Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Terço inferior de encosta,

ELEVAÇÃO: 471 m

LITOLOGIA Biotita-Muscovita-Gnaiss

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Paraíba do Sul

MATERIAL ORIGINÁRIO: Intemperismo do material supracitado

PEDREGOSIDADE: Não Pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Forte Ondulado (25% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a Forte ondulado

EROSÃO: Laminar ligeira

DRENAGEM: Moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem degradada: Grama Batatais (*Paspalum notatum*) Sapê (*Imperata brasiliensis*)

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Elias Mendes Costa

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap- 0 a 32 cm; cinzento-muito escuro (5YR 3/1, úmido) e cinzento (5YR 5/1, seco); franco-argilo-arenosa; moderado média granular e moderada pequena blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

BA- 32 a 52 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3); franco-argilo-arenosa; moderada pequena e média blocos angulares e subangulares; cerosidade comum e fraca; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Bi1- 52 a 85 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); argila-arenosa; moderada pequena e média blocos, angulares e subangulares; cerosidade comum e fraca; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual (52-83/87 cm).

Bi2- 85 a 128 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4); argila-arenosa; moderada pequena e média blocos, angulares e subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual (83/87-126/130).

BC- 128 a 150<sup>+</sup> cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6); coloração variegada composta de vermelho-claro (10YR 6/8) e vermelho-acinzentado (10YR 4/4); argila; moderada pequena e média blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES- Comuns finas no A e BA; Poucas finas no Bi1 e Bi2.

OBSERVAÇÕES- Presença de fragmentos de rocha com minerais facilmente intemperizáveis nos horizontes Bi1 e Bi2. No horizonte BC, presença de minerais primários caracterizando coloração variegada.

Teores de minerais primários facilmente intemperizáveis, na fração areia, estimados por avaliação visual em microscópio de 3% e 3% para Bi1 e Bi2 respectivamente

**Tabela 7.** Análises físicas e químicas do do perfil 200

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap	0-32	0	5	95	471	184	114	231	220	5	0,49	1,57	2,53	38
BA	32-52	0	4	96	409	158	117	316	300	5	0,37	1,55	2,63	41
Bi1	52-85	1	2	97	364	153	126	357	310	13	0,35	1,57	2,50	37
Bi2	85-128	0	2	98	346	138	111	405	310	24	0,27	1,65	2,56	36
BC	128-150 <sup>+</sup>	0	1	99	323	133	117	427	280	34	0,27	1,61	2,53	36
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	100Al <sup>3+</sup> / S+Al <sup>3+</sup> m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap	5,1	3,8	1,5	1,2	1,5	0,4	4,6	0,7	4,1	8,7	53	13	2	
BA	5,0	3,7	1,3	0,8	0,6	0,6	3,2	1,5	3,2	6,4	50	31	1	
Bi1	5,1	3,7	1,6	0,6	0,5	3,1	5,8	1,9	3,8	9,7	60	25	1	
Bi2	5,3	3,8	1,8	0,6	0,5	0,6	3,4	1,7	3,2	6,6	52	33	1	
BC	5,8	4,0	2,6	1,0	0,4	0,4	4,3	1,0	2,7	7,0	61	19	1	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ki)	SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap	10,5	93	60	34	3,3	2,77	2,64	1,93						
BA	6,2	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						
Bi1	4,7	142	110	41	4,4	4,21	2,19	1,77						
Bi2	5,5	153	125	46	4,9	4,27	2,08	1,68						
BC	4,3	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

Relação textural = 1,3

**Foto Perfil 200**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 47

DATA: 12/03/2014

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A moderado textura argila-siltosa.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7506878,70 e 601090,52 UTM, Datum horizontal: WGS 84, Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Trincheira aberta em topo de encosta

ELEVAÇÃO: 524 m

LITOLOGIA Biotita-Muscovita-Gnaiss

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Paraíba do Sul

MATERIAL ORIGINÁRIO: Intemperismo do material supracitado

PEDREGOSIDADE: Moderadamente pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Ondulado (10% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado

EROSÃO: Laminar ligeira

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem: Grama Batatais (*Paspalum notatum*)

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Lúcia Helena Cunha dos Anjos

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap- 0 a 15 cm; cinzento-muito escuro (5YR 3/1, úmido) e cinzento-escuro (5YR 4/1, seco); argila-siltosa; moderada pequena e média, granular; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

AB- 15 a 24 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmido) e bruno (7,5 YR 5/2, seco); argila-arenosa; moderada pequena e média granular e moderada pequena blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

BA- 24 a 35 cm; bruno (7,5YR 5/4); argila; moderada pequena blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara (24-34/36 cm).

Bi1- 35 a 63 cm; vermelho (2,5YR 5/6); argila; moderada pequena e média, blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual (34/36-62/64 cm).

Bi2- 63 a 84<sup>+</sup> cm; vermelho (2,5YR 5/8); argila; moderada pequena e média, blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES- Comuns finas, poucas médias e grossas no A e AB; poucas finas, médias e grossas no BA; raras finas em Bi1.

OBSERVAÇÕES- Muitos calhaus de quartzo em Bi1 e Bi2

Presença de fragmentos de rocha com minerais facilmente intemperizáveis em BA, Bi1 e Bi2

Teores de minerais primários facilmente intemperizáveis, na fração areia, estimados por avaliação visual em microscópio de 1% e 2% para Bi1 e Bi2 respectivamente.

