



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL**

***Análise geoambiental de Paisagens Rurais
Montanhosas da Serra do Mar utilizando Redes
Neurais Artificiais. Subsídios a sustentabilidade
ambiental de ecossistemas frágeis e fragmentados sob
interferência antrópica.***

Braz Calderano Filho

***Rio de Janeiro
Março de 2012***

Braz Calderano Filho

***Análise geoambiental de Paisagens Rurais
Montanhosas da Serra do Mar utilizando Redes
Neurais Artificiais. Subsídios a sustentabilidade
ambiental de ecossistemas frágeis e fragmentados sob
interferência antrópica.***

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geologia. Área de concentração: Geologia de Engenharia e Ambiental.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Helena Polivanov

Co-orientadores: Dr^o. Antônio José Teixeira Guerra e Dr^o. César da Silva Chagas.

Rio de Janeiro

2012

Calderano Filho, Braz

Análise Geoambiental de Paisagens Rurais Montanhosas da Serra do Mar Utilizando Redes Neurais Artificiais. Subsídios a Sustentabilidade Ambiental de Ecossistemas Frágeis e Fragmentados sob Interferência Antrópica / Braz Calderano Filho; orientador Helena Polivanov; co-orientadores Antônio José Teixeira Guerra; César da Silva Chagas - Rio de Janeiro, 2012. - 322f. : Tese (Doutorado) - Geologia de Engenharia e Ambiental – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências.UFRJ. Rio de Janeiro, 2012.

1. Diagnóstico geoambiental. 2. Predição de classes de solos. 3. Redes neurais artificiais. 4. Geoprocessamento. 5. Unidades geoambientais. 6. Sustentabilidade Ambiental. 7. Uso sustentável de recursos naturais. I Polivanov, Helena (orientador) II. Título.

CDD xxxxxxxx

Análise Geoambiental de Paisagens Rurais Montanhosas da Serra do Mar Utilizando Redes Neurais Artificiais. Subsídios a Sustentabilidade Ambiental de Ecossistemas Frágeis e Fragmentados sob Interferência Antrópica.

BRAZ CALDERANO FILHO

Tese de Doutorado submetida ao corpo docente do Programa de Pós-graduação do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor.

Orientada por:

Prof. Dr^a. Helena Polivanov, D.Sc. UFRJ

Prof. Dr^o. Antônio José Teixeira Guerra, D.Sc. UFRJ

Dr^o. César da Silva Chagas, D.Sc. EMBRAPA-Solos

Aprovada por:

Prof. Dr^o. Emílio Velloso Barroso, D.Sc. UFRJ (Presidente)

Prof. Dr^a. Andrea Ferreira Borges, D.Sc. UFRJ (Examinador)

Prof. Dr^o. Antônio Soares da Silva, D.Sc. UERJ (Examinador)

Dr^o. Éder de Souza Martins, D.Sc. EMBRAPA-Cerrados (Examinador)

Dr^a. Guilherme Kangussu Donagemma, D.Sc. EMBRAPA-Solos (Examinador)

Rio de Janeiro (RJ)

Março de 2012

Dedico

À Deus em primeiro lugar, causa maior de minha existência.

À meus filhos Victória e Francisco, amores eternos.

À minha companheira Angela.

*Aos meus pais Braz Antônio Calderano e Sebastiana Barreiros
Calderano “in memoriam”.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, causa maior de minha existência.

Aos meus familiares e aos meus pais, “in memoriam”, pelos ensinamentos de vida.

À Universidade Federal do Rio de Janeiro, especialmente ao Departamento de Geologia (DEGEO/UFRJ), pela oportunidade de realização deste curso.

À EMBRAPA, pela oportunidade concedida, em especial a Embrapa Solos que tornou possível o meu treinamento. Aos funcionários do Departamento de Gestão de Pessoal (DGP) que possibilitaram que o curso transcorresse com tranquilidade.

Aos dirigentes da Embrapa Solos, Maria de Lourdes Mendonça B. Santos, Daniel Vidal Perez e Fernando César S. do Amaral, pelo apoio na conclusão deste trabalho. Aos colegas Celso Wainer Manzatto e Alúcio Granato de Andrade, ex. dirigentes da Embrapa Solos por acreditarem na minha proposta de trabalho quando da saída para o doutorado, permitindo o meu afastamento.

A professora Helena Polivanov, orientadora e amiga, pela confiança em mim depositada, consideração e ensinamentos transmitidos, o tratamento amistoso e a orientação dispensada, serão sempre lembrados. Ao Professor Antônio José Teixeira Guerra, co-orientador, amigo e grande incentivador, cujo apoio e compreensão nos momentos de dúvidas foram essenciais na realização deste trabalho.

Aos colegas César da Silva Chagas, co-orientador e Waldir de Carvalho Júnior, pela valiosa contribuição nos estudos relacionados às redes neurais e ensinamentos transmitidos.

Ao Guilherme Kangussu Donagemma, conselheiro acadêmico na Embrapa, por sua valiosa ajuda e atendimento prestativo desde as etapas iniciais dessa jornada, sem os quais esta pesquisa tornar-se-ia ainda mais difícil.

Aos professores do Departamento de Geologia, pelos ensinamentos transmitidos e convívio amistoso, em especial aos professores José Carlos Sícole Seoane e Emílio Velloso Barroso, membros da banca de qualificação cujas importantes contribuições foram incorporadas ao trabalho.

Aos professores Gerson Cardoso da Silva Jr. e Andrea Ferreira Borges, pelas contribuições dadas durante o seminário de apresentação do projeto. Aos professores Edson Farias Mello, Julio Cezar Mendes, Leonardo Fonseca Borghi de Almeida e Ismar de Souza Carvalho, pelo apoio durante o curso. Aos funcionários do Departamento de Geologia pela colaboração, em especial a Christina Barreto Pinto secretária da pós-graduação, pelo profissionalismo, pronto atendimento e ajuda irrestrita.

Ao departamento de Geografia da UFRJ, pelo acolhida ao longo dos anos de estudo, em especial as professoras Mônica dos Santos Marçal e Carla Bernadete Cruz Madureira, e aos

professores Manoel do Couto Fernandes e Paulo Márcio Leal de Menezes pelo apoio constante, ensinamentos valiosos e pronto atendimento.

Ao Sebastião Barreiros Calderano, pelo auxílio nas análises mineralógicas, questionamentos e sugestões. Ao Osório do (Departamento de Geologia/UFRJ) e Gilson Gregoris, da Embrapa, pela valiosa ajuda nas determinações analíticas.

Aos colegas de curso pelo excelente convívio nestes anos, em especial ao Rafael Sather, Lucas, João Pedro e Heloísa. Aos colegas da Embrapa Solos, em especial os amigos César Chagas, Waldir de Carvalho, Guilherme Donagemma, Sebastião Calderano e Sílvio Bhering, pela contribuição na coleta de amostras no campo.

É difícil enumerar e não esquecer de todos que contribuíram para o meu aprimoramento profissional ou ajudaram a realização desse trabalho, mesmo que de forma indireta, mas não poderia deixar de lembrar dos amigos e colegas do antigo SNLCS-EMBRAPA, Loiva Lizia Antonello, Elias Pedro Motches, Paulo Klinger Tito Jacomine parceiros de viagens e dos amigos que não estão mais em nosso convívio, mas que de modo mais intenso me orientaram ao longo de minha carreira profissional, Klaus Piter Witter companheiro de equipe e Marcelo Nunes Camargo, correlator nacional do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos “in memoriam”, com os quais percorri grande parte do território Brasileiro, cujo apoio, amizade, estímulo e ensinamentos durante as campanhas de campo e ao longo de minha vida profissional na EMBRAPA, foram essenciais para o meu aprimoramento e enriquecimento profissional. Aos amigos Francesco Palmieri, Jorge Olmos Iturri Larache e Aroaldo Lopes Lemos “in memoriam”. Aos amigos Franklin Antunes dos Santos e Humberto Gonçalves dos Santos, agradeço a todos pelos ensinamentos ao longo de minha jornada profissional.

Ao Departamento de Recursos Minerais (DRM-RJ), por disponibilizar informações de geologia da região serrana do estado do Rio de Janeiro.

Aos membros da banca de qualificação e de defesa de tese cujas importantes contribuições foram incorporadas ao trabalho.

*Na sua aflição, clamaram ao Senhor, e ele os
livrou de suas angústias. Mudou a tempestade
em brisa suave e as ondas do mar silenciaram.
(Sl 107, 28-28)*

RESUMO

CALDERANO FILHO Braz. Análise Geoambiental de Paisagens Rurais Montanhosas da Serra do Mar Utilizando Redes Neurais Artificiais. Subsídios a Sustentabilidade Ambiental de Ecossistemas Frágeis e Fragmentados sob Interferência Antrópica. Rio de Janeiro, 2012. 322 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

Buscando criar um modelo econômico-ambiental de intervenção no meio que permita o uso produtivo sustentável de recursos naturais, agilizar o processo de geração e coleta de dados geológicos e geomorfológicos essenciais ao uso, manejo e gestão sustentável dos recursos naturais e fornecer subsídios para o planejamento geoambiental de paisagens rurais montanhosas na Serra dos Órgãos, estabeleceu-se uma metodologia interagindo o diagnóstico geoambiental, aspectos socioeconômicos e aplicação Redes Neurais Artificiais (RNAs), combinados com o suporte de geotecnologias (SIGs e produtos de sensores remotos), modelo não convencional na análise geoambiental. Para isso, foram aplicadas RNAs para a predição de classes de solos, utilizando como fonte de dados produtos de sensores remotos orbitais, atributos do terreno derivados de um modelo digital de elevação e informação da geologia local, visando avaliar a possibilidade de utilização desta abordagem para a predição de classes de solos de paisagens rurais montanhosas da Serra do Mar, produzidas informações físico-bióticas dos elementos componentes da paisagem e realizadas interpretações úteis ao planejamento da área. Como estudo de caso, selecionou-se uma área montanhosa com diversidade litológica, abrangendo totalmente os domínios territoriais do município de Bom Jardim e parte dos municípios de Cordeiro, Trajano de Moraes, Duas Barras e Nova Friburgo, representativa dos problemas da Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. Os procedimentos utilizados envolveram a geração de banco de dados digitais e geração de dados básicos no campo, através de mapeamentos temáticos do meio físico, combinados com técnicas de mapeamento digital, produtos de sensoriamento remoto, sistema de informação geográfica (SIG) e modelo digital de elevação (MDE). Associou-se ao banco de dados informações de pluviosidade e de áreas protegidas por legislação específica, constituindo um conjunto de informações geoambientais em meio digital necessárias às análises, cruzamentos e geração de mapas derivados. Para a predição de classes de solos por RNAs foram testados diferentes combinações entre as variáveis discriminantes: elevação, declividade, aspecto,

curvatura, plano de curvatura, perfil de curvatura, índice topográfico combinado (cti), radiação solar, fator topográfico LS, geologia e três índices derivados de uma imagem do sensor ETM+ do LANDSAT 7, (índice de vegetação da diferença normalizada “ndvi”, minerais de argila “clay mineral” e índice de óxidos de ferro “iron oxid”). Dos conjuntos testados e avaliados os melhores resultados foram obtidos com o conjunto 13, com todas as variáveis discriminantes associadas as informações de geologia, alcançando exatidão global entre 93,2 a 95,6%. Excluindo a variável perfil de curvatura, conjunto 12, a exatidão global alcançada oscilou entre 93,9 e 95,4%. Os mapas inferidos pelo classificador por redes neurais artificiais, se mostraram bastantes coerentes e semelhantes ao mapa de solos convencional, apresentando mais detalhes espaciais. Os resultados confirmam o potencial de utilização de RNAs para a predição de classes de solos de áreas montanhosas com diversidade litológica. Os resultados finais produzidos permitiram discriminar e caracterizar aspectos físicos e ecológicos dos elementos componentes da paisagem, à melhor compreensão dos recursos ambientais com suas potencialidades e limitações, e fornecer subsídios para a indicação de formas viáveis de exploração racional de ecossistemas frágeis sob interferência antrópica. Permitiram ainda, separar e classificar 14 unidades geoambientais, com potencialidades, limitações e fragilidades diferenciadas, sugerir formas de usos alternativos em função das vocações agroecológicas apresentadas por cada unidade delimitada, além de contribuir com a cartografia geoambiental da Serra do Mar, serve como um guia norteador para o planejamento geoambiental da área de estudo.

Palavras-chaves: Mapeamento digital, diagnóstico geoambiental, modelo digital de elevação, geoprocessamento, planejamento ambiental, uso sustentável de recursos naturais.

ABSTRACT

CALDERANO FILHO Braz. Análise Geoambiental de Paisagens Rurais Montanhosas da serra do Mar Utilizando Redes Neurais Artificiais, Subsídios a Sustentabilidade Ambiental de Ecossistemas Frágeis e Fragmentados sob Interferência Antrópica. Rio de Janeiro, 2012. 322 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

Searching to create an economic-environmental model of intervention in the way that allows the sustainable productive use of natural resources, to speed the generation process and data collection of essential geologic products to the use, handling and sustainable management of the natural resources and to supply subsidies the geo-environmental planning of mountainous agricultural landscapes in the Serra dos Órgãos mountain range, established a methodology interacting the diagnosis, socio-economic aspects and RNAs application, combined with the support o geo-environmental geotechnologies (SIGs and products of remote sensors), not conventional model, not yet tested in the geo-environmental analysis. For this, neural nets (RNAs) for the prediction of soil classes had been applied artificial, using as source of data products of orbital remote sensors, information of local geology and attributes of the land derived from a digital elevation model, aiming to evaluate the use of this boarding for execution of the process of generation of soil map, produced information physical-biotic of the elements component of the landscape and carried through useful interpretations to the planning of the area. As case study, a mountainous area with varied lithology, enclosing the territorial domains of Bom Jardim municipality and adjacent lands, representative diversity was selected of the problems of the Região Serrana of Rio de Janeiro State. The procedures involved the generation of digital data base and generation of basic data in the field, through thematic mappings of the environment, combined with techniques of digital mapping, products of remote sensing, geographic information system (SIG) and digital elevation model (DEM). It associated the socio-economic data base information, of rainfall and of areas protected by legislation it specifies, constituting a set of geo-environmental information in digital way necessary to the analyses, crossings and generation of derived maps. For the prediction of soil classes for artificial neural nets different combinations between the discriminant variables had been tested: elevation, slope angle, aspect, curvature, plan of curvature, profile of curvature, combined topographical index (CTI), solar radiation, factor LS, geology and three indices derived from an image of sensor ETM+ of the LANDSAT 7,

ndvi, clay mineral and iron oxid. Of resulted the sets tested and evaluated the best ones associates to grid of geology had been gotten with all the discriminants, set 13, reaching global exactness between 93,2 and 95.6%, excluding the variable profile of curvature, set 12, the reached global exactness oscillated between 93,9 and 95,4%. The maps delineated for the classifier for artificial neural nets, have shown sufficient coherent and similar to the conventional soil map, presenting more space details. The results confirm the potential of use of RNAs for the prediction of soil classes of mountainous areas with varied lithology. The produced final results have allowed to discriminate and to characterize physical and ecological aspects of the component elements of the landscape, to the best understanding of the environmental resources with its potentialities and limitations, to supply subsidies the indication of viable forms of rational fragile ecosystem exploration under antrópica interference, beyond allowing to plan the use and handling of the available resources in function of its true agro-ecologic vocations, contribute with the geo-environmental cartography of Serra do Mar mountain range, serving as a guide for the geo-environmental planning of the study area.

Keywords: Digital mapping, geo-environmental assessment, digital elevation model, geoprocessing, environmental planning, sustainable use of natural resources.

	RELAÇÃO DE FIGURAS	Pág.
Figura 1 -	Modelo não-linear de neurônio (Fonte: Haykin, 2001).	20
Figura 2 -	Topologia de uma rede <i>multilayer perceptron</i> com duas camadas intermediárias (adaptado de Haykin 2001).	23
Figura 3 -	Área de estudo no contexto da região Serrana do Estado do Rio de Janeiro.	33
Figura 4 -	Esquemática dos passos a serem seguidos na execução do trabalho	34
Figura 5 -	Processo de classificação seguido no SPRING (baseado em Vences, 2003)	40
Figura 6 -	Mapa Litológico da área	73
Figura 7 -	Modelo Digital de Elevação	78
Figura 8 -	Distribuição das classes de declive em percentagem e em graus.	79
Figura 9 -	Representação dos temas aspecto, altimetria da área de estudo (mde15)	80
Figura 10 -	Representação dos temas relativos à curvatura, perfil de curvatura, curvatura plana e sentidos de escoamento possíveis.	81
Figura 11 -	Mapa de uso e cobertura das terras da área de estudo	83
Figura 12 -	Mapa de uso e cobertura das terras da área de estudo, por classificação supervisionada e não supervisionada.	84
Figura 13 -	Distribuição mensal das precipitações pluviométricas no ano de 2007, estação de Bom Jardim (ANA 2007)	87
Figura 14 -	Distribuição mensal das precipitações pluviométricas no ano de 2007, estação de Barra Alegre (ANA 2007)	87
Figura 15 -	Normais climatológicas da estação de Bom Jardim, série 1966-2007 (baseado em ANA 2007)	87
Figura 16 -	Normais climatológicas da estação de Barra Alegre, série 1966 - 2007 (baseado em ANA 2007)	88
Figura 17 -	Mapa de solos da área de estudo (1ª versão)	90
Figura 18A-	Perfis de Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Amarelo Distróficos	96
Figura 18B-	Perfis de Latossolo Amarelo Húmico	96
Figura 19 -	Perfis e paisagem de ocorrência de Argissolo Vermelho e Argissolo Amarelo com horizonte A moderado	102
Figura 20 -	Paisagem de ocorrência de Argissolo Vermelho - Amarelo com horizonte A moderado	102
Figura 21 -	Perfis de Cambissolos Háplicos Distrófico	104
Figura 22 -	Perfis de Cambissolo Flúvico Distrófico.	105
Figura 23	Paisagem de ocorrência de Neossolo Litólico	106
Figura 24 -	Imagens dos atributos do terreno	122
Figura 25A -	Grids elevação declividade α , β e radiação solar	122
Figura 25B -	Grids aspecto, curvatura, perfil e plano de curvatura	123
Figura 25C-	Índices derivados do sensor Landsat 7	123
Figura 26 -	Configuração gráfica das RNAs de camada simples R11_9 e R11_9G e suas ligações.	134
Figura 27 -	Classificação resultante da aplicação da arquitetura de rede R4444TP_12d	153
Figura 28 -	Classificação resultante da aplicação da arquitetura de rede R4848TP_12d	153
Figura 29 -	Classificação resultante da aplicação da arquitetura de rede R4343TP_13d	155
Figura 30 -	Classificação resultante da aplicação da arquitetura de rede R4545TP_13d	155

Figura 31 -	Distribuição das classes de solos inferidas com as Redes Neurais (R4444TP_12d, R4848TP_12d) e (R4343TP_13d, R4545TP_13d)	159
Figura 32 -	Mapa de suscetibilidade das terras à erosão	167
Figura 33 -	Mapa de Avaliação da Aptidão agrícola das Terras	170
Figura 34 -	Mapa de Aptidão Agrogeológica das Terras.	177
Figura 35 -	Mapa geo-pedológico da área.	184
Figura 36 -	Distribuição espacial das classes de vulnerabilidade ambiental.	192
Figura 37 -	Mapa geoambiental da área	207
ANEXOS		
Figura 39 -	Bandas espectrais do sensor ASTER	262
Figura 40A-	Segmentação no Spring com limiar de similaridade de 15	264
Figura 40B -	Segmentação no Spring com limiar de similaridade de 20	264
Figura 40C -	Segmentação no Spring com limiar de similaridade de 30	265
Figura 41A-	Difratograma de raios-X do horizonte Bw do perfil BJ-01	273
Figura 41B-	Difratograma de raios-X do horizonte Bt2 do perfil BJ-02	273
Figura 42A-	Difratograma de raios-X do horizonte Bi do perfil BJ-03	274
Figura 42B-	Difratograma de raios-X do horizonte Bw1 do perfil BJ-04	274
Figura 43A-	Difratograma de raios-X do horizonte Bw1 do perfil BJ-05	275
Figura 43B-	Difratograma de raios-X do horizonte Bw2 do perfil BJ-06	275
Figura 44A-	Difratograma de raios-X do horizonte Bt2 do perfil BJ-07	276
Figura 44B-	Difratograma de raios-X do horizonte Bt2 do perfil BJ-08	276
Figura 45A-	Difratograma de raios-X do horizonte Bw1 do perfil BJ-09	277
Figura 45B-	Difratograma de raios-X do horizonte Bw2 do perfil BJ-10	277
Figura 46A-	Difratograma de raios-X do horizonte Bw1 do perfil BJ-11.	278
Figura 46B-	Difratograma de raios-X do horizonte Bw3 do perfil BJ-22.	278
Figura 47A-	Difratograma de raios-X do horizonte Bt2 do perfil BJ-28	279
Figura 47B-	Difratograma de raios-X do horizonte Bw3 do perfil BJ-29	279
Figura 48A -	Difratograma de raios-X do horizonte Bt2 do perfil BJ-30	280
Figura 48B -	Difratograma de raios-X do horizonte Bi do perfil BJ-24	280

RELAÇÃO DE TABELAS		Pág.
Tabela 1 -	Distribuição das unidades litológicas que ocorrem na área	76
Tabela 2 -	Distribuição das classes de declividade (mde15)	79
Tabela 3 -	Percentuais das classes de uso e cobertura das Terras	86
Tabela 4 -	Legenda sinótica de solos (1ª versão)	108
Tabela 5 -	Características físicas e químicas de alguns perfis descritos	112
Tabela 6 -	Distribuição fundiária do município de Bom Jardim	119
Tabela 7 -	Classes de saída utilizada na classificação por redes neurais artificiais	124
Tabela 8 -	Conjuntos de treinamento, validação e variáveis inseridas	126
Tabela 9 -	Classificação das redes neurais – [R11_9 e R34_9]	129
Tabela 10A	Classificação da rede neural [R11_9G]	131
Tabela 10B	Classificação das redes neurais [R34_9G e R40_9G]	132
Tabela 11 -	Classificação das redes neurais [R2626_9Gd ; R3838_9Gd]	133
Tabela 12 -	Matriz de significância de Kappa e respectivos índices para os diferentes conjuntos e arquiteturas de redes neurais testadas do bloco 9	135
Tabela 13 -	Matriz de significância de Kappa e respectivos índices para os diferentes conjuntos e arquiteturas de redes neurais testadas do bloco P	139
Tabela 14A	Classificação da rede neural [R26_12]	142
Tabela 14B	Classificação da rede neural [R37_12]	143
Tabela 15A	Classificação da rede neural [R4343_12d]	143
Tabela 15 -	Classificação das redes neurais [R4444_12d e R4646_12d]	144
Tabela 16 -	Classificação das redes neurais [R4343_TP12d, R4444_TP12d; R4646_TP12d, R4848_T12dP e R5555_TP12d]	145
Tabela 17 -	Matriz de significância de Kappa e respectivos índices para as diferentes arquiteturas de redes neurais testadas do conjunto 12_12d	146
Tabela 18 -	Matriz de significância de Kappa e respectivos índices para as diferentes arquiteturas de redes neurais selecionadas do conjunto 12_TP12d	147
Tabela 19 -	Classificação das redes neurais [R35_13; R51_13]	148
Tabela 20-	Exatidão global e índice kappa das redes de dupla camada interna, do conjunto 13.	149
Tabela 21 -	Classificação da rede neural R4747_13d	149
Tabela 22 -	Classificação das redes neurais [R4343_TP13d, R4545_TP13d]	150
Tabela 23 -	Matriz de significância de Kappa e respectivos índices para as diferentes arquiteturas de redes neurais testadas do conjunto 13d	151
Tabela 24 -	Matriz de significância de Kappa e respectivos índices para as diferentes arquiteturas de redes neurais selecionadas no conjunto 13_TP	151
Tabela 25 -	Desempenho na classificação das RNAs selecionadas dos conjuntos 12 e 13.	158
Tabela 26 -	Classes e atributos dos solos e do meio	165
Tabela 27 -	Classificação da aptidão agrícola das terras	171
Tabela 28 -	Classificação da aptidão agroecológica das terras	177
Tabela 29 -	Síntese da correlação pedo-geotécnica	179
Tabela 30 -	Correlação entre legenda pedológica e pedo-geotécnica	183
Tabela 31 -	Classes de vulnerabilidade ambiental da área de estudo	197
Tabela 32 -	Legenda das Unidades Geoambientais	208
Tabela 33 -	Características das unidades geoambientais delimitadas	228

ANEXOS

Tabela 34A-	Principais aplicações das bandas espectrais dos sensores TM e ETM+ do satélite Landsat.	261
Tabela 34B-	Características do instrumento ASTER utilizados.	262
Tabela 35 -	Legenda sinótica do mapa de solos convencional (1ª versão)	266
Tabela 36 -	Características físicas dos perfis 1 a 39	268
Tabela 37 -	Características químicas dos perfis 1 a 39 descritos	281
Tabela 38 -	Totais pluviométricos da estação de Bom Jardim, série 1966-2007 (baseado em ANA 2007)	288
Tabela 39 -	Totais pluviométricos da estação de Barra Alegre, série 1966-2007 (baseado em ANA 2007)	289
Tabela 40 -	Redes Neurais do simples e duplas do conjunto 9G (treinadas com o grid de geologia)	290
Tabela 41 -	Redes Neurais simples do conjunto 9G1	291
Tabela 42 -	Redes Neurais simples do conjunto 11P	292
Tabela 43 -	Redes Neurais duplas do conjunto 11P e Redes Neurais simples do conjunto P1	293
Tabela 44 -	Redes Neurais duplas do conjunto P1	294
Tabela 45 -	Redes Neurais simples do conjunto P2	295
Tabela 46 -	Redes Neurais simples e duplas do conjunto P3	296
Tabela 47 -	Redes Neurais simples e duplas do conjunto P4	297
Tabela 48 -	Redes Neurais simples e duplas do conjunto P5	298
Tabela 49 -	Redes Neurais simples e duplas do conjunto P6	299
Tabela 50 -	Redes Neurais simples do conjunto 12	300
Tabela 51 -	Redes Neurais duplas do conjunto 12	301
Tabela 52 -	Redes Neurais simples do conjunto 13	302
Tabela 53 -	Redes Neurais duplas do conjunto 13	303
Tabela 54 -	Redes Neurais simples e duplas do conjunto B9_2 (treinadas sem a informação de geologia)	304

SUMÁRIO

Pág.

CAPÍTULO I

1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – Introdução	1
1.2 – Justificativas	3
1.3 – Objetivos	6
1.4 - Organização do Trabalho	7

CAPÍTULO II

2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
2.1 - Desenvolvimento Sustentável	8
2.2 - Planejamento Ambiental	8
2.3 - Abordagem Integrada, Paisagens e Avaliação de Recursos Naturais	9
2.4 - Zoneamentos e Estudos Geoambientais	12
2.5 - Sistema de Informação Geográfica e Escala	15
2.6 - Redes Neurais Artificiais	18
2.6.1 - Características Gerais das RNAs	19
2.6.2 - Topologia da Rede	20
2.6.3 - Processos de Aprendizagem	21
2.6.4 - Redes Multilayer Perceptron	22
2.7 – Relações Solo-Paisagem e Modelagem Quantitativa dos Solos	26
2.7.1 – Aplicação de RNAs na Predição de Classes de Solos	30

CAPÍTULO III

3- MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 – Área de Estudo	33
3.2- Procedimentos Metodológicos e Etapas do trabalho	34
3.2.1. Detalhamento das Atividades	36
3.2.2. Métodos de Laboratório	41
3.3 - Caracterização e Mapeamentos Temáticos – (Bases temáticas)	42
3.4 – Predição das Classes de solos com Rede Neural Artificial (RNA)	49
3.4.1. Aplicação de Redes Neurais	56
3.5 – Base de Dados Espaciais	62
3.6 - Interpretações Úteis ao Planejamento	63

CAPÍTULO IV

4 - DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	71
4.1 - Aspectos Geológicos e Materiais de Origem dos Solos	71
4.2 – Geomorfologia	76
4.3 – Relevo	78
4.4 - Uso e Cobertura das Terras	82
4.5 – Clima	86
4.6 – Solos (Mapeamento Convencional)	88
4.6.1 – Latossolos	89
4.6.2 – Argissolos	96
4.6.3 – Cambissolos	103
4.6.4 – Neossolos	105
4.6.5 – Gleissolos	107
4.6.6 – Afloramentos de Rocha	108

4.7 - Correlações, Considerações e Distribuição dos Solos	109
4.8 - Aspectos Socioeconômicos	117
CAPÍTULO V	
5 – REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	121
5.1- Classificação Supervisionada dos Solos	121
5.1.1- Definição das Arquiteturas das RNA's, testes e validação	125
5.2- Resultados e Discussão	128
5.2.1 - Classificação Resultante da Aplicação das RNAs	152
CAPÍTULO VI	
6 – INTERPRETAÇÕES ÚTEIS AO PLANEJAMENTO	161
6.1 - Avaliação da Suscetibilidade à Erosão	161
6.1.1- Critérios Utilizados	162
6.1.2 - Grau de Limitação por Susceptibilidade a Erosão	164
6.2 - Avaliação das Terras	168
6.2.1 - Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras	169
6.2.2 - Avaliação da Aptidão Agroecológica das Terras	172
6.3 – Interpretação Pedo-geotécnica	178
6.3.1 – Correlação Geo-pedológica	179
6.4 - Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental	187
6.4.1 – Classes de Vulnerabilidade Ambiental	193
CAPÍTULO VII	
7 – ESTUDO GEOAMBIENTAL	199
7.1 – Mapa Geoambiental	199
7.2 – Unidades Geoambientais	203
CAPÍTULO VIII	
8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	231
8.1 – Considerações Gerais	231
8.1.1 - As Questões Ambientais na Área de Estudo	232
8.2 - CONCLUSÕES	237
9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	241
10 – ANEXOS	
Anexo 1 - Características espectrais dos sensores Landsat e Aster e, classificação supervisionada nos programas Envi 4.0 e Spring.	261
1.1 - Características espectrais dos sensores Landsat e Aster	261
1.2 - Classificação supervisionada nos programas Envi 4.0 e Spring	263
Anexo 2 - Legenda sinótica do mapa de solos; características físicas, mineralógicas e químicas dos perfis descritos e totais pluviométricos da área de estudo.	266
2.1- Legenda sinótica do mapa de solos tradicional	266
2.2 - Características físicas, mineralógicas e químicas dos perfis descritos	268
2.3 - totais pluviométricos da área	288
Anexo 3 - Resultados das Redes Neurais treinadas:Tabelas por conjunto de treinamento	290

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1.1- INTRODUÇÃO

A ocupação das terras e a pressão de uso agrícola em áreas montanhosas da Serra do Mar, consideradas marginais para o processo produtivo, compromete a capacidade de suporte dos sistemas naturais e coloca em risco a sustentabilidade ambiental, expondo os recursos solos e água a maiores taxas de degradação.

Os processos de degradação e alterações ambientais na paisagem decorrem da inter-relação de fatores naturais, aliados a falta de planejamento das atividades produtivas, principalmente quando não se considera a importância da interação dinâmica existente entre os componentes ambientais (clima, solo, relevo, rocha, água, vegetação, fauna e atividade biológica). Os problemas ambientais ou distúrbios, vistos como indicadores de desajustes internos no sistema da paisagem, se ampliam com a interferência humana e acabam comprometendo todo o equilíbrio ambiental (Coelho Netto et al. 1993). É necessário portanto, respeitar as especificidades locais do ambiente e as interações entre os diferentes componentes bióticos e abióticos, buscando selecionar e adaptar técnicas e práticas agrícolas mais adequadas às condições locais e que possibilitem o uso sustentável dos recursos, principalmente do solo e da água.

Buscando coibir a exploração desordenada dos recursos naturais frente aos crescentes problemas ambientais, o enfoque do desenvolvimento sustentável despertou o interesse pela busca de novas concepções e abordagens para lidar com a complexidade das questões ambientais. Atualmente a base teórica nos estudos ambientais concentra-se nos princípios derivados da teoria geral de sistemas e no enfoque da geocologia das paisagens, onde, a utilização, modificação e proteção complexa e racional das condições dos recursos naturais fundamenta-se no entendimento da natureza como um sistema (Mateo et al. 2007).

A paisagem é entendida como um mosaico de ecossistemas entre os quais se estabelecem fluxos ou trocas de energia e/ou de matéria, indicando um certo grau de interdependência e configurando-a como um sistema aberto (Forman & Godron, 1987). Os elementos da paisagem variam não apenas quanto à sua natureza, mas também nas suas respectivas dimensões espaciais e temporais, o que implica numa heterogeneidade de escalas de tempo de resposta às aplicações das forças naturais e/ou forças antropogênicas que regulam as transformações da paisagem (Coelho Netto et al. 1993).

Os avanços técnicos introduzidos na última década viabilizaram o acesso a um conjunto de

ferramentas que associadas aos produtos de informática e à cartografia convencional, possibilitou rápidos progressos nas formas de análise e aquisição de dados, com destacada contribuição da inteligência computacional, das geotecnologias e de simuladores de redes neurais (RNAs) nos estudos da paisagem. Por outro lado, considerando que as paisagens são unidades complexas, o solo um recurso finito e limitado e as informações geoambientais são essenciais, nas inúmeras etapas do planejamento e na busca do desenvolvimento sustentável, desenvolveu-se este estudo.

Nesse sentido, estabeleceu-se uma metodologia integrando o diagnóstico geoambiental e aspectos socioeconômicos, combinados com o uso de ferramentas de geoprocessamento e aplicação de RNA (um modelo não convencional na análise geoambiental), apoiados no uso de SIGs e produtos de sensoriamento remoto para a realização deste estudo. Assim, o enfoque da análise busca o entendimento dos geossistemas e das relações socioambientais locais, incorporando um conjunto de métodos e procedimentos para a obtenção de dados e informações geoambientais que permitam conhecer e explicar as particularidades de ecossistemas frágeis e fragmentados na Serra dos Órgãos, ocupados com agricultura familiar.

Como estudo de caso, usou-se uma área de 48.469.00 ha, na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, abrangendo totalmente os domínios territoriais do município de Bom Jardim e parte dos municípios de Cordeiro, Trajano de Moraes, Duas Barras e Nova Friburgo, onde se incluem áreas de ecossistemas frágeis ocupadas com agricultura familiar, nas quais verificam-se avanço no estágio de degradação dos recursos solo, água e biodiversidade. Os resultados finais fornecem subsídios para a indicação de formas viáveis de exploração racional de ecossistemas frágeis sob interferência antrópica, bem como permite planejar o uso e manejo dos recursos disponíveis em função de suas verdadeiras vocações agroecológicas, servindo como um guia norteador para o planejamento geoambiental da área de estudo.