**Tabela 8.** Análises físicas e químicas do perfil 47

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap	0-15	0	8	92	92	36	452	420	340	19	1,08	1,40	2,47	43
AB	15-24	1	12	87	386	100	68	446	370	17	0,15	1,55	2,50	38
BA	24-35	7	28	66	331	95	97	477	470	2	0,20	1,49	2,53	41
Bi1	35-63	6	31	64	292	97	104	507	430	15	0,21	1,55	2,50	38
Bi2	63-84 <sup>+</sup>	12	17	71	306	101	127	466	250	46	0,27			
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	100Al <sup>3+</sup> S+Al <sup>3+</sup> m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap	4,2	3,6	0,7	0,2	1,9	0,3	3,2	3,4	9,8	13,0	24	52	3	
AB	4,2	3,7	0,4	0,7	1,0	0,2	2,3	3,4	9,1	11,4	20	60	2	
BA	4,3	3,7	0,2	0,4	0,6	0,2	1,4	3,9	6,7	8,1	17	74	2	
Bi1	4,4	3,8	0,1	0,4	0,4	0,3	1,2	3,8	8,1	9,3	13	76	1	
Bi2	4,5	3,9	0,1	0,1	0,2	0,2	0,7	4,1	5,5	6,2	11	86	1	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ki)	SiO <sub>2</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap	23,6	152	123	41	5,2	4,71	2,10	1,73						
AB	17,8	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						
BA	15,5	172	141	51	5,5	4,34	2,07	1,68						
Bi1	10,1	197	171	53	6,2	5,07	1,96	1,63						
Bi2	5,6	205	179	51	5,9	5,51	1,95	1,65						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

Relação textural = 1,1

**Foto Perfil 47**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 49

DATA: 12/03/2014

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico típico, A moderado textura franco-argilo-arenosa

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7506780,19 e 601156,31 UTM, Datum horizontal: WGS 84, Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Trincheira aberta em terço médio de encosta

ELEVAÇÃO: 476 m

LITOLOGIA Biotita-Muscovita-Gnaiss

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Paraíba do Sul

MATERIAL ORIGINÁRIO: Intemperismo do material supracitado

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Forte Ondulado (40% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado

EROSÃO: Laminar ligeira

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Floresta Secundária

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Elias Mendes Costa

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap - 0 a 15 cm; cinzento-muito-escuro (10YR 3/1, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 4/1, seco); franco-argilo-arenosa; moderada pequena e média granular; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

BA- 15 a 24 cm; bruno-escuro (7,5YR 4/4, úmido) e bruno-claro (7,5YR 6/4, seco); argila; moderada média granular e moderada pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual (15-22/26 cm).

Bi1- 24 a 73 cm; bruno (7,5YR 5/6); argila; fraca muito pequena blocos subangulares; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e abrupta (22/26- 71/75 cm).

Bi2- 73 a 124 cm; bruno-acinzentado-muito escuro (10YR 3/2); argila-arenosa; moderada pequena e média granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e abrupta (71/75-122/126 cm).

BC- 124 a 147<sup>+</sup> cm; amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8); franca; fraca muito pequena e pequena blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES- Comuns e finas em A1, BA, poucas finas e médias em Bi1 e Bi2 e raras e finas em BC.

OBSERVAÇÕES-Presença de horizonte de coloração escura em subsuperfície (Bi2).

Teores de minerais primários facilmente intemperizáveis, na fração areia, estimados por avaliação visual em microscópio de 2 % para Bi1, Bi2.

**Tabela 9.** Análises físicas e químicas do perfil 49

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
A	0-15	3,12	12	88	391	125	105	379	260	31	0,28	1,15	2,44	53
BA	15-24	2,66	9	91	309	116	143	432	430	1	0,33	1,32	2,53	48
Bi1	24-73	3,12	5	95	297	95	117	491	370	25	0,24	1,34	2,53	47
Bi2	73-124	3,32	6	94	376	113	86	425	120	72	0,20	1,16	2,60	55
BC	124-147	0,08	6	94	31	345	357	267	160	40	1,34	1,20	2,56	53
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmolc kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por ase) %	100Al3 + S+Al 3+ m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca2+	Mg2+	K+	Na+	SB	Al3+	VH	Valor T (soma)				
A	4,1	3,4	0,3	0,3	1,5	0,3	2,4	4,2	12,1	14,5	16	64	5	
BA	4,1	3,6	0,0	0,5	0,6	0,1	1,2	4,6	9,5	10,7	11	79	1	
Bi1	4,3	3,8	0,0	0,5	0,3	0,1	1,0	4,6	8,1	9,1	11	83	1	
Bi2	4,4	3,9	0,0	0,2	0,2	0,1	0,6	4,2	7,6	8,2	7	88	1	
BC	4,5	3,9	0,0	0,2	0,2	0,1	0,6	4,0	6,2	6,7	8	88	1	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ki)	SiO <sub>2</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
A	26,4	127	123	37	4,7	5,22	1,76	1,47						
BA	14,9	163	159	45	5,9	5,55	1,74	1,48						
Bi1	9,0	170	171	49	5,9	5,48	1,69	1,43						
Bi2	7,5	155	155	51	5,8	4,77	1,70	1,40						
BC	4,9	170	171	58	5,9	4,63	1,69	1,39						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

Relação textural = 1,2

**Foto Perfil 49**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 58

DATA: 10/03/2014

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Eutrófico típico, A moderado textura franco-argilosa.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7509574,15 e 604176,04 UTM, Datum horizontal: WGS 84, Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Trincheira aberta na baixada. Próximo ao rio Paraíba do Sul.

ELEVAÇÃO: 359 m

LITOLOGIA Sedimentos do Quaternário (Sedimentos aluviais do Paraíba do Sul)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Sedimentos do Quaternário

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos aluviais

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Plano (1% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem: Colonião (*Panicum maximum*). e *Brachiaria (Urochloa decumbens)*

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Elias Mendes Costa

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap- 0 a 29 cm; bruno escuro (7,5YR 4/2, úmido) e bruno (7,5YR 5/2, seco); franco-argilosa; forte média e grande granular; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

BA- 29 a 47 cm; bruno (7,5YR 5/2); franco-argilosa; forte média blocos subangulares e angulares; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual. (29- 45/49 cm)

Bi1- 47 a 77 cm; bruno-forte (7,5YR 5/6); franca; forte pequena e média blocos subangulares e angulares; ligeiramente dura; muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Bi2- 77 a 108 cm bruno-forte (7,5YR 5/6); franca; forte pequena e média blocos subangulares e angulares; franca; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bi3- 108 a 150<sup>+</sup> cm; amarelo-avermelhado (7,5YR 5/6); argila-siltosa; moderada pequena e média blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES- Poucas finas e médias no A e BA

OBSERVAÇÕES: Bi2 e Bi3 com aspecto muito siltoso, sobretudo Bi3.

**Tabela 10.** Análises físicas e químicas do perfil 58

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap	0-29	0	0	100	21	376	284	319	200	37	0,89	1,37	2,60	47
BA	29-47	0	0	100	14	296	341	349	30	91	0,98	1,50	2,53	41
Bi1	47-77	0	0	100	7	290	436	267	20	93	1,63	1,52	2,60	41
Bi2	77-108	0	0	100	26	477	292	205	10	95	1,42	1,48	2,60	43
Bi3	108-150 <sup>+</sup>	0	0	100	31	85	468	416	270	35	1,12	1,50	2,56	42
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	$\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap	5,2	4,0	3,6	0,5	6,2	0,4	10,7	0,4	4,8	15,5	69	4	2	
BA	4,9	3,8	0,9	0,2	1,6	0,5	3,2	1,8	3,8	7,0	46	36	1	
Bi1	5,1	4,0	0,0	2,0	0,6	0,3	2,9	1,3	2,5	5,4	53	31	1	
Bi2	5,5	4,5	1,4	0,5	0,5	0,3	2,6	0,2	0,8	3,4	76	7	9	
Bi3	5,7	4,7	0,4	1,6	1,0	0,3	3,2	0,1	0,5	3,6	88	4	3	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (ki)	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap	14,0	150	127	60	7,1	3,32	2,01	1,54						
BA	6,7	161	140	52	7,8	4,23	1,96	1,58						
Bi1	4,4	172	154	62	7,8	3,90	1,90	1,51						
Bi2	2,8	170	146	72	7,4	3,18	1,98	1,50						
Bi3	1,9	165	146	64	7,6	3,58	1,92	1,50						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas=Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

**Foto Perfil 58**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 59

DATA: 13/03/2014

CLASSIFICAÇÃO: GLEISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico, A moderado, textura argila siltosa

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7509474,01 e 604061,60 UTM, Datum horizontal: WGS 84 Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Perfil em barranco de tanque de sedimentação (baixada).

ELEVAÇÃO: 358 m

LITOLOGIA Sedimentos do Quartenário (Sedimentos aluviais do Paraíba do Sul)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Sedimentos do Quartenário

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos

PEDREGOSIDADE: Não Pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Plano (1% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a Forte ondulado

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Originalmente mal drenado, porem com drenagem artificial.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem: Colonião (*Panicum maximum*). e *Brachiaria (Urochloa decumbens)*

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Elias Mendes Costa

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap- 0 a 19 cm; cinzento escuro (5YR 4/1, úmido) e cinzento (5YR 6/1, seco); argila siltosa; forte, pequena e média, blocos angulares; dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Bg1- 19 a 75 cm; cinzento (5YR 6/1) mosqueado pouco pequeno e difuso, amarelo-avermelhado (5 YR 6/6); muito argilosa; forte, média, prisma composto de blocos angulares, média; muito dura, muito firme, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

Bg2- 75 a 105 cm; cinzento-claro (5YR 7/1), mosqueado pouco pequeno e difuso, amarelo-avermelhado (5 YR 6/6); argila-siltosa; forte, pequena, prisma composto de blocos angulares, pequena e média; muito dura, muito firme, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

Bg3- 105 a 123 cm<sup>+</sup>; cinzento-claro (5YR 7/1), mosqueado comum médio e difuso, vermelho-amarelado (5 YR 6/8); franco-argilo-arenosa; forte, pequena, prisma composto de blocos angulares, pequena e média; dura, firme, plástica e pegajosa.

RAÍZES- Poucas e finas no A, raras e finas no Bg1

OBSERVAÇÕES- O perfil encontra-se sob drenagem artificial. Presença de concreções de Mangânes no horizonte A (tamanho mais ou menos 3 cm).

**Tabela 11.** Análises físicas e químicas do perfil 59

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap	0-10	0	0	100	9	13	411	567	25	56	0,72	1,24	2,47	50
Bg1	10-21	0	0	100	3	10	345	642	20	69	0,54	1,20	2,53	52
Bg2	21-47	0	0	100	1	18	473	508	11	78	0,93	1,29	2,60	50
Bg3	47-75	0	0	100	3	14	461	522	2	96	0,88	1,31	2,70	52
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	$\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap	5,4	3,9	6,1	2,8	1,5	0,9	11,3	0,3	4,0	15,3	74	2	4	
Bg1	5,5	3,9	3,0	4,2	0,6	1,0	8,9	0,5	2,7	11,6	77	5	1	
Bg2	5,6	4,0	1,8	4,9	0,5	1,0	8,2	0,5	1,4	9,5	86	6	1	
Bg3	5,6	4,2	1,1	3,8	0,4	0,8	6,1	0,3	1,1	7,3	84	4	2	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (ki)	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap	15,5	233	192	66	10,5	4,57	2,06	1,69						
Bg1	5,6	293	253	80	12,3	4,97	1,97	1,64						
Bg2	3,3	332	280	64	10,6	6,87	2,02	1,76						
Bg3	2,5	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Flocculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

Relação textural = 1,0

**Foto Perfil 59**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 71

DATA: 12/03/2014

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO HÁPLICO Alíco úmbrico. A proeminente textura franco-argilo-arenosa

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7505125,93 e 602415,22 UTM, Datum horizontal: WGS 84, Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Perfil em corte de estrada em terço médio de encosta.

ELEVAÇÃO: 392 m

LITOLOGIA Microclina- Gnaisse-Porfiroclástico

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Paraíba do Sul

MATERIAL ORIGINÁRIO: Intemperismo do material supracitado

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Ondulado (15% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado

EROSÃO: Laminar ligeira

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem: Rabo de burro (*Andropogon Condensatus*) Batatais (*Paspalum notatum*), Colonião (*Panicum maximum*).

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Elias Mendes Costa

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap- 0 a 25 cm; bruno-acinzentado-muito escuro (10YR 3/2, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); franco-argilo-arenosa; fraca muito pequena e pequena, granular; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

AB- 25 a 48 cm; e bruno-escuro (10YR 3/3, úmido) e bruno-acinzentado (10 YR 5/2, seco); argila; fraca pequena e média granular e blocos subangulares muito pequenos e pequeno; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

BA- 48 a 72 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); franca; moderada pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bi1- 72 a 110 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6); franco-argilosa; moderada média, blocos angulares e subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bi2- 110 a 160<sup>+</sup> cm; vermelho (2,5YR 4/6); franco-argilo-arenosa; moderada pequena, blocos angulares e subangulares; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES- Comuns finas no A e AB; poucas e finas no BA.