Quanto à questão da aplicação de RNAs em estudos da paisagem ou aplicações relacionadas a alguns de seus elementos componentes, poucos ainda são os relatos encontrados na literatura científica. Somente na última década intensificaram-se os trabalhos relacionados a esta linha de pesquisa, principalmente em países como Austrália, Estados Unidos, Canadá e países da União Europeia, onde o uso de RNA e técnicas de modelagem vêm sendo utilizados de forma mais efetiva em estudos envolvendo a paisagem, ou direcionados às questões ambientais. O aumento do número de trabalhos se deve às recentes inovações tecnológicas, melhoria dos SIGs, disponibilidade de produtos de sensores remoto, evolução dos algoritmos de classificação e das técnicas de geoestatística, associados a maior

disponibilidade e facilidade de aquisição destes produtos, entre outros.

Beneficiando-se das inovações tecnológicas das últimas décadas, os métodos de levantamento de solos passaram por vários ajustes e aperfeiçoamentos, propiciando o desenvolvimento de novas estratégias para a obtenção de informações de solo com uso de modelagem. Métodos de mineração de dados, tais como redes neurais artificiais (RNAs), árvores de decisão, árvores de classificação, entre outros, podem fornecer soluções que auxiliem a extração automática de informações a partir de um conjunto de dados existentes (Behrens et al. 2005). Relacionada a solos, a aplicação de redes neurais artificiais vem sendo mais utilizada na função de pedotransferência, para estimativa de propriedades e atributos do solo, onde a estimativa de propriedades hidráulicas do solo tem sido a mais comum (Minasny & McBratney, 2000; Minasny et al. 2004).

Especificamente para a predição de classes de solos, poucos são os relatos da utilização de redes neurais na literatura científica. Durante a pesquisa bibliográfica foram encontrados os trabalhos de Zhu (2000), Behrens et al. (2005) e Boruvka & Penizek (2007). No Brasil foram encontrados os trabalhos de Fidêncio et al. (2001), Carvalho Júnior (2005), Chagas (2006) e Sirtoli (2008). Os trabalhos de Brown et al. (1998) e Yang et al. (1998), relatam a aplicação de RNAs em estudos geológicos, outros trabalhos abordando a aplicação de RNAs relacionados a estudos da paisagem são encontrados em Licznar & Nearing (2003), Lee et al. (2004) e outros.

Desta maneira, o presente estudo tem como um de seus objetivos aplicar redes neurais artificiais para a predição de classes de solos, utilizando como fonte de dados produtos de sensores remotos orbitais, atributos do terreno derivados de um modelo digital de elevação e informação da geologia local, visando avaliar a possibilidade de utilização desta abordagem para a predição de classes de solos de paisagens rurais montanhosas da Serra do Mar.

1.2- JUSTIFICATIVA

A área escolhida como estudo de caso é bastante representativa dos problemas da região montanhosa da Serra do Mar, onde as condições geoambientais peculiares da serra, com relevo acidentado, grande diferenciação e variabilidade de solos na paisagem, concentração de chuvas em certos períodos do ano e alta vulnerabilidade de suas terras aos processos erosivos, aliados a forte pressão de uso, falta de práticas conservacionistas apropriadas à realidade local, contribuem para o avanço na degradação de seus recursos naturais. Fatores que associados à falta de informações, em escalas médias dos elementos componentes da

paisagem, induzem por si só, à necessidade de estudos que permitam obter conhecimento que serão utilizados como base de planejamento.

Segundo a EMATER-RJ (1994 e 2001), a região é grande produtora de olerícolas e importante consumidora de agrotóxicos no estado. É também na região serrana onde ocorrem as principais fontes dos mananciais que abastecem a cidade do Rio de Janeiro, trechos do vale do rio Paraíba do Sul e outras áreas do Estado nas baixadas próximas à serra, como Macaé, Campos e Região dos Lagos, onde se constata ainda, a maior extensão e percentual de florestas do bioma Mata Atlântica, um dos mais ameaçados pela devastação. Dessa forma, é necessário buscar alternativas ligadas ao aproveitamento racional de recursos naturais para que as atividades agrícolas sejam executadas de forma que não provoquem prejuízos ambientais e atendam sempre aos requisitos do desenvolvimento sustentável. Para atingir esses objetivos deve-se conhecer e respeitar o ambiente, respeitar inclusive as diversas interações e inter-relações entre os componentes físicos-bióticos, buscando alternativas de uso adequadas às condições locais que permitam a exploração dos recursos dentro de padrões aceitáveis.

As aplicações de levantamento de solos eram tradicionalmente voltadas para o uso agrícola. Nas últimas décadas, houve um aumento nas aplicações para fins de avaliações em engenharia (geotécnica e transporte), aptidão para depósitos de resíduos, cemitérios e efeitos ambientais do uso do solo (Zinck, 1993), requerendo escalas apropriadas de investigação e coleta de dados mais específicos. As informações de solo são de acordo com Resende (2004), as únicas que contemplam os nutrientes que interessam às plantas e de horizontes ou camadas subsuperficiais que dificultam ou facilitam o desenvolvimento delas. E, por ser a base de sustentação das atividades humanas e suporte à vida das plantas, micro-organismos e animais, a informação de solo é de fundamental importância para subsidiar as ações de interferência no meio físico, sejam elas agrícolas, ambientais ou geotécnicas.

Para Zinck (1993), o levantamento de solo permanece ainda, uma atividade vital para aquisição de dados e geração de informações interpretadas sobre o uso, manejo e conservação do recurso solo. Em nosso país, as informações de solos disponíveis estão em escalas generalizadas (1:250.000), o que as tornam inadequadas para atender às exigências locais dos problemas ambientais, as demandas do planejamento municipal e como forma de orientar o uso e manejo sustentáveis das terras, em pequenas propriedades rurais.

Apesar da crescente evolução tecnológica nas últimas duas décadas, notadamente nos produtos de sensoriamento remoto, evolução dos SIGs e na área de inteligência

computacional (IC), com as redes neurais artificiais, mapas temáticos de produtos geológicos como o mapa de solo, não eram viáveis de ser produzidos de forma digital. A grande complexidade e a variação espacial e temporal sobre os quais os processos de formação do solo atuam, tornam o desenvolvimento de modelos para predição espacial uma tarefa quase impossível na rotina dos levantamentos de solos (McKenzie & Ryan, 1999).

Pesquisas iniciadas na última década, envolvendo técnicas digitais para a geração de informação de solos tornaram-se alvo de estudos intensos nos países desenvolvidos. Surgiram novas abordagens e perspectivas de análise nos estudos da paisagem, o que possibilitou maior agilidade na aquisição de dados e rapidez na geração de resultados, recentemente os modelos baseados em simuladores neurais (RNAs) têm se destacado nos estudos da paisagem. Fica evidente a necessidade de desenvolver e aplicar novos métodos que possibilitem o atendimento desta demanda.

A fim de modelar o sistema ambiental, este trabalho incluiu no desenvolvimento da metodologia o papel dos Sistemas de Informação Geográfica e de um sistema especialista da área de inteligência computacional para produzir conhecimentos especializados com benefícios quantitativos e qualitativos, propiciando o avanço do conhecimento na geração da informação. Assim a aplicação de um modelo não convencional de classificação de dados geoambientais, que é o uso de RNAs, como ferramenta computacional para a predição de classes de solos, possibilitou averiguar a adequação desse modelo a diferentes situações de classificação e a possibilidade de incorporar atributos espectrais e não-espectrais aos dados classificados.

Como simulador de RNA foi utilizado o “Java Neural Network Simulator” desenvolvido pelo Instituto Wilhem-Schickard para Ciência da Computação (WSI) em Tübingen, Alemanha. Este simulador é baseado no Stuttgart Neural Network Simulator 4.2 Kernel (Zell et al, 1996), com uma nova interface gráfica. Através dessa abordagem e com o apoio de SIG’s procurou-se ainda, testar para a área de estudo produtos de fácil disponibilidade no mercado, grátis ou de baixo custo, como é o caso do simulador de RNA JavaNNS (2001) e das imagens do sensor Landsat.

A tese foi desenvolvida focando o campo de atuação da Geologia Ambiental ou Geologia de Engenharia e do Ambiente que é o estudo dos aspectos geológicos objetivando o ordenamento territorial, considerando o homem como um dos agentes degradadores do ambiente, a exploração dos recursos existentes, territoriais, minerais, hídricos e energéticos com a visão da sustentabilidade do ambiente, que busca estudar e apresentar soluções para os

problemas que o homem passa a enfrentar ao fazer o uso do solo, e para os problemas advindos da reação do solo a este uso.

1.3 - OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo realizar a análise geoambiental e aplicar redes neurais artificiais (RNAs) para predição de classes de solos, em área montanhosa com diversidade físico-biótica na Serra do Mar, onde se incluem áreas consideradas como críticas ou mesmo marginais para a produção agrícola sustentável.

Os objetivos específicos da pesquisa podem ser explicitados como sendo:

- Desenvolver estudos dos elementos físicos-bióticos componentes da paisagem (solo, relevo, rocha, cobertura vegetal, água, clima e uso da terra) e aspectos socioeconômicos, visando estabelecer modelos representativos dos objetivos propostos e o uso produtivo sustentável de recursos naturais;
- Aplicar e avaliar a utilização de redes neurais artificiais (RNAs) para a predição de classes de solos da área de estudo, utilizando como fonte de dados atributos do terreno derivados de um MDE, produtos de sensores remotos e informações da geologia local, buscando menor custo operacional, mas preservando a confiabilidade e a precisão da informação gerada.
- Gerar bases cartográficas temáticas na escala 1:50.000, inexistentes na área de interesse, referentes a fatores geobiofísicos relevantes como: relevo, declividade, clima, recursos hídricos; solos, vegetação, uso atual e cobertura da terra, visando a avaliação geoambiental e a discretização das terras;
- Produzir em meio digital com apoio de SIGs, bases de dados espaciais (BDEs) na escala 1:50.000, dos produtos gerados com o estudo geoambiental e das variáveis ambientais preditoras que apoiaram a rede neural.
- Realizar interpretações úteis ao planejamento geoambiental;
- Explicar a natureza física do ambiente, por intermédio da caracterização e mapeamento de seus componentes e da identificação de unidades geoambientais, escala de 1:50.000, visando analisar e melhor entender as inter-relações homem-meio;
- Sugerir usos alternativos com base nas condições ambientais das unidades geoambientais delimitadas, levando em consideração a sustentabilidade das atividades/tecnologias com a proteção e fragilidade dos ecossistemas locais.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Para a realização deste estudo, adotou-se a seguinte distribuição temática em capítulos: Capítulo 1, dá uma visão geral do contexto da pesquisa. Capítulo 2, aborda uma série de conceitos diversos que permitem uma melhor compreensão deste trabalho. Capítulo 3, descreve o modelo conceitual e a metodologia proposta neste trabalho, que busca interagir aspectos geoambientais e socioeconômicos, combinados com o uso de SIGs, produtos de sensoriamento remoto e aplicação de RNAs, para a realização deste estudo. Capítulo 4, mostra os resultados obtidos com o diagnóstico e a caracterização geoambiental da área de trabalho, procura através do mapeamento de alguns componentes fornecer um retrato do meio físico com suas potencialidades e limitações, ressaltando alguns aspectos inerentes ao perfil tecnológico dos produtores rurais envolvidos com o processo produtivo. Capítulo 5, mostra a utilização de redes neurais artificiais para a predição das classes de solos da área de estudo. Capítulo 6, dedicado as interpretações úteis ao planejamento. Capítulo 7, aborda o delineamento geoambiental e apresenta as unidades geoambientais delimitadas na área de estudo. Capítulo 8, dedicado às considerações finais e conclusões a que chegamos, tendo nesse estudo de caso as contribuições metodológicas para a geração de um banco de dados digital, aplicados ao estudo geombiental de paisagens rurais montanhosas e a aplicação de RNAs na predição de classes de solos.

CAPÍTULO II

2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

É importante remarcar alguns pressupostos teóricos e diretrizes metodológicas que dão suporte ao presente trabalho, pois tratam-se de conceitos diversos relacionados ao meio ambiente, passando por disciplinas que se conectam de alguma forma a esta pesquisa.

2.1 - DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A noção de desenvolvimento sustentável é crucial para a viabilização de estratégias na administração de recursos naturais, principalmente em agroecossistemas, ou seja, ecossistemas alterados por atividades humanas, especificamente agrícolas. O desenvolvimento sustentável é o suporte teórico para a construção de uma racionalidade produtiva alternativa, a racionalidade ecotecnológica, onde o ambiente é concebido como um sistema de recursos e um potencial produtivo para uma estratégia alternativa de desenvolvimento (Mateo et al. 2007; Capra, 2004).

A concepção de desenvolvimento sustentável não impõe ausência de crescimento, apenas elege um tipo de crescimento que servirá aos objetivos sociais e ambientais, implica também a ideia das limitações que impõem os recursos ambientais e está relacionado com um desenvolvimento qualitativo e não com a expansão física (Egler, 2007; Mateo et al. 2007). O enfoque da sustentabilidade é o princípio que deverá nortear o desenvolvimento econômico, o planejamento das atividades produtivas e o uso e manejo dos recursos naturais.

O conceito de sustentabilidade inclui noções de limites para disponibilidade de recursos, choque ambiental, viabilidade econômica, biodiversidade e justiça social (Dumanski, 1993). Esse conceito, aplicado aos recursos terrestres, é dinâmico. Assim, o que é sustentável em uma área pode não o ser em outra, e o que foi sustentável uma vez poderá não estar sustentável no futuro (Dumanski, 1993).

Ambiente e economia podem e devem ser mutuamente reforçados, trabalhando na fronteira do ciclo do planejamento, isto é, *ex ante* da concepção do plano (Egler, 2007). Assim, usuários, planejadores de recursos naturais e atores envolvidos no processo serão conclamados a participar da conservação do ambiente.

2.2 - PLANEJAMENTO AMBIENTAL

O planejamento ambiental envolve uma complexidade de parâmetros, incluindo variáveis do meio físico, ecológicas, econômicas, sociais e políticas e tem como propósito garantir o

uso adequado e racional dos recursos naturais e de suas condições geocológicas, mantendo a capacidade de sustentação dos ecossistemas e a proteção ambiental (Cavalcante & Mateo, 1997, Mateo et al. 2007). Visto como um elemento regulador das relações entre os sistemas naturais e os sociais que permite a efetiva valorização do meio ambiente e a implementação gradual dos princípios do desenvolvimento sustentável. Seus objetivos salientam perspectivas e interesses com interface em várias disciplinas em função de focalizar os sistemas, os ecossistemas e os agroecossistemas.

O planejamento ambiental é um instrumento dirigido para programar o uso do território, as atividades produtivas, o ordenamento dos assentamentos humanos e o desenvolvimento da sociedade, em congruência com a vocação natural da terra, o aproveitamento sustentável dos recursos e a proteção e qualidade do meio ambiente (Cavalcante & Mateo, 1997). É importante considerar que para cada nível espacial, os processos de planejamento nas dimensões urbana ou rural têm suas características específicas e cada nível espacial e seus estágios de projeção correspondentes exigem diferentes informações geocológicas (Garcia, 1993 in Cavalcante & Mateo, 1997; Mateo, 2001). Estas informações diferem quanto ao grau de generalização e ao tipo.

Em um campo de ação tão complexo como é o do planejamento ambiental, que está dirigido para regular as relações entre diferentes interesses socioeconômicos e políticos, no que diz respeito à exploração e assimilação do meio ambiente e às riquezas naturais, o papel da ética profissional é decisivo (Cavalcante & Mateo, 1997). A mudança de atitude das comunidades é crucial para viabilizar estratégias para administrar ecossistemas, especialmente em áreas alteradas por atividades humanas. Assim, a percepção ambiental, a participação e a validação social são itens muito importantes a serem considerados nas etapas do planejamento ambiental.

2.3 - ABORDAGEM INTEGRADA, PAISAGENS E AVALIAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS

O interesse da Teoria Geral de Sistemas é no estudo da complexidade e integração, centrando seu enfoque nos padrões de interação e inter-relações entre os componentes dos sistemas. Em lugar de reduzir uma entidade para as propriedades de suas partes ou elementos ela focaliza no arranjo das relações entre as partes que os conectam em um todo. Onde houver sentido de todo, interação, inter-relação, todos organizados, complexidade organizada, eis aí um sistema de forma mais elaborada (Bertalanffy, 1977).

A ênfase é na complexidade organizada, isto é, na circunstância de que a adição de uma nova entidade introduz não apenas a relação dessa entidade para com as outras, mas também, modifica as relações entre todas as outras entidades (Capra, 2004; Christofolletti, 2007). Torna-se inadequado entender que haja oposição entre as perspectivas reducionista e holística. Elas se complementam e se tornam necessárias aos procedimentos de análise em todas as disciplinas científicas (Capra, 2004; Christofolletti, 2007). O que se busca não é a substituição de um enfoque pelo outro mas coerência entre os dois enfoques.

A visão holística dentro da abordagem sistêmica sugere que se valorize as interações e não só as inter-relações. A ideia correta a ser assimilada seria a de que o todo, dependendo do sistema analisado, possui propriedades que nem sempre podem ser explicadas satisfatoriamente pelas características de suas partes componentes. É necessário estudar não somente partes e processos isoladamente mas também resolver os decisivos problemas encontrados na organização e na ordem que os unifica, resultante da interação dinâmica das partes, tornando o comportamento das partes diferente quando estudado isoladamente e quando tratado no todo (Bertalanffy, 1977).

Com a publicação da Teoria Geral de Sistemas os princípios, pressupostos e paradigmas de sistemas infiltrou-se gradualmente nas ciências físicas e biológicas (Zonneveld, 2000). Uma das peculiaridades características da etapa atual de desenvolvimento das ciências naturais é o interesse pelo estudo dos diversos sistemas naturais, estes sistemas se formam em diversos níveis de organização.

Baseando-se em conceitos de integração e síntese, inter-relações e interações, a abordagem da ecologia da paisagem pressupõe uma perspectiva integrada de análise e se mostrou promissora na análise ambiental. Combinando componentes climáticos, geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, pedológicos e biológicos o conceito de paisagem é integrador. Para Zonneveld (1988), paisagem é um sistema complexo formado por inter-relações e interações das rocha, água, ar, solos, relevo, plantas animais e organismos, a qual através de suas semelhanças e inter-relações formam uma entidade reconhecível.

O propósito da abordagem da geoecologia das paisagens, como base para o ordenamento ecológico territorial, é a obtenção de conhecimento sobre o meio natural como base para a avaliação do potencial dos recursos naturais, como suporte às estratégias de otimização e uso sustentável dos recursos e formas de manejo mais adequadas (Vinces, 2003). Entendendo que um mesmo objeto pode ser estudado por várias ciências em seus diversos aspectos e níveis de profundidade, surgiram inúmeras variantes para o estudo e mapeamento de recursos naturais.

Os soviéticos, ao lado dos alemães, foram os primeiros a considerar o meio físico-geográfico como um sistema complexo. Dokuchaev denominou de complexo territorial natural, a interação de componentes bióticos e abióticos que se desenvolvem no interior de um complexo sistêmico espacial (Mateo, 2004). Para a escola russa, a paisagem é concebida como um sistema territorial onde interagem componentes naturais e complexos de diversos níveis taxonômicos. As ideias de Dokuchaev foram a base para o estudo da paisagem e muito usada no mapeamento das paisagens nas repúblicas socialistas soviéticas. Neste país pesquisas aplicadas ao planejamento territorial deram lugar a formulação do conceito espacial de geossistema. Sochava (1978), visando estruturar um mapa de paisagens através do parcelamento do meio natural, propõe a classificação do geossistema como um sistema natural de primeira grandeza, organizado em termos de hierarquias funcionais que podem ser divididas em partes. Em relação aos elementos que os formam, ao grau de organização dos sistema e ao caráter das relações, existem várias categorias ou tipos de geossistemas (Mateo, 2004).

Baseando-se nos princípios derivados da TGS e da geocologia de paisagens, surgiram várias propostas para estudo e mapeamento dos recursos naturais, com destaque para as propostas de Zonneveld (1972), Sochava (1978), Erhart (1996), Tricart (1977) e outros. Para AbSaber (1989), os conceitos de geossistema e de paisagem, tem incitado muitas discussões, dificultando a sua aplicação e uso. Desde então, os métodos para estudo das paisagens e mapeamento de recursos naturais, passaram por vários aperfeiçoamentos ao longo dos anos, alguns enfocando mais a análise integrada outros, a análise mais setORIZADA. Um exemplo é o levantamento integrado de recursos naturais da Austrália (“land systems”) que identificava, descrevia e mapeava grandes segmentos de paisagem. Nesse país, desenvolveu-se um amplo conjunto de investigações físico-geográficas com o objetivo principal de avaliar o potencial dos recursos naturais. Utilizavam para tanto, três níveis taxonômicos: o primeiro nível classificando os chamados “land systems”, correspondia a delimitação das regiões naturais mais amplas; dentro dessas regiões, partia-se para a determinação do segundo nível, correspondendo às chamadas “land units”, o terceiro nível, ou “land facetes”, correspondiam à subunidades da classe anterior, a escala de trabalho estava entre 1:250.000 e 1:1.000.000.

Zonneveld (1972), desenvolveu uma proposta de distribuição e cartografia das paisagens em unidades diferenciadas por níveis hierárquicos, considerando-as como entidades holísticas constituídas de diferentes elementos que influenciam uns aos outros, são as unidades de terra (land units), também denominadas de unidades de paisagem (landscape units). Um modelo

básico hierarquizando as diversas etapas de execução, passando pelo processamento, interpretação e a aplicação no planejamento de uso da terra é descrito por Zinck (1990). Esse método tenta identificar a ocorrência natural de unidades geoambientais que podem ser reconhecidas, descritas e mapeadas em termos da total integração de atributos de geomorfologia, geologia, solo, vegetação e água, e foi designado por Zinck (1990), de “complexo correlato” e de “mapeamento integrado” por Zonneveld (1988).

2.4 - ZONEAMENTOS E ESTUDOS GEOAMBIENTAIS

O zoneamento é um elemento básico essencial para a implantação do planejamento ambiental. É uma ferramenta que define o plano de utilização territorial, um instrumento do planejamento que através da análise integrada do ambiente busca separar e discriminar espaços geográficos, com o objetivo de ordenar ou reordenar as atividades produtivas sobre o território, visando a auxiliar um efetivo gerenciamento ambiental. Ab` Saber (1989) coloca o zoneamento como a busca das vocações de cada componente ou célula especial (zona, espaço de terra), inseridas em conjuntos maiores do espaço regional. Parte-se de um modelo territorial que tenha por meta a distribuição das atividades produtivas no território em função de sua capacidade de carga (Cavalcante & Mateo, 1997).

Zonas ou unidades de zoneamento são espaços identificados em um território, que apresentam certa homogeneidade interna em função de suas variáveis ambientais, passíveis de serem delimitadas horizontalmente no espaço, numa escala definida. Unidade ou zona ambiental é um termo que se aplica a porções territoriais que realmente representam alguma integração dos elementos do meio. Segundo Becker & Egler (1996), as unidades territoriais básicas são células elementares de informação e análise para estudos de planejamento, são entidades que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-las de suas vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam a uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais. Cada unidade possui um conjunto de informações fundamentais à manutenção e à reprodução da vida e faz parte de um conjunto que desempenha funções específicas no desenvolvimento do ambiente.

Quando as zonas se estabelecem por um pequeno conjunto de critérios não representam as interações do meio. Do ponto de vista operacional, os mapeamentos temáticos-ambientais são os subprodutos básicos utilizados que antecedem a um zoneamento. Os estudos específicos permitem direcionar as atividades econômicas e sociais de acordo com a vocação agroecológica dos sistemas ambientais e com as possibilidades de crescimento da economia dos territórios.

Para colocar em prática os parâmetros recomendados pelo zoneamento ocorrem alguns conflitos onde a aparente contradição entre conservação e desenvolvimento, a existência de setores conflituosos entre si, a disputa entre interesses públicos e privados e a diferença entre visão local e interesses globais de âmbito superiores, acarretam uma série de impedimentos que conduzem inevitavelmente ao desequilíbrio territorial; impactos ecológicos; utilização irracional de recursos naturais; riscos naturais desnecessários na localização das atividades; mistura e superposição desordenada de usos; conflito entre atividades e setores (Cavalcante & Mateo, 1997). Com o intuito de superar todas estas discordâncias, o ordenamento territorial está dividido em duas fases distintas: o processo de planejamento e a política de Estado.

Os Zoneamentos Agroecológicos (ZAE), Geoambientais (ZG) e Ecológico-Econômico (ZEE) se propõem a ordenar ou reordenar as atividades produtivas sobre o território, já os zoneamentos agrícolas também conhecidos como agroclimáticos, pedoclimático por culturas ou de risco climático atendem a objetivos mais específicos de setores da atividade. Embora todo zoneamento possa ser considerado funcional, pois consiste basicamente em determinação das zonas funcionais, alguns destes trabalhos atendem ao ordenamento das atividades produtivas sobre o território outros, atendem simplesmente a objetivos funcionais ou a análise setorializada.

Os Zoneamentos Agroecológicos (ZAE) se propunham a ordenar ou reordenar o uso dos recursos da Terra em paisagens rurais, não contemplavam a área urbana. Como exemplos de zoneamentos agroecológicos pode-se citar: Sanchez, (1992), Leste Fluminense (Wittern et al. 1991), Rio de Janeiro (Wittern et al. 1993; Embrapa, 1992a), delineamento macro-agroecológico do Brasil (Embrapa, 1992b) e Zoneamento Geoambiental da Região Nordeste (Silva et al. 1993). A metodologia utilizada nesses estudos tiveram como norte metodológico as publicações da FAO, que indicavam zonas agroecológicas homogêneas para usos diferenciados. Os trabalhos de Wittern et al. (1991), Wittern et al. (1993) e Wittern, (1993) além de considerar os elementos físicos-bióticos componentes da paisagem com suas potencialidades e limitações, produzia mapas de atributos do terreno como suporte as etapas de análise, como níveis de salinidade, sodicidade e tiomorfismo dos solos e considerava a viabilidade socioeconômica, o que na época representou um ganho em relação à abordagem da FAO. Em nova abordagem, a metodologia de ZAE da FAO, aplicado na região Amazônica passa a considerar aspectos socioeconômicos juntamente com informações geocológicas (Sombrek, 1994 *in* FAO, 1997).

Segundo Grecchi (1998), o zoneamento geoambiental com o objetivo de planejamento e

ordenamento territorial pode ser classificado como um ramo da geologia ambiental, resultando na caracterização de aspectos do meio (geologia, geomorfologia, hidrologia, recursos naturais) e pode ser encarado como sendo o instrumento para o desenvolvimento sustentável, à medida que é incorporado à dimensão ambiental e à produtividade, levando em conta o desenvolvimento humano. Os estudos geoambientais tem como objetivo o planejamento territorial em qualquer escala e também podem indicar estratégias alternativas que levem ao desenvolvimento sustentado (Grecchi, 1998). Sobreira (1995), realizou estudo geoambiental com ênfase nos aspectos geológicos obtendo como produto final carta síntese quantificando as propriedades e características dos terrenos e processos geodinâmicos existentes.

Dantas et al. (2001), elaborou um diagnóstico geoambiental do Estado do Rio de Janeiro, na escala 1:250.000, através da análise integrada dos elementos geobiofísicos componentes da paisagem, obtendo como produto final carta síntese de diagnóstico geoambiental. Dantas et al. (2006), em estudo na baixada do rio Cuiabá, com base na abordagem da geoecologia de paisagens, definiu domínios e unidades geoambientais e elencou recomendações em nível generalizado, de acordo com as limitações e potencialidades analisadas, visando subsidiar um desenvolvimento sustentado do território analisado.

Theodorovicz et al. (2003), apresentou uma proposta de zoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguapé-SP, fundamentada em análises qualitativas, nessa proposta o autor defende a abordagem integrada, onde em nível regional os estudos geoambientais foram feitos na escala 1:250.000, para subsidiar o planejamento e a gestão ambiental e em nível setorial, buscou gerar conhecimento sobre a problemática da exposição dos ecossistemas e grupamentos humanos aos metais pesados. Calderano (2005) realizou um delineamento geoambiental para o município de Santo Antônio de Pádua-RJ, onde apresenta unidades geoambientais individualizadas por conteúdos geológicos, geomorfológicos e pedológicos e cada compartimento geoambiental identificado, é apresentado de forma sinótica as principais potencialidades e limitações do solo e sugeridas suas principais vocações.

Ross (1995) engloba os procedimentos operacionais de estudo ambiental em dois grupos, os “land-systems” e as pesquisas multitemáticas. Nas pesquisas ambientais multitemáticas são gerados múltiplos produtos temáticos disciplinares, uns com características analíticas e outros de síntese, sob uma orientação multi e interdisciplinar. Numa primeira fase são gerados produtos temático-analíticos que tratam de forma setorizada os temas da natureza. Posteriormente estes produtos são integrados de maneira a atender aos objetivos propostos. Em

trabalhos onde se propõem o planejamento e organização das atividades produtivas sobre o território, esse é um bom padrão a ser seguido. Os procedimentos operacionais com a denominação de “land systems” utilizam como referencial os padrões fisionômicos do terreno e geram informações fisionômicas da paisagem de forma expedita.

2.5 - SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ESCALA

A evolução dos SIGs, aliados às técnicas geoestatísticas e a proliferação de satélites artificiais colocados em órbita, além de disponibilizar um poderoso repertório de ferramentas analíticas para explorar os dados ambientais, desenvolveu o campo das geotecnologias. Atualmente, busca-se a geração de dados de forma automatizada, apoiados por suporte computacional e em tecnologias consideradas emergentes para a análise espacial, como o ramo da inteligência computacional, incluindo as redes neurais artificiais.

Em nosso país, a construção de mapas temáticos, como mapas pedológicos de forma automatizada com base na interpretação automatizada de imagens de satélite, radar ou fotos aéreas previamente inseridas no SIG só se tornaram possível muito recentemente, as limitações maiores estavam condicionadas ao alto custo dos produtos de sensoriamento remoto com melhor poder de resolução e a escassez de pesquisas dedicadas ao assunto e aplicadas às condições tropicais. Aliado ao fato de que as técnicas de geoestatística e os processos de modelagem e propagação de incerteza ainda estavam em processo de integração aos principais sistemas de informação geográfica (Heuvelink, 1998) e precisavam ser plenamente incorporados aos SIG (Câmara et al. 2000).

Os SIGs, devido a sua capacidade de tratar, manipular e cruzar grande volume de dados provenientes de diversas fontes e formatos cartográficos e outras informações agregadas ao banco de dados, permitindo consultas a estas informações, se transformaram em ferramentas indispensáveis no estudo das questões ambientais e planejamento de recursos naturais (Câmara et al. 2000). Neste trabalho, quatro foram as finalidades principais para aplicação de SIGs: a) sua utilização como banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação das informações espaciais geradas; b) como suporte à geração de mapas temáticos interpretativos e de uso e cobertura da terra com produtos de sensoriamento remoto; c) como suporte às etapas que antecederam e apoiaram a aplicação de rede neural e como d) suporte para a análise espacial, através de procedimentos como cruzamento de dados, consultas, cálculo de áreas e análise estatística, entre outros.

Uma das grandes preocupações atuais consiste no uso indiscriminado dessas

geotecnologias, sem suporte de uma boa base conceitual. Autores como Foote&Huebner (1996) discutem acurácia, exatidão e enumeram mais de vinte erros e incoerências com o uso de tecnologias de SIG, banco de dados, uso do computador e o desrespeito com a escala de origem. Diante de tais constatações e limitações a escala foi inserida como questão central a ser superada no trato com a informação geográfica, para que os SIGs do futuro atendam as demandas atuais de gestão ambiental.

Foote e Huebner (1996), recomendam que cuidados sejam tomados e critérios considerados, pois os SIGs são tipicamente incapazes de advertir o usuário se comparações impróprias estão sendo feitas ou se os dados estão sendo incorretamente usados. O usuário deve determinar com o que trabalhará, a precisão posicional e a acurácia não são apenas caras, mas podem envolver detalhes consideráveis. Quanto mais preciso o dado, mais caro o seu custo de aquisição. Nesta tese, será seguido os intervalos de grandeza escalar adotados pela Associação Internacional de Geologia de Engenharia (AIGE), conforme consta em Cooke e Doornkamp (1990).

A escala representa um limite de informação que pode ser incluída no mapa, bem como um nível de realidade que pode ser visualizado (Menezes e Coelho Neto, 1999). Ela restringe o tipo, a quantidade, e a qualidade dos dados (Foote e Huebner, 1996). Ela aparece como um filtro que empobrece a realidade mas que preserva aquilo que é pertinente em relação a uma dada intenção, é um processo de esquecimento coerente (Racine et al. 1983 *in* Castro, 1995). Portanto, a escolha da escala leva em consideração os objetivos do estudo e o grau de detalhamento que se pretende obter nos resultados.

O número de observações dentro de uma área é um guia para a confiabilidade dos dados e devia ser conhecido pelo usuário, um número insuficiente de observações não pode prover o nível de resolução exigida adequadamente para representar análises do espaço e determinar os padrões que os projetos de SIGs buscam solucionar ou definir (Foote e Huebner, 1996). A manipulação de informações geográficas de diversas origens e formatos e a falta de domínio sobre as limitações impostas pela escala, têm levado a obtenção de resultados duvidosos, equivocados e inadequados. A transformação de informações geográficas em meio analógico para representações digitais coloca a solução do problema para os usuários de SIGs, os quais na maioria dos casos não estão formalmente aptos a lidar com estas questões conceituais e epistemológicas (Foote e Huebner, 1996; Montello, 1995).

Como todas as informações em um SIG estão referenciadas a sistemas de coordenadas terrestres, pode-se criar uma sensação de perigosa irrealidade, dando a aparência que o

problema de escala é inexistente (Menezes e Coelho Netto, 1999). A observação de fenômenos sob diferentes escalas pode causar significativas alterações na sua interpretação, em termos geográficos por sua vez, a percepção é espacial, dependente da amplitude da área em estudo. A visão dos fenômenos ou informações dentro da área será afetada de alguma forma pelo conceito de escala (Menezes e Coelho Netto, 1999). Quando se trabalha com um conjunto de informações georeferenciadas pode acontecer afirmação perigosa do tipo de não dependência à escala por parte de bases digitais (Goodchild & Quattrochi, 1997). Assim a informação digitalizada está vinculada a todos os erros e à generalização que foi aplicada ao documento fonte.

O dado de origem já traz consigo as limitações impostas pela escala de mapeamento, é impossível tecnicamente; a partir de um dado generalizado, detalhar a informação, mesmo agregando novos dados a realidade será fabricada. A única saída é voltar ao campo e remapear a área na escala de interesse de análise do fenômeno. Montello (1995), relata que em uma análise usando dados agregados, tais dados podem ser usados para imputar o comportamento de indivíduos. Ao trabalhar com o SIG e montar a base de dados, deve-se prestar bastante atenção nas operações que envolvem a ampliação e redução de escalas, mapear na escala 1:20.000 e publicar na escala 1:50.000 ou, sair de uma escala 1:250.000 para uma de 1:500.000 é uma operação aceita e cartograficamente correta, apesar de omitir ou perder informação na nova escala de publicação. A operação inversa é tecnicamente inaceitável e incorreta e não adianta agregar alguma nova informação pontual no banco de dados, como relata Montello (1995), esse tem sido o ponto causador de equívocos por parte dos usuários desavisados de SIGs.