OBSERVAÇÕES- Muitos cascalhos pequenos em Bi1 e pouco menos em Bi2. Presença de minerais primários (micáceos) em Bi1

Teores de minerais primários facilmente intemperizáveis, na fração areia, estimados por avaliação visual em microscópio de 6% e 9% para Bi1 e Bi2 respectivamente.

**Tabela 12.** Análises físicas e químicas do perfil 71

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				DS	DP	
Ap	0-25	0	7	93	402	102	186	310	280	10	0,60	1,40	2,56	45
AB	25-48	0	4	96	259	89	183	469	410	13	0,39	1,61	2,70	40
BA	48-72	0	4	96	282	96	376	246	240	2	1,53	1,42	2,47	42
Bi1	72-110	0	4	96	226	102	316	356	60	83	0,89	1,47	2,56	42
Bi2	110-160 <sup>+</sup>	0	4	96	349	137	176	338	1	100	0,52	1,50	2,60	42
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	100Al <sup>3+</sup> S+Al <sup>3+</sup> m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap	5,0	4,9	1,4	0,7	1,9	0,2	4,2	1,2	3,1	7,4	58	21	2	
AB	4,9	3,7	1,3	0,2	1,3	0,2	2,9	2,2	4,4	7,3	40	43	1	
BA	4,7	3,8	0,4	1,2	1,0	0,2	2,8	3,7	5,3	8,1	34	57	1	
Bi1	4,9	3,8	0,4	1,2	1,1	0,3	3,0	4,0	5,5	8,4	35	58	1	
Bi2	5,0	3,8	0,2	1,9	1,1	0,3	3,6	4,3	5,6	9,2	39	55	1	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ki)	SiO <sub>2</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap	10,2	87	63	26	3,6	3,80	2,35	1,86						
AB	7,7	186	163	46	6,9	5,56	1,94	1,64						
BA	6,7	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						
Bi1	5,3	186	152	60	7,5	3,98	2,08	1,66						
Bi2	2,8	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

Relação textural = 0,8

**Foto Perfil 71**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 72

DATA: 12/03/2014

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico, A Chernozêmico  
textura argila arenosa

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7504329,45 e 603022,96 UTM, Datum horizontal: WGS 84, Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Trincheira aberta em terço superior de encosta.

ELEVAÇÃO: 459 m

LITOLOGIA Microclina- Gnaisse-Porfiroclástico

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Paraíba do Sul

MATERIAL ORIGINÁRIO: Intemperismo do material supracitado

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Forte Ondulado (35% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado

EROSÃO: Laminar ligeira

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem: Colonião (*Panicum maximum*).

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Elias Mendes Costa

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap- 0 a 30 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, úmido) e cinzento-avermelhado-escuro (5YR 4/2, seco); argila arenosa; moderada pequena e média granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

AB- 30 a 45 cm vermelho-escuro-acinzentado (2,5YR 3/2); argila; moderada média granular e moderada pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

BA- 45 a 60 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6); argila; moderada pequena e média, blocos angulares; cerosidade comum e moderada; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bt1- 60 a 85 cm; vermelho (2,5YR 4/6); argila; moderada pequena e média, blocos angulares e; cerosidade comum e moderada; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual

Bt2- 85 a 140<sup>+</sup> cm; vermelho (2,5YR 4/8); franca; moderada pequena e média, blocos angulares ; cerosidade comum e moderada; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES- Abundante e fina no horizonte A, e AB, comuns finas no BA e raras e finas em B1 e B2.

OBSERVAÇÕES- Presença de minerais primários em B1 e B2.

Teores de minerais primários facilmente intemperizáveis, na fração areia, estimados por avaliação visual em microscópio de 2% e 3% para Bt1 e Bt2 respectivamente.

**Tabela 13.** Análises físicas e químicas do perfil 72

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				DS	DP	
Ap	0-30	0	6	94	320	117	240	323	270	16	0,13	1,40	2,53	45
AB	30-45	0	5	95	197	78	195	530	420	21	0,37	1,41	2,53	44
BA	45-60	0	6	94	183	65	224	528	1	100	0,42	1,24	2,56	51
Bt1	60-85	0	3	97	167	60	293	480	0	100	0,61	1,44	2,60	45
Bt2	85-140 <sup>+</sup>	0	2	98	300	60	115	579	1	98	1,81	1,36	2,56	47
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	100Al <sup>3+</sup> S+Al <sup>3+</sup> m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap	5,7	4,7	2,8	2,4	7,2	0,3	12,7	0,0	3,1	15,8	80	0	1	
AB	5,8	4,7	2,5	1,7	4,3	0,3	8,7	0,0	1,6	10,3	85	0	0	
BA	5,6	4,7	1,9	1,8	2,3	0,2	6,3	0,0	3,8	10,1	62	0	0	
Bt1	5,5	4,9	1,5	2,2	1,0	0,3	4,9	0,0	0,3	5,2	94	0	1	
Bt2	5,7	5,1	1,8	2,4	0,6	0,3	5,0	0,0	1,6	6,6	76	0	2	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ki)	SiO <sub>2</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap	14,9	146	124	51	6,9	3,82	2,00	1,58						
AB	8,9	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						
BA	7,6	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						
Bt1	5,4	217	198	81	9,3	3,84	1,86	1,48						
Bt2	4,8	217	197	91	9,3	3,40	1,87	1,45						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

Relação textural = 1,2

**Foto Perfil 72**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 74

DATA: 12/03/2014.

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico, A proeminente textura franco-argilo-arenosa

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7504384,35 e 603060,20 UTM, Datum horizontal: WGS 84, Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Trincheira aberta em terço inferior de encosta.

LITOLOGIA Microclina- Gnaisse-Porfiroclástico

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Paraíba do Sul

MATERIAL ORIGINÁRIO: Intemperismo do material supracitado

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Forte Ondulado (38% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado

EROSÃO: Laminar ligeira

DRENAGEM: Moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem: Colonião (*Panicum maximum*).

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Elias Mendes Costa

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap- 0 a 28 cm; preto (5YR 2,5/1, úmido) e cinzento-escuro (5YR 4/1, seco); franco-argilo-arenosa; moderada média granular; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

AB- 28 a 45 cm; cinzento-muito escuro (5YR 3/1, úmido) e cinzento-avermelhado-escuro (5YR 4/2, seco); franco-argilo-arenosa; moderada média granular e moderada pequena e média blocos subangulares macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara

Bi1- 45 a 85 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2); franco-argilo-arenosa; moderada pequena e média, blocos subangulares e angulares; cerosidade pouca e fraca; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara

Bi2- 85 a 135<sup>+</sup> cm bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2); franco-argilosa; moderada pequena e média, blocos subangulares e angulares; cerosidade pouca e fraca; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES- Comuns e finas e médias, poucas e grossas no A e AB; poucas finas e médias no Bi1

OBSERVAÇÕES- Presença de pontuações identificadas como minerais facilmente intemperizáveis no AB, Bi1 e Bi2.

Teores de minerais primários facilmente intemperizáveis, na fração areia, estimados por avaliação visual em microscópio de 3% e 5% para Bi1 e Bi2 respectivamente

**Tabela 14.** Análises físicas e químicas do Perfil 74

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap	0-28	0	5	95	366	135	220	279	230	18	0,79	1,30	2,53	49
AB	28-45	0	5	95	359	134	191	316	280	11	0,60	1,50	2,47	39
Bi1	45-85	0	4	96	251	81	327	341	360	24	0,96	1,51	2,53	40
Bi2	85-135 <sup>+</sup>	0	4	96	167	160	338	335	250	25	1,01	1,65	2,53	35
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	$\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap	5,3	3,9	2,1	2,6	1,6	0,6	6,8	0,4	5,0	11,8	58	6	2	
AB	5,3	3,7	1,4	2,3	1,0	0,5	5,2	1,9	3,3	8,5	62	27	1	
Bi1	5,4	3,8	2,0	2,2	0,8	0,6	5,6	0,9	4,0	9,6	58	13	1	
Bi2	5,7	4,2	2,9	2,0	1,0	0,8	6,7	0,5	1,8	8,6	79	7	6	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (ki)	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap	13,7	118	84	36	6,5	3,66	2,39	1,87						
AB	7,9	-----	-----	-----	-----	-----								
Bi1	6,6	135	76	48	7,5	2,49	3,02	2,15						
Bi2	4,1	152	123	49	7,8	3,94	2,10	1,67						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

Relação textural = 1,1

**Foto Perfil 74**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 75

DATA: 10/03/2014.

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico típico, A moderado textura argila.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7509012,30 e 603423,14 UTM, Datum horizontal: WGS 84, Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Trincheira aberta em topo de morro

ELEVAÇÃO: 392 m

LITOLOGIA: Sedimentos do terciário

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Bacia de Volta Redonda

MATERIAL ORIGINÁRIO: Intemperismo do material supracitado

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente Pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Suave Ondulado (6% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a Forte ondulado

EROSÃO: Laminar ligeira

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem: Colonião (*Panicum maximum*).

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Elias Mendes Costa

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap- 0 a 20 cm; cinzento-muito-escuro (5YR 3/1, úmido) e cinzento-escuro (5YR 4/1, seco); argila; moderada média granular; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

BA- 20 a 48 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4); argila; moderada pequena e média blocos angulares; cerosidade pouca e fraca; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual (20-45/51 cm).

Bi1- 48 a 84 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6); argila; moderada pequena e média blocos angulares; cerosidade pouca e fraca; dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual (45/51-82/86 cm).

Bi2- 84 a 130<sup>+</sup> cm bruno-avermelhado-escuro (7,5YR 5/6); franca; moderada média, blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES- Abundantes médias e finas em A e BA poucas e finas em Bi1, raras e finas em Bi2

OBSERVAÇÕES- Bi2 com aspecto muito siltoso, presença de pedras no topo da encosta, (seixos rolados de quartzo).

Teores de minerais primários facilmente intemperizáveis, na fração areia, estimados por avaliação visual em microscópio de 2% e 1% para Bi1 e Bi2 respectivamente

**Tabela 15.** Análises físicas e químicas do Perfil 75

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap	0-20	0	5	95	168	171	154	507	90	82	0,30	1,36	2,50	46
BA	20-48	0	4	96	170	173	168	489	150	69	0,34	1,53	2,56	40
Bi1	48-84	0	3	97	188	233	72	507	240	53	0,14	1,42	2,56	45
Bi2	84-130 <sup>+</sup>	0	6	94	286	203	312	199	70	65	1,57	1,35	2,67	49
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	$\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap	4,5	3,6	0,7	0,2	1,0	0,2	2,1	3,4	8,2	10,2	20	62	2	
BA	4,4	3,8	0,2	0,1	0,3	0,3	0,9	4,5	8,6	9,4	9	84	1	
Bi1	4,4	3,8	0,0	0,2	0,2	0,1	0,5	6,0	6,6	7,1	6	93	1	
Bi2	4,6	3,9	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	4,1	5,8	6,2	6	92	1	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (ki)	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap	20,6	142	122	50	13,2	3,83	1,98	1,57						
BA	10,0	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						
Bi1	7,2	187	167	68	13,9	3,86	1,90	1,51						
Bi2	5,2	188	169	72	14,7	3,69	1,89	1,49						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

Relação textural = 0,98

**Foto Perfil 75**



## **DESCRIÇÃO GERAL**

PERFIL: 78

DATA: 11/03/2014.

CLASSIFICAÇÃO: GLEISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico, A moderado textura franco-argilo-arenosa

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7508139,49 e 603890,83 UTM, Datum horizontal: WGS 84, Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Trincheira aberta na baixada

ELEVAÇÃO: 376 m

LITOLOGIA Sedimentos coluviais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Paraíba do Sul

MATERIAL ORIGINÁRIO: Intemperismo do material supracitado

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Plano (3% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Mal drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem (Pasto sujo) e Taboa (*Typha domingensis*)

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Elias Mendes Costa

## **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap- 0 a 9 cm; preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento-escuro (5YR 4/1, seco); franco-argilo-arenosa; moderada pequena granular; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

2AC- 9 a 20 cm; cinzento-escuro (10YR 4/1, úmido) e cinzento (2,5YR 5/0, seco) mosqueado abundante médio e distinto, bruno-escuro (7,5YR 4/4, úmido) e vermelho (2,5YR 5/8, seco); franco-arenosa; moderada pequena e média blocos subangulares; muito dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

3Cg1- 20 a 34 cm; cinzento-escuro (2,5YR 4/0) mosqueado pouco médio distinto, bruno-escuro (7,5 YR 4/4); argila; maciça; muito dura, friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

4Cg2- 34 a 105<sup>+</sup> cm cinzento-escuro (2,5YR 4/0); franco-arenosa; maciça; dura, muito friável, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES- Finas e abundantes no A e AC, finas e comuns no 2Cg1

OBSERVAÇÕES- Pedras nos horizontes 3C1 e 4Cg2, maior predominância em 4Cg2. Cg1 material muito argiloso e micáceo, 4Cg2 material muito arenoso.