Segundo Foote e Huebner (1996), os usuários desavisados de SIG criam essa falsa ilusão de melhorar a informação, quando na verdade estão corrompendo a informação original e comprometendo todo o projeto. A precisão posicional e acurácia são e estão amarradas a escala de origem do mapa ou do mapa original e não mudam, ainda que o usuário amplie dentro e fora do SIG. A ampliação com auxílio de dados agregados pode porém enganar o usuário e levá-lo a crer falsamente que a precisão posicional e a acurácia melhorou. É importante lembrar que embora a adoção da tecnologia do SIG tenha feito a reclassificação, interpretação e desenho do mapa mais fácil e barato, ela não adquire novas informações, como variabilidade espacial é o valor acrescentado importante da informação geográfica comparada a outros tipos de informação, essas variam no espaço e no tempo. Basher (1997), alerta para o perigo da ênfase no aumento da aplicação e utilização de informações e o

declínio da coleta de dados no campo, já que o aumento de interpretações sofisticadas usando SIG será baseado, em muitos casos, em dados inadequados.

2.6 - REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Redes Neurais Artificiais (RNAs) são técnicas computacionais que apresentam um modelo inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimentos através da experiência (Haykin, 2001). As RNAs encontram aplicações em campos diversos como modelagem, análise de séries temporais, reconhecimento de padrões, classificação, análise de imagens, otimização e controle, entre outros (Haykin, 2001; Braga et al. 2000; Calôba, 2005). Na última década, as redes neurais têm experimentado uma explosão de interesse e têm sido aplicadas com sucesso em várias áreas da ciência. Os sistemas baseados em regras do conhecimento, sistemas especialistas e as redes neurais, foram concebidos e têm sido largamente utilizados na solução de problemas complexos, onde os algoritmos e técnicas tradicionais se mostram inadequados (Medeiros, 1999).

O cérebro humano possui a capacidade de organizar seus constituintes estruturais, os neurônios, de forma a realizar certos processamentos muito mais rapidamente que o mais rápido computador existente (Haykin, 2001). Os neurônios são formados pelos dendritos, que são os terminais de entrada, pelos axônios, que são os terminais de saída e pelo corpo central. Eles se comunicam através das sinapses nervosas, que é a região de comunicação entre dois neurônios e onde os impulsos nervosos são transmitidos. Os impulsos recebidos por um neurônio A são processados, e atingindo um limiar de ação, é liberada uma substância neurotransmissora que será repassada para um neurônio B conectado a este.

A rede neural se assemelha ao cérebro em dois aspectos, o conhecimento é adquirido pela rede a partir de seu ambiente através de um processo de aprendizagem e as forças de conexões entre neurônios, conhecidas como pesos sinápticos, que são utilizadas para armazenar o conhecimento adquirido (Haykin, 2001, Braga et al. 2000). As RNAs representam um tipo especial de processamento da informação que consiste de muitas células primitivas que trabalham em paralelo e estão conectadas através de ligações diretas, cuja principal função é distribuir padrões de ativação, de maneira similar ao mecanismo básico do cérebro humano (ZELL et al. 1996).

O desejo de reproduzir o desempenho do cérebro humano em tarefas cognitivas complexas, motivou o desenvolvimento das Redes Neurais Artificiais. Primeiramente, McCulloch e Pitts (1943, *in* Haykin 2001), descreveram um modelo matemático para o

neurônio, constituído basicamente do somatório das entradas ajustadas por uma função de pesos, mas o modelo artificial não possuía capacidade de aprendizado. Hebb propôs em 1949, uma forma de aprendizado, conhecido como aprendizado hebbiano, nessa forma se dois neurônios estão ativos simultaneamente a conexão entre eles deve ser reforçada (Haykin, 2001). Rosenblatt (1958, *in* Haykin 2001), propôs uma metodologia pela qual a rede poderia passar por um processo de aprendizagem, ajustando de maneira sistemática os pesos de suas sinapses. Rumelhart et al. (1986, *in* Haykin 2001), resolveu o problema de associação de padrões para um conjunto de padrões não-linear, ao desenvolver novos algoritmos de treinamento para perceptrons multicamadas (feedforward). A solução encontrada foi o algoritmo de aprendizado que utiliza a chamada “regra delta generalizada para aprendizado de retropropagação”, mais conhecido como “backpropagation”, algoritmo de correção de erros (Haykin, 2001).

Para os objetivos deste estudo foi utilizado o simulador de redes neurais “Java Neural Network Simulator” baseado no SNNS - Stuttgart Neural Network Simulator 4.2 Kernel (Zell et al. 1996), sistema para desenvolvimento de aplicações com redes neurais disponível na modalidade de software livre, e o algoritmo de aprendizado foi o “backpropagation”. As redes neurais multicamadas com aprendizado de retropropagação foram aplicadas em vários casos de sucesso, citados neste estudo, com resultados bastante satisfatórios portanto, para os objetivos desse trabalho esse tipo de rede é a que será tratada aqui.

2.6.1 - Características Gerais das RNAs

As RNAs são compostas de várias unidades de processamento, essas unidades são interligadas por conexões que possuem um peso associado (Beale e Jackson, 1994). As unidades de processamento, para produzirem uma saída, efetuam cálculos sobre os valores que chegam, conduzidos pelas conexões de outras unidades. O neurônio é a unidade de processamento de informação fundamental para a operação de uma rede neural, como mostra a Figura 1.

O estado de ativação de um neurônio também envolve conjunto de estados de ativação de cada elemento processador (Haykin, 2001). A Figura 1 mostra o modelo não-linear de neurônio. Nesse modelo, podem-se identificar alguns elementos básicos: a) um conjunto de sinapses ou elos de conexão, cada um caracterizado por um peso, w , que pode representar a sua intensidade. O peso w_{kj} multiplica o sinal x_j na entrada da sinapse j , conectada a um neurônio k . O peso w_{kj} é positivo se a sinapse associada é excitatória e negativo se a sinapse associada é inibitória; b) um somador para os sinais de entrada, que adiciona as entradas

ponderadas pelos seus pesos respectivos; c) um limiar (threshold), θ_k , que tem um papel determinante na saída do neurônio. Se o valor de u_k for menor que este limiar, então, a saída do neurônio fica inibida, caso contrário, o neurônio fica ativo; d) uma função de ativação, que funciona como um limitante à amplitude da saída do neurônio, ou seja, a entrada é normalizada dentro de um intervalo fechado, comumente $[0,1]$ ou $[-1,1]$; e) a saída do neurônio y_k .

Em geral, o valor do limiar é aplicado com a inclusão de uma entrada x_0 igual a -1 e um peso w_{k0} igual ao valor de θ_k . O processamento dos neurônios artificiais consiste na aplicação de uma função não linear (denominada função de ativação) sobre o somatório das informações de entrada que chegam a este elemento, gerando um resultado de saída (Liporace, 1994).

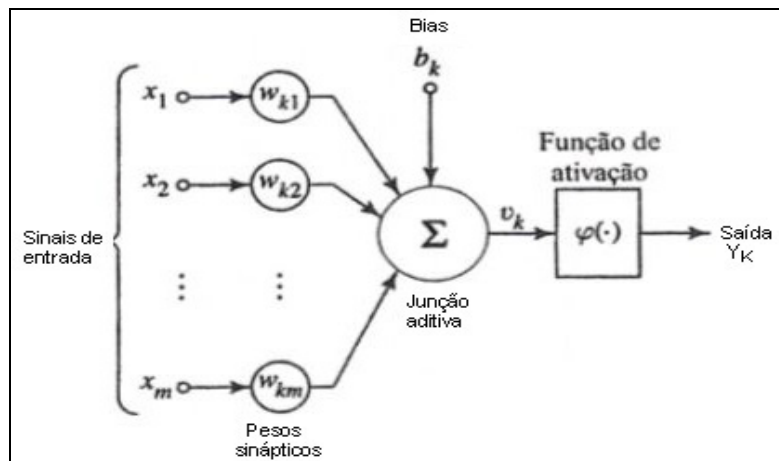


Figura 1. Modelo não-linear de neurônio (Fonte: Haykin, 2001).

A função de ativação, que define a saída de um neurônio, pode ser dos seguintes tipos: função linear, função linear por partes, função limiar ou threshold, função tangente hiperbólica, função sigmóide logística, que é a forma mais comum de função de ativação (Haykin, 2001; Braga et al. 2000).

2.6.2 - Topologia da Rede

A maneira pela qual os neurônios de uma rede neural artificial estão estruturados configura-se na arquitetura da rede. A definição da arquitetura de uma rede é um parâmetro importante na sua concepção, uma vez que ela restringe o tipo de problema que pode ser tratado pela rede (Braga et al. 2000). Algumas redes permitem que os sinais das conexões fluam no sentido entrada-saída e saída-entrada, outras permitem que os neurônios da mesma camada estejam conectados, ou ainda, permitem que o neurônio envie sinais de volta para ele mesmo (Brondino, 1999). As RNAs podem ser categorizadas pelo número de camadas de

elementos de processamento e de conexões, isto é, por sua topologia, pelas características de seus elementos de processamento e pelas leis de aprendizagem a que foram submetidas. Fazem parte da definição da arquitetura os seguintes parâmetros: número de camadas da rede, número de neurônios em cada camada e tipo de conexão entre os nós (Medeiros, 1999).

Dentre as topologias encontradas, pode-se citar: a) Perceptron, com uma camada de nós de saída, conectados às entradas por conjuntos de pesos, é considerada a forma mais simples de rede; b) Perceptron com uma camada, são capazes de aprender somente sobre problemas linearmente separáveis; c) Perceptron multicamadas ou redes multicamadas, consiste de múltiplas camadas de unidades computacionais, geralmente interconectadas em uma forma de alimentação adiante e podem usar um grande número de técnicas de aprendizado; d) A rede (modelo) de Hopfield consiste de um conjunto de neurônios e um conjunto correspondente de atrasos unitários, formando um sistema realimentado de múltiplos laços. O número de laços de realimentação é igual ao número de neurônios (Haykin, 2001); e) O Mapa Auto-organizável de Kohonen (SOM - Self-Organizing Map) é um modelo baseado em aprendizado competitivo e não-supervisionado. O modelo de Kohonen captura as características essenciais dos mapas computacionais do cérebro e ainda se mantém tratável do ponto de vista computacional, na realidade, o modelo pertence à classe de algoritmos de codificação vetorial (Haykin, 2001); f) Redes ART (*Adaptive Resonance Theory*), baseadas na metáfora biológica/memória humana, podem adicionar nova informação sem esquecer aquela já armazenada, característica não presente na maioria dos modelos de RNAs (Roisenberg 2010). O nome veio da forma como o aprendizado e a recuperação da informação ocorrem na rede. Modelos encontrados de redes ART: ART1 (entradas são binárias); ART2 (entradas são analógicas); ARTMAP; Fuzzy-ART e outros (Roisenberg 2010). Além das topologias citadas, várias outras são encontradas.

2.6.3 - Processos de Aprendizagem

A característica mais importante de RNAs é a capacidade de aprendizagem, que consiste no ajuste de pesos de suas conexões. O procedimento utilizado para realizar o processo de aprendizagem é chamado de “algoritmo de aprendizagem”, cuja função é modificar os pesos sinápticos da rede de uma forma ordenada para alcançar um objetivo desejado. Cada modelo de RNAs apresenta um algoritmo de aprendizado específico, alguns tipos são específicos para determinados modelos e diferem entre si pela forma com que os pesos são atualizados. O processo de aprendizado define a maneira como a rede se relaciona com o ambiente.

No processo de aprendizado supervisionado são fornecidos à rede um conjunto de padrões

de entrada e informada a saída desejada para os padrões de entrada. Durante o processo, a rede realiza um ajustamento nos pesos das conexões entre os elementos de processamento, até que o erro entre os padrões de saída gerados pela rede alcancem um valor mínimo desejado. O objetivo é minimizar o sinal de erro, que é uma função da diferença entre a saída desejada e aquela fornecida pela rede. A minimização do erro se dá pelo ajuste dos pesos da rede. No aprendizado não-supervisionado a rede é capaz de ajustar o seu funcionamento sem uma supervisão externa, ela utiliza padrões, regularidades e correlações para agrupar os conjuntos de dados em classes de saídas, mas é necessário que padrões parecidos com o que se quer classificar sejam apresentados a rede (Haykin, 2001; Calôba 2005). E o aprendizado por reforço, quando ao invés de fornecer as saídas corretas para a rede, relativo a cada treinamento individual, a rede recebe somente um valor que diz se a saída está correta ou não.

O tipo de treinamento utilizado neste trabalho foi o aprendizado supervisionado, com o erro sendo monitorado ao longo dos ciclos de treinamento, através das curvas de aprendizagem. As aplicações práticas citadas, também empregaram o mesmo tipo de treinamento, no qual a rede é apresentada com um conjunto de padrões de entrada e um conjunto de resultados desejados correspondentes (Zhu, 2000). Um erro médio quadrado pequeno não implica necessariamente boa generalização e bom desempenho da rede com dados não vistos anteriormente (Haykin, 2001). Calôba (2005), recomenda que se faça uma crítica durante o treinamento, acompanhando a evolução do erro nos conjuntos de treinamento, validação e teste durante todo o processo de treinamento. No caso do Java NNS, isso pode ser feito acompanhando a curva de aprendizado durante os ciclos de treinamento e nos arquivos de resultados da rede.

2.6.4 - Redes Multilayer Perceptron

As redes neurais multicamadas tem sido utilizadas com sucesso para soluções de diversos problemas reais, é um tipo de arquitetura muito encontrado e bastante utilizado. Elas são constituídas de uma camada de entrada contendo um conjunto de neurônios, onde os padrões são apresentados à rede, uma camada de saída contendo um ou vários neurônios, onde o resultado final é apresentado e, uma ou mais camadas escondidas contendo um conjunto de neurônios, onde são feitos a maior parte dos processamentos. As redes neurais artificiais são organizadas em camadas que compõem sua topologia ou arquitetura. Existem redes neurais de camada simples (perceptron) constituídas por um grupo de neurônios arranjados em apenas uma camada e as redes multicamadas (perceptron multicamadas), formadas por várias camadas intermediárias ou pela combinação de várias redes de camadas simples (Haykin,

2001). A Figura 2 mostra uma rede formada de uma camada de entrada, duas camadas intermediárias e uma camada de saída, é um tipo de arquitetura muito encontrado.

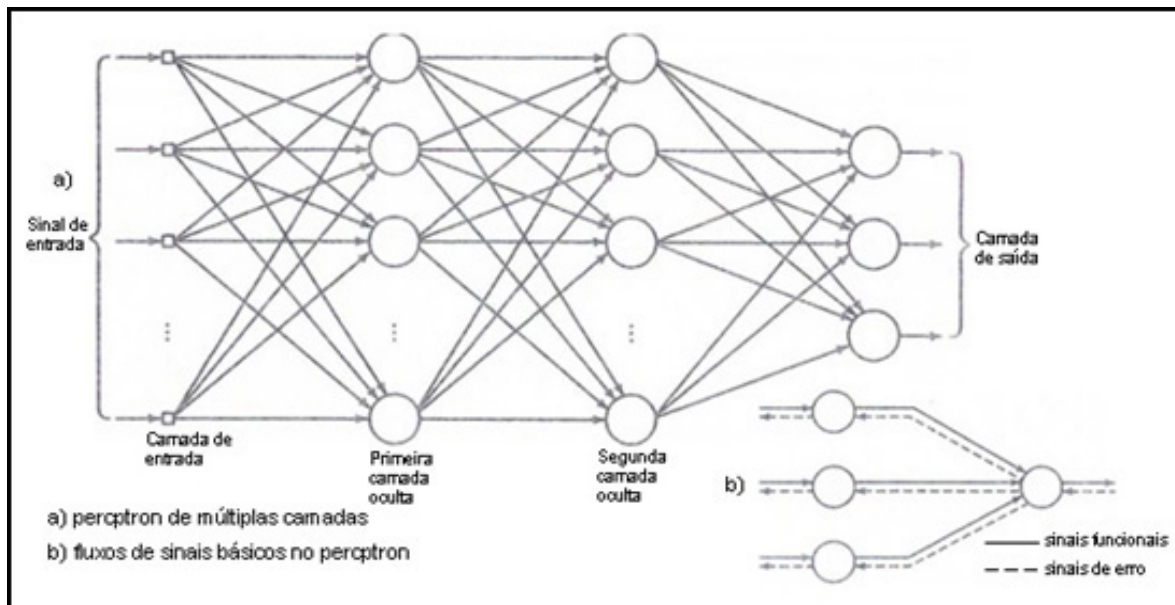


Figura 2 - Topologia de uma rede multicamadas (modificado de Haykin, 2001).

Os modelos de neurônios artificiais de McCulloch & Pitts e Rosenblatt, só separavam padrões linearmente separáveis. Um problema linearmente separável é a separação de duas classes através de uma reta (Haykin 2001. Segundo Beale e Jackson (1994), uma solução possível foi usar mais que um perceptron, empregados para distinguir seções linearmente separáveis da entrada e combinar suas saídas em outro perceptron, que poderia produzir uma indicação final da classe a que aquela entrada pertence.

Este tipo de arquitetura tem sido aplicado com sucesso na solução de diversos problemas complexos, através de treinamento supervisionado com o algoritmo conhecido por retropropagação de erro (Calôba, 2005; Vieira, 2000). O algoritmo de retropropagação se tornou o algoritmo mais popular para o treinamento supervisionado de perceptrons de múltiplas camadas. A retropropagação possui duas propriedades distintas: é simples de calcular e realiza a descida estocástica do gradiente no espaço de pesos, para atualização de padrão em padrão dos pesos sinápticos, (Haykin, 2001). Estas duas propriedades da aprendizagem por retropropagação em um perceptron de múltiplas camadas são as responsáveis por suas vantagens e desvantagens (Haykin, 2001). Este algoritmo é baseado numa regra de aprendizagem que “corrige” o erro durante o treinamento. O processo é constituído de duas fases, uma de propagação do sinal e uma de retro-propagação do erro (backpropagation). Na primeira, os vetores de dados são aplicados às unidades de entrada, e

seu efeito propaga pela rede e um conjunto de saídas é produzido como resposta da rede, durante o processo os pesos das conexões são mantidos fixos. Na retro-propagação do erro os pesos sinápticos são todos ajustados de acordo com a regra de correção de erros.

Segundo Calôba (2005) e Carvalho Júnior (2005), pode-se implementar o algoritmo de retropropagação de duas formas, o “modo de grupo”, onde todos os exemplos são apresentados à rede e um erro global é computado e usado para atualizar os pesos. Outra, dita “modo de incremento”, onde cada exemplo individualmente é apresentado à rede, o erro é computado e os pesos atualizados antes de entrar outro modelo. A constante de proporcionalidade (η) determina o tamanho da mudança dos pesos em uma iteração. Para redes de retropropagação que usam o “modo de grupo”, (η) é função do número de exemplos ou modelos de treinamento. A estratégia usual para a (η) é observar o comportamento do erro enquanto mudam os pesos das conexões. Se a mudança para um peso específico não resultar na redução do erro global, então o algoritmo deve passar para o mínimo global, e a (η) deve diminuir em magnitude.

Para Master (1993), a estrutura de uma rede neural é específica para cada caso, o número de neurônios da camada de entrada deve ser igual ao número de variáveis de entrada e o número de neurônios de saída igual ao número de atributos definidos como resultados. A definição do número de camadas escondidas e do número de neurônios que as compõem tem sido o maior problema. Esse número normalmente depende da complexidade do problema. Não existem regras eficientes para a definição do número de camadas internas, o número exato de camadas internas para um determinado problema é frequentemente determinado através de tentativas e erros. De acordo com Liporace (1994), alguns procedimentos são seguidos para a determinação do número de camadas internas em uma rede neural, realizar experimentos com uma camada interna inicialmente, analisando o seu desempenho e, caso seja necessário, utilizar uma segunda camada interna e assim sucessivamente; e observar que, quanto maior o número de entradas na rede, maior deverá ser o número de neurônios e concomitantemente, maior o conjunto de treinamento.

De acordo com Calôba (2005) duas abordagens são utilizadas, o método do crescimento e o da poda. No método do crescimento ou construtivo, a camada oculta é iniciada com um pequeno número de unidade e os neurônios são adicionados um de cada vez até a rede convergir para um erro pequeno e aceitável. A dificuldade é descobrir o ponto onde a adição de neurônios para uma camada oculta específica deve parar e uma nova camada oculta introduzida. A última rede a convergir é então tomada como a escolha ótima. É necessário

usar conjunto de dados teste independente, para avaliar o erro global a cada passo, em vez de somente os modelos de treinamento. No método da poda, inicia-se com uma rede maior que o tamanho normalmente considerado necessário e com um critério geral se vai removendo neurônios ou conexões consideradas redundantes. A dificuldade é definir a arquitetura inicial e o número de camadas ocultas.

O desenvolvimento de um projeto baseado em redes neurais artificiais necessita das seguintes etapas: definição do problema, coleta dos dados de treinamento e de teste, pré e pós processamento dos dados, definição da estrutura da rede, treinamento, teste e validação (Caudill, 1991). Normalmente, são necessárias três fases na aplicação de redes neurais para resolução de um determinado problema. Na primeira fase, ou treinamento, ensina-se a rede a resolver um conjunto de padrões de saída associados aos padrões de entrada. Na segunda fase, ou teste, são apresentados padrões de entrada à rede, e as saídas obtidas são comparadas às saídas desejadas. Na terceira fase, ou aplicação, a rede aprovada na fase anterior é utilizada na resolução do problema. A primeira fase é a única em que há aprendizado e o processo como um todo pode se repetir até que a rede obtenha resultados satisfatórios (Master, 1993).

O processo de treinamento da rede começa pela inicialização de todos os pesos a valores pequenos diferentes de zero, para evitar o problema de saturação da rede com valores grandes, ou a dificuldade da rede não aprender devido a presença de pesos com valores homogêneos. Então, amostras de treinamento são utilizadas uma de cada vez para produzir os resultados correspondentes. A seguir, uma medida do erro entre o resultado obtido e o resultado desejado é computado e os pesos são atualizados buscando a redução deste erro. Muitas interações ou ciclos podem ser necessários antes da rede alcançar um determinado nível de acurácia (Vieira, 2000; Zhu, 2000).

Alguns trabalhos exemplificando a utilização de RNAs e classificação supervisionada, são encontrados em Brondino (1999), que aplicou redes neurais artificiais para avaliar e estudar a influência de uma medida de acessibilidade no valor de terrenos urbanos. Bocanegra (2002), expõe as experiências com a aplicação de redes neurais artificiais em transporte urbano. Medeiros (1999) deteve-se em analisar e produzir cenários, com aplicação de redes neurais artificiais, relativos à vulnerabilidade natural à erosão, em apoio ao Zoneamento dos Estados da Amazônia Legal. Galo (2000), estabelece uma ligação entre os ecossistemas e a utilização de redes neurais em trabalho de classificação de imagens de sensoriamento remoto, com o objetivo de caracterização ambiental e Espinhosa (2004), que apresenta uma proposta de utilização de redes neurais em trabalhos de classificação de imagens de sensoriamento

remoto, com o objetivo de detectar a ocorrência e mapear a dispersão espacial de plantas aquáticas emersas em cinco reservatórios ao longo do rio Tietê-SP. Em todas as aplicações citadas, os resultados foram considerados bastante satisfatórios e confirmam a viabilidade de aplicação das RNAs.

2.7 - RELAÇÕES SOLO-PAISAGEM E MODELAGEM QUANTITATIVA DOS SOLOS

Os solos não existem isoladamente, mas estão organizados e inter-relacionados dentro da paisagem. o solo é um dos principais constituintes da paisagem, considerada aqui como um todo constituído por substrato litológico, clima, relevo e organismos (Rizzo, 1991). A associação existente entre distribuição espacial de determinados classes de solo e as diferentes posições e formas de relevo onde ocorrem na paisagem mostram existir estreita relação entre as unidades geomórficas e os solos, podendo a distribuição das diferentes unidades de solos ser associadas a elementos fundamentais do relevo ou a grandes províncias geomorfológicas.

A geomorfologia e a pedologia tem interesse no mesmo objeto (indivíduo) uma estuda a origem e a forma da superfície da terra e a outra estuda a coleção de corpos naturais sob a superfície (Daniels et al. 1971 *in* Rizzo, 1991). Segundo Rizzo (1991), existe relação direta entre as características dos solos e suas distribuições nos setores geomorfológicos. Para muitas propriedades dos solos, variações através da paisagem estão relacionadas primariamente à diferenças na topografia do solo (drenagem) ou no material de origem. Entendendo as influências desses fatores de formação na paisagem, é possível definir a posição de solos que tendem a aparecer juntos numa seqüência ao longo da paisagem (Brady e Weil, 1996). Para compreender o comportamento do solo, deve-se conhecer suas características e propriedades, bem como o ambiente que o cerca.

A intensidade de formação do solo sobre uma superfície pode variar grandemente com o tempo, o fator que produz variações na intensidade pode ser climático ou relacionado a mudanças internas no ambiente do solo (rebaixamento do lençol freático por exemplo) (Daniels et al. 1971 *in* Rizzo, 1991). Wysocki et al. (1999) definem que a pedologia é uma ciência da terra, a variabilidade espacial dos solos em parte de uma paisagem é governada pelos processos de formação de solos que, por sua vez, estão interativamente condicionados pela litologia, clima, biologia e relevo através do tempo geológico. Os processos de formação de solos ou de pedogênese, envolvem o intemperismo de minerais primários ou não, e suas propriedades resultantes. Desta forma, propriedades do solo associadas à matéria orgânica podem-se desenvolver rapidamente, enquanto aquelas associadas com o intemperismo de

minerais primários são de desenvolvimento mais lento. Os processos de intemperismo podem ser físicos e químicos (hidrólise, quelação, oxidação, hidratação e desidratação, troca iônica), e seus produtos podem ser removidos do sistema pela água de lixiviação ou reagir no sistema, para formar uma variedade de produtos amorfos e cristalinos. Os produtos mais comuns destes processos são os minerais de argila e os óxidos-hidróxidos de Fe e Al, que por sua vez refletem o efeito de longo prazo do ambiente químico e de lixiviação do solo (Birkeland, 1974).

A formação do solo ocorre pela interação de 4 processos: adição, remoção, translocação e transformação. A interação pode ser entendida como o relacionamento espacial e a dinâmica dentro de uma paisagem e os processos podem criar e modificar as formas, os sedimentos e os solos (Wysocki et al. 1999). Para compreender, interpretar e transferir adequadamente os conhecimentos dos recursos de solo de uma área para outra, um modelo sistemático solo/geomorfológico da paisagem deve ser aplicado (Wysocki et al. 1999).

Classicamente, Dokuchaev equacionou o solo da seguinte forma: Solo = f (clima, organismos, material de origem, tempo e topografia). Embasados nesta equação, com ligeiras alterações, alguns autores propuseram novas fórmulas, valorizando aspectos das paisagens e dos solos e com utilizações mais restritas em termos espaciais. Com base na equação proposta por Dokuchaev, pode-se analisar a relação do solo com seus fatores de formação. Segundo Birkeland (1974), a topografia controla muito da distribuição dos solos na paisagem, e muitas das diferenças nos solos são devidas à combinação com microclima, pedogênese e processos geológicos superficiais. A orientação da vertente afeta o microclima e o solo. A declividade afeta o escoamento ou não da água (erosão). As áreas mais elevadas ou mais rebaixadas podem ser de acumulação ou de perda de solos e também o nível do lençol freático varia nestas condições.

Na prática para estabelecer princípios de relação solo paisagem é necessário primeiro identificar tanto os solos como as superfícies geomorfológicas (com seus subcompartimentos) para depois estabelecer correlações (Daniels et al. 1971 *in* Rizzo, 1991). As paisagens possuem limites naturais que restringem ou controlam a transferência de massa e energia. As formas de terreno são qualquer forma física reconhecível ou feição da superfície da terra, que tenha uma forma e composição característica e seja produzida por causas naturais. Desta forma, a paisagem pode ser considerada uma coleção de relações espaciais, formas de terreno naturais, por outro lado, feições antropogênicas são feições artificiais na superfície da terra.

A modelagem solo-paisagem vem tornando-se conhecida como novo paradigma para o levantamento de solos, e para o entendimento e predição dos padrões naturais do solo constituindo parte das novas tendências dos levantamentos de solos (Hudson, 1992). Os modelos solo-paisagem estão sendo combinados com bancos de dados e SIGs para predição da distribuição espacial e variação das propriedades dos solos (Petersen et al. 1991). Segundo Zinck (1990), a predição de características dos solos baseada no clássico modelo solo-fator de formação e o resultado da fotointerpretação pode ser substancialmente melhorado quando combinado com uma abordagem geomórfica.

Recentemente, as pesquisas têm direcionado sua atenção para técnicas inovadoras, utilizando conhecimentos disponíveis em geoestatística, SIG's, Sensoriamento Remoto por satélite, processamento digital, recursos de vídeo imagem, radar de penetração e laser, buscando uma melhoria do processo de coleta de dados e organização das etapas do levantamento de solos, aqui entendido como coleta, análise e geração de informação (Zinck, 1990).

Segundo Zhu (1997), a capacidade de conduzir levantamentos de solos convencionais precisos e eficientes é grandemente limitada por dois fatores: o processo de mapeamento baseado em polígonos e a produção manual dos mapas. No primeiro caso, fundamentado no modelo conceitual discreto, os solos no campo são representados por meio de polígonos, com cada polígono mostrando a distribuição espacial de uma classe de solo particular. Um dos problemas associados ao modelo de representação discreto é que este limita o tamanho da unidade de mapeamento que pode ser delineada como um polígono. Unidades que apresentam tamanho menor do que aquele estabelecido são ignoradas ou anexadas em unidades maiores, fazendo com que sejam criadas unidades de solos compostas para expressar a inclusão de diferentes solos no polígono. Outra limitação do modelo discreto é que um polígono representa somente a distribuição espacial de um conjunto de classes de solos estabelecidas em um sistema de classificação (conceito central da classe). No mapeamento, uma vez que um solo é enquadrado em uma determinada classe, este é dito típico daquela classe; assim, as condições particulares daquele solo são perdidas. Embora, saiba-se que os solos podem diferir do conceito central da classe, é difícil representar convenientemente estas diferenças utilizando o modelo discreto de representação dos solos (Zhu, 2000; Chagas 2006).

Existem atualmente uma variedade de técnicas disponíveis para a análise da distribuição espacial do solo. Segundo McBratney et al. (2000), as técnicas pedométricas são utilizadas para analisar dados com o objetivo de tornar os inventários de solos quantitativos, mais

eficientes e mais baratos. Os métodos mais comumente utilizados são a geoestatística, a estatística clássica e métodos híbridos. As técnicas pedométricas básicas usadas na predição espacial do solo, e conseqüentemente no levantamento de solos, são: a abordagem clássica, coletivamente referida como métodos de correlação ambiental (CLORPT, onde CL = clima, O = organismos, R = relevo, P = material de origem e T = tempo) e os métodos geoestatísticos. (McBratney et al. 2000).

Os métodos CLORPT são baseados no modelo determinístico empírico originado dos fatores de formação do solo de Jenny (1941). Nas recentes aplicações estão sendo utilizados métodos mais robustos tais como, modelos lineares generalizados, modelos aditivos generalizados, árvores de regressão e redes neurais (Chagas 2006). A desvantagem dos métodos CLORPT é que eles, embora tratem satisfatoriamente bem com as relações determinísticas, não são adequados para tratar com as autocorrelações espaciais das propriedades dos solos, especialmente a nível local (McBratney et al., 2000). A krigagem também tem seu uso limitado em situações de complexidade do terreno onde os processos de formação do solo são complexos (McBratney et al. 2000).

Os métodos geoestatísticos têm sido de grande utilidade para o levantamento de solos quantitativo de grande escala, porém sua utilidade para levantamentos de média e pequena escala é pouco clara (McBratney et al., 2000). Por outro lado, os métodos convencionais são aparentemente mais eficientes a estas escalas porque usam as relações entre propriedades do solo e aspectos ambientais mais facilmente observáveis como base para o mapeamento. Estas relações são derivadas de modelos mentais complexos e qualitativos desenvolvidos pelos pedólogos durante o levantamento de campo (McKenzie & Ryan, 1999).

O conhecimento dos solos e a delimitação das áreas por eles ocupadas é fonte de informação essencial em estudos geoambientais e como forma de subsidiar as ações de planejamento e gestão do território. O levantamento de solos produzido pelo método convencional é, na visão de muitos autores, uma atividade de alto custo, além de depender grandemente da subjetividade e experiência do pedólogo. No Brasil o levantamento de solos produzido pelo método convencional, ainda é, segundo Chagas (2006), a principal fonte de informação espacial sobre solos para diferentes usos, principalmente o uso agrícola. E grande parte dessas informações estão disponíveis em mapas de escala generalizada, poucas são as informações em escalas médias ou mais detalhadas.

2.7.1 – Aplicação de RNAs na Predição de Classes de Solos

Visando reduzir custos e eliminar as eventuais dificuldades de coleta de atributos do solo, em algumas posições da paisagem, surgiram métodos substitutos mais econômicos usando funções de pedotransferência (Bouma, 1989; McKenzie et al, 1999). Pesquisadores têm proposto novas abordagens de modelagem quantitativa dos solos, a fim de descrever, classificar e estudar os padrões de variação espacial dos solos na paisagem, objetivando melhorar o conhecimento da variabilidade espacial dos solos, a precisão da informação, através de diversas técnicas quantitativas, chamadas no conjunto, de Pedometria (Webster, 1984). A Pedometria, inclui por exemplo, as técnicas de geoestatística, as quais têm sido amplamente aplicadas à ciência do solo (McBratney et al. 2000; Voltz et al. 1997).

Segundo McKenzie & Ryan (1999), dada a complexidade natural dos solos e de suas propriedades, o desenvolvimento de modelos quantitativos, mecanísticos e matemáticos para predição espacial é uma tarefa quase impossível na rotina dos levantamentos de solos tradicionais. No nível de conhecimento e tecnologia atuais, o desenvolvimento de um sistema especialista híbrido, semi-automatizado e semi-subjetivo que integre o conhecimento empírico do pedólogo sobre solos às ferramentas de SIG é a única solução possível.

Mais recentemente as redes neurais artificiais (RNAs), associadas aos recursos computacionais disponíveis e uso de imagens orbitais, surgiram como novas formas de aquisição, análise, classificação e tratamento de dados de solos. As aplicações de redes neurais na ciência do solo podem ser encontradas em estudos de Behrens et al. (2005), Minasny & McBratney (2002), Chang & Islam (2000), Zhu (2000), Carvalho Júnior (2005), Chagas (2006) e Sirtoli (2008). McBratney (2003), comenta que a RNA é um esforço matemático para simular, em parte, o funcionamento do cérebro humano por meio de uma rede de elementos de processamento unitários que juntos, e funcionando em paralelo, simulariam o fluxo de “informações” do cérebro.

A vantagem da utilização de RNAs é que elas permitem a combinação de dados multiespectrais e não espectrais, ou seja, dados multifontes para uma mesma classificação ou estimativa. Vários estudos têm demonstrado a habilidade das redes neurais para classificação de dados espaciais oriundos de diferentes fontes. Algumas recentes utilizações das redes neurais nas ciências ambientais são os modelos para a estimativa da distribuição de espécies, abundância ou diversidade em função de variáveis ambientais, danos em cultivos agrícolas, riscos de enchentes, parâmetros de qualidade do ar e características de ecossistemas a partir de dados de sensoriamento remoto (Mas et al. 2004).