**Tabela 16.** Análises físicas e químicas do Perfil 78

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap	0-9	0	0	100	295	235	248	222	110	51	1,12	0,92	2,35	61
2AC	9-20	0	0	100	94	446	343	117	70	40	2,93	1,03	2,50	59
3Cg1	20-34	0	7	93	250	115	229	406	300	26	0,56	1,27	2,47	49
4Cg2	34-105 <sup>+</sup>	0	12	88	545	229	118	108	90	17	1,09	1,64	2,53	35
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	100Al <sup>3+</sup> / S+Al <sup>3+</sup> m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap	5,8	4,5	4,2	5,1	3,0	1,6	13,9	0,1	5,4	19,3	72	1	3	
2AC	5,1	3,6	1,5	3,0	2,8	2,0	9,2	1,7	7,7	16,9	55	16	2	
3Cg1	5,2	3,4	0,9	0,5	1,9	1,1	4,4	2,5	5,2	9,6	46	36	3	
4Cg2	5,2	3,7	1,1	1,4	2,1	0,8	5,4	0,7	2,5	7,9	68	12	3	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ki)	SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap	31,7	112	65	49	3,9	2,08	2,93	1,98						
2AC	17,6	110	70	45	3,8	2,44	2,67	1,89						
3Cg1	8,4	87	54	45	3,4	1,88	2,74	1,79						
4Cg2	6,6	62	38	18	2,6	3,31	2,77	2,13						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Flocculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

**Foto Perfil 78**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 88

DATA: 13/03/2014.

CLASSIFICAÇÃO: LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, A moderado textura argila.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7508038 e 602084 UTM, Datum horizontal: WGS 84, Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Trincheira aberta em topo de morro

ELEVAÇÃO: 486 m

LITOLOGIA Biotita-Gnaiss

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Paraíba do Sul

MATERIAL ORIGINÁRIO: Intemperismo do material supracitado

PEDREGOSIDADE: Moderadamente pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Ondulado (15% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado

EROSÃO: Laminar ligeira

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem degradada: Predominante Sapê (*Imperata brasiliensis*) e Grama batatais (*Paspalum notatum*).

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Lúcia Helena Cunha dos Anjos

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap- 0 a 17 cm; cinzento-muito-escuro (5YR 3/1, úmido) e cinzento-escuro (5YR 4/1, seco); argila; moderada média granular; ligeiramente dura, friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

BA- 17 a 28 cm; bruno-forte (7,5YR 4/6, úmido) e bruno-forte (7,5YR 4/6, seco); argila; moderada média granular e moderada pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara

Bw1- 28 a 41 cm; bruno-forte (7,5YR 4/6); argila fraca pequena e muito pequena blocos angulares; ligeiramente dura, friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bw2- 41 a 62cm bruno-forte (7,5YR 5/8); argila; moderada muito pequena e pequena, blocos angulares e subangulares; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara (41-60/64 cm).

Bw3- 62 a 74cm bruno-forte (7,5YR 4/6); argila; fraca muito pequena, blocos angulares; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta (60/64-72/76 cm).

BC- 74 a 91<sup>+</sup> cm bruno-avermelhado-escuro (10R 4/4); franco-argilo-arenosa; fraca muito pequena, blocos angulares; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES- Comuns finas em A1 e poucas finas até Bw2 e raras em Bw3 e BC.

OBSERVAÇÕES- Canais de organismos em BA e Bw1 com maior quantidade em BA. A cor das pontuações dos canais são bruno-escuro (7,5YR 4/2, úmido) e bruno (7,5YR 5/2, úmido). Presença de muito cascalho em B3 e transição abrupta para BC. Quantidade de mica aumenta em BC.

Teores de minerais primários facilmente intemperizáveis, na fração areia, estimados por avaliação visual em microscópio de 2% em Bw1, Bw2 e Bw3

**Tabela 17.** Análises físicas e químicas do Perfil 88

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap	0-17	0	8	92	254	135	114	497	430	14	0,23	1,31	2,38	45
BA	17-28	0	13	87	262	114	95	529	400	24	0,18	1,36	2,74	50
Bw1	28-41	0	27	73	200	121	156	523	410	22	0,30	1,44	2,53	43
Bw2	41-62	0	17	83	321	116	103	460	20	96	0,22	1,46	2,50	42
Bw3	62-74	31	33	35	322	109	130	439	260	41	0,30			
BC	74-91 <sup>+</sup>	0	8	92	414	159	209	218	70	68	0,96			
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	100Al <sup>3+</sup> /S+Al <sup>3+</sup> m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap	4,5	3,7	0,7	0,6	3,4	0,2	4,9	2,5	7,0	11,9	41	34	2	
BA	4,4	3,8	0,2	0,4	1,5	0,1	2,2	3,2	5,6	7,9	29	58	1	
Bw1	4,4	3,8	0,1	0,2	1,1	0,2	1,6	2,9	5,8	7,4	22	65	1	
Bw2	4,4	3,9	0,3	0,0	0,6	0,1	1,0	3,3	4,5	5,5	19	76	1	
Bw3	4,5	3,9	0,2	0,2	0,5	0,3	1,2	3,0	5,2	6,4	19	71	0	
BC	4,7	4,0	0,2	0,0	0,5	0,1	0,8	3,3	4,6	5,4	15	80	0	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ki)	SiO <sub>2</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap	17,0	164	138	47	5,4	4,61	2,02	1,66						
BA	12,8	193	181	46	5,9	6,18	1,81	1,56						
Bw1	10,4	176	179	50	5,6	5,62	1,67	1,42						
Bw2	6,5	208	191	57	6,5	5,26	1,85	1,55						
Bw3	5,6	179	153	66	5,5	3,64	1,99	1,56						
BC	2,9	201	182	58	5,9	4,93	1,88	1,56						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

Relação textural = 1,0

**Foto Perfil 88**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 89

DATA: 13/03/2014.

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A moderado textura franco-argilo-arenosa.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7508147 e 602120 UTM, Datum horizontal: WGS 84, Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Trincheira aberta em terço médio de encosta

ELEVAÇÃO: 467 m

LITOLOGIA Biotita-Gnaiss

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Paraíba do Sul

MATERIAL ORIGINÁRIO: Intemperismo do material supracitado

PEDREGOSIDADE: Moderadamente pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Ondulado (18% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado

EROSÃO: Laminar moderada

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem degradada: Grama batatais (*Paspalum notatum*) e Sapê (*Imperata brasiliensis*).

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Elias Mendes Costa

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap- 0 a 19 cm; bruno-acinzentado-muito-escuro (10YR 3/2, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); franco-argilo-arenosa; moderada média e grande granular; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Bi1- 19 a 35 cm; bruno-amarelado (10YR 5/4); franco-argilo-arenosa; moderada média e grande granular e moderada pequena e média blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara (19-33/37 cm)

Bi2- 35 a 54 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6); franco-argilo-arenosa; moderada pequena e média blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara (33/37-52/56 cm)

BC- 54 a 89 cm bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4); franco-arenosa; moderada pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara (52/56-84/94 cm)

Cr- 89 a 123<sup>+</sup> cm bruno-forte (7,5YR 4/6); franco-arenosa; fraca muito pequena, blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa..

RAÍZES- Comuns finas em A, poucas e finas Bi1 e Bi2.

OBSERVAÇÕES- Bi2 com muito cascalho de quartzo. BC pouco fragmento de rocha alterado e C muitos minerais primários facilmente intemperizáveis.

Teores de minerais primários facilmente intemperizáveis, na fração areia, estimados por avaliação visual em microscópio de 4% e 7% para Bi1 e Bi2 respectivamente

**Tabela 18.** Análises físicas e químicas do Perfil 89

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap	0-19	0	15	85	356	126	213	305	150	51	0,70	1,44	2,47	42
Bi1	19-35	0	3	97	332	128	207	333	260	22	0,62	1,42	2,47	42
Bi2	35-54	0	13	87	272	113	239	376	300	20	0,64			
BC	54-89	0	8	92	405	134	178	283	230	19	0,63			
Cr	89-123 <sup>+</sup>	0	2	98	371	232	265	132	130	2	2,01			
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	$\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap	4,7	3,7	1,5	0,6	2,6	0,2	4,8	1,8	3,9	8,7	55	27	2	
Bi1	4,6	3,6	1,0	0,3	2,0	0,2	3,5	3,4	4,8	8,3	42	49	1	
Bi2	4,7	3,7	0,6	0,9	1,2	0,3	3,0	3,6	6,0	8,9	33	55	1	
BC	4,8	3,8	0,4	1,1	0,5	0,4	2,4	3,4	3,9	6,3	38	59	1	
Cr	4,8	3,7	0,0	1,5	0,5	0,5	2,5	2,9	3,2	5,7	43	54	1	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (ki)	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap	14,3	122	88	33	3,6	4,19	2,36	1,90						
Bi1	8,0	145	11	43	4,2	0,40	2,41	6,40						
Bi2	6,0	177	136	58	5,1	3,68	2,21	1,74						
BC	3,7	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						
Cr	2,4	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

Relação textural = 1,2

**Foto Perfil 89**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 201

DATA: 13/03/2014.

CLASSIFICAÇÃO: GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico solódico, A moderado textura franco-arenosa

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7509305 e 604468 UTM, Datum horizontal: WGS 84, Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Trincheira aberta na baixada área de pastagem (Gado de Leite)

ELEVAÇÃO: 360 m

LITOLOGIA Sedimentos do quaternário

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Sedimentos do quaternário

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos coluviais

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Plano (1% de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado

EROSÃO: Não Aparente

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem Tifton (*Cynodon Dactylon*).

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Lúcia Helena Cunha dos Anjos

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap1 - 0 a 20 cm; cinzento-muito-escuro (10YR 3/1, úmido) e cinzento (5YR 5/1, seco); franco-arenosa; moderada pequena e média granular; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

A2 - 20 a 33 cm; cinzento-escuro (10YR 4/1, úmido) e cinzento (10YR 6/1, seco); franco-arenosa; moderada pequena e média blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

2AC - 33 a 51 cm; cinzento-escuro (7,5YR 4/0, úmido) e cinzento (10YR 6/0, seco); franco-arenosa moderada pequena e média blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara (33-48/54 cm).

3Cg1 - 51 a 67cm cinzento (7,5YR 5/0); franco-arenosa; maciça; muito dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara (33/54-65/69 cm).

3Cg2 - 67 a 101 cm cinzento (7,5YR 6/0); franco-arenosa; maciça; muito dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara (65/69-97/105 cm).

4Cg3 - 101 a 126<sup>+</sup> cm cinzento (7,5YR 6/0) mosqueado pouco pequeno distinto bruno-forte (7,5 YR 5/8); franco-argilo-arenosa; maciça; muito dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES - Comuns finas no Ap1, A2; poucas e finas no 2AC e raras e finas no 3Cg1

OBSERVAÇÕES- Presença de fragmentos de cerâmica nos horizontes 2AC e 3 Cg1. Camada de pedra de mais ou menos 3 cm acima da transição entre os horizontes 3Cg2 e 4Cg3. Fragmento de manilha no horizonte A.