Daniel et al. (2003) usaram RNA para estimar a matéria orgânica do solo, fósforo e potássio, a partir da análise de reflectância de 41 amostras de solo da província de Lop Buri na Tailândia. Os resultados obtidos confirmaram a capacidade da rede neural para estimar macronutrientes no solo. Yang et al. (1998) examinaram os efeitos da utilização de diferentes imagens sobre o desempenho de uma rede neural no mapeamento litológico de uma área no Canadá. Os resultados encontrados mostram que os dados geofísicos, particularmente medidas de radiação, que fornecem informações subsuperficiais, foram essenciais para o mapeamento da litologia. Brown et al. (1998), usaram classificador de máxima verossimilhança e redes neurais artificiais e testaram a habilidade de medidas geomórficas (elevação, relevo relativo, enrugamento superficial e declividade) derivadas de um modelo digital de elevação para diferenciar paisagens glaciais em Michigan. Os mapas resultantes de quatro tentativas de classificação supervisionada tiveram entre 51% e 61% de concordância com o mapa geológico e o classificador de máxima verossimilhança teve concordância levemente mais alta do que o da rede neural, o que foi atribuído à inerente generalização no mapa geológico utilizado comparado com a natureza do classificador para a rede neural.

Lee et al. (2004) avaliaram a análise de regressão e RNAs na estimativa de suscetibilidade de deslizamento de terra em uma região da Coreia. Os resultados da análise de suscetibilidade ao deslizamento, com e sem os pesos, foram confirmados pela comparação com os dados de localização de deslizamentos. Zhu (2000), utilizou RNA para alimentar um modelo de similaridade construído para representar o solo como um contínuo espacial e aplicou no mapeamento de solos de uma bacia na região oeste de Montana. Os resultados deste estudo mostraram que a informação espacial derivada do uso da rede neural revelou detalhes maiores e tiveram uma qualidade superior daqueles derivados do mapa de solo convencional.

Behrens et al. (2005), utilizou 69 atributos do terreno, 53 unidades geológicas e 3 tipos de uso da terra, extraídos de mapas e bancos de dados de solos existentes e aplicou RNAs para o mapeamento digital de classes de solos. Os resultados desse estudo foram considerados pelos autores como satisfatórios e confiáveis. Boruvka & Penizek (2007), aplicaram RNA no mapeamento de classes de solos, utilizando dados de pH, teor de argila e gradiente textural de levantamentos de solos pré-existent, além de dados de elevação, aspecto e declividade do terreno, como variáveis ambientais discriminantes. Fidêncio et al. (2001), utilizou dois tipos de redes neurais para classificar amostras de Latossolos e Argissolos de diferentes regiões geográficas do Estado de São Paulo. Carvalho Júnior (2005), a partir de atributos do terreno derivados de um modelo digital de elevação, utilizou RNA e o algoritmo de máxima

verossimilhança, visando classificar pedopaisagens na região de domínio de mar de morros do estado do Rio de Janeiro e, concluiu que os resultados com 70% de exatidão global mostraram a eficiência de redes neurais artificiais para a classificação de paisagens de áreas montanhosas sob dissecação homogênea.

Chagas (2006), a partir de produtos de sensores remotos e atributos do terreno derivados de um modelo digital de elevação, aplicou classificação supervisionada utilizando RNA e o algoritmo de máxima verossimilhança, para predição de classes de solos em duas áreas da região noroeste do estado do Rio de Janeiro. O autor concluiu que o classificador baseado nas duas redes neurais utilizadas obteve desempenho superior ao classificador maxver. Sirtoli (2008), a partir de produtos do sensor Spot e atributos do terreno derivados de um modelo digital de elevação, aplicou RNA na separação de 3 classes de solos em uma área no Paraná, com relevo variando de plano, suave ondulado e ondulado. O autor concluiu que embora não tenha conseguido uma concordância elevada com o mapa de solos tradicional, o classificador baseado na rede neural obteve bom desempenho e mostrou eficiência.

CAPÍTULO III

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – Área de Estudo

A área de estudo insere-se na região do médio alto curso do rio Grande, sub-bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, com aproximadamente 48.469km², abrange partes territoriais dos municípios de Cordeiro, Trajano de Moraes, Duas Barras, Bom Jardim e Nova Friburgo, (Figura 3).

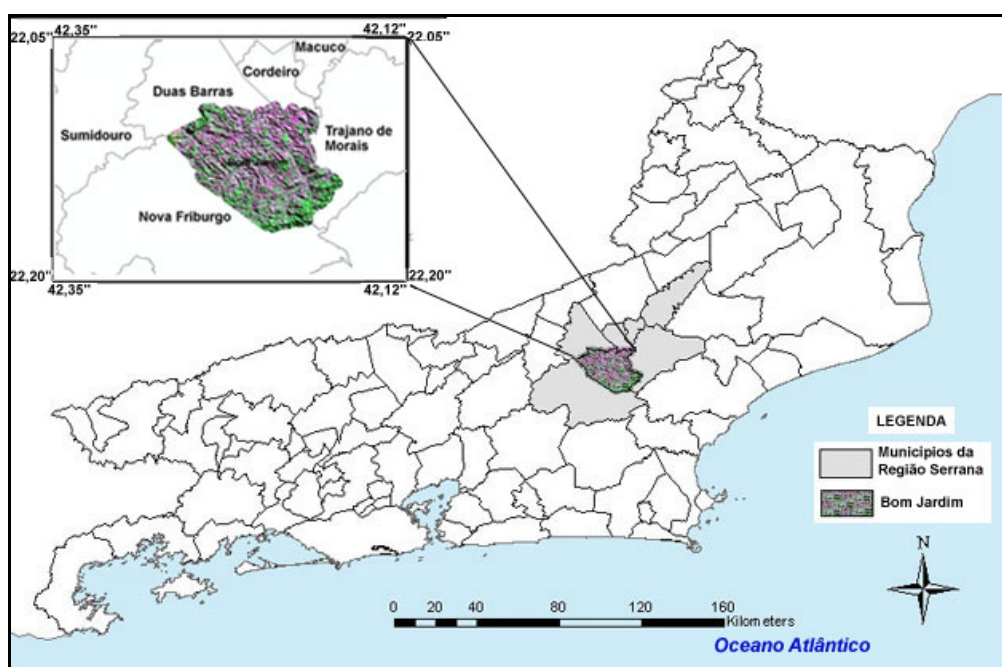


Figura 3 – Área de estudo no contexto da região Serrana do Estado do Rio de Janeiro.

A área insere-se em partes das folhas topográficas na escala 1:50.000 da FIBGE: Quartéis (SF-23-Z-B-III-3), Cordeiro (SF-23-Z-B-III-1), Trajano de Moraes (SF-23-Z-B-III-2), Duas Barras (SF-23-Z-B-II-2) e Casimiro de Abreu (SF-23-Z-B-III-4). O acesso a região é feito pelas rodovias RJ-116, RJ-144, RJ-146, RJ-148 e RJ-150, além de uma malha de estradas vicinais, que facilitam o acesso às áreas rurais e o escoamento da produção agropecuária, que corresponde com aproximadamente 52% do PIB da área, a mineração contribui com 4%, o restante vem da arrecadação de impostos, turismo e outros. A área produz olerícolas, flores ornamentais, café, culturas anuais, além da pecuária de leite e corte.

Estes municípios, juntos com os municípios de Cantagalo, Carmo, Macuco, Petrópolis, Santa Maria Madalena, São José do Vale do Rio Preto, São Sebastião do Alto, Sumidouro e Teresópolis, integram a região administrativa do Estado do Rio de Janeiro, denominada de Região Serrana.

3.2- Procedimentos Metodológicos e Etapas do Trabalho.

A metodologia adotada partiu da geração de dados básicos no campo através de mapeamentos temáticos do meio físico, geração de mapas com suporte de geoprocessamento e técnicas de mapeamento digital, apoiado em SIG's, produtos de sensoriamento remoto e aplicação de Redes Neurais Artificiais (RNAs). A execução do trabalho envolveu uma seqüência de etapas e ações, contemplando as fases de escritório, campo e laboratório, construção de uma base de dados espaciais em ambiente SIG, aquisição de dados primários e armazenamento em meio digital, via digitalizações na tela e caracterizações analíticas. A etapa de campo englobou as atividades de coleta de amostras, mapeamento e a geração de dados básicos na escala 1:50.000. No decorrer dos trabalhos, os passos abaixo foram seguidos. A ordem de apresentação não implica que ocorreram na mesma seqüência. A figura 4 retrata os passos seguidos na execução do trabalho.

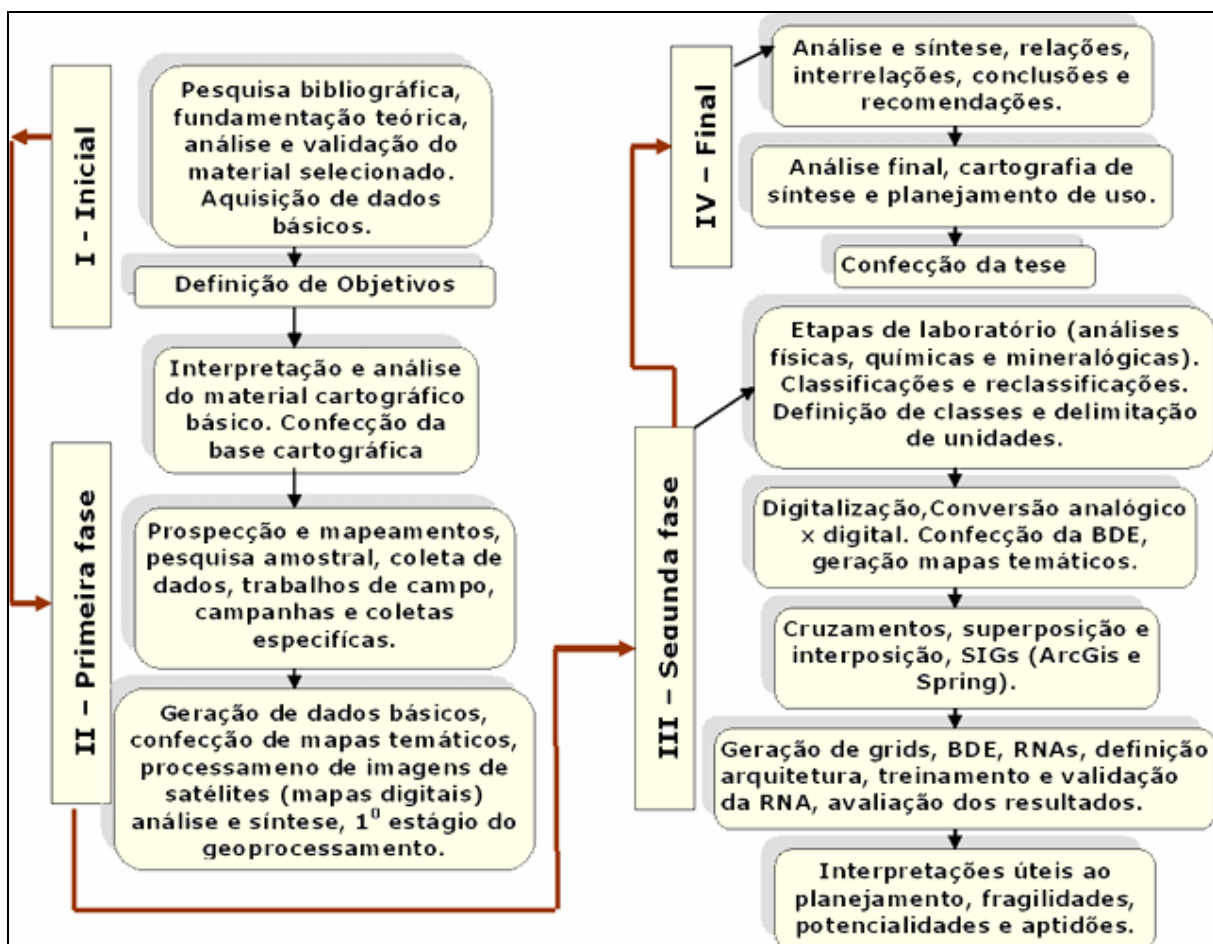


Figura 4. Esquematização dos passos a serem seguidos na execução do trabalho.

A primeira etapa além de envolver a montagem da base cartográfica digital, compreendeu abordagens temáticas, caracterizações e mapeamentos dos componentes ambientais da área de

estudo, compondo o chamado diagnóstico temático, onde foram produzidos mapas de solos, relevo e declividade, uso da terra, incluindo vegetação, rede de drenagem, com análise, seleção e hierarquização dos atributos dos componentes físico-bióticos, levantadas informações litológicas, climáticas, áreas de reserva legal e aspectos socioeconômicos, visando compreender o processo produtivo agrícola e a apropriação dos recursos naturais na área. Os resultados dessas etapas permitiram conhecer, registrar e enumerar as propriedades, atributos, ofertas e restrições ecológicas dos componentes ambientais, subsidiando a análise final da área como um todo.

Em seguida, a partir dos resultados produzidos com o diagnóstico geoambiental efetuou-se a caracterização da oferta e vulnerabilidade ambiental, a compartimentação dos ambientes e identificação inicial de diferentes unidades geoambientais, individualizadas por características intrínsecas próprias. As relações com o tipo de ocupação dos espaços e o grau de degradação dos ecossistemas nessas unidades foram consideradas. Como resultado da conjugação dos dados produzidos, realizou-se uma fase de prognóstico com sugestão de alternativas de usos, permitindo assim, através de problemas potenciais do meio físico, delinear um modelo de intervenção que viabilize o uso sustentável dos recursos naturais, com base na realidade local e considerando as dimensões econômica, social e ambiental do desenvolvimento sustentável.

Para apoiar essas etapas, foram utilizados os mapas temáticos do meio físico produzidos com o diagnóstico e informações agro-sócio-ambientais levantadas e, armazenados na Base de Dados Espaciais (BDE), considerando ainda, as áreas protegidas por legislação específica ou reservas existentes, visando compatibilizar a pressão de uso sobre o ambiente, com os problemas e impactos decorrentes do processo produtivo. A união e análise dos dados gerados nessas etapas, associando o enfoque sistêmico com a interposição e análise temática facilitou o prognóstico final. O uso desta abordagem permitiu a análise e o reconhecimento da realidade ambiental da área, com suas potencialidades e limitações.

Todos os dados foram trabalhados de forma digital e diretamente incorporados a uma base de dados espacial, de maneira a facilitar o alcance dos objetivos propostos e subsidiar o desenvolvimento de outras aplicações ambientais ou de suporte à tomada de decisão. Essas informações foram sobrepostas e interpostas com auxílio do SIG, resultando em cartas derivadas, parciais e sintéticas, nas quais foram identificadas áreas consideradas como prioritárias para o uso e conservação ambiental. Nessa fase, realizaram-se várias interpretações úteis ao planejamento. Os procedimentos técnicos foram multitemáticos valorizando a interpretação e análise temática, baseando-se em atributos hierarquizados e

decisões lógicas. A seguir passou-se a fase de correlações inter e intra-temáticas, para auxiliar nessa fase foram usados além dos SIGs, o programa ERDAS 8.5. Entre as cartas derivadas ou parciais pode-se citar o modelo digital de elevação, mapas de declividade, aptidão agrícola das terras, aptidão agroecológica das terras, suscetibilidade à erosão, interpretação pedo-geotécnica e vulnerabilidade ambiental. Em momento algum procurou-se estabelecer nota para os elementos componentes da paisagem e a análise foi qualitativa ou semi-quantitativa, isso porque não existe uma série histórica de dados da área de estudo que dê respaldo a análise quantitativa, de todos os temas abordados neste trabalho, principalmente dados de perda de solo, de clima, entre outros. As etapas seguidas durante o trabalho são detalhadas abaixo.

3.2.1 - Detalhamento das Atividades

Os trabalhos de gabinete incluindo as atividades de geoprocessamento, compreenderam a análise dos estudos antecedentes disponíveis sobre a área e envolveram análise dos dados geológicos, climáticos, socioeconômicos, topográficos e de vegetação, obtenção de dados básicos, consultas bibliográficas da literatura especializada, aquisição de produtos de sensoriamento remoto; compilação e interpretação do material cartográfico e aerofotográfico básico; elaboração em ambiente SIG, numa etapa inicial da base cartográfica digital e, posteriormente da base de dados espaciais na escala de 1:50.000, delimitação de padrões fisiográficos, confecção de modelos digitais de elevação (MDEs), programação dos serviços de campo, incluindo a indicação dos principais itinerários e as localizações preliminares dos pontos de amostragem, compilação e análise das informações e dados obtidos nos serviços de campo e de laboratório.

Como material cartográfico básico utilizou-se cartas topográficas do IBGE, na escala 1:50.000, com curvas equidistantes de 20m, folhas Quartéis (SF-23-Z-B-III-3), Cordeiro (SF-23-Z-B-III-1), Trajano de Moraes (SF-23-Z-B-III-2), Duas Barras (SF-23-Z-B-II-2) e Casimiro de Abreu (SF-23-Z-B-III-4), fotografias aéreas pancromáticas de 1970 e 2000 na escala 1:20.000, cedidas pelo DRM/RJ, imagens ETM+ Landsat 7, de outubro de 1999, imagens Landsat 5 TM de outubro de 2005, correspondentes a órbita/ponto 216/075 e imagens do sensor ASTER. Os softwares e programas foram disponibilizados pela UFRJ (departamentos de Geologia e Geografia/Lagesolos), sendo utilizados os seguintes softwares: ARCGIS 9.2 e ARCINFO/ESRI versão 8.2, SPRING, versão 5.02, ERDAS IMAGINE versão 8.5, Envi 4.0, simulador de redes neurais JavaNNS - Java Neural Network Simulator, baseado no SNNS - Stuttgart Neural Network Simulator 4.2 Kernel (Zell et al.1996). Executáveis

“funcpow e gerapat” desenvolvidos por Vieira (2000), “project” cedido pela UFV, Photoshop 5.0 da Adobe, IrfanView, Microsoft Office Excell e Word 2000 da Microsoft Corporation.

As cartas topográficas do IBGE em formato vetorial, contendo as feições espaciais sem os atributos alfanuméricos associados às feições vetoriais, foram importadas e unidas no SIG para compor a área de estudo, a seguir foram editadas, extraíndo em formato shapes para a área de interesse os layers de limites, hidrografia, sistema viário, localidades, edificações, pontos cotados, curvas de nível e outros. Numa etapa posterior, colocou-se a topologia nas curvas de nível, efetuou-se os ajustes no posicionamento de curvas que não se fechavam e nos pontos cotados que foram checados, eliminando as informações inconsistentes, e obtendo-se a base cartográfica digital na escala 1:50.000.

Todo este processamento teve por base um projeto na escala 1:50.000, sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), Datum Córrego Alegre, fuso 23S, preparado em ambiente de geoprocessamento, criando um banco de dados no ArcGIS 9.2, de modo a manter uma plataforma única para todas informações cartográficas e dados que foram utilizados, tanto para análises, cruzamentos e geração dos mapas, como para armazenamento e manipulação de dados geocodificados, tendo por base os dados gerados nos levantamentos de campo e as informações contidas no banco de dados.

No campo, com o objetivo de estudar “in loco”, os elementos geobiofísicos componentes da paisagem foram mapeados solos, uso e cobertura das terras, vegetação, esboço e delimitação preliminar de unidades geoambientais, além de ajustes na rede de drenagem e checagem no mapa de declividade (para conferir de forma visual a concordância nas áreas suavizadas da paisagem). Foram coletadas também, informações sobre as áreas de proteção legal, levantados dados sobre a pluviosidade e informações socioeconômicas. A área foi percorrida através de transecções, onde foram feitas coleta de amostras de solos, com a finalidade de auxiliar a classificação pedológica, descrição morfológica de perfis e coleta de perfis trincheiras de solos para caracterizações analíticas, coletados pontos de campo com auxílio de GPSMAP, modelo 76S/GARMIN, observações “in loco”, e registro fotográfico dos detalhes considerados de interesse.

Para o mapeamento tradicional foram coletados 40 perfis completos de solos, 30 perfis extras (horizontes A e B), num total de 300 horizontes analisados, e checados 456 pontos de campo. Na classificação digital por RNAs, além dos 40 perfis e 30 amostras extras foram coletados ainda, 50 amostras de horizontes superficiais e 256 pontos de campo. Foram realizadas também, campanhas de campo específicas para coleta de dados referente ao

mapeamento de uso e cobertura da terra, para comprovação da verdade terrestre, após a classificação digital de imagens de satélites.

Além dos mapeamentos no campo, foram observados e avaliados relevo, declividade, erosão, drenagem interna dos solos, riscos de inundação, pedregosidade (presença superficial ou subsuperficial de calhaus), rochosidade (exposição do substrato rochoso e/ou “bolders”), vegetação original, formas de utilização agrícola e pastoril, transformações na paisagem, uso agrícola e observações referentes ao perfil tecnológico dos agricultores locais, de modo a fornecer um quadro geral da situação atual da área amostrada e o grau de conservação de seus habitats, essas informações subsidiaram o diagnóstico geoambiental.

Os estudos pedológicos foram conduzidos de acordo com os critérios de classificação adotados pela Embrapa e as normas contidas no sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006). As amostras de solos coletadas foram enviadas aos laboratórios da Embrapa-Solos e da UFRJ para realização das análises físicas, químicas e mineralógicas, de acordo com os procedimentos contidos no Manual de Métodos de Análise de Solos (Embrapa, 1997). Com os resultados obtidos foi elaborada a legenda de mapeamento definitiva e a legenda de identificação do mapa de solos, pelo método convencional.

No gabinete efetuou-se a interpretação dos dados analíticos e descritivos dos perfis e amostras extras de solos, interpretações das correlações de campo para cartografia final, elaboração de legendas definitivas, ajustes finais e confecção dos mapas definitivos correspondentes às diferentes fases de trabalho, mais as fases seguidas com o uso dos SIGs, manipulação da BDE, treinamento e validação das RNAs, tabulação de resultados e redação da tese.

Produtos de Sensoriamento Remoto

Para o levantamento do uso e cobertura vegetal da terra, contou-se com as imagens do Landsat 5 TM de outubro de 2005, imagens do sensor ASTER ano de 2000, com resolução espacial de 15m e fotografias aéreas 1:20.000, ano de 1970 e 2000. Para a discriminação dos solos da área com o uso de Rede Neural, foram testadas as imagens do ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) e índices derivados da imagem do sensor ETM+ do LANDSAT 7 de outubro de 1999. Características espectrais dos sensores ETM+ Landsat e ASTER são mostradas no anexo 1.

Primeiramente as imagens foram corrigidas geometricamente com base nas cartas topográficas do IBGE, já colocadas no sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa

de Mercator), Datum Córrego Alegre, fuso 23S. Os softwares empregados neste procedimento foram o ENVI 4 e o ERDAS Imagine. As imagens ETM+/Landsat7 e Landsat5 disponíveis nos sites da UMIACS e INPE estavam no formato geotiff na projeção UTM datum WGS84 e foram transformadas para o *datum* Córrego Alegre, zona 23S. As fotografias aéreas em formato TIF foram georreferenciadas, padronizando 10 pontos por foto e erro máximo aceitável de 10m, ou seja classe A do padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). O PEC planimétrico estabelece para as classes intervalos de 0,5mm (A), 0,8mm (B) e 1mm (C) vezes a escala da carta. Já o PEC altimétrico a variação máxima aceitável deve estar abaixo de 1/5 do valor da escala do mapa.

Processamento digital de imagens - Esta etapa visou o levantamento de uso e cobertura da terra, correspondente a data de obtenção das imagens, incluindo a vegetação, e abrangeu procedimentos que visaram a obtenção de informações da superfície terrestre, contidas nas imagens de satélite da área de estudo. A literatura científica recomenda o uso de imagens do sensor LANDSAT, para aplicações de classificação visual em escalas médias de 1:100.000, com comprometimento visual dos pixels a partir da escala de 1:70.000. Como as imagens do ASTER disponíveis para o estudo continham mais de 20% de nuvens, resolveu-se testar as imagens do Landsat disponíveis no banco de dados.

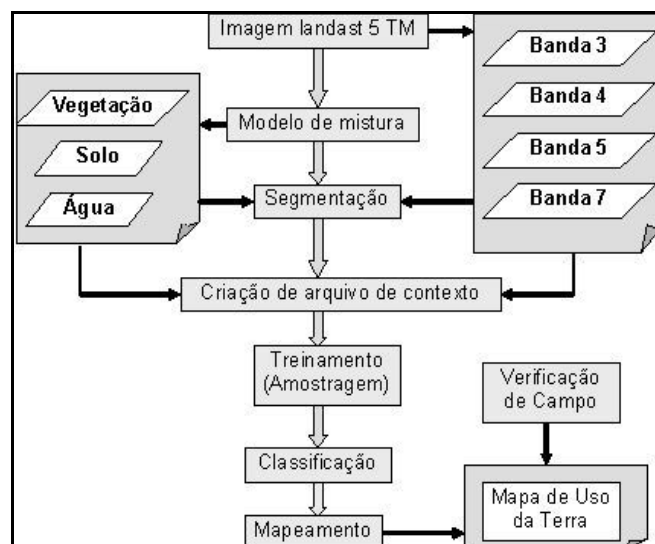
No SPRING o processamento digital de imagem consta de vários procedimentos, serão comentados apenas os que foram utilizados neste trabalho. A segmentação de imagens consiste na extração de objetos relevantes para as aplicações desejadas. Neste processo, divide-se a imagem em regiões homogêneas, entendidas como o conjunto de pixels contíguos que se espalham bidimensionalmente e que apresentam uniformidade. Neste trabalho foi utilizado apenas o processo de segmentação por crescimento de regiões, aplicado às imagens brutas como etapa antecedente à classificação e com o objetivo de diferenciar classes de uso e cobertura da terra. O crescimento de regiões é uma técnica de agrupamento de dados, na qual somente as regiões adjacentes espacialmente podem ser agrupadas (INPE, 2000).

A classificação consiste em associar cada pixel da imagem a uma determinada "classe" de informações temáticas que descrevem um objeto real como vegetação, áreas urbanas, etc. (Crósta, 1992). A classificação é chamada não supervisionada quando não é preciso o conhecimento prévio da região a ser classificada. Nela, o software utilizado decide, com base em regras estatísticas, quais as classes a serem separadas e quais os pixels pertencentes a cada uma. O analista só tem a responsabilidade de rotular as classes estabelecidas e verificar sua veracidade. Na classificação supervisionada, é preciso ter um conhecimento prévio dos

objetos da superfície terrestre a serem classificados e fornecer ao programa amostras de treinamento, definindo "a priori" as distintas classes e as áreas da imagem que as representam.

O processo de segmentação é utilizado inicialmente para separar regiões onde as propriedades espaciais e espectrais irão juntar áreas com a mesma textura. Os classificadores Isepeg e distância de *Battacharya*, são algoritmos de classificação não-supervisionado e supervisionada disponíveis no SPRING para classificar regiões de uma imagem segmentada. Consiste em agrupar regiões a partir de uma medida de similaridade entre elas. Esta medida de similaridade consiste na distância de Mahalanobis entre a classe e as regiões. Uma região pertence a uma determinada classe se sua distância de Mahalanobis for inferior a distância previamente definida por um limiar de aceitação.

O processo seguiu as seguintes etapas: criar imagem segmentada (resultado do processo de segmentação); criar arquivo de contexto (define as bandas que terão parte do processo de classificação por regiões); extração de regiões (neste procedimento o algoritmo extrai as informações estatísticas de cada região, considerando as bandas indicadas no contexto); executar treinamento (é feita uma amostragem das áreas de treinamento para cada classe temática); classificação (escolha do classificador Isepeg ou *Battacharya*); mapeamento para classes (transforma a imagem classificada num mapa temático, nessa opção é possível diferenciar ou agrupar classes). A figura 5 mostra o processo seguido.



Fonte: Baseado em Vines (2003).

Figura 5 - Processo de classificação seguido no SPRING.

Após o mapeamento é possível editar e converter o mapa. Exemplos envolvendo estes processos de classificação podem ser vistos em Moreira et al. (1998); Vences (2003); Duarte et al. (1999 in Narvaes & Santos, 2009). No programa Envi 4.0, a classificação pela distância Mahalanobis é semelhante ao processo de classificação da probabilidade máxima (“Maximum Likelihood Classification”), o método assume que a covariância de todas as classes são iguais, como descrito em Richards (1999).

3.2.2 - Métodos de laboratório

Visando as caracterizações químicas, físicas e mineralógicas as amostras dos perfis de solo coletados foram enviadas aos laboratórios da Embrapa e de Mineralogia de Argilas do Departamento de Geologia do IGEO/UFRJ. As determinações de rotina em levantamentos pedológicos são feitas na terra fina seca ao ar, proveniente do fracionamento subsequente à preparação da amostra (Embrapa, 1979). Os resultados de análises são referidos à terra fina seca a 105°C. A descrição detalhada dos métodos utilizados em análises e dos índices delas derivados para caracterização dos solos está contida no manual de métodos de análise de Solo (Embrapa, 1979).

Análises físicas e índices derivados: Calhaus e cascalhos; terra fina; porosidade total; análise granulométrica (areia, silte e argila); argila natural; argila dispersa em água; grau de floculação; relação silte/argila; densidade real e aparente (uso de cilindros de 50 cm³); Umidade: 1/3 ou 1/10 e 15 atm; cálculo de água disponível. **Análises químicas e índices derivados:** pH em água e cloreto de potássio (KCl) 1N; carbono orgânico; nitrogênio total e relação C/N; fósforo assimilável; complexo sortivo (cálcio e magnésio trocáveis; potássio e sódio trocáveis; valor S (soma de cátions trocáveis): alumínio extraível; acidez extraível (H⁺ + Al⁺⁺⁺); hidrogênio extraível; e valor V% (percentagem de saturação de bases); valor T (capacidade de troca de cátions); percentagem de saturação com Na⁺; percentagem de saturação por Al⁺⁺⁺; ataque sulfúrico apenas em casos considerados necessários, visando mais subsídios para determinação de unidades pedológicas de mapeamento (SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂, Ki e Kr, relação Al₂O₃/Fe₂O₃), carbonatos, sais solúveis e mineralogia das argilas.

Análises mineralógicas - Foram realizadas análises mineralógicas da fração argila por difratometria de raios-X (DRX) de amostras selecionadas de um horizonte de cada perfil de solo representativo da área. A fração argila ($\emptyset < 0,002$ mm) foi separada conforme Embrapa (1997). As amostras foram analisadas em condição “ao natural” e sob os seguintes tratamentos: desferrificação por CBD (citrato-bicarbonato-ditionito de sódio), de acordo com

Mehra e Jackson (1960); saturação com potássio (com aquecimento em diferentes temperaturas) e saturação com magnésio. As lâminas foram preparadas de forma orientada, pelo método do esfregaço. Foram confeccionadas quatro lâminas de cada amostra: uma referente à amostra não tratada (Am.Total); a segunda referente à amostra desferrificada, a terceira referente à amostra desferrificada e saturada com magnésio (Mg), que foi posteriormente solvatada com etileno glicol (MgEG), com leituras executadas em ambas as condições; a quarta referente à amostra desferrificada e saturada com potássio (K), e submetida a tratamento térmico após montagem da lâmina, com aquecimento por duas horas em forno mufla, nas temperaturas de 110° C, 350° C e 550° C, com leituras executadas após cada etapa de aquecimento. Os procedimentos metodológicos referentes aos tratamentos supracitados encontram-se detalhados em Embrapa (1997) e Calderano et. al. (2009).

A identificação dos minerais foi realizada com base nas tabelas do JCPDS, constantes em Berry (1974), além de tabelas e critérios de (Thorez 1976, Brindley e Brown, 1984 *in* Calderano et. al. 2009) e informações obtidas em Fontes (1990) e Resende et al. (2005). É importante destacar que a denominação dos argilominerais identificados se refere a um determinado grupo de minerais, e não a uma espécie isolada.

3.3 - Caracterização e Mapeamentos Temáticos – (Bases temáticas)

No estado do Rio de Janeiro as escalas de maior detalhe e de melhor resolução disponíveis para a área de estudo, com exceção das cartas geológicas de Matos et al. (1980) e Rio de Janeiro/DRM (1982), estão na faixa de 1:250.000 (CPRM 2001). Com as dificuldades em conseguir dados na escala compatível aos objetivos propostos, os mapas temáticos necessários ao estudo, foram gerados no campo, com exceção do mapa geológico, montado a partir das cartas de Matos et al. (1980) e Rio de Janeiro/DRM (1982). As ações de caracterização e mapeamento do meio físico e conhecimento da realidade agroeconômica da área foram:

Modelos Digitais de Elevação - MDEs

O modelo DEM/SRTM alcança precisão cartográfica até a escala 1:100.000 (Santos 2005), em escala de maior detalhe os dados degradam a precisão. Os dados do SRTM3 com células originais de 3 arcos por segundo, sofreu um refinamento e teve sua precisão melhorada. O modelo TOPODATA (Valeriano & Rossetti, 2008), a partir dos dados do SRTM3 com células originais de 3 arcos por segundo, sofreu um refinamento através de krigagem passando para 1 arco por segundo (~30 m). Na época de início da construção da base cartográfica, o modelo topodata ainda estava sendo trabalhado.

A partir das curvas de nível, pontos cotados, hidrografia editada para assegurar que todos os rios estavam fluindo para a foz, mais o limite da área, elaborou-se dois MDEs com resolução de 15 e 30m (mde15 e mde30), pelo interpolador TOPOGRID (Hutchinson, 1989), utilizando o software Arc/Info, que emprega um método de interpolação especificamente projetado para criar modelos digitais do terreno hidrologicamente consistentes (ESRI, 1997). Para a geração do MDE efetuou-se ajustes topológicos e direcionais da hidrografia, das curvas de nível e dos pontos cotados. Com auxílio do software a rede hidrográfica foi editada, obtendo-se uma rede de arcos simples, conectados e orientados na direção do escoamento. Da mesma forma, as curvas de nível foram ajustadas à hidrografia para assegurar sua coerência.

A interpolação para criação do MDE, está disponível também no ArcMAP, no módulo 3D_Analyst opção “TOPO to RASTER”, método baseado no programa desenvolvido por Hutchinson (1989), denominado ANUDEM (Australian National University Digital Elevation Model), desenhado para criar modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes (ESRI, 1997). Antes de realizar a interpolação para criação do MDE, é necessário efetuar um pré-processamento dos dados de entrada, relativos à hidrografia e à altimetria. As feições vetoriais associadas à hidrografia precisam ser simplificadas e orientadas no sentido do escoamento. A simplificação consiste basicamente na eliminação de pequenos lagos ou represas, e na criação de um arco simples para os rios de margem dupla, através da criação de uma linha central do polígono (ESRI, 1997). A correção da orientação do arco no sentido do escoamento consiste, quando necessário, na inversão do sentido do arco. Com relação aos dados primários de altimetria, é necessário realizar um ajuste gráfico da altimetria (curvas de nível) em relação à rede de drenagem, bem como a atribuição de valor das cotas altimétricas às feições lineares.