**Tabela 19.** Análises físicas e químicas do Perfil 201

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap1	0-20	0	6	94	427	243	194	136	60	56	1,43	1,43	2,50	43
A2	20-33	0	5	95	427	242	164	167	110	34	0,98	1,65	2,67	38
2AC	33-51	0	3	97	370	253	208	169	130	23	1,23	1,65	2,50	34
3Cg1	51-67	0	1	99	385	225	192	198	160	10	0,97	1,58	2,53	38
3Cg2	67-101	0	5	95	450	191	171	188	120	36	0,91	1,68	2,53	34
4Cg3	101-126+	0	5	95	150	193	360	297	250	16	1,21	1,77	2,53	30
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	100Al <sup>3+</sup> / S+Al <sup>3+</sup> m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap1	6,1	5,2	4,8	1,6	8,6	0,5	15,5	0,0	0,9	16,4	94	0	53	
A2	7,2	6,5	6,5	1,7	3,1	0,6	12,0	0,0	0,0	12,0	100	0	53	
2AC	7,8	7,0	8,0	1,2	2,3	1,2	12,7	0,0	0,0	12,7	100	0	88	
3Cg1	8,2	7,2	5,8	2,5	6,1	1,3	15,7	0,0	0,0	15,7	100	0	110	
3Cg2	8,2	7,0	2,7	1,8	4,4	1,0	9,9	0,0	0,0	9,9	100	0	126	
4Cg3	7,9	6,7	3,2	2,4	6,1	1,3	13,0	0,0	0,0	13,0	100	0	8	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ki)	SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (kr)	
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap1	11,2	77	48	15	3,3	5,02	2,73	2,27						
A2	7,1	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						
2AC	6,3	85	53	18	3,4	4,62	2,73	2,24						
3Cg1	4,5	102	72	17	3,8	6,65	2,41	2,09						
3Cg2	1,4	73	50	13	2,9	6,04	2,48	2,13						
4Cg3	1,6	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

**Foto Perfil 201**



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: 202

DATA: 14/03/2014.

CLASSIFICAÇÃO: CHERNOSSOLO HÁPLICO Órtico léptico, textura franco-argilosa

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Município de Pinheiral, Rio de Janeiro. 7506551 e 602447 UTM, Datum horizontal: WGS 84 Fuso 23k.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Trincheira aberta em terço superior de encosta dique básico (gabro)

ELEVAÇÃO: 384 m

LITOLOGIA Dique Máfico (gabro)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Paraíba do Sul

MATERIAL ORIGINÁRIO: Intemperismo do material supracitado

PEDREGOSIDADE: Moderadamente Pedregosa

ROCHOSIDADE: Ligeiramente rochoso

RELEVO LOCAL: Forte Ondulado (28 % de declividade)

RELEVO REGIONAL: Ondulado a Forte ondulado

EROSÃO: Laminar Moderada

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: Pastagem Brachiaria (*Urochloa decumbens*)

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler e Elias Mendes Costa

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap - 0 a 13 cm; Preto-avermelhado (10R 2,5/1, úmido) e cinzento-avermelhado-escuro (10R 3/1, seco); franco-argilosa; moderada média granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

AB - 13 a 22 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10YR 3/2, úmido) e vermelho-escuro-acinzentado (10YR 3/3, seco); franco-argilosa; moderada média granular e moderada pequena blocos subangulares; cerosidade pouca e fraca; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara (13 - 20/24 cm).

Bi - 24 a 41 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3); franco-argilosa; moderada pequena blocos subangulares; cerosidade pouca e fraca; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta (20/24 - 39/43 cm).

R - 41<sup>+</sup> cm; Rocha consolidada de origem básica.

RAÍZES-.Abundantes e finas no horizonte A, comuns e finas no AB e poucas finas no Bi.

OBSERVAÇÕES - Presença de Minerais primários em BA e Bi1, e fragmentos de rocha em Bi1.

**Tabela 20.** Análises físicas e químicas do Perfil 202

Horizonte		Frações da amostra total (%)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg <sup>-1</sup> )				AN g kg <sup>-1</sup>	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m <sup>-3</sup>		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap	0-13	0	2	98	26	244	409	321	210	35	1,27	1,33	2,69	50
AB	13-22	7	2	91	173	161	312	354	220	38	0,88	1,39	2,67	48
Bi	22-41	19	7	74	80	172	371	377	270	28	0,98	1,37	2,63	48
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (sat. por base) %	$\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ m%	P Ass mg kg <sup>-1</sup>	
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	VH	Valor T (soma)				
Ap	6,1	5,2	12,1	3,8	1,7	0,8	18,5	0,1	3,6	22,1	84	0	4	
AB	5,8	4,9	10,1	3,8	0,5	0,9	15,2	0,2	4,4	19,6	78	1	3	
Bi	5,9	4,9	9,6	3,3	0,4	1,1	14,4	0,1	3,1	17,5	82	0	9	
Sím	C g kg <sup>-1</sup>	Ataque Sulfúrico (g.kg <sup>-1</sup> )					$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (ki)	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (kr)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Ap	25,6	128	99	164	61,4	0,95	2,20	1,07						
AB	21,4	128	101	156	60,7	1,02	2,15	1,08						
Bi	15,9	139	102	156	56,9	1,03	2,32	1,17						
R		73	44	102	31,5	0,68	2,82	1,14						

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Flocculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; C= Carbono Total.

Relação textural = 1,1

**Foto Perfil 202**



**9. APÊNDICE**  
**MAPAS DE SOLO E BANCO DE DADOS EM MEIO DIGITAL DA FAZENDA SÃO**  
**JOSÉ DO PINHEIRO, PINHEIRAL – RJ**

(DVD incluso)

**PASTA CONTENDO OS ARQUIVOS:**

**Arquivos raster no formato .tif**

Bandas 1, 2, 3, 4 e 5 da imagem RapidEye corrigida e sem correção e índices derivados (NDVI e SAVI).

MDE do projeto RJ-25 (IBGE, 2008)  
[ftp://geoftp.ibge.gov.br/modelo\\_digital\\_de\\_elevacao/projeto\\_rj\\_escalas\\_25mil/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/modelo_digital_de_elevacao/projeto_rj_escalas_25mil/).

MDE Topodata. <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>

Mapas de geologia, mapa convencional de solos (unidades de mapeamento) e uso da terra

Mosaico de fotografias com escala aproximada de 1:25.000, com resolução de 0,7m do projeto RJ-25 (IBGE, 2008).

MDEs 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9.

**Arquivos raster no formato .asc**

Mapas de solos preditos modelo 5 (classes de solos), modelo 5\_unidade e modelo 6\_unidade (unidades de mapeamento)

**PASTA CONTENDO OS ARQUIVOS:**

**Arquivos vetoriais formato .shp**

Limite da fazenda, geologia, mapa convencional de solos, perfis completos, estradas, rios e ferrovias (área da fazenda), curvas de nível equidistantes de 20 m (IBGE), curvas de nível equidistantes de 10 m (extraídas do MDE do projeto RJ-25), perfis completos, pontos coletados com GPS geodésico, pontos usados para o treinamento e para validação da classificação supervisionada.