Foi realizada uma avaliação da qualidade dos MDEs em termos da representação dos aspectos da superfície, conforme sugerido por Hutchinson & Gallant (2000), Wise (2000), Valeriano (2005) e Chagas et al. (2008), que são: 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 das bacias de contribuição derivadas. De acordo com Hutchinson & Gallant (2000), as curvas de nível derivadas de um MDE fornecem uma avaliação sensitiva sobre a estrutura do terreno e é bastante útil devido a sua sensibilidade aos erros de elevação na fonte de dados. Deste modo, foi realizada uma comparação visual entre as curvas de nível derivadas a partir dos MDEs com as curvas de nível originais. As curvas de nível derivadas

dos MDE's com células de 15 e 30m de resolução foram aquelas que mais se aproximaram dos dados primários (curvas de nível originais), criando poucos contornos diferentes.

Segundo Hutchinson & Gallant (2000), quanto mais fina é a resolução do MDE, maior é a correspondência entre as curvas de nível originais e as geradas pelo MDE, porém o número absoluto de depressões espúrias geradas também aumenta. Segundo Fernandes & Menezes (2005), o método baseado na triangulação (TIN), para geração de MDE é bastante eficiente em áreas de relevo acidentado. No entanto, o módulo Topogrid, que utiliza a hidrografia e outros corpos de água como elementos de descontinuidade e suavização, possibilita um sensível aumento da precisão dos modelos gerados (Fernandes & Menezes, 2005).

Numa etapa de pós-processamento procedeu-se a limpeza das depressões espúrias contidas nos MDEs. O valor absoluto do número de depressões encontradas pela utilização do comando SINK, aplicado a cada um dos modelos, foi respectivamente de 348 e 456 (MDEs de 15 e 30). O processamento para a remoção das depressões espúrias (comando "Fill") foi feito iterativamente, pois a cada remoção, novas depressões são formadas e necessitam de outro processamento. Assim, o número de depressões vai sendo minimizado até chegar a zero, quando o modelo é dito hidrologicamente correto e pode servir de base para a geração dos temas derivados. Foram necessárias apenas quatro iterações para eliminar as depressões espúrias, após o preenchimento, quarta iteração, não mais gerou outras depressões. Esses procedimentos foram feitos no módulo Spatial Analyst do ArcGIS 9.2. A rede de drenagem foi derivada para cada MDE, após a remoção das depressões espúrias, usando as funções *FlowDirection* e *FlowAccumulation* no módulo Spatial Analyst do ArcGIS 9.2.

O objetivo é a obter de um modelo que contenha os detalhes topográficos e preserve as características do terreno. O Mde com resolução de 15m foi usado nas etapas de mapeamentos de campo e caracterização do relevo. O Mde de 30m foi produzido com a finalidade de predição das classes de solos por rede neural artificial. A partir dos MDEs corrigidos e isentos de depressões espúrias, para as resoluções definidas em 15 e 30m, foi obtida a grade com a declividade em porcentagem e em graus e outros atributos topográficos de interesse.

Uso atual e cobertura das terras

O mapa de uso e cobertura das terras foi produzido de três formas, a partir da análise e interpretação de produtos de sensoriamento remoto (imagens de satélite e fotografias aéreas), com auxílio dos programas SPRING e ENVI e, trabalho de campo com apoio de equipamento de GPSMAP, modelo 76S / GARMIN, exatidão informada (RMS) 95% típico, equivalente a

15 metros, onde foram coletadas informações e discriminadas as diferentes classes de uso e cobertura da terra.

Com auxílio do SPRING, a partir da imagem Landsat 5 ano de 2005, bandas (2, 3, 4, 5 e 7), gerou o mapa de uso por classificação supervisionada e não supervisionada. Na classificação não supervisionada utilizou o classificador Ioseg. O tipo de classificação utilizada leva em conta a agregação de pixel, o qual se baseia nas características estatísticas de uma região, obtidas por uma segmentação anterior. Num primeiro momento, as classes rotuladas foram floresta, pastagem, cultivos, solo exposto, água e área urbana. A segmentação consiste na extração de objetos relevantes para as aplicações desejadas. O método é descrito em Duarte et al. (1999 *in* Narvaes & Santos, 2009).

No processo de classificação supervisionada apoiado em trabalhos de campo, o algoritmo para comparar as regiões da imagem com as classes que foram discriminadas no Spring, foi a distância de Battacharya, onde cada região é incluída na classe temática com a qual apresenta menor distância de Battacharya. As classes consideradas foram floresta, pastagem, cultivos, solo exposto, água, área urbana, afloramento de rocha e mata com afloramento. Tanto na geração quanto na edição final deste mapa é imprescindível a associação de atividades de campo prévias e de checagem, para ajustes e correções posteriores no mapa gerado.

Com auxílio do programa ENVI 4.0 a classificação supervisionada de uso e cobertura das terras, foi feita com as três bandas SWIR do sensor ASTER. O algoritmo escolhido foi a Classificação de Probabilidade Máxima “Maximum Likelihood Classification”. A classificação de probabilidade máxima assume que as estatísticas para cada classe, em cada banda, estão normalmente distribuídas e calcula a probabilidade que um dado pixel pertence a uma classe específica. A menos que se selecione um limite de probabilidade, todos os pixels são tratados de forma igual. A cada pixel é atribuído a classe que tem a probabilidade mais alta (isto é, a probabilidade máxima). Se a probabilidade mais alta é menor que o limite que foi especificado, o pixel permanece não classificado. O ENVI implementa a classificação de probabilidade máxima calculando funções discriminantes para cada pixel na imagem, como descrito em Richards (1999). no anexo 1, que também mostra as características espectrais dos sensores Aster e Landsat utilizadas neste trabalho.

A terceira forma foi através da aplicação conjunta da classificação supervisionada com suporte de fotografias aéreas 1:20.000 ano 1970 e 2000 e, classificação visual, com auxílio de trabalho de campo, onde foram coletadas informações sobre as diferentes classes de uso e

cobertura da terra, como auxílio na discriminação final. Os pontos checados no campo foram transferidos e sobrepostos às fotografias aéreas, auxiliando na interpretação das diferentes classes. Nesse mapa as classes discriminadas foram floresta, afloramentos de rocha, pastagem, cultivos, água, área urbana e mata com afloramentos. A carta de vegetação natural foi atualizada com informações de campo e auxílio de fotointerpretação e, delimitada junto com o mapa de uso e cobertura.

Mapa Litológico

Foram utilizados os estudos geológicos de Matos et al. (1980), folhas Cordeiro e Quartéis, mapas e relatório, referentes ao projeto faixa Calcária Cordeiro-Cantagalo, folhas Duas Barras e Trajano de Moraes, do projeto carta geológica do Estado do Rio de Janeiro (RJ-DRM 1982), todas na escala 1:50.000. As folhas Cordeiro, Quartéis, Duas Barras e Trajano de Moraes, adquiridas em meio digital, arquivos preto e branco, formato Tiff, foram georreferenciadas e cortadas com auxílio de uma máscara, extraindo a área de abrangência deste estudo. A seguir foi editado no software ArcGis Map 9.2, os arquivos shapes, referentes aos polígonos com as informações litológicas e os pontos de ocorrências, conforme a legenda constante nas cartas fornecidas. Estes arquivos foram sobrepostos as informações da rede de drenagem, de áreas urbanas e solos de várzeas, advindas da BDE produzida, resultando em um mapa com informações atualizadas das áreas urbanas e corpos d'água.

Dados climáticos

Encontram-se localizadas na área de estudo cinco estações meteorológicas administradas pela ANA e operadas pela CPRM, com monitoramento quase que contínuo dos valores de precipitações, já os valores de temperatura são inexistentes. Todas as estações ficam na bacia hidrográfica do rio Grande, uma na sub-bacia do rio Paraíba do Sul. Os dados foram obtidos na Agência Nacional de Água (ANA).

Relevo – O relevo da área foi estudado mediante os componentes do Mde15 e feições derivadas, declividade, hipsometria, curvatura das vertentes, direção do fluxo e fluxo acumulado (*FlowDirection* e *FlowAccumulation*), gerados a partir do MDE com as informações constantes na base cartográfica.

Informações Socioeconômicas: O comportamento tecnológico e organizacional dos produtores rurais teve por base a caracterização socioeconômica, a partir de dados e informações cedidas pela (Empresa de extensão rural do estado do Rio de Janeiro - Emater escritórios locais de Nova Friburgo e Bom Jardim) e TCE/RJ (2007), com o principal intuito

de inferir o grau de modernização, tendências a mudanças, predisposição a novas tecnologias, o grau de percepção e o nível de conscientização e preocupação com as questões ambientais.

Áreas de Proteção Legal: Foi observado de acordo com a legislação ambiental vigente, se a área de estudo não se encontra assinalada em leis oficiais, sob a tutela federal, estadual ou dos municípios. Essas informações foram conseguidas junto ao CONAMA (2003), MMA, INEIA/RJ, Rio de Janeiro (1999) e prefeituras municipais, através da Lei Orgânica dos municípios inseridos na área de estudo.

Estudos pedológicos

O levantamento de solos da área teve a finalidade de identificar os diferentes solos que lá ocorrem, compreendendo a verificação da distribuição e delimitação cartográfica das áreas por eles ocupadas, paralelamente com a investigação das características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, visando o conhecimento de suas potencialidades e fornecer bases para o planejamento geoambiental. Os solos foram mapeados pelo método tradicional e classificação digital com suporte de rede neural. Para ambos os métodos foram coletados 40 perfis completos de solos e 30 perfis extras (horizontes A e B), num total de 300 horizontes analisados. Para o mapeamento tradicional foram checados 456 pontos de campo e para o mapeamento digital foram coletados ainda, 50 amostras de horizontes superficiais. Os métodos são comentados a seguir.

A automatização dos processos de mapeamento do solo, com utilização de simuladores de redes neurais, sensores remotos e sistemas de tratamento de imagens, é importante para agilizar o processo e diminuir os custos de aquisição desta informação, considerada de importância para subsidiar ações de planejamento e desenvolvimento por parte dos órgãos de governo.

Mapa de Solos: (Método convencional)

A prospecção e identificação de solos pelo método tradicional compreende a coleta de amostras de solo para posterior análise em laboratório, mapeamento com apoio nos produtos de sensoriamento remoto, modelo digital de elevação, declividade, curvas de nível e observação das características das terras levando-se em conta, relevo, declividade, erosão, drenagem, pedregosidade, rochosidade e vegetação original correlacionando-os sempre com a paisagem. O mapeamento foi executado segundo o método do exame intensivo, com intenso trabalho de campo usando-se para este fim, todos os acessos existentes a veículos e caminhamento com observações a pequenos intervalos, que permitiram visualizar a sequência

de distribuição dos solos na paisagem e estabelecer a legenda preliminar.

As observações das características morfológicas dos solos no campo e a coleta de amostras foram feitas com trado ou em cortes de estrada nas vias que cortam a área de trabalho e em trincheiras, correlacionando sempre às classes de solos identificadas “in loco” com as demais características ambientais pertinentes. Para a classificação dos solos foram considerados a profundidade, tipos de horizontes, textura, tipo de argila, níveis de bases trocáveis, drenagem interna e externa, presença de cascalho, álcali-salinidade, proporção de alumínio na CTC efetiva, ocorrência de camadas impeditivas, características intermediárias das classes de solos, mais as fases de unidade de mapeamento utilizadas em levantamento de solo (Embrapa 1979).

Considerando as características morfológicas dos solos e os aspectos fisiográficos do terreno e em função da grande variação espacial a pequenas distâncias em muitos dos atributos dos solos, foram checados vários pontos adicionais no campo, em complemento aos perfis coletados. Os pontos de amostragem foram localizados de forma a representar as várias classes e tipos de solos que ocorrem na área, buscando obter uma certa representatividade das diferentes situações fisiográficas, além de sua distribuição geográfica. Os perfis escolhidos encontram-se em pontos distintos da paisagem, não constituindo topossequências. Os pontos checados foram marcados com o GPS e posteriormente transferidos para a base digital. Com os resultados das análises das amostras enviadas ao laboratório, foi elaborada a legenda de identificação dos solos. As determinações analíticas seguiram o manual de métodos de análise de solo (Embrapa, 1997). As descrições morfológicas e classificação dos perfis de solo foram feitas de acordo com (Embrapa, 2006).

Diagnóstico

Para o diagnóstico, além dos mapeamentos no campo, foram considerados parâmetros referentes ao relevo, declividade, erosão, drenagem, pedregosidade, rochosidade, vegetação original, fertilidade aparente, formas de utilização agrícola e pastoril, transformações na paisagem, uso agrícola, solos, observações referentes a geologia, clima, fragilidade dos ambientes, riscos de inundação, características da vegetação e cobertura dos solos, perfil tecnológico dos agricultores locais e áreas de proteção legal, sendo que os detalhes julgados de interesse foram registrados fotograficamente. Os trabalhos de campo foram orientados para verificação da diversidade dos aspectos físicos, das atividades antrópicas e dos problemas de degradação e conflitos relacionados ao uso dos recursos naturais. Dessa forma, os elementos geo-biofísicos componentes da paisagem, foram mapeados, caracterizados, analisados e associados com informações das ações humanas que se manifestam nesses ecossistemas,

constituindo assim, no diagnóstico geoambiental.

3.4 – Predição das Classes de Solos com Rede Neural Artificial (RNA)

Vários métodos de análise de dados podem ser aplicados no desenvolvimento de modelos para predição espacial de propriedades ou classes de solos usando correlação ambiental. Zhu (2000), considera o uso de variáveis ambientais adequadas mais importante do que a própria escolha do método de predição. Na equação de Jenny (1941), o solo é produto da influência dos seguintes fatores $S = f (Cl, O, R, P, T...)$, onde S representa o solo; Cl o clima; O os organismos; R o relevo; P é o material parental (de origem); e T representa o tempo. As condições cl , o , r e t são as variáveis independentes que definem o sistema. Os pontos representam fatores adicionais passíveis de serem incluídos. O clima e a vegetação exercem maior controle sobre grandes áreas e o fator tempo, devido à dificuldade ou impossibilidade para derivar essa informação e por estar implícita em outros fatores de formação do solo, a equação pode ser simplificada.

Geração das Variáveis Ambientais

O objetivo da seleção dessas variáveis é fundamentado no conceito solo-paisagem desenvolvido por Jenny (1941). Nem todas as variáveis aqui utilizadas estão relacionadas com os fatores de formação dos solos, algumas estão relacionadas com os processos pedogenéticos que são reações de natureza química, física ou biológica, que conferem características próprias ao solum. Para facilitar a manipulação dos dados para a classificação dos solos, padronizou-se uma área máscara retangular, com área equivalente a aproximadamente 78.929,97 ha, que abrange além dos limites territoriais do município de Bom Jardim, parte dos municípios de Cordeiro, Trajano de Moraes, Macuco, Duas Barras, Casimiro de Abreu e Nova Friburgo. A partir desse padrão foram geradas as variáveis ambientais preditoras das classes de solos, que incluem os atributos do terreno, dados de sensores remotos e a informação da geologia. Assim, as variáveis refletem os principais parâmetros que interferem nos processos pedogenéticos e afetam diretamente os processos de formação do solo na área de estudo, e com maior possibilidade de resposta na predição e distribuição das classes de solos que ocorrem, foram derivados do modelo digital de elevação elaborado com tamanho de célula definido em 30m (Mde 30).

Os atributos do terreno produzidos para esse fim foram: elevação, declividade, aspecto, curvatura, plano de curvatura, perfil de curvatura, índice topográfico de umidade (CTI), radiação solar e fator LS, que foram associadas com os dados de sensores remotos e serviram

para testar os produtos dos sensores ETM+ do LANDSAT7 e ASTER. Para a derivação destes atributos foi utilizado o ArcGis 9.2 e o módulo GRID do ARC/INFO (ESRI, 1997). No caso do Aster foram utilizadas as bandas (SWIR e VNIR) e incluídas 3 outras variáveis (distância euclidiana; direção do fluxo e acumulação do fluxo), no caso do Landsat7 utilizou-se os índices derivados, comentados mais adiante.

Para gerar a estratificação digital da área, em cada segmento da paisagem, é necessário associar todos os temas geometricamente, como se fossem as bandas de uma imagem. Isto foi feito no Erdas Imagine 8.5, pela opção “Layer Stack” no menu “Image”. Assim, foram feitas imagens combinando todos os temas envolvidos no trabalho, que serviu tanto para obter o padrão geomórfico, quanto para coletar as amostras que deram entrada no simulador de redes neurais, incluindo num momento posterior o grid de geologia nas imagens combinadas. A escolha inicial das variáveis ambientais utilizadas para auxiliar na discriminação das classes de solos e fornecer os dados de entrada na rede neural, tiveram por base os estudos de Moore et al. (1991 e 1993) e na literatura consultada.

Atributos topográficos primários como a elevação, declividade, aspecto, curvatura, plano e perfil de curvatura, são derivados diretamente do (MDE), os secundários incluem conforme (Moore et al. 1993), índice de umidade ou índice CTI, de transporte de sedimentos e outros.

Modelo Digital de Elevação (MDE): Gerado a partir de dados primários de elevação, de drenagem e limite, por interpolação, resultando numa grade onde as células estão associadas a um valor que representa a elevação local.

Declividade: Expressa em porcentagem ou em graus, identifica a taxa máxima de mudança no valor de uma célula em relação às células vizinhas. O cálculo da declividade é feita sobre um plano com valores Z (altitude) com 3 x 3 células vizinhas a célula central, que terá sua declividade calculada, conforme (ESRI, 1996 e ESRI, 1997).

Aspecto: Identifica a direção da taxa máxima de mudança no valor Z para cada célula central em relação às suas vizinhas, num plano de 3 x 3 células. É expresso em graus positivos de 0 a 360, medidos a partir do Norte no sentido horário. O aspecto pode ser entendido como a direção da declividade (ESRI, 1996 e ESRI, 1997).

Superfícies de curvatura: Calculada a partir de uma grade de altitude para cada célula central, numa vizinhança de 3x3 células. Um valor positivo da curvatura significa que a superfície é convexa naquela célula. Um valor negativo identifica uma superfície côncava. Um valor de zero indica uma superfície plana. A superfície de curvatura é a segunda derivada

de um modelo digital de elevação. Em áreas de relevo forte ou montanhoso os valores oscilam entre - 4 e 4 (ESRI, 1996 e ESRI, 1997).

Perfil e plano de curvatura: O processamento para gerar a superfície de curvatura, fornece também como resultado duas grades possíveis, representando o perfil e o plano de curvatura. Em áreas de relevo forte ou montanhoso os valores são semelhantes aos das superfícies de curvatura (ESRI, 1996 e ESRI, 1997).

Sentido do escoamento superficial: Calculado a partir do MDE, é o sentido do escoamento ou fluxo de cada célula no sentido da maior declividade para uma das suas oito células vizinhas. Gera uma grade com valores inteiros que variam de 1 a 255, com os valores de cada direção a partir do centro da célula. O sentido do fluxo é determinado pela direção de maior declive a partir de uma dada célula. Ela é calculada como: Declive = mudança no valor Z / distância * 100. A distância é determinada entre os centros de cada célula (ESRI, 1996 e ESRI, 1997).

Escoamento superficial acumulado: Consiste na geração de uma grade, a partir da grade do sentido do escoamento (fluxo) superficial, com o escoamento superficial acumulado para cada célula, através do somatório do peso de todas as células que fluem em direção a uma determinada célula. Uma célula é considerada como tendo uma direção de fluxo indefinido se o valor na grade de sentido do fluxo for diferente dos valores atribuídos às 8 possíveis direções padronizadas (ESRI, 1996 e ESRI, 1997). O fluxo acumulado é baseado no número de células que fluem para cada célula da grade de saída. O valor da célula que está sendo processada não é considerado para o fluxo acumulado. Este método de derivação de escoamento superficial acumulado a partir de um modelo digital de elevação é apresentado por Jenson & Domingue (1988 in Carvalho Júnior, 2005).

O fator topográfico LS é constituído por duas variáveis do relevo que modificam a ação erosiva exercida pela água sobre os solos o comprimento das encostas e a declividade das vertentes. Conforme Wischmeier e Smith (1978), tanto o comprimento do declive como seu gradiente afetam a intensidade de erosão pela água. Estes dois efeitos têm sido pesquisados separadamente e são representados na equação de perdas de solo por L e S, respectivamente, onde: L - fator comprimento do declive: relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25m para o mesmo solo e grau de declive; S - fator grau de declive: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa. No entanto, para aplicação prática, é mais conveniente considerá-los conjuntamente como fator topográfico LS.

Existe duas abordagens para calcular o fator Ls, ambas incorporadas ao SIG, uma usa a declividade e o comprimento de rampa e outra que utiliza o acúmulo de fluxo em uma área de contribuição na rede de drenagem. Gerado por linha de comando na calculadora do raster a partir das grades do sentido do fluxo superficial e escoamento superficial acumulado (flowdirection e flowaccumulation, ESRI, 1996).

Radiação Solar: Calculada no ArcGis, opção Spatial Analyst Tools > radiação solar > radiação solar área. As entradas são os rasters, mde, declividade e aspecto e o modelo irá produzir rasters de duração, radiação difusa, radiação direta e insolação em WH m², (difusa + direta) para um período de tempo definido com várias opções de saídas. Este foi o método utilizado neste estudo, que usa o modelo geométrico da radiação solar e equações desenvolvidas por Fu & Rich (2002).

A declividade é definida como sendo um plano tangente a superfície, expresso como a mudança de elevação sobre certa distância, representada no formato digital na resolução de uma grade regular (Burrough, 1986). A declividade é considerada um dos mais importantes atributos topográficos primários que controlam os processos pedogenéticos, segundo Gallant e Wilson (2000) ela afeta diretamente a velocidade do fluxo superficial e subsuperficial de água e conseqüentemente, o teor de água no solo, o potencial de erosão/deposição, entres outros processos importantes na formação dos solos.

Plano de curvatura ou (curvatura horizontal) se refere à forma da vertente, analisada em plano, podendo ser (*convergente, Divergent e planar*). O plano de curvatura se refere ao caráter divergente ou convergente dos fluxos de matéria e energia nas vertentes, em projeção horizontal. As áreas convergentes representam os vales e as divergentes os interflúvios.

O perfil de curvatura (ou curvatura vertical) se refere à forma da vertente, analisada em perfil, podendo ser (*convexa, côncava ou retilínea*). O perfil de curvatura ou (curvatura vertical) esta relacionada aos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície e subsuperfície, proporcionados pela gravidade, desempenhando importante papel sobre o balanço hídrico e os processos de pedogênese (Valeriano&Carvalho júnior, 2003). Eles representam as formas do relevo, sendo importantes atributos na distinção de unidades geomorfológicas.

As formas de perfil e plano de curvatura de uma encosta pode influenciar grandemente a distribuição lateral dos processos pedológicos, hidrológicos e geomórficos e, por conseguinte, os solos que resultam das interações entre estes processos (Pennock et al. 1987). De acordo

com Hall & Olson (1991), a curvatura da encosta (côncava ou convexa) modifica a força erosiva do fluxo superficial de água e influencia o caminho do movimento desta através do solo. Desta forma, os solos tendem a se tornarem saturados e a infiltração a ocorrer nas partes inferiores da encosta e nas posições elevadas onde a encosta é côncava. Por sua vez, nas encostas convexas, onde o fluxo superficial de água é divergente (Gallant & Wilson, 2000), a força erosiva da água é menor do que nas encostas côncavas, tornando a remoção do solo pela erosão menos expressiva. A curvatura convexa ou côncava determina, na área estudada, o maior ou menor grau de evolução dos solos. Essa influência, segundo Chagas (2006), tem sido relacionada, principalmente, ao controle que as formas côncavas e convexas exercem sobre a distribuição de águas e materiais solúveis das partes mais elevadas para as mais baixas.

A radiação solar é fonte primária para processos físicos e biológicos que ocorrem no planeta, para Resende (1988) a radiação recebida por uma superfície devido aos diferentes declives e exposições e latitudes muito influenciam no pedoclima e por consequência nas características do solo.

A elevação apresenta a distribuição das classes de altitudes, ou dos patamares hipsométricos, em intervalos verticais equidistantes. As amplitudes de elevação local variam de 480 a 1620m, com média de 1050m, o que é uma grande amplitude de cotas altimétricas. A distribuição dos solos na paisagem em áreas de relevo movimentado reflete a influência de vários fatores de formação. A topografia, por modificar o fluxo de água e os processos de redistribuição de material no terreno, controlando esta distribuição. Muitas das diferenças nos solos devido à topografia estão relacionadas com alguma combinação entre condições microclimáticas, pedogênese e processos geológicos superficiais (Birkeland, 1984). Embora os organismos tenham um papel importante na formação dos solos, nenhuma estimativa direta das condições locais da vegetação foi realizada. Entretanto, dados da vegetação local foram aproximados através da utilização do índice de vegetação (índice de vegetação da diferença normalizada - ndvi) derivado de uma imagem do sensor ETM+ do LANDSAT 7, obtida em agosto de 1999. Os fatores climáticos, igualmente importantes no processo de formação dos solos, também não foram utilizados diretamente, devido à falta de informações climáticas detalhadas na área de estudo, mas as diferenças microclimáticas na área são evidentes e constatadas nas amplitudes dos totais pluviométricos incidentes nas diferentes estações pluviométrica e variações nos atributos topográficos da elevação.

Índice CTI: O índice topográfico combinado ou índice topográfico de umidade é definido

como uma função da declividade e da área de contribuição por unidade de largura ortogonal à direção do fluxo. O índice é segundo Moore et al. (1991), usado para caracterizar a distribuição espacial de zonas de saturação superficial e conteúdo de água nas paisagens. Sua aplicação é para a separação dos solos com caráter hidromórfico, que ocorrem em relevo plano, de outras classes de solos que ocorrem em áreas planas e suave onduladas.

Diversos índices de sensores remotos têm sido desenvolvidos para estudos qualitativos e quantitativos da vegetação usando medidas espectrais remotas (Bannari et al.1995). Em sentido geral, um índice extraído de uma imagem expressa a relação de reflectância entre duas faixas selecionadas e é muito útil para quantificar certas propriedades da superfície terrestre (Sabins, 1997). Os índices derivados da imagem do sensor LANDSAT 7, utilizados como variáveis adicionais para auxiliar na discriminação dos solos com o uso da RNA foram: ndvi, iron-oxid e clay minerals. As bandas do LANDSAT 7, originalmente com resolução espacial de 28,5m, foram reamostradas pelo método do vizinho mais próximo, para uma resolução espacial de 30m, o mesmo procedimento foi aplicado à imagem do sensor ASTER que foi combinada em nove bandas (SWIR, exceto a banda3b, mais bandas do VINIR). O software empregado nestes procedimentos foi o ERDAS Imagine, versão 8.5.

NDVI - índice de vegetação por diferença normalizada (Normalized Difference Vegetation Index), para Campbell (1996), os índices de vegetação são medidas quantitativas, baseadas nos valores de níveis de cinza (reflectância), que tentam medir a biomassa (abundância) ou o vigor da vegetação. Usualmente, são formados a partir da combinação de vários valores espectrais que são somados, divididos ou multiplicados de modo a produzir um único valor que indica a quantidade ou vigor da vegetação dentro de um pixel (Campbell, 1996). A vegetação sadia possui uma resposta característica nas regiões do espectro eletromagnético relativas ao vermelho e ao infravermelho próximo. A absorção na faixa do vermelho (RED) pela clorofila e a forte reflexão na faixa do infravermelho (IR) pelo tecido mesófilo ou parênquima clorofiliano assegura que os valores da radiância no vermelho e no infravermelho próximo (NIR) sejam bem diferentes e que a proporção NIR/RED seja alta. Superfícies sem cobertura vegetal, incluindo corpos d'água, elementos construídos, solo exposto e vegetação morta ou estressada, não exibirão uma resposta espectral específica e as proporções NIR/RED serão menores (Campbell, 1996). O índice de vegetação não possui relação direta com a formação dos solos mas muitas das características da vegetação são influenciadas pelas características dos solos e vice e versa. O NDVI é obtido pela razão entre a diferença e soma da reflectância na região do infravermelho próximo (IVP) e a reflectância na região do

vermelho (V), onde:

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (1)$$

onde *IVP* = infravermelho próximo e *V* = vermelho.

Alguns minerais de argila como a caulinita, ilita e esmectita, tem alta reflectância na faixa 5 e baixa reflectância (inclusive reflectância mínima) na faixa 7 das imagens TM Landsat (Sabins, 1997). Deste modo, a relação 5/7 da imagem, ou índice de minerais de argila (“clay minerals”), é útil para auxiliar na distinção de solos com características físicas e mineralógicas diferentes e solos de áreas de rochas inalteradas. Esse índice pode ser usado também para contrastar áreas vegetadas e não vegetadas. Vegetação em fase de crescimento tem baixa reflectância na faixa 7 quando comparada a da faixa 5 assim, superfícies fortemente vegetadas apresentam relações para o índice mais altas que superfícies não vegetadas (Sabins 1997). O índice de minerais de argila foi obtido pela divisão da banda 5 (1,55 - 1,75 µm) pela banda 7 (2,08 - 2,35 µm).

O índice “iron oxide” realça a variação da composição mineralógica do solo (Sabins, 1997). Minerais de ferro como goethita e hematita têm baixos valores de reflectância na banda 1 (azul) e valores altos na banda 3 (vermelho) do LANDSAT 7, conseqüentemente, os valores da relação entre as bandas 3 e 1 serão diferenciados (Sabins, 1997). O índice “iron oxide” foi obtido pela divisão da banda 3 (0,63 - 0,69 µm) pela banda 1 (0,45 - 0,52 µm). Esses índices podem ser usados para descobrir mudanças na textura dos solos, estrutura, e cor que também podem estar ligadas às atividades antrópicas, como degradação de ecossistema, erosão, desertificação etc. Quando usados em conjunto com *NDVI* podem ser úteis para distinguir áreas com vegetação em crescimento e outras características da paisagem ou padrões de uso da terra (Sabins, 1997).

O índice topográfico combinado ou índice de umidade (CTI) é definido como uma função da declividade e da área de contribuição por unidade de largura ortogonal à direção do fluxo. O índice é usado para caracterizar a distribuição espacial de zonas de saturação superficial e conteúdo de água nas paisagens, foi desenvolvido para ser utilizado em estudo de catenas em áreas declivosas, em áreas planas os valores de acumulação serão sempre muito elevados e neste caso não será uma variável confiável. Moore et al. (1993) verificaram, em estudo realizado em uma topossequência no Colorado, que o índice de umidade correlacionou-se altamente com muitos dos atributos dos solos medidos, tais como, espessura do horizonte A,

pH, teor de matéria orgânica, teor de fósforo extraível e teor de silte e areia. O índice topográfico combinado é obtido conforme apresentado na equação 2:

$$cti = \ln\left(\frac{A_s}{\tan \beta}\right) \quad (2)$$

Onde, A_s é a área de contribuição (fluxo acumulado + 1) tamanho da célula do grid em m^2 e β é a declividade expressa em radianos. Na área de estudo os resultados obtidos para este índice são correlacionáveis aos valores encontrados por Moore et al.(1993); Chagas (2006) e Sirtoli (2008), os valores elevados se associam às áreas de relevo plano, áreas de várzeas ou áreas côncavas, que favorecem ao acúmulo de água no solo.

3.4.1 - Aplicação de Redes Neurais

Utilizou-se o simulador de redes neurais “Java Neural Network Simulator” (JavaNNS, 2001) desenvolvido no Instituto Wilhelm-Schickard para Ciência da Computação (WSI) em Tübingen (Alemanha). Este simulador é baseado no Stuttgart Neural Network Simulator 4.2 Kernel (Zell et al. 1996), com uma nova interface gráfica. É um programa livre e roda em várias plataformas operacionais, inclusive o Windows. O programa permite implementar vários modelos de redes neurais, criar e editar arquiteturas das redes de forma rápida e acompanhar a evolução do erro ao longo do processo de treinamento e validação. Possibilita também, executar um ciclo de validação a cada n ciclos de treinamento (ZELL et al. 1995).

O algoritmo de aprendizado utilizado foi o “backpropagation”. O processo de aprendizado foi a classificação supervisionada, o que significa que para cada padrão de entrada na rede existe um padrão de saída estabelecido. A rede dimensionada foi treinada com amostras representativas dos solos da área de estudo, de modo a discriminar as classes de saída estabelecidas, que foram as classes de solos dominantes. Segundo Zell et al. (1995), uma das maiores vantagens das redes neurais é sua capacidade de generalização, isto é, uma rede treinada pode classificar dados desconhecidos, sem conhecimento prévio de todo o conjunto. Para uma melhor generalização os autores recomendam dividir os dados em conjuntos de treinamento (usado para o aprendizado da rede neural), de validação (usado para estimar o desempenho da rede sobre o conjunto de padrões que não foram treinados durante a aprendizagem) e de teste (para checar o desempenho global da rede).

Foram testados, num primeiro momento dois casos distintos de variáveis. O primeiro combinando doze atributos do terreno (Elevação; Declividade; Aspecto; Curvatura; Plano de curvatura; Perfil de curvatura; Distância euclidiana; Direção do fluxo; Acumulação do fluxo;

Radiação solar; Cti; Fator LS), mais nove bandas do sensor ASTER, totalizando 21 variáveis discriminantes na camada de entrada e 17 classes de saída, com base nas unidades de mapeamento. O mesmo conjunto do Aster foi montado novamente com 12 classes de saída, com base nas classes de solos e passaram por vários ciclos de treinamento. O segundo caso contendo 8 variáveis discriminantes na camada de entrada, sendo cinco derivadas de atributos do terreno e três índices derivados das imagens do sensor ETM+ do LANDSAT 7, neste caso as variáveis escolhidas foram, elevação, declividade, plano de curvatura, cti, fator LS, ndvi, iron oxid e clay minerals, e 9 classes de saída a serem classificadas, com base nas classes de solos dominantes. As amostras de treinamento e validação nestes casos foram, 250 de treinamento e 150 de validação para classe de saída, totalizando no caso do Landsat, 2.500 e 1.350 amostras respectivamente.

Os resultados destes treinamentos iniciais foram avaliados quanto ao tamanho dos arquivos de treinamento, quantidade de variáveis utilizadas na camada de entrada, tempo computacional gasto, validação, arquitetura das RNAs e capacidade de discriminação dos solos da área. O segundo caso, contendo os (atributos do terreno e índices derivados do sensor ETM+ do LANDSAT 7), e 9 classes de solos dominantes como classes de saída, apresentou de imediato resultados mais satisfatórios com a realidade da área.

As amostras selecionadas para treinamento e validação da rede foram distribuídas aleatoriamente na área de estudo (amostra estratificada), de modo a representar o melhor possível às características da população em termos de condições ambientais. Para facilitar o processo de treinamento da rede e simplificar sua estrutura, os dados de todas as variáveis discriminantes que seriam utilizadas como dados de entrada na rede neural, (atributos do terreno, imagens dos sensores remotos e grid de geologia) foram normalizados entre os valores de 0 e 1. Isto é feito para manter os dados dentro de uma faixa pequena e aceitável, evitando a saturação da rede pelo elevado valor que os pesos sinápticos poderiam ter (Vieira, 2000). Este procedimento foi realizado no ArcGIS 9.2, no caso dos dados referentes aos atributos do terreno e geologia e, no ERDAS imagine 8.5 no caso das imagens de sensores remotos (índices derivados).

As etapas do trabalho de classificação utilizando redes neurais foram: definição dos dados de entrada e das classes de saída; aquisição das amostras de treinamento e validação; geração dos arquivos de treinamento e validação no formato do JavaNNS; treinamento e definição com arquiteturas de redes neurais artificiais; aplicação da rede neural treinada na classificação de uma amostra não vista (validação), geração da matriz de confusão, geração da matriz de

significância, para os conjuntos de treinamento e validação, escolha da(s) melhor(e)s RNAs, aplicação da rede neural treinada na classificação da área de estudo, geração da imagem resultante da classificação e confecção do mapa.

Para carregar os arquivos de treinamento e validação no simulador JavaSNNS é necessário convertê-los em um formato apropriado ou compatível com a configuração do simulador. Esse formato de arquivo é composto por um cabeçalho e um componente de dados. O cabeçalho estabelece tanto o número de padrões do arquivo quanto a dimensionalidade dos vetores de entrada e classes de saída, o componente de dados é uma lista de números que representa os atributos de entrada e de saída, normalizados no intervalo entre 0 e 1. Para cada padrão, o número de valores listados deve corresponder ao número de elementos de processamento da primeira camada da rede, acrescido do número de unidades de saída, conforme definido no cabeçalho (Zell et al. 1995). Este procedimento de conversão dos dados foi realizado com os aplicativos “Funcpow” e “Gerapat”, desenvolvidos por Vieira (2000).

Foram coletados dois conjuntos de amostras, sendo um para treinamento e outro para teste ou validação, que foram obtidos de modo independente. O número de amostras no conjunto de treinamento está relacionado com o número de classes de solos identificadas na área de estudo, e pré-definidas como classes de saída para a classificação pela rede. A hipótese aventada é que quanto mais classes existirem, mais complexo será o mapeamento entrada/saída, necessitando, assim, de mais amostras para o treinamento da rede. Zhu (2000) e Mather (1999), recomendam que o tamanho do conjunto de amostras deverá ser pelo menos 30 vezes o número de classes de saída e o tamanho do conjunto de dados de teste ter aproximadamente 50% do tamanho do conjunto de treinamento. O ideal é que esse conjunto contenha todas as reais possibilidades que podem ser encontradas pela rede. A fase de teste é fundamental pois é a partir desse conjunto que é possível verificar se a rede treinada está generalizando corretamente (ZELL et al. 1995).

A coleta das amostras foi realizada com auxílio do software ERDAS Imagine 8.5, buscando capturar um conjunto que representasse o máximo possível as características de cada classe a ser classificada. As classes de solos dominantes identificadas como classes de saídas nas RNAs, teve por base o mapa de reconhecimento de média intensidade de solos da área, realizado para atender aos objetivos deste estudo e encontra-se em Calderano Filho et al. (2010), cujo enquadramento das classes de solo encontradas foram até o 4º nível categórico do sistema de classificação de solos (Embrapa, 2006). Após estes procedimentos, foram realizados o treinamento e a validação propriamente ditos das amostras pelo classificador por

redes neurais, testando diferentes arquiteturas, variando o número de neurônios nas camadas de entrada e saída, correspondentes ao número de variáveis discriminantes utilizadas e as classes de saída definidas, variando o número de neurônios na camada interna e/ou números de camadas internas.

O número de neurônios da camada(s) interna(s) foi determinado através de tentativa e erro, como sugerido por (Hirose, 1991). Assim, inicialmente foi arbitrado um número de neurônios para a camada interna e a rede foi, então, treinada e testada, e sua performance medida. O número de neurônios foi aumentado em uma unidade e novo treinamento e teste aplicados. Este processo é repetido até que um determinado número de neurônios permita que a rede funcione com alta acurácia e baixo erro de treinamento (Zhu, 2000).

Foram feitos vários treinamentos com as RNAs, com as amostras utilizadas para este fim, procurando-se definir a arquitetura ideal para o objetivo estipulado, fazendo variar a taxa de aprendizagem (η), da seguinte forma: De 0 a 10.000 ciclos de treinamento η igual a 0,2, de 10.000 a 20.000 ciclos de treinamento η igual a 0,1 e de 20.000 a 30.000 ciclos de treinamento η igual a 0,075. A determinação da taxa de aprendizado para um problema específico não é uma tarefa simples. Valores típicos de η estão na faixa de 0,1 a 1,0. Poucos são os exemplos onde o treinamento é mais rápido, com valores acima de 1,0 (Vieira, 2000; Zhu, 2000). Algumas vezes o valor de η apropriado para começar o treinamento é inapropriado quando uma rede alcança pontos mais próximos ao seu mínimo global ao término do treinamento (Cauldill, 1991).

Como as imagens do sensor ASTER, disponíveis para o estudo continham mais de 20% de nuvens e poderiam degradar os resultados finais. A partir dos resultados obtidos inicialmente, fez-se a opção imediata pelos índices derivados das imagens do sensor ETM+ do LANDSAT 7. Assim, a partir do segundo caso testado anteriormente contendo os índices do sensor Landsat, montou-se novas imagens da área de estudo (Layer Stack), contendo o mínimo de 6 (seis) e o máximo de 13 (treze) variáveis discriminantes. Para cada uma foram coletados novos conjuntos de treinamento que foram combinados em 11 distintas situações, fazendo variar os atributos do terreno, índices do sensor Landsat e a informação da geologia, como mostra de forma resumida na Tabela 8, capítulo 5, com os conjuntos de treinamento montados. Padronizou-se para essas 11 novas situações, 300 amostras para treinamento, 250 amostras para validação e 10 classes de saída, totalizando (3000 e 2500) amostras respectivamente.

Desta forma, foram realizadas simulações com 12 diferentes arquiteturas de redes, durante as etapas de treinamentos, e posterior análise do desempenho das redes treinadas, com a finalidade de encontrar a arquitetura que represente melhor as classes de saída pré-definidas. As arquiteturas das redes foram compostas de uma camada de entrada contendo um neurônio para cada tema de entrada, uma ou duas camadas ocultas e uma camada de saída contendo as classes de saída definidas para a classificação nos conjuntos testados. E novamente esses conjuntos passaram por vários ciclos de treinamento, testes e avaliações, antes de definir a melhor arquitetura de rede e o melhor conjunto para a predição final das classes de solos. No capítulo 5, são mostrados os resultados dos treinamentos realizados.

O critério utilizado para adicionar neurônios na camada interna é baseado no comportamento do erro durante a fase de treinamento. O erro do treinamento (*MSE - mean square error*) é monitorado e usado como critério para avaliar o desempenho da rede, isso é feito na tela do simulador que permite operar os conjuntos de treinamento e validação. Assim, o erro para o conjunto treinado foi monitorado, através da curva de treinamento para verificar a capacidade de generalização da rede. O erro do treinamento mede a diferença entre os valores estimados e os valores desejados para o conjunto de treinamento.

Primeiramente, o erro do treinamento e a acurácia do teste foram usados como critérios para avaliar a performance da rede. O teste de acurácia foi realizado usando o coeficiente kappa que é estimado a partir da matriz de confusão (também chamada matriz de erro ou tabela de contingência), construída com base nos resultados do conjunto de teste. No capítulo 5, são apresentadas várias destas matrizes contendo as classificações das redes treinadas e testadas. Quanto mais baixo o erro do treinamento e mais alto o teste de acurácia, melhor será a performance da rede. Quando o erro atingir um mínimo, a partir do qual a adição de neurônios na camada interna não altera a resposta da rede e a curva de treinamento não sofre grandes oscilações, o treinamento pode ser finalizado.

Ao final de todo o processo de treinamento, as redes foram submetidas à validação para escolha daquela(s) que seria(m) utilizada(s) na discriminação dos solos da área estudada. Finalmente, a(s) rede(s) escolhida(s) foram utilizadas na predição final das classes de solos da área de estudo. Para computar a classe de solo que ocorre em um determinado pixel, os valores das variáveis discriminantes para aquele pixel foram introduzidos na rede treinada como dados de entrada. A rede, então, computou o resultado correspondente contendo os níveis de ativação no neurônio de saída. Assim, quando todos os pixels foram visitados pela rede, foi produzida uma representação das classes de solos identificadas na área. Para produzir

uma imagem da cena classificada a partir dos valores de saída da rede, foram utilizados os aplicativos “Funcpow” desenvolvido por Vieira (2000) e “Projecter” cedido por UFV. Através deles o(s) arquivo(s) de saída são convertidos para os formatos BIP (imagem) e Ascii respectivamente, gerando a(s) imagem(ns) da(s) cena(s) classificada(s). Os resultados obtidos pelo classificador utilizado foram manipulados no software ERDAS Imagine 8.5 e ArcGis 9.2 para produzir o mapa final das classes de solos.

Avaliação dos Resultados do treinamento das RNAs

Para a verificação da exatidão das respostas dos classificadores, um dos parâmetros mais utilizados e eficientes na determinação da exatidão é o índice Kappa, obtido mediante a adoção de uma referência para a comparação das classificações (mapeamentos) produzidas. Neste caso, a análise da exatidão das classificações é obtida através das matrizes de confusão ou matrizes de erro, sendo posteriormente calculado o índice de Kappa de concordância (Mangabeira et al, 2003 *in* Carvalho Júnior, 2005).

Assim, a avaliação dos resultados obtidos constou da determinação do nível de exatidão ou confiança da classificação (índice Kappa) e da exatidão global da classificação das redes neurais consideradas, através da análise da matriz de confusão (Congalton, 1991 *in* Chagas, 2006). A matriz de confusão compara o conjunto de dados de referência, que normalmente está representado nas colunas, com os dados classificados que estão representados ao longo das linhas. Os elementos da diagonal principal indicam o nível de concordância entre os dois conjuntos de dados. É uma medida de como a classificação realizada concorda com os dados de referência (Congalton & Mead, 1983 *in* Chagas 2006). O Coeficiente Kappa pode ser obtido, conforme Chagas (2006) segundo a equação 3:

$$Ka = \frac{n \sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{i=1}^c x_{i\oplus} x_{\oplus i}}{n^2 - \sum_{i=1}^c x_{i\oplus} x_{\oplus i}} \quad (3)$$

Onde Ka é uma estimativa do coeficiente Kappa; x_{ii} é o valor na linha i e coluna i ; linhas totais $x_{i\oplus}$ é a soma de linhas i e colunas totais $x_{\oplus i}$ é a soma das colunas i da matriz de confusão; n é o número total de amostras e c o número total de classes.

Valores de Kappa de 0,75 ou maiores mostram um desempenho do classificador de muito bom a excelente, enquanto valores entre 0,4 e 0,75 representam desempenho moderado e valores menores que do que 0,4, uma baixa concordância e baixo desempenho (Landis &

Koch, 1977; Monserud & Leemans, 1992). Entretanto, sugerem que estas diretrizes são válidas para um conjunto de amostras grande, obtido aleatoriamente a partir de uma distribuição multinomial, ou uma amostragem aleatória estratificada. Uma matriz de significância de Kappa entre as redes consideradas foi também gerada para verificar a existência de diferenças significativas ou não entre os resultados obtidos e para a escolha da melhor arquitetura de rede para a classificação final dos dados (Vieira, 2000).

Landis & Koch (1977) e Monserud & Leemans (1992) sugerem que valores de Kappa de 0,75 ou maiores mostram um desempenho do classificador de muito bom a excelente, enquanto valores entre 0,4 e 0,75 representam desempenho moderado e valores menores que 0,4, uma baixa concordância (baixo desempenho).

3.5 - Base de Dados Espaciais

A base cartográfica digital implementada no ArcGIS 9.2, contendo as curvas de nível com topologia, limites, drenagem, pontos cotados e infra-estrutura viária, foi usada primeiramente para gerar os modelos digitais de elevação (MDEs), após isso gerou-se o mapa de declividade e outras variáveis de interesse como já comentado. Esses mapas, juntos com o mapa de drenagem corrigida e produtos de sensoriamento remoto auxiliaram nas etapas de mapeamentos de campo e predição das classes de solos com RNAs. Incorporou-se a essa base as informações produzidos com o diagnóstico geoambiental (solos, litologia, vegetação, e uso das terras, os mapas de uso e cobertura produzidos por classificação digital e os mapas de solos inferidos com a RNA. Complementou-se a base de dados com as informações de pluviosidade e de áreas protegidas por legislação específica ou reservas existentes, constituindo assim, uma base de dados espaciais (BDE), contendo um conjunto de informações cartográficas padronizadas na projeção UTM, fuso 23S e Datum Córrego Alegre, necessárias ao SIG, para análises, cruzamentos e geração de novos mapas interpretativos úteis ao planejamento todos na escala 1:50.000, os quais auxiliaram na análise final e indicações de uso.

A forma de entrada de dados foi feita via digitalização em tela, escanização mediante a importação de arquivos e classificações digitais. Além do ArcGIS Desktop 9.2, utilizou-se vários programas e softwares já comentados anteriormente, tanto para análises, cruzamentos e geração de mapas, como para armazenamento e manipulação dos dados contidos na BDE. Numa etapa final foi feita a integração destas informações, o que possibilitou a etapa de análise da estrutura do meio. Na edição final, foram acrescentados os símbolos e legendas definitivas, concluindo base final.

3. 6 - Interpretações Úteis ao Planejamento

Suscetibilidade à Erosão (superficial): Foi elaborado mapa segregando as áreas potencialmente erodíveis ou áreas propensas a este processo. Foram discriminados sete graus de limitação por erosão. Os principais elementos deste mapa foram extraídos dos mapas de solos, relevo, litologia e uso e cobertura das terras complementados por observações de campo, dados climáticos e detalhamentos da declividade, usando os métodos proposto por Mendes (1982) e Corine (1992), que se baseiam na extração e interpretação das informações contidas no diagnóstico geoambiental, produzido para a área de interesse.

Conceitos e Critérios Utilizados

Wischmeier & Smith (1978), na equação universal de perdas de solo, consideram a precipitação como fator ativo, enquanto que solo, topografia e cobertura vegetal são fatores passivos. A erodibilidade do solo, como causa passiva ou facilitadora da erosão, através da maior ou menor resistência do solo, está diretamente relacionada com sua permeabilidade e capacidade de infiltração de água e a estabilidade de seus agregados, resistência à desagregação e ao transporte das partículas, Wischmeier & Smith (1978); Wischmeier & Mannering (1969); Bertoni et al. (1975), conferidos por sua vez, pelas características físicas químicas e morfológicas do solo, tais como, profundidade, permeabilidade, textura, estrutura, gradiente textural, densidade aparente, porosidade, teor de argila, teor e estabilidade dos agregados, pH do solo, óxidos de ferro (hematita e goethita) e alumínio (gibbsita), teor de matéria orgânica, fertilidade, presença ou não de camadas de impedimento, morfologia da encosta e importância da cobertura vegetal. A contribuição destes fatores têm sido demonstrada no meio científico em trabalhos de autores como Wischmeier & Mannering (1969); Bertoni & Lombardi Neto (1999); Resende et al. (1985 e 1992); Guerra (2004) e vários outros.

A textura do solo de acordo com Carvalho (1992), Bertoni et al. (1975), Lombardi Neto & Bertoni (1975) e Bertoni e Lombardi Neto (1999), representa uma das propriedades físicas mais importante na susceptibilidade à erosão. Solos com diferentes classes texturais (tamanho de partículas), apresentam diferenças quanto a erodibilidade, que no geral é maior em solos com altos teores de silte e argila decrescendo em solos com maiores teores apenas de argila (Wischmeier et al. 1978; Resende, 1992 e Resende & Almeida, 1985). A matéria orgânica é um agente agregador do solo, proporcionando alta estabilidade aos agregados (Guerra, 2004). Solos siltosos ou arenosos com menos de 2% de matéria orgânica frequentemente têm baixa estabilidade de agregados, elevada formação de crostas e são mais propensos à erosão, no

entanto, altos teores de matéria orgânica dificultam a coesão entre os agregados com efeitos benéficos na permeabilidade. Desta forma, cada classe de solo apresentará maior ou menor erodibilidade, mesmo quando submetidas a condições semelhantes de erosividade.

A profundidade do solo, favorável ao desenvolvimento do sistema radicular é, sem dúvida, uma importante característica para o estabelecimento dos limites de tolerância de perdas de solo por erosão. No caso de solos rasos (profundidade menor que 50cm), como os Neossolos Litólicos, a profundidade é uma característica importante que definirá a baixa tolerância à perda de solo, implicando então, na alta susceptibilidade à erosão desta classe de solo. O gradiente textural entre os horizontes superficial e subsuperficial afeta principalmente a infiltração e a permeabilidade, solos que apresentam gradiente textural são mais suscetíveis à erosão (Carvalho, 1992). Os tipos e graus de estrutura dos solos também interferem, as estruturas prismáticas e em blocos, quanto mais desenvolvidas e estando presente a cerosidade, tornam os solos mais suscetíveis à erosão hídrica. A declividade é outro fator muito importante, pois quanto maior seu valor, maior é a energia potencial de erosão. Segundo Mendes (1982), as classes de relevo descritas como fases das unidades de mapeamento, atendem perfeitamente às exigências de uma análise da susceptibilidade à erosão em escalas de levantamento a nível de reconhecimento. A cobertura do solo funciona como facilitadora ou amortecedora da suscetibilidade do solo à erosão. Solos com cobertura vegetal densa são menos erodidos do que os com cobertura vegetal esparsa ou cultivados sem a adoção de práticas conservacionistas.

Aptidão Agrícola das Terras: As terras foram avaliadas quanto ao seu potencial agrícola, de acordo com método apresentado em Ramalho Filho & Beek (1978). Para a avaliação da aptidão agrícola das terras fez-se uso dos SIGs, para armazenamento e manipulação de dados geocodificados, tendo por base os dados coletados no levantamento pedológico. Nos casos das unidades de mapeamento constituídas por mais de um componente (associações de solos), levou-se em consideração na representação cartográfica, a aptidão agrícola referente ao solo dominante.

Aptidão Agroecológica: As terras foram avaliadas quanto ao seu potencial agroecológico, de acordo com método proposto por Calderano Filho et al. (2007), com as informações dos elementos componentes da paisagem extraídas do diagnóstico geoambiental e das unidades geoambientais delimitadas. O modelo de aptidão agroecológica considerado, envolve a indicação de uso, manejo e sugestão de alternativas sustentáveis de utilização com menor índice de danos ambientais, visando incrementar a qualidade ambiental. É feita em

complemento a avaliação da aptidão agrícola para atender pequenas glebas rurais.

Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental: A vulnerabilidade ambiental deve ser entendida como o “status” de condições específicas dos ecossistemas ou segmento da paisagem em análise, assim os graus de tolerância do meio natural (vulnerável ou estável) podem ter suas condições específicas de equilíbrio alteradas, ou por fatores de ordem natural ou provocado pela interferência da ação humana. A vulnerabilidade ambiental das terras varia em função dos solos, do clima, tipos de uso, uso de produtos químicos, etc, sua avaliação abrange a análise do potencial e riscos (Batjes & Bridges, 1997). Ela fornece um status da situação atual, difere da avaliação de riscos que são previsões futuras (ISRIC& FAO, 2000). A vulnerabilidade de um ecossistema ou de uma determinada área pode ser definida como a incapacidade de se lidar com fatores que causam estresse, incluindo fatores naturais, e se baseia nas forças internas necessárias para que se mantenham as características essenciais do ecossistema, considerando-se os limites do mesmo (Kruijf & Schouten, 1987).

Para Smith & Theberge (1986), a avaliação da fragilidade de áreas naturais relaciona-se à suscetibilidade a uma dada perturbação. Uma alta fragilidade implica em uma probabilidade alta de extinção ou danos a uma espécie, sistema ou paisagem. Assim, a vulnerabilidade é entendida como o lado fraco que pode ser atacado iniciando-se um processo de degeneração. Enquanto a fragilidade pode ser entendida como a capacidade de resistir ou não as transformações. Outros autores consideram a vulnerabilidade como sendo o resultado de qualidades essenciais do ecossistema, tais como: estabilidade, persistência e potencial de restauração.

Sua avaliação é uma função dependente da análise integrada das condições geológicas, pedológicas, geomorfológicas, climáticas, geotécnicas e dos diversos atributos dos elementos geobiofísicos componentes do meio. A avaliação da vulnerabilidade e/ou fragilidade das terras foi elaborada a partir das informações contidas no diagnóstico geoambiental, integrando os mapas temáticos de pedologia, geologia, relevo, uso e cobertura da terra e totais pluviométricos, contendo os fatores indicadores e condicionantes de fragilidade, apoiados no modelo digital de elevação e suscetibilidade das terras à erosão.

Mapa pedogeotécnico: Segundo Antunes et al. (2011) e Santos et al. (2009), as informações contidas nos trabalhos de levantamento de solos (texto e mapa), podem ser usadas como indicadores geotécnicos preliminares e para prevenção de possíveis problemas decorrentes da ocupação inadequada de certas áreas. Antunes et al. (2011) propõem confeccionar mapas pedogeotécnicos básicos que podem ser utilizados como base para

investigações geológico-geotécnicas preliminares. Assim, esse mapa foi realizado com base na interpretação do mapa de solos usando o método proposto por Antunes et al. (2011).

Conceitos e Critérios

Uma unidade de mapeamento é constituída por uma ou mais classes de solos, que por sua vez são definidas por perfis de solos representativos das classes. Cada perfil é composto por um ou mais horizontes sobre substratos variados, como rochas cristalinas, rochas sedimentares e sedimentos. E dependendo do tipo de solo podem apresentar na parede do perfil uma das seguintes sequências de horizontes A, B e C, ou A-C, ou ainda A-R. Entende-se como perfil de solo a seção vertical organizada em camadas e/ou, horizontes que se distinguem do material de origem inicial, como resultado de adições, perdas, translocações e transformações que ocorrem ao longo do tempo e sob a influência dos fatores de formação do solo. As alterações pedológicas de que são dotados os horizontes do solo revelam contraste com o substrato rochoso ou seu resíduo pouco alterado ou ainda sedimentos de natureza diversa, expressando diferenciação pedológica em relação aos minerais pré-existentes em função de processos pedogenéticos, já as camadas são pouco ou nada afetadas pelos processos pedológicos (Embrapa, 1979; 1988 e 2006).

Os constituintes do solo podem ser orgânico ou mineral. Os constituintes orgânicos podem estar associados no solo ao material mineral, estes impõem preponderância de suas propriedades sobre os constituintes minerais. O material mineral do solo é aquele formado predominantemente, por compostos inorgânicos, em vários estágios de imtemperismo. Os horizontes A e B, representam o solo maduro para a geotecnia e abrange a camada superficial e subsuperficial do perfil de solo, constituído essencialmente por minerais secundários, tais como argilominerais, óxidos, hidróxidos e detritos orgânicos.

Após a identificação dos horizontes, esses são descritos morfologicamente, abrangendo informações quanto à cor, textura (que se refere a granulometria), estrutura, porosidade, cerosidade, consistência e demais informações relevantes, a seguir cada horizonte é coletado e as amostras conduzidas ao laboratório, onde são efetuadas análises química, física e mineralógica. Com os resultados analíticos e considerando os parâmetros químicos, físicos, morfológicos e mineralógicos procede-se a conceituação e classificação das diversas classes de solos. Vale lembrar que várias classes de solos podem apresentar parâmetros morfológicos, químicos, físicos e mineralógicos semelhantes, mas a diferença entre as classes de solos se dá pela presença e arranjo dos horizontes diagnósticos na parede do perfil de solo, refletindo um conjunto de características pedogenéticas inerente à classe de solo. Exemplos de

descrição morfológica e resultados analíticos de perfis de solos encontram-se no anexo 2, para maiores detalhes consultar Embrapa (2006).

Na composição de uma unidade pedológica, considera-se os dados sobre as propriedades morfológicas, físicas, químicas, biológicas e mineralógicas, dos perfis descritos e analisados e as relações intrínsecas da(s) classe(s) de solo com o seu meio (rocha, relevo, água, vegetação e o clima da região). Estas informações quando interpretadas em conjunto podem indicar limitações e potencialidades do meio físico, especialmente para fins de aplicação na área geotécnica. Utiliza-se ainda, nos levantamentos pedológicos executados no território nacional, as fases de unidades de mapeamento como fase de relevo, drenagem interna e vegetação natural da área mapeada. As fases de relevo podem ser qualificadas pelas condições de declividade, comprimento de encostas e configuração superficial dos terrenos, que afetam as formas de modelado (formas topográficas) de áreas de ocorrência das unidades de solo. A Embrapa (2006) padronizou as seguintes classes de relevo: plano com 0 a 3% de declive; suave ondulado com 3 a 8%; ondulado com 8 a 20%; forte ondulado com 20 a 45%; montanhoso com 45 a 75% e escarpado com declives maiores que 75%. Em levantamentos de solos em escalas detalhadas ou médias as seis fases de relevo acima passaram a ser subdivididas em sete classes de declividade, com subdivisão da classe de relevo ondulado em duas classes de declive, de 8 a 14% e 14 a 20%, como sugerido em Lombardi Neto & Bertoni (1975); Witter et al. (1991); Witter et al. (1992), Calderano Filho, et al. (1991) e Embrapa (1992), como forma de fornecer informações mais precisas ao manejo das terras em pequenas glebas rurais. A descrição das fases de unidades de mapeamento utilizadas em levantamento de solos encontra-se em Embrapa (1979) e Embrapa (1988), sintetizadas no anexo 2.

Quanto à composição mineralógica da fração argila, os solos são classificados conforme Embrapa (2006), em Cauliníticos, predominância de argilominerais do grupo da caulinita; Esmectíticos, predominância de argilominerais do grupo da esmectita e Vermiculíticos, predominância de argilominerais do grupo da vermiculita.

O material de origem dos solos é definido como sendo o produto da decomposição de rochas cristalinas e sedimentares e sedimentos de naturezas diversas. Sobre eles se processa a pedogênese, através dos processos de adição, transformação, translocação e perda formando os horizontes pedológicos A e B (Simonson, 1959). Após a formação dos horizontes pedogenéticos o material de origem passa a ser designado de horizonte C, que pode ser autóctone, solo residual ou alóctone, solo transportado (Antunes et al. 2011). Com esta evolução do solo, o material de origem passa a receber a designação de horizonte C

propriamente dito. O material proveniente da desagregação da rocha poderá permanecer no local em que se desenvolveu ou ser transportado para outra posição, assim identifica-se a existência de duas categorias de substrato pedogenético, residual ou autóctone formado no local a partir da ação dos processos intempéricos sobre a rocha matriz e transportado ou alóctone. Em países de clima tropical úmido desenvolve-se espessos pacotes de solos residuais profundos, podendo o pacote alcançar espessuras da ordem de 100 metros. Os solos residuais jovens, apesar da decomposição, exibem relíquias preservadas das discontinuidades herdadas da rocha de origem. Nesse sentido, para a geotecnia, o solo residual é aquele que permanece em seu local de formação, ou seja, é formado “in-situ”, a partir da ação dos processos intempéricos sobre a rocha matriz. Já o solo transportado, é aquele cujos grãos ou partículas foram removidos de seu ambiente topográfico original por processos erosivos (pluviais, fluviais, eólicos, glaciais e marinhos) e depositados em outros ambientes (Antunes et al. 2011).

Para a geotecnia, o horizonte C se refere à camada subsuperficial do perfil de solo que ainda guarda as características relíquias da rocha matriz e é denominado solo residual jovem ou solo saprolítico. Trata-se, em geral, de materiais complexos e heterogêneos, especialmente quando desenvolvidos a partir de rochas metamórficas. Suas propriedades de engenharia são influenciadas à medida que o intemperismo evolui até a formação de uma nova estrutura, dando origem ao solo residual maduro (horizonte B para a designação pedológica). Este conceito não se aplica quando o perfil de solo se desenvolve a partir de sedimentos, recebendo nesse caso a denominação de solos transportados em geotecnia. Na pedologia os horizontes do perfil de solo são denominados de A, B e C. Entende-se como perfil a seção vertical contendo um ou mais horizontes.

O horizonte A é o superficial e com maior teor de matéria orgânica. O horizonte B, refere-se ao horizonte que apresenta maior concentração de minerais secundários e com características pedogenéticas mais desenvolvidas e o horizonte C é o material que origina o perfil de solo contendo ainda minerais primários e preserva as características das rochas de origem (ígneas, metamórficas e sedimentares) ou do sedimento. O horizonte superficial A pode ser de vários tipos como, hístico, chernozêmico, húmico e proeminente. O horizonte A hístico constitui um tipo de horizonte superficial formado por materiais orgânicos, resultantes do acúmulo de resíduos vegetais sob condições de excesso de água por longo período. O horizonte A chernozêmico se refere a um tipo de horizonte superficial rico em carbono orgânico, de cor escura e saturado por cátions bivalentes. O horizonte A húmico compreende

um tipo de horizonte superficial rico em carbono orgânico, cuja espessura pode chegar a 1,0m. Por sua vez, o horizonte A proeminente é semelhante ao A chernozêmico, diferenciando-se deste por possuir menores proporções de cátions bivalentes.

Os horizontes A e B, representam o solo maduro para a geotecnia e abrange a camada superficial e subsuperficial do perfil de solo. Assim, na parede do perfil de solos, todos os horizontes transicionais abaixo do horizonte B, com exceção de discontinuidades ou solos enterrados, que foge das características típicas e padronizadas do horizonte B e já gradam para o horizonte C propriamente dito ou C saprolítico, recebem o sufixo C, por exemplo BC, C1..., C3, CR e R (rocha sã). Os trabalhos de mapeamentos de solos no território nacional se referem apenas ao estudo superficial dos solos, abrangendo geralmente profundidades médias em torno de 1,50 a 2,5m, por questões práticas de execução de trabalhos de campo, o limite inferior máximo do solo a ser classificado chega até 300cm. Para algumas classes de solos como os Neossolos quatzarênicos e solos desenvolvidos de sedimentos, como os Neossolos flúvicos, Gleissolos, Organossolos e outros, os horizontes são designados de camada C, para designar camadas mais ou menos estratificadas, sem correlação pedogenéticas entre si, podendo essas camadas serem o próprio material de origem do perfil.

Antunes et al. (2011), ressalta que na pedologia, o sedimento pode ser considerado como um perfil de solo quando ocorre pelo menos um processo pedogenético na sua formação (ex.: adição de matéria orgânica formando o horizonte A). Dessa forma, no conceito pedológico, já se tem um perfil de solo, que foi desenvolvido de um sedimento de natureza diversa com adição de matéria orgânica, gerando assim um perfil formado por um horizonte A, com matéria orgânica, e o C, originado pelo sedimento. Ou seja, no caso de solos desenvolvidos de sedimentos, o horizonte C é o próprio sedimento. Conforme já mencionado, para o geólogo ou geotécnico trata-se de um perfil de solo transportado ou sedimentar.

Um perfil de intemperismo para rochas graníticas e gnáissicas, com três subdivisões principais foi estabelecido por Deere e Patton (1971), onde consta uma camada superior mais antiga e em elevado estado de intemperização, não apresentando vestígios da rocha de origem, chamada de solo residual maduro (zona IA), abaixo desta, com menor grau de intemperização e mantendo as estruturas da rocha original, chamada de solo residual jovem (zona IB), e uma camada de rocha alterada (zona II), que pode ser subdividida em camada superior de rocha muito alterada e inferior de rocha pouco alterada e, camada de rocha sã (zona III). Para regiões tropicais Vaz (1996) propôs perfil de intemperismo típico para vários tipos de rocha e de clima.

Mapa Geoambiental: A compartimentação dos ambientes e delimitação das unidades geoambientais, foi feita com base nos conteúdos pedológicos, geomorfológicos, geológicos, climáticos e vegetação, ou seja, extraídas da peculiar interação entre as diferentes variáveis que compõem o sistema geobiofísico. Desse modo, o mapa de unidades geoambientais busca sintetizar as informações temáticas cartografadas, apresentando uma espacialização dos diversos ambientes que integram a paisagem da área.

No seu desenvolvimento foram aplicados os conhecimentos básicos acumulados pela CPRM, em Dantas et al. (2001) e Theodorovics et al. (2003) e, em conceitos de Veneziane & Anjos (1998) e Calderano (2005). Em última análise as unidades delimitadas buscam retratar maior nível de homogeneidade, menor nível de diversidade interna e maior coerência entre os componentes, com características intrínsecas próprias que as individualizam, estando portanto, sujeitos às mesmas ofertas, restrições e limitações impostas pelo meio. Para cada unidade compartimentada é apresentada uma sinopse, das principais potencialidades e limitações das terras (diagnóstico) e sugeridas suas principais vocações (prognóstico).

CAPÍTULO IV

4- DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL

Em um processo de planejamento, o estudo da distribuição espacial dos elementos físicos-bióticos componentes da paisagem, em escala média e compatível com as demandas dos municípios, torna-se uma ferramenta útil para o planejamento de uso e manejo dos recursos naturais, principalmente do solo e da água.

Nesse sentido, realizou-se o diagnóstico geoambiental da área, com o objetivo de explicar a natureza física do ambiente, por intermédio da caracterização e mapeamento de seus componentes, visando a análise geombiental e a discretização das terras, onde foram estudados clima, relevo, solos, vegetação, uso das terras, incluindo rede de drenagem, suscetibilidade dos solos à erosão, aptidão agrícola das terras e declividade, através da geração de MDEs, todos na escala 1:50.000, além de levantar informações socioeconômicas, de pluviosidade, da estrutura geológica e perfil tecnológico dos agricultores locais, buscando explicar a natureza física do ambiente por intermédio da caracterização e mapeamento de seus componentes e fornecer informações básicas para o planejamento geoambiental de paisagens rurais montanhosas na Serra dos Órgãos, ocupadas com agricultura familiar.

O diagnóstico geoambiental realizado, possibilitou o conhecimento dos recursos da terra, a distinção de áreas potencialmente agricultáveis daquelas destinadas à preservação e recuperação ambiental, subsidiando a indicação de formas viáveis de exploração racional das terras. Os resultados produzidos contribuem para a melhor compreensão dos elementos componentes da paisagem, com suas potencialidades e limitações.

4.1 – Aspectos Geológicos e Materiais de Origem dos Solos

Estudos geológicos de Matos et al. (1980); RJ-DRM (1982); Mendes et al. (2007) e Mendes et al. (2002), assinalam a predominância de um conjunto de ortognaisses e migmatitos do Complexo Rio Negro, associados aos ortognaisses granodioríticos do Batólito Serra dos Órgãos; leucognaisses e rochas metassedimentares do Grupo Paraíba do Sul; e rochas ígneas de composição granodiorítica a granítica, mais raramente gabroica, que intrudem estas unidades. Em estudos de detalhe, Mendes et al. (2002) e Mendes et al. (2007), descrevem e individualizam no domínio do município de Bom Jardim granitos e dioritos de São José do Ribeirão, o granitóide Barra Alegre, definido em duas litofácies a fácies Barra Alegre e a fácies Carijó, e Ludka (2002), descreve no domínio do município de Nova Friburgo o gabro coronítico de Amparo.

Na confecção do mapa litológico da área de estudo utilizou-se as cartas geológicas, folhas Cordeiro e Quartéis (Matos et al. 1980), e folhas Duas Barras e Trajano de Moraes (RJ-DRM (1982; Reis & Mansur 1995), extraindo com auxílio de SIG a área de interesse deste estudo. Foram utilizados neste trabalho apenas os dados referentes à litologia, já que os dados referentes às estruturas geológicas (dobras, falhas, fraturas, etc.) não estavam disponíveis. Assim, a legenda deste mapa mostra a correspondência entre as unidades de mapeamento constantes nos trabalhos citados.

A partir da superposição do mapa de geologia com o mapa de solos, atribui-se a classe Sedimentos Aluviais cada vez que uma classe litológica sobreponha-se as classes de solos Neossolo Flúvico e Cambissolo Flúvico, representado assim, a distribuição de depósitos quaternários sobrepostos às litologias do embasamento, ao longo das calhas dos rios e ribeirões. A Figura 6, mostra o mapa litológico da área e a Tabela 1 a distribuição das unidades geológicas.

Legenda da Carta Geológica

A legenda da carta geológica do município de Bom Jardim, em escala 1:50.000, apresenta as seguintes informações:

A) Quaternário Holoceno – Coberturas sedimentares inconsolidadas: Qha (Aluvião) e Qhc (Coluvião)

B) Cretáceo Terciário - Magmatitos básicos de jazimento diqueformes: diabásio e gabro (db) e picrito com diferenciações de natureza cálcica (pc).

C) Pré-Cambriano-Associação Paraíba do Sul: maciços graníticos subsequentes individualizados (plutonismo tardi a pós-tectônico em relação ao Ciclo Brasileiro).

γ sjr – Biotita-granito São José do Ribeirão (sjr) e γ sp Biotita-granito tipo São Pedro (sp), este parcialmente com estrutura xenolítica.

D) Pré-Cambriano-Complexo I (pCI_{mn}, pCI_{rn}, pCI_{rbi}); Complexo II (pCII_{cr}); Complexo III (pCIII_{eu}, pCIII_{im}); Complexo IV (pCIV_{ca}, pCIV_{in}).

E) Outros elementos - várias ocorrências litológicas, sem expressão cartográfica.

Qha - Sedimentos aluviais: Abrange os depósitos de planície de inundação, canais fluviais, leques aluviais. Depósitos preferencialmente aluviais e inconsolidados de consistência arenosa, areno-argilosa e argilo-siltica, localmente conglomerática.

pCgrsjr - Granito São José do Ribeirão: Constitui-se de rochas intrusivas com contatos

sempre bruscos e discordantes. Esse granito é uma rocha de estrutura isotrópica, onde seus constituintes mineralógicos se distribuem ao acaso, possuindo granulação média à grosseira, cinza clara. Os constituintes mais frequentes são: quartzo, feldspato alcalino predominantemente, plagioclásio e biotita. O acessório mais frequente é allanita, que ocorre em cor castanho-avermelhado. Os feldspatos possuem cor variando de branca a rósea. Exposições dessa rocha, encontram-se ao longo da estrada que liga a Vila de São José do Ribeirão à Vila de Amparo. Estudo mais detalhados sobre essa rocha encontra-se em Mendes et al. (2007).

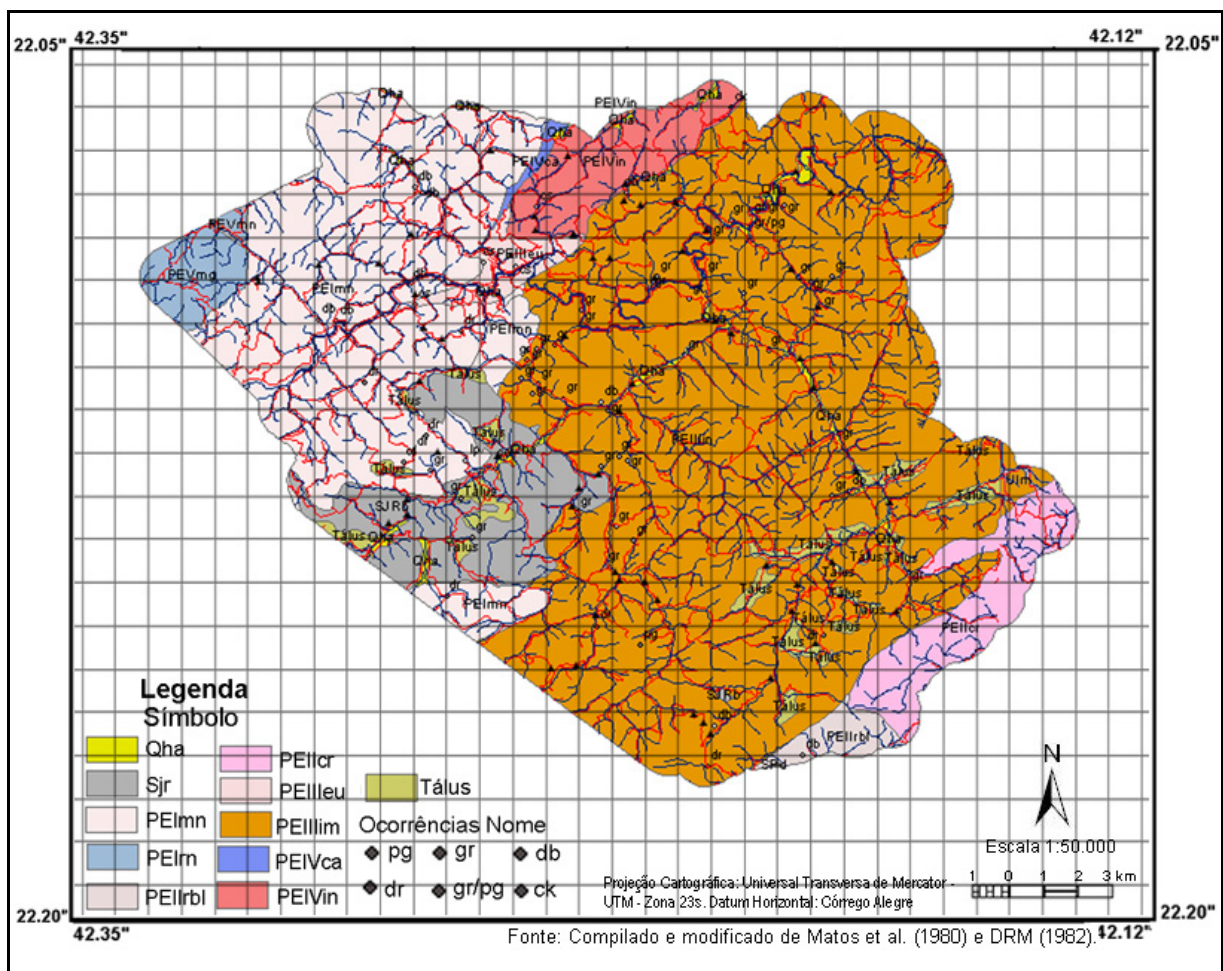


Figura 6 - Mapa litológico

pCIImn - Unidade Monerá, encerra litotipos incluídos na Série Serra dos Órgãos, descritos por (Rosier, 1965). Composta de granitóides (diatexitos) cinzentos de composição granodiorítica, localmente com tramas híbridas, envolvendo rochas com remanescentes dioríticos ou diaritóides, corpos dioríticos e domínios-granitóides de marcante homogeneidade estrutural diferenciados. No trabalho do DRM assumiu o nome de Batólito Serra dos Órgãos (pCbso), pela correspondência entre as rochas que as constitui. É

considerado como um batólito sinorogênico, esta massa plutônica varia entre a composição granítica (a mais usual) e granodiorítica, com todos os termos de transição. Estruturas cataclásticas foram observadas. A rocha exibe cor cinza-clara e granulação média a grosseira. Em vários afloramentos foi observado que a foliação corta o contato das rochas do batólito com as encaixantes. Além das associações litológicas acima citadas, cortadas por aplogranitos, aplitos e pegmatitos, ocasionalmente são encontrados pequenos corpos de anfibolito e hornblenda-quartzo-gabro. Aparece quase que totalmente englobado pela Unidade Rio Negro e foi intrudido por diques básicos, que se encontram deformados e metamorfisados sob fácies anfibolito e pelos corpos graníticos tardi à pós-orogênicos.

pCIrn – Unidade Rio Negro: Encerra litotipos incluídos na Série Serra dos Órgãos por (Rosier, 1965), migmatitos de estruturas diversas (metatexitos e diatexitos intimamente associados), ordinariamente cinzentos e exibindo diversos sítios de predominância de espécimes mais evoluídas, constituindo granitóides cinzentos, parcialmente gnáissicos e porfiróides, de composição granodiorítica e chegando a ser intrudidos em rochas do complexo III (Unidade Euclidelândia). Para o DRM, corpos de gnaiss granítico com estruturas nebulíticas podem ser individualizados na escala de 1:50.000. Trata-se de uma rocha de granulação média com partes muito homogêneas, cinzento-claras, de foliação incipiente e partes quartzo-feldspáticas com um pouco de biotita e muscovita.

pCIrbi – Rio Bonito-Lumiar (envolve a faixa Rio Bonito-Lumiar da Série Serra dos Órgãos por (Rosier, 1965); predominância de migmatitos heterogêneos estromáticos e, mais raramente, flebítico (metatexitos), além de corpos dioríticos migmatizados e migmatitos porfiroblásticos. Em vários pontos o tipo litológico regional encontra-se cortado por diques graníticos e pegmatíticos. No trabalho do DRM recebe o nome de unidade Glicério (PCIVgl), e suas rochas exibem aspecto granitóide a migmatítico, granulação média a grosseira. Podem apresentar-se afetadas por cataclase. Compõem-se de plagioclásio, biotita, quartzo, granadas (abundante) e raros acessórios (zircão e apatita). O migmatito exibe estruturas nebulíticas e estromáticas.

pCIrcr - Unidade Crubixais - compreende uma seqüência de gnaisses e migmatitos de mesma composição, com predominância dos migmatitos sobre os gnaisses. Os gnaisses por vezes exibem aspecto granitóide, têm granulação média e cor cinza-clara a média. Sua mineralogia envolve quartzo, plagioclásio, microclina, biotita, granada e acessórios (opacos e zircão). Os migmatitos exibem estruturas "Schlieren" e flebítica, transicionando continuamente para tipos listrado-venulados. Aplogranitos cortam profusamente os

migmatitos desta unidade, mineralogicamente constituem-se de microclina, plagioclásio, biotita, granada, sillimanita, cordierita e acessórios (opacos, zircão e apatita).

pCIIIeu – Unidade Euclidelândia, comporta metamórfitos (hornblenda-biotita-gnaiss, anfibolitos, rochas calcossilicáticas, etc.), parcialmente migmatizadas (estrutura estromática) e anfibólio gnaiss calcossilicáticos, lentes de mármore calcíticos (mm) e anfibolíticas (af) chegam a exibir dimensões de dezenas a centenas de metros. No trabalho do DRM recebe o nome de Unidade Serra Vermelha (pCIIsv) constituída por: anfibólio gnaisses e anfibolitos, biotita gnaisses e migmatitos, mármore, granulitos e quartzitos. O anfibólio gnaisses e anfibolitos, são rochas com bandas milimétricas claras, plagioclásicas (mais ou menos quartzo) e escuras, anfibólicas (mais ou menos piroxênio, mais ou menos biotita). Os gnaisses são cinzentos e os anfibolitos são bastante escuros; exibem granulação geralmente fina. Sua composição mineralógica é representada por plagioclásio, quartzo, diopsídio (quando este ocorre, a biotita não está presente) e hornblenda. Os acessórios incluem zircão, apatita, titanita e opacos.

pCIIIim – Unidade Imbé, comporta migmatitos homogêneos (biotita-gnaiss com blastos feldspáticos milimétricos, arredondados e facóidais, com ou sem granada e sillimanita) e heterogêneos (estromatitos e, localmente flebítos e agmatitos). Na faixa de transição das litologias da unidade Euclidelândia exibem, frequentemente, granada e sillimanita. Corpos graníticos mais jovens cortam a unidade em diversos pontos. Subsidiariamente ocorrem chornockitos, dioritos e pegmatitos. No trabalho do DRM recebe o nome de Unidade São Fidélis (pCIIIsf).

pCIVca – Unidade Capim Angola: Predominância de leuco-granitóides gnáissicos com enclaves de metamórfitos da unidade Euclidelândia em associação com plutonitos básicos parcialmente modificados, variando de quartzonorito e enderbitos. No trabalho do DRM recebe o nome de Unidade Macuco (pCIIIma) e inclui gnaisses e migmatitos, sendo que o caráter típico desta unidade é o aspecto milonítico a blastomilonítico das rochas. Raros corpos de mármore estão presentes na unidade. Suas litologias incluem: microclina gnaisses e migmatitos e anfibólio gnaisses e migmatitos. A microclina gnaisses e migmatitos são rochas de granulação fina a média, claras ou escuras dependendo da proporção de biotita. Constituídas por microclinas, quartzo, plagioclásio e biotita. Granada, apatita, zircão e opacos são acessórios.

pCIVin - Complexo IV indiviso, conjunto envolvendo migmatitos heterogêneos (estromatitos) e homogêneos (embrechitos facóidais) da unidade Imbé, parcialmente a

granada e sillimanita, além de migmatitos da unidade Rio Negro e Euclidelândia.

Outros elementos:

Tálus - Depósitos de tálus: inclui depósito de material eluvio-coluvial raso (solo imaturo) sujeito a rastejo e escorregamentos.

Dique de rocha básica, segmentos parcialmente observados e inferidos; Ocorrências litológicas restritas de: diabásio (db); diatexito (dtx); milonito (ml); gabro (gb); metatexito (mtx); diorito (dr); Mármore (mm); pegmatito (pg); charnockito (ck); anfíbolito (af); enderbitto (ed); coronito (ca); calcossilicática (cs); granito (gr); leptinolito (Ip).

A análise espacial deste tema mostra que a unidade Imbé ocupa 26.323,70 ha, com 54,30% das terras do município, enquanto a unidade Monerá ocupa 1.0917,30 ha, com 22,50%, o granito São José do Ribeirão ocupa o terceiro lugar com 3.095,00ha e 6,40% das terras. A planície fluvial e os terraços, onde ocorre os sedimentos do Quaternário ocupam 801,30 ha, com apenas 1,65 %, nas áreas de sopé, ocorre os depósitos de tálus e ocupam 1216,20ha, com 2,50 %. O restante das unidades são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição das unidades litológicas que ocorrem na área.

Unidades	ha	%	Unidades	ha	%
Qha Aluvião	801,30	1,65	PEIIIeu (Euclidelândia)	650,50	1,30
Sjr (Granito S. J. Ribeirão)	3.095,00	6,40	PEIIIim (Imbé)	26.323,70	54,30
PEImn (Monerá)	1.0917,30	22,50	PEIVca (Capim Angola)	121,80	0,30
PEIrn (Complexo Rio Negro)	972,80	2,00	PEIVin (Complexo Indiviso)	1.762,40	3,65
PEIIrbl (Rio Bonito- Lumiar)	529,00	1,10	Outros elementos		
PEIIcr (Crubixais)	2079,00	4,30	Tálus	1216,20	2,50
Total				48469,00	100,00

O material nas áreas de várzea é constituído de sedimentos argilo-arenosos, compreendendo aluviões fluviais recentes e formações aluviais e coluviais mais antigas referidas ao holoceno, proveniente de material carregado das encostas e depositado nas calhas dos rios e córregos. Em certos locais nota-se o aporte recente de material coluvial.

4.2 – GEOMORFOLOGIA

A área de estudo insere-se na unidade geomorfológica “reverso das colinas e maciços costeiros do Planalto da Serra dos Órgãos” (Dantas, 2001), unidade definida predominantemente, pelos sistemas de Relevo Domínio de Morros Elevados e Domínio Montanhoso, com ocorrência de alvéolos de relevo suave, subordinados ao domínio montanhoso (Dantas, 2001). De sul para norte, pode-se individualizar três unidades

morfológicas distintas no Planalto Reverso da Região Serrana, ressaltando uma gradativa redução das amplitudes de relevo, em direção ao vale do Paraíba: uma escarpa reversa logo após a linha de cumeada da escarpa da Serra do Mar, sendo esse relevo expressivo principalmente no Reverso da Serra dos Órgãos, entre as cidades de Petrópolis e Nova Friburgo. O domínio montanhoso, que se estende à norte por uma vasta área do planalto, a partir da base da escarpa reversa; e o domínio de morros elevados.

O relevo montanhoso, de morfologia bastante acidentada, com presença de pequenos alinhamentos Serranos, paredões rochosos e ocorrência generalizada de “pães-de-açúcar”, abrange uma área significativa desse setor do planalto, apresentando cotas entre 900 a 1.000m, podendo registrar picos com 1.300m de altitude. Em direção a leste, o setor montanhoso do planalto torna-se menos expressivo, associado a uma profunda dissecação promovida pelo rio Grande no seu médio curso, apresentando cotas entre 700 e 800m e picos ainda bastante elevados. Mais ao norte, a superfície de morros elevados demonstra uma nítida inclinação de oeste para leste, visto que da localidade de Duas Barras para as localidades de Euclidelândia e Macuco as cotas decrescem gradativamente de 800 para 400m. Esse domínio de morros elevados apresenta, em geral, um relevo bastante movimentado, com frequente ocorrência de “pães-de-açúcar”. Observa-se outro degrau entre as localidades de Bom Jardim e Macuco, denominado Serra de São Sebastião, com desnivelamentos em torno de 300m. A montante desse degrau, desenvolve-se um compartimento de colinas e morros baixos (Dantas, 2001).

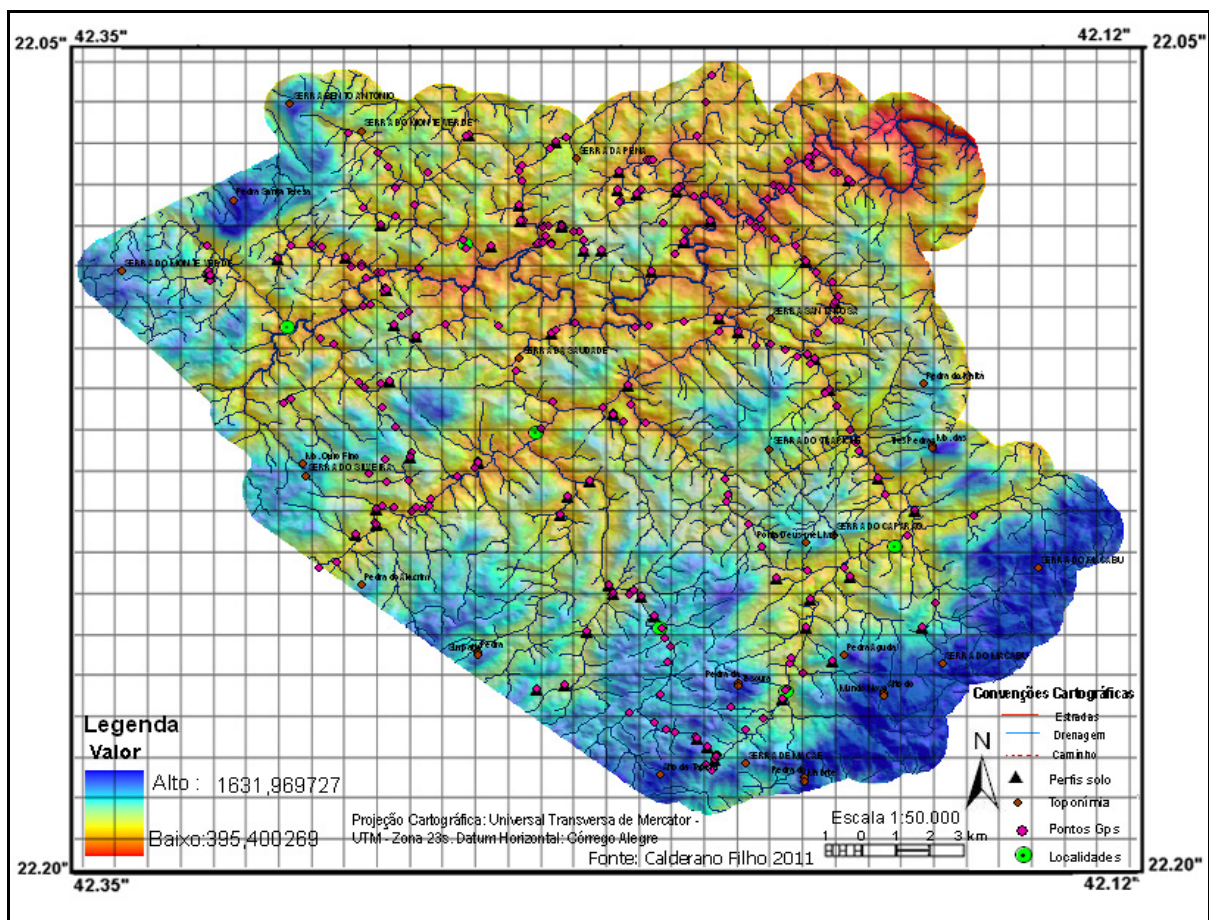
As bacias dos rios Grande e Negro, formadores do rio Dois Rios, drenam praticamente toda essa porção do planalto. A rede de canais segue uma direção geral WSW-ENE, em contraste com a direção SSW-NNE que predomina no conjunto do planalto (Dantas, 2001). A região apresenta alto potencial de vulnerabilidade a eventos de erosão e movimentos de massa, devido ao gradiente elevado do relevo montanhoso dominante, associado às interferências antrópicas, expansão das atividades econômicas e índices de precipitação local. Em geral, os terrenos mais íngremes e elevados preservam a cobertura florestal, atenuando um pouco o potencial erosivo demonstrado pela região.

Um aspecto relevante no planalto da Região Serrana é a ocorrência de alvéolos de relevo suave, subordinados ao domínio montanhoso. Esses alvéolos, produzidos pela dissecação mais efetiva de uma determinada rede de drenagem ou condicionados por degraus estruturais, favorecem a implantação dos sítios urbanos e o desenvolvimento das atividades agrícolas na região (Dantas, 2001). Nesse setor montanhoso do planalto destacam-se os núcleos urbanos

de Monnerat, Amparo, Barra Alegre, Dr. Elias, Trajano de Moraes, Visconde de Imbé, São Sebastião do Alto e Santa Maria Madalena, e, nos terrenos menos elevados, as localidades de Duas Barras, Cordeiro, Cantagalo, Santa Rita da Floresta, Euclidelândia e Macuco.

4.3 - Relevo

Complementando as informações sobre a geomorfologia da área, a partir do modelo digital de elevação (MDE) com tamanho de células de 15 (mde15), foram derivados vários componentes do MDE como: declividade, aspecto, curvatura, plano e perfil de curvatura, acumulação do fluxo, direção do fluxo e sombreamento do relevo. Esses grids serviram de apoio a análise espacial da área. A Figura 7 mostra o MDE da área, com célula de 15.

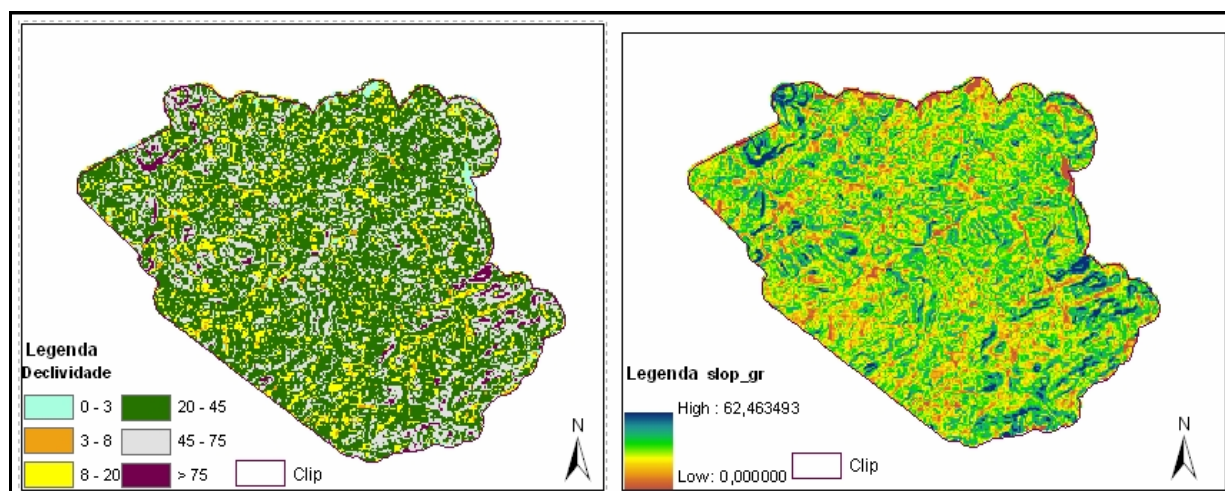


Fonte: Confeccionado pelo autor.

Figuras 7 – Modelo Digital de Elevação (mde 15).

O mapa de declividade foi classificado em seis classes de relevo: plano (0-3%), suave ondulado (3-8%), ondulado (8-20%), forte ondulado (20-45%), montanhoso (45-70%) e escarpado (> 70%). A definição de intervalos de classes de declives utilizadas está de acordo com Embrapa (2006). Pela tabela 2, verifica-se que 69,24% da área do município apresentam declividade superior a 20%, sendo que 43% em relevo forte ondulado (20-45%), 20,02%

relevo montanhoso (45-75%) e 6,22% apresenta relevo escarpado (> 75%). As áreas de relevo ondulado (8-20%) ocupam 20,83% e as áreas de relevo plano (0-3%) e suave ondulado (3-8%) ocupam 9,93% das terras e estão relacionadas com os sedimentos do Quaternário.



Fonte: Confeccionado pelo autor.

Figura 8– Distribuição das classes de declive em percentagem e em graus.

O mapa de declividade, junto com as feições identificadas na fotointerpretação dos produtos de sensoriamento remoto, serviu entre outros fins, para apoiar a cartografia dos solos no campo pelo método tradicional. Desta forma, o delineamento das unidades de mapeamento superpõe-se às classes de declives especificadas no mapa.

Tabela 2 – Distribuição das classes de declividade (mde15)

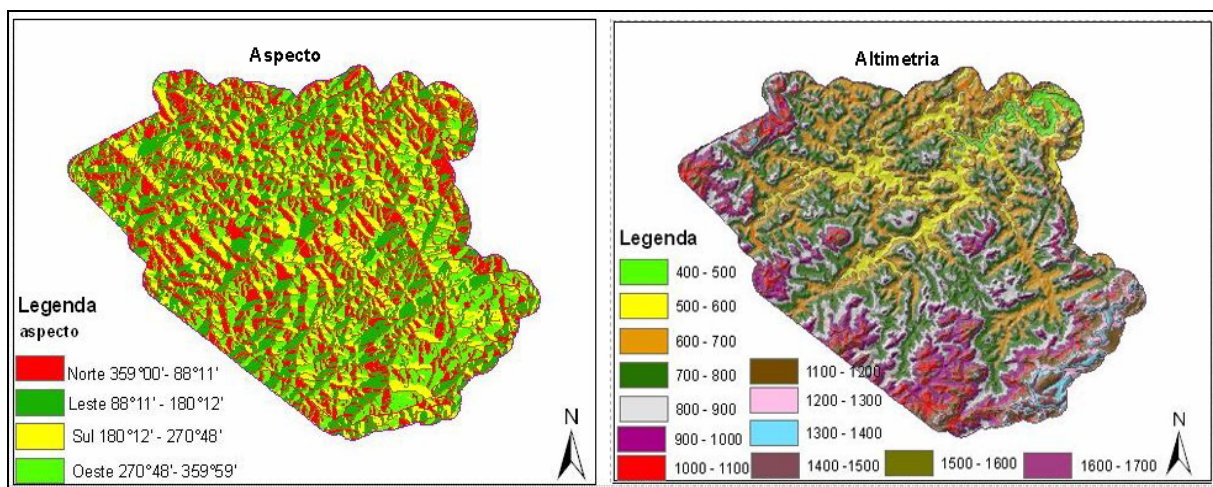
Classe de declive	área (ha)	%
Plano	862,74	1,78
suave ondulado	3.950,22	8,15
Ondulado	10.096,10	20,83
forte ondulado	20.841,69	43,00
Montanhoso	9.703,50	20,02
Escarpado	3.014,77	6,22
Total	48469,06	100,00

Na área de estudo as amplitudes de elevação variam de 480 a 1620m, com média de 1050m (Figura 9), o que é uma grande amplitude de cotas altimétricas. Os vales são estreitos com vertentes de altitudes diferenciadas e relevo acidentado típico da Serra do Mar, possuindo uma intensa malha de pequenos cursos d'água, que drenam toda a área. Compreende parte da bacia e curso do rio Grande, um dos formadores do rio Dois Rios, que engorda seu fluxo ao receber as águas do rio Bengala e tributários, dos ribeirões São José, São Domingos, Santo Antônio, Barra Alegre e outros menores. Esses cursos d'água são os principais receptores de sedimentos carregados das encostas e levados até o rio Grande. As

menores altitudes, cotas de 480 até 550m, circundam o médio curso do rio Grande, já no município de Cordeiro e a mais alta de 1620 m, delimita os divisores d'água nas cabeceiras dos ribeirões Santo Antônio e Pito Aceso, próximo ao Alto do Mundo Novo.

Os maiores declives estão associados sempre com as áreas do domínio de morros elevados e montanhas, e os menores se associam com as áreas cobertas pelos sedimentos do Quaternário. As áreas de várzea que não são muitas, pois muitas vezes os rios correm encaixados entre morros elevados, apresenta relevo plano, com 0 a 3% de declive, em certos locais o relevo é suave ondulado, com 3 a 8% de declive, onde a várzea é entulhada observa-se variações de altitude e natureza dos sedimentos. A drenagem no ambiente de várzea é impedida, com solos imperfeitamente drenados. Nas encostas observa-se, em pequenas porções de anfiteatro e áreas de depósitos de Tálus, solos imperfeitamente drenados.

Os blocos rochosos e salientes apresentam-se como enormes blocos que se destacam nos pontos mais proeminentes da topografia, a dezenas de metros acima dos vales, com aspecto de montanhas desnudas sujeitas à esfoliação, apresentando sulcos, onde fixa-se vegetação rasteira de líquens, musgos e bromélias. O paredão descoberto, muito raramente tem continuidade até o fundo do vale.



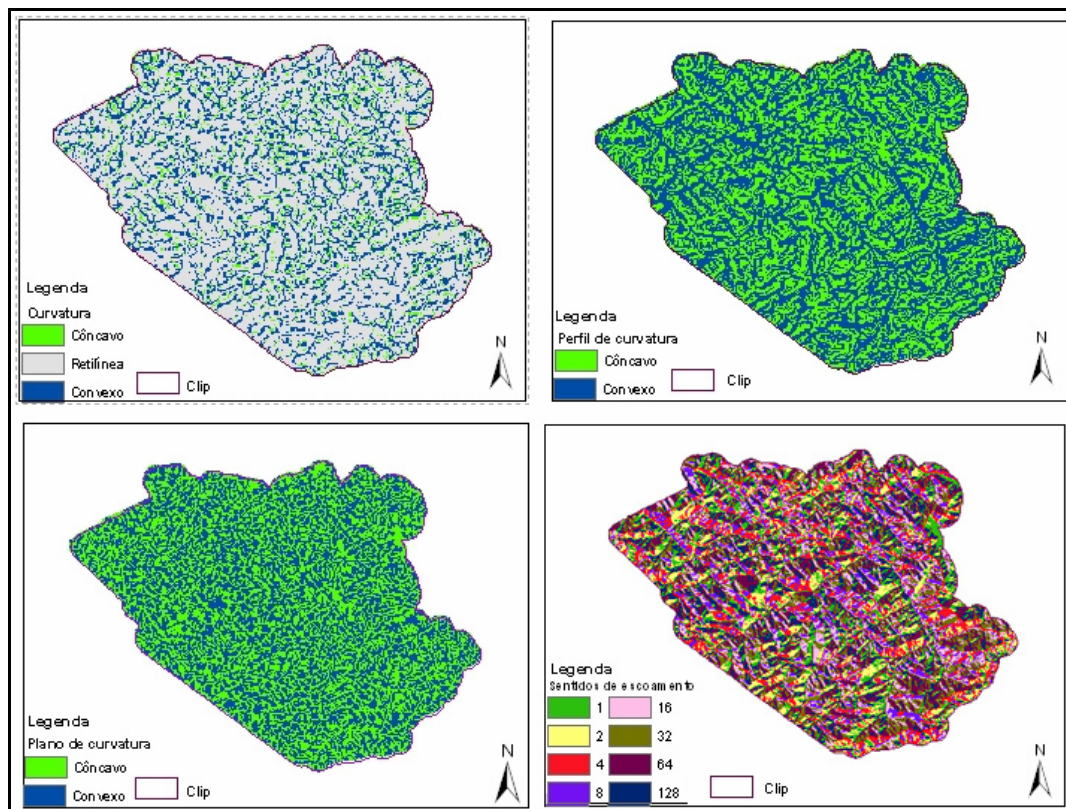
Fonte: Confeccionado pelo autor.

Figura 9 – Representação dos temas aspecto e altimetria da área de estudo (mde 15).

A elevação apresenta a distribuição das classes de altitudes ou patamares hipsométricos, em intervalos verticais equidistantes. Entre as outras variáveis derivadas do MDE, o aspecto representa a direção da declividade e pode ser observado na Figura 9, com as faces classificadas como Norte, Leste, Sul e Oeste, trata-se de um modelo numérico de terreno com valores contínuos de 0 a 360. Na área de estudo não existe uma direção preferencial das faces

das vertentes, Norte, Sul, Leste e Oeste.

As duas curvaturas mais comumente computadas são: plano de curvatura (taxa de variação do aspecto ao longo da curva de nível) e perfil de curvatura (taxa de variação da declividade ao longo da linha de fluxo). O perfil de curvatura é importante para caracterizar mudanças na velocidade do fluxo de água e processos relacionados ao transporte de sedimentos (Valeriano & Rossetti 2008). Por sua vez, o plano de curvatura mede a propensão da água convergir ou divergir à medida que atravessa o terreno (Gallant & Wilson, 2000). Os temas gerados, curvatura, perfil e plano de curvatura, podem ser visualizados na Figura 10.



Fonte: Confeccionado pelo autor.

Figura 10 – Representação dos temas relativos à curvatura, perfil de curvatura, curvatura plana e sentidos de escoamento possíveis.

De maneira geral, para toda a área de trabalho os resultados obtidos indicam uma predominância de formas de relevo retilíneas (valores intermediários) sobre o côncavo (valores negativos) e o convexo (valores positivos), quando consideramos os temas perfil e plano de curvatura. Para o tema curvatura, as formas côncavas e convexas praticamente se igualam.

4.4 – Uso e Cobertura das Terras

Nas zonas rurais do Estado do Rio de Janeiro e de Minas Gerais onde, desde o início do processo de ocupação das terras no século XVI, a retirada da cobertura vegetal original e substituição por sucessivos ciclos de monocultivos desencadearam processos erosivos que deram origem a mudanças significativas da oferta hídrica (Alves Filho et al. 1999). As transformações na paisagem deixaram a vegetação original restrita às áreas de maiores altitudes.

Originalmente coberta por vegetação florestal de Mata Atlântica, atualmente a vegetação encontra-se reduzida a alguns agrupamentos florestais fragmentados e descaracterizados por sucessivas intervenções antrópicas (Calderano Filho et al. 2009a). Nos trechos onde a floresta ocupava encostas e vales mais suaves, a vegetação encontra-se bastante alterada ou foi completamente substituída por atividades agrícolas, como é o caso da mata ciliar.

A cobertura vegetal predominante em praticamente toda a área de estudo é de floresta tropical perenifólia e subperenifólia, caracteriza-se assim, por apresentar vegetação exuberante, com formações densas e espécies arbóreas de grande porte. São domínios florísticos correlacionáveis com a Floresta Ombrófila densa e mista. Suas folhagens pouco se alteram durante o ano, mesmo nos meses de menor precipitação pluviométrica. Além destas formações, em ambientes de acumulação dos cursos d'água, sujeitos ou não a inundações periódicas, encontra-se vegetação apresentando originalmente fisionomia arbustiva ou herbácea, variável de acordo com a intensidade e duração da inundação, com ocorrência de floresta tropical subperenifólia de várzea. São encontrados também, campos antrópicos com pastagens, que estão dispersos por toda a região, culturas perenes, principalmente o café, e culturas anuais em menor escala.

No mapeamento de uso atual e cobertura das terras, procurou-se contemplar todas as transformações em que o uso da terra alterou a vegetação original, de modo a fornecer um quadro geral da situação atual da área amostrada. Para atingir esse objetivo o mapa de uso e cobertura das terras foi confeccionado de forma híbrida, com base na aplicação conjunta de uma classificação supervisionada e posterior classificação visual, a partir da análise de fotografias aéreas digitais, com validação de trabalho de campo. Neste procedimento, os resultados refletiram melhor a realidade da área A Figura 11 mostra a distribuição das classes de uso e cobertura das terras da área.

Embora a literatura científica recomende o uso de imagens do sensor LANDSAT, para aplicações de classificação visual da imagem, em escalas médias de 1:100.000, com

comprometimento visual dos pixels a partir da escala de 1:70.000. Como as imagens estavam disponíveis no banco de dados, elas foram testadas para auxiliar na classificação final de forma híbrida. Desta forma, o mapa de uso e cobertura foi produzido de três formas distintas, como mencionado no item 3.3.

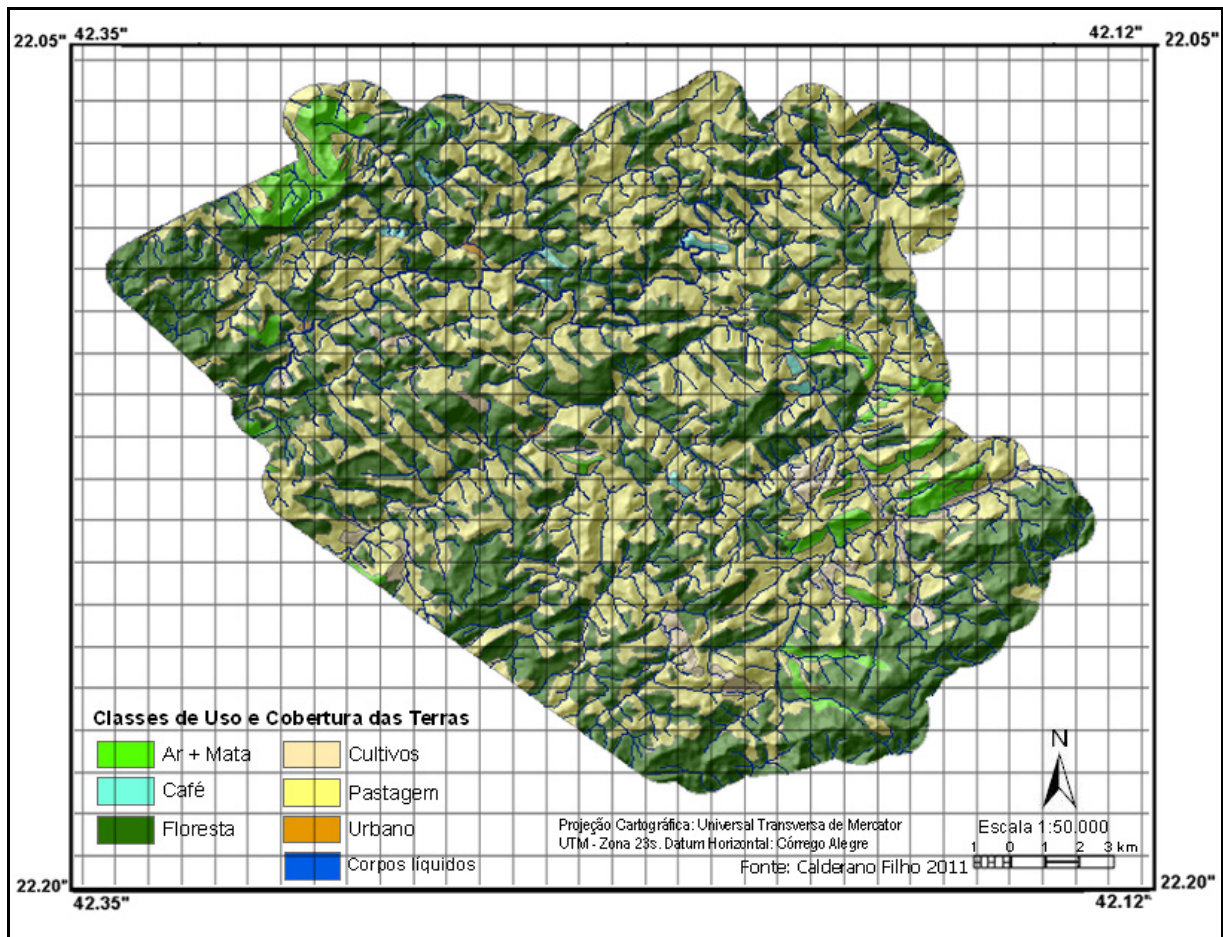
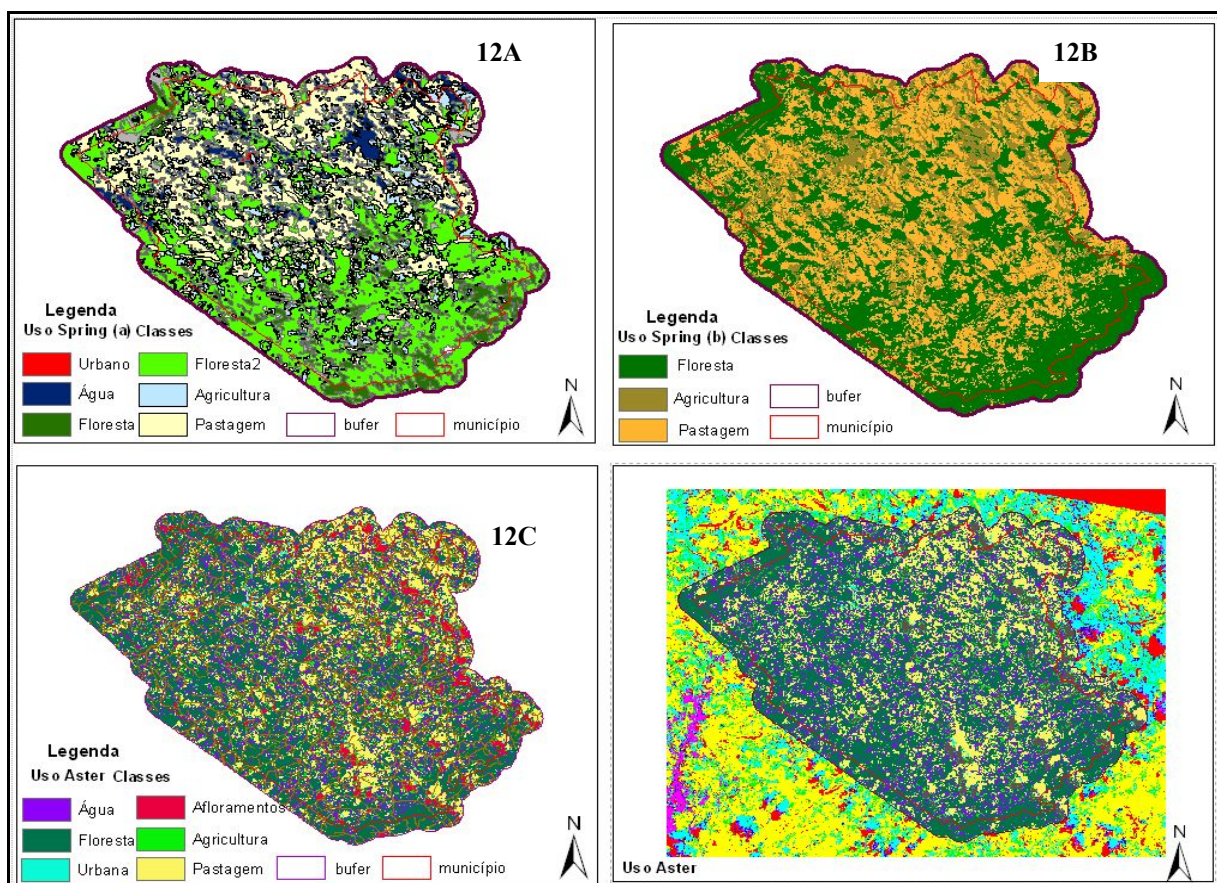


Figura 11 - Mapa de uso e cobertura das terras da área de estudo.

As Figuras 12A, 12B e 12C mostram os mapas de uso e cobertura das terras confeccionados a partir da classificação digital. A classificação digital utilizando imagens do sensor LANDSAT e o programa SPRING (Figuras 12A e 12B), permitiu separar, na classificação supervisionada seis classes de uso e cobertura das terras, como mostra a Figura 12 A, na classificação não supervisionada só foi possível separar com segurança três classes de uso, como mostra a Figura 12 B. Na classificação digital supervisionada utilizando imagens do sensor ASTER e o programa ENVI, (bandas espectrais 1 a 3 nas regiões do visível e infra-vermelho próximo -VNIR), foi possível separar seis classes de uso e cobertura e houve melhor detalhamento de algumas classes, o que é explicado pela melhor resolução espacial das imagens do ASTER em relação ao LANDSAT. Por outro lado, houve um

exagero nas classes urbana e afloramentos, e alto grau de confusão dessas classes com as sombras provocadas pelas nuvens, como mostra a Figura 12C com sua máscara ao lado.

Nos dois métodos testados foi grande o grau de confusão entre as classes de solo exposto, área urbana, cultivos e pastagens, tanto nas imagens do ASTER como do LANDSAT. Esse grau de confusão se explica pelo fato das subcategorias de uso solo exposto, área urbana e cultivos, ocuparem superfícies muito pequenas, muitas vezes com áreas menores que 1ha, mas encontram-se dispersas por toda a área de estudo. Nas áreas de pastagens, encontram-se muitas áreas de pasto sujo, o que é facilmente confundido com certos tipos de cultivos. Outra razão para isso, pode estar nas amostras de treinamento fornecidas contendo conjunto de pixels mistos, com subcategorias de uso, ou contendo atributos diferentes do observado no campo, nos pontos de reconhecimento.



Fonte: Confeccionado pelo autor.

Figura 12 - Mapa de uso e cobertura das terras da área, por classificação supervisionada e não supervisionada.

É comum o uso de métodos híbridos de classificação digital e visual com base em produtos de melhor resolução, que no caso foram as fotografias aéreas digitais na escala 1:20.000. Principalmente em áreas montanhosas onde as características geoambientais peculiares

imprimem na paisagem local uma predominância da classe de relevo forte ondulado e montanhoso e, a maioria das atividades agrícolas é praticada em pequenas áreas de alvéolos, inseridas nestas unidades de relevo. Fato que associado a escala de trabalho adotada 1:50.000, acaba dificultando a separação e representação cartográfica de pequenos polígonos.

O mapa obtido mediante o processamento digital e classificação visual de fotografias aéreas, mostrando a distribuição final das classes pode ser observado na Figura 11. A legenda final foi estabelecida em função dos diferentes tipos de usos e cobertura das terras que ocorrem na área, possibilidade de representação cartográfica em função da escala adotada (1:50.000), área mínima mapeável, material básico utilizado e possibilidade de estabelecer manchas mais homogêneas das categorias de uso.

As terras do município são utilizadas predominantemente com pastagens, em geral de Braquiária, que ocupam 49 % da área, cultivos de olerícolas, plantios de café e de flores ornamentais, dentre as quais a principal é o plantio de rosas, além da pecuária de leite e corte. Como mencionado a agricultura é praticada nas encostas dos estreitos vales, até as cabeceiras de drenagem, em pequenos módulos rurais, típica de pequenos proprietários rurais, em regime de agricultura familiar. Onde há exposição rochosa, nota-se uma camada de finíssima espessura, permitindo apenas a propagação de líquens, musgos e bromélias, e nos topos das rochas onde a declividade permite, acumula-se uma camada húmica rasa em contato direto com o substrato rochoso, ou associada a solos litólicos, favorecendo o aparecimento de vegetação de aspecto arbóreo. Nas várzeas, já modificadas pelo uso, predominam ciperáceas e vegetação rasteira. Aproximadamente 44% da área encontram-se preservados em matas, de maneira mais restrita algumas áreas são utilizadas com reflorestamento de eucaliptus. Para Oliveira et al. (1995), a maioria dos remanescentes da Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro são de matas secundárias em diferentes estágios sucessionais, alteradas pelas atividades agropecuárias ou exploração madeireira.

Neste mapeamento foi possível delimitar e discriminar as seguintes categorias de uso e cobertura: remanescentes florestais, separados em Floresta, a qual representa as áreas que possuem cobertura vegetal arbórea densa, onde as copas se tocam. Trata-se de vegetação secundária, evidenciado por um grau maior ou menor de alterações de sua composição original. Nessa escala, não foi possível fazer distinção cartográfica entre capoeiras e mata ciliar. A classe Pastagem engloba as áreas de pastagens plantadas e naturais, com diferentes níveis de manejo. A classe Afloramento + Mata Rala engloba vegetação de porte arbóreo arbustivo sobre afloramentos. Alguns fragmentos de vegetação rasteira muito pequenos que

ocorrem nas partes altas, recobrando os afloramentos com líquens, musgos e bromélias, estão aí incluídos. Os cultivos englobam várias culturas com destaque para olerícolas e plantio de flores ornamentais. Tais culturas ocupam áreas muito pequenas para serem mapeadas individualmente. O café corresponde a plantios de idades variadas. Água representa toda superfície líquida, rios e lagos. Área Urbana representa as áreas edificadas. Áreas pontuais como reflorestamento de eucaliptos e áreas de solo exposto não foram possíveis de separar, considerando que estes, assim como as áreas de cultivo agrícola, ocorrem em pequenos módulos. A Tabela 3, mostra a distribuição das classes de uso e cobertura das terras, com base no mapa da Figura 11.

Tabela 3- Percentuais das classes de uso e cobertura das Terras.

Categorias de Uso	ha	%	Categorias de Uso	ha	%
Floresta	21.275	44	Cultivos	1.002	2,1
Pastagem	23.754	49	Café	227	0,6
Ar + Mata	2.102	4,0	Água	52,0	0,1
Área Urbana	57,0	0,2			
Total				48469,06	100

Na região as formações naturais caracterizadas por florestas secas são muito variadas no que concerne à sua estrutura e composição, embora relacionem-se com as florestas Ombrófilas regionais, possuem designação própria, pois o ritmo estacional se traduz por avançado grau de decíduidade foliar durante a seca. A intensidade da queda das folhas depende da severidade da seca e/ou das condições edáficas existentes, só havendo decíduidade completa em casos extremos Rizzini (1972).

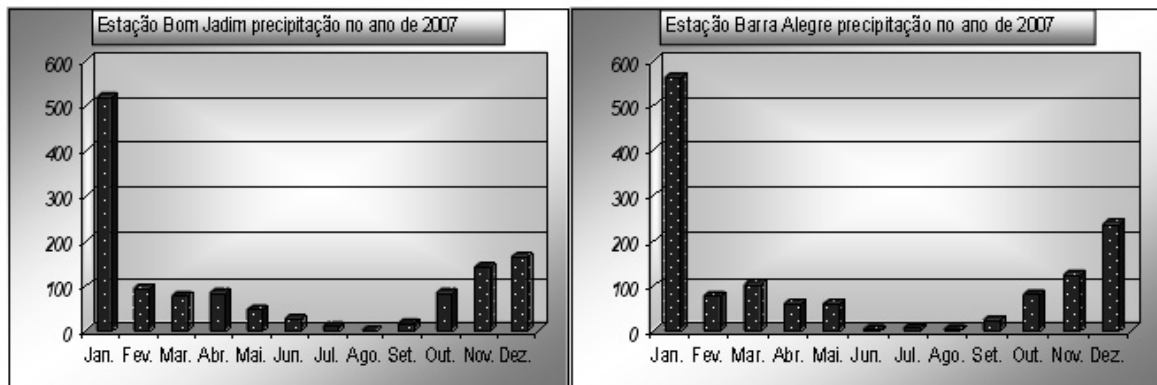
4.5 – Clima

Pela predominância de superfícies altas, o clima na região é ameno, o tipo climático predominante é o tropical mesotérmico brando super úmido (Nimer, 1977). A temperatura média anual é de 17,8°C. O verão é brando, com temperaturas médias variáveis de 18,3°C a 21,4°C, no inverno a média varia entre 13°C a 16,8°C, sendo junho e julho os meses mais frios. Comparados a outros municípios da região Serrana, Bom Jardim e Nova Friburgo apresentam clima mais seco em decorrência de estarem abrigados pela encosta da Serra (Nimer, 1977).

A estação de Bom Jardim vem sendo monitorada desde 1941 e possui uma série histórica de 1941 a 2007, as estações de Barra Alegre e Vargem Alta possuem séries históricas de 1966 a 2007, já a estação de Ponte Bersort não possui dados de uma série amostral longa, o acompanhamento começou só em 2003, nos limites com o município de Nova Friburgo fica

localizada a estação Ponte Dona Mariana.

Utilizou-se apenas os dados das estações de Barra Alegre e Bom Jardim, por possuírem séries mais longas, a estação de Vargem Alta possui dados falhados, enquanto a estação Ponte Bersort só está disponível dados a partir de 2003. Nas Figuras 13 e 14 é apresentada a distribuição mensal das precipitações pluviais no ano de 2007, para as estações de Bom Jardim e Barra Alegre. Nas Figuras 15 e 16 são apresentadas as séries históricas de 1966 a 2007 para as estações de Bom jardim e Barra Alegre.



Figuras 13 e 14 - Distribuição mensal das precipitações pluviais no ano de 2007 – fonte: baseado em ANA, (2007).

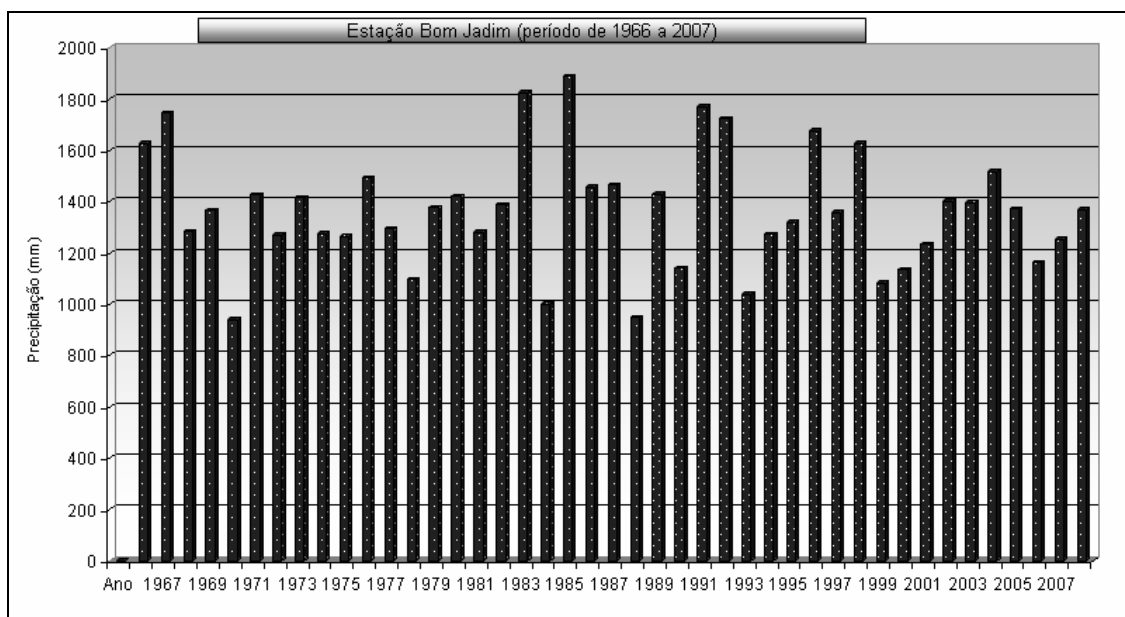


Figura 15 - Normais climatológicas da estação de Bom Jardim, série 1966-2007 (fonte: baseado em ANA 2007).

A posição de Bom Jardim, confere-lhe uma pluviosidade anual bastante elevada, concentrada no verão. Baseado nas normais climatológicas da estação de Bom Jardim, série 1941-2007 (ANA, 2007), a média de precipitação anual da estação Bom Jardim foi de 1367,1 mm, sendo dezembro o mês de maior índice, com 264,5 milímetros. A estação mais seca,

coincidente com o período frio, ocorre de maio a setembro, sendo junho (27,9 mm), julho (20,8mm) e agosto (22,2 mm), os meses de menor precipitação, porém não é significativa, porque as temperaturas são baixas e a evaporação é relativamente fraca. O ano de maior precipitação durante toda a série foi o de 1952 com o total de chuva acumulado de 2.229 mm. O mais seco foi o de 1963 com chuva anual de apenas 538,7 mm.

Baseado nas normais climatológicas da estação de Barra Alegre, série 1966-2007 (ANA, 2007), a média de precipitação anual da estação Barra Alegre foi de 1327,9 mm, sendo dezembro o mês de maior índice, com 248,3 mm. A estação mais seca, coincidente com o período frio, ocorre de maio a setembro, sendo junho (29,1 mm), julho (22,4mm) e agosto (22,6 mm), os meses de menor precipitação. O ano de maior precipitação durante toda a série foi o de 1983 com o total de chuva acumulado de 2.068,4 mm. O mais seco foi o de 1990 com chuva anual de apenas 848,5 mm (Figura 16).

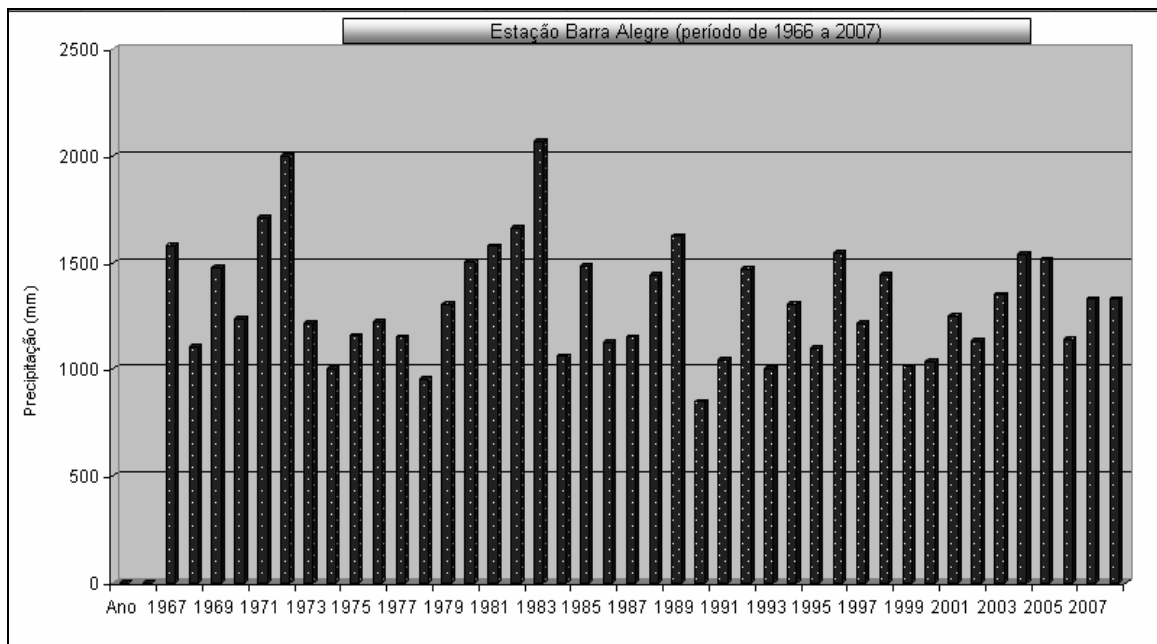


Figura 16 - Normais climatológicas da estação de Barra Alegre, série 1966 - 2007 (fonte: baseado em ANA, 2007).

Vale resaltar que os dados apresentados visam, apenas, fornecer um apanhado geral da área. Para uma análise mais confiável ao planejamento agrícola local, deve-se avaliar as condições da realidade local por subbacias hidrográficas.

4.6 – SOLOS (Mapeamento Convencional)

A conceituação das classes de solo foi elaborada segundo os critérios adotados atualmente pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006). As classes definidas no quarto nível categórico, de acordo com o mapa de solos, são a seguir descritas com base nas

características morfológicas e análises físicas, químicas e mineralógicas dos perfis representativos. As principais classes de solos que ocorrem na área são: Latossolo Vermelho Distrófico típico álicos e não álicos; Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico argissólico, álicos e não álicos, Latossolo Amarelo distrófico típico, com horizonte A moderado e proeminente, Latossolo Amarelo Distrófico argissólico, Latossolo Amarelo Ácrico típico e Latossolo Amarelo Distrófico húmico, álicos e não álicos; Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico, Argissolo Amarelo Distrófico abruptico, Argissolo Amarelo Distrófico úmbrico e Argissolo Amarelo Distrófico típico; Argissolo Vermelho Distrófico típico, Argissolo Vermelho Distrófico latossólico e Argissolo Vermelho Eutrófico típico; Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico e Cambissolo Húmico Distrófico típico; Cambissolo Flúvico Tb Distrófico típico; Neossolo Litólico Distrófico típico e Neossolo Flúvico Tb Distrófico típico, Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico. Como tipo de terreno Afloramento de Rocha.

Ocorrem na área de estudo perfis de solos cujas características não se encaixam nas classes contempladas no 4º nível (subgrupos), do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006). As classes de solos foram subdivididas considerando-se o tipo de horizonte A, características taxonômicas de natureza intermediária, grupamentos texturais, constituição macroclástica, tipos de vegetação e classes de relevo. Para cada classe de solo considerada é apresentado em anexos as características físicas, químicas, morfológicas e mineralógicas dos perfis coletados durante o mapeamento de solos. A Figura 17, mostra o mapa de solos da área. A Tabela 4, mostra a legenda sinótica de solos, com os percentuais de ocorrência por unidade de mapeamento.

4.6.1 - LATOSSOLOS (L)

Compreende solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, exceto H hístico, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresentar mais de 150 cm de espessura (Embrapa, 2006). São solos muito intemperizados e muito evoluídos, como resultado de profundas transformações no material de origem, e destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo. Devido à intensa lixiviação de bases e de sílica estes solos apresentam baixa capacidade de troca de cátions ($<17\text{cmol}_c/\text{kg}$, sem correção para carbono). Sua reserva em nutrientes é muito reduzida, fato que não impede que sejam solos produtivos quando bem manejados. São encontrados tanto solos

predominantemente cauliníticos, quanto oxídicos (Ki mais baixo).

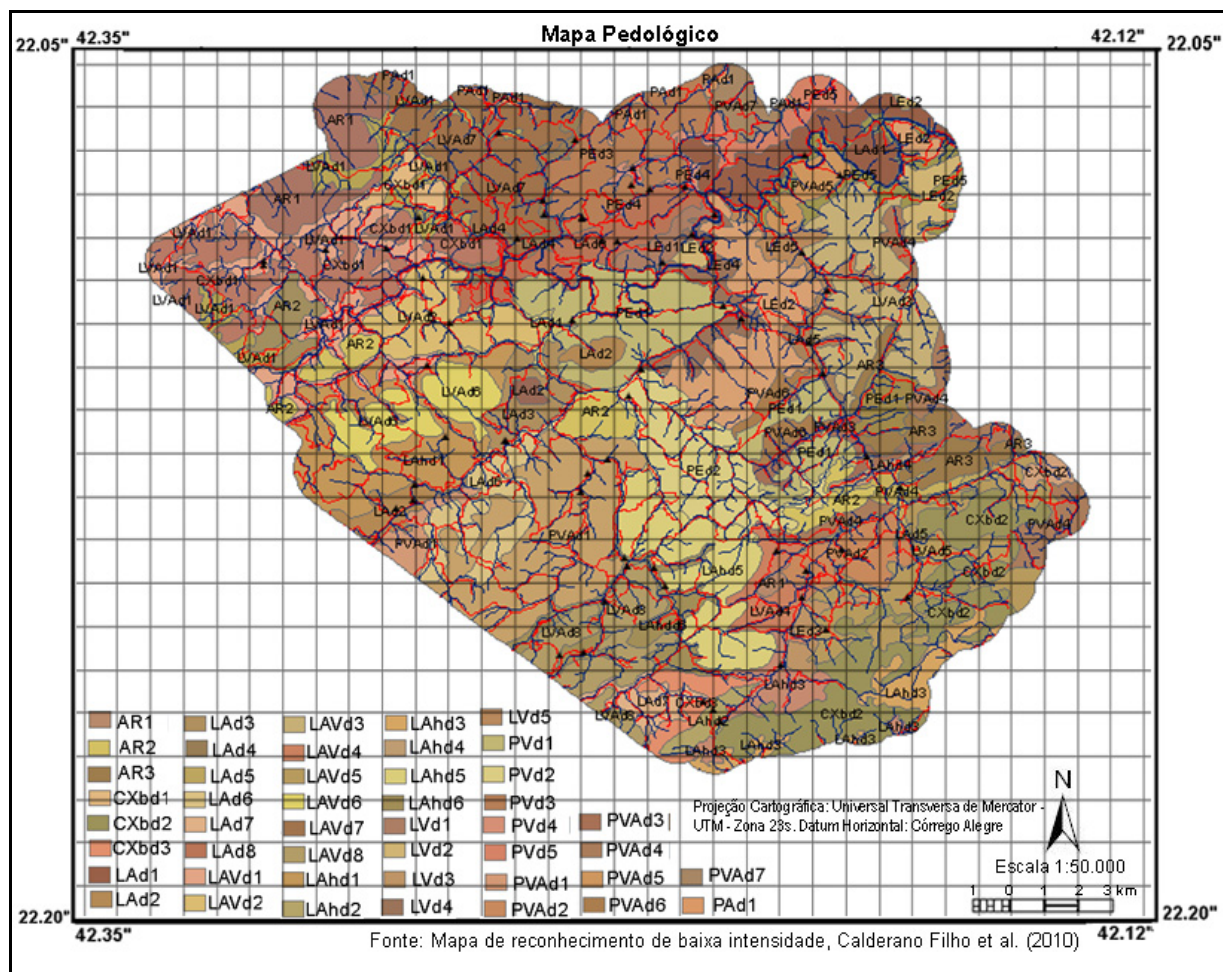


Figura 17 - Mapa de solos da área de estudo (1ª versão).

Foram separados na área três classes de Latossolos, compreendendo Latossolos Vermelhos (LV), Latossolos Amarelos (LA) e Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA). Os Latossolos são, em geral, solos com boas propriedades físicas e situados, na maioria dos casos, em relevo desfavorável ao uso intensivo de máquinas agrícolas. São encontrados sob relevo ondulado e forte ondulado, com declividades que variam de 8 a 45% e pequenas ocorrências em relevo montanhoso. Embora sejam menos suscetíveis aos processos erosivos, normalmente onde ocorrem esses solos na região pode-se observar processos erosivos laminares e alguns deslizamentos como consequência das condições de relevo e das práticas agrícolas inadequadas. Os solos intermediários com a classe dos argissolos são mais suscetíveis aos processos erosivos. Sua elevada friabilidade permite que sejam facilmente preparados para o cultivo. Esse fato qualifica tais solos entre os mais adequados à agricultura extensiva. Sua principal limitação se prende as condições de relevo e à baixa disponibilidade de nutrientes. Nestes casos, é difícil obter-se boas produções com baixo nível de manejo. Uma vez eliminada tais limitações, tornam-se bastante produtivos. Os Latossolos identificados na área

de estudo apresentam horizontes superficiais do tipo A moderado, proeminente e húmico, havendo predominância de solos com horizontes A moderado.

LATOSSOLO VERMELHO (LV)

Apresentam coloração avermelhada no matiz 2,5YR (vermelho) ou mais vermelhos, na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B, inclusive BA. Esta classe compreende solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B latossólico, em geral, profundos a muito profundos, muito porosos, bem e acentuadamente drenados, de alta permeabilidade, argilosos, muito intemperizados e, em consequência, de muito baixa fertilidade natural. Com sequência de horizontes do tipo A-Bw-C, são predominantemente cauliníticos.

O horizonte A é predominantemente moderado, mas ocorrem solos com horizonte A proeminente geralmente com espessura em torno de 40cm, textura média a argilosa, com 264 a 489g/kg de argila. A estrutura é fraca e moderada pequena e média granular, com transições para o horizonte B claras e graduais. Os teores de carbono orgânico variam de 10,2 a 21,9 g/kg, a CTC de 5,7 a 11,9 cmol_c/kg de solo, a soma de bases com valores de 0,5 a 5,2 cmol_c/kg, a saturação de bases de 4 a 57%, o alumínio trocável de 0,1 a 1,8 cmol_c/kg e a saturação por alumínio de 19 a 78%. O pH é de 4,1 a 5,4 sendo, portanto, fortemente ácidos.

O horizonte B tem espessura superior a 180cm, cores vermelho-amareladas (matiz 2,5YR), textura argilosa, com 406 a 551g/kg, relação silte/argila entre 0,11 e 0,93 e alto grau de floculação no horizonte B, normalmente 100%, refletindo o alto grau de floculação dos colóides, resultando em elevada porosidade e maior resistência à erosão. Estrutura fraca média em blocos e forte pequena granular, friável e muito friável quando úmido. Apresenta grande homogeneidade vertical com transições graduais e difusas entre os subhorizontes. O grau de saturação por bases varia de 3 a 20% e a saturação por alumínio de 43 a 86%, conferindo a esses solos o caráter álico. A CTC varia de 3,0 a 7,4 cmol_c/kg de argila. Os teores de ferro variam em torno de 51 a 112 g/kg de TFSA e a relação SiO₂/Al₂O₃, (Ki) situa-se entre 0,93 e 1,78.

Ocorrem em áreas de relevo ondulado e forte ondulado, sob vegetação de floresta tropical subperinifólia, e são bastante favoráveis ao desenvolvimento radicular de plantas cultivadas, em especial as espécies florestais. Essas qualidades permitem que sejam facilmente preparados para o cultivo. São solos que necessitam de investimentos para correção da acidez e elevação da fertilidade. Sua principal limitação se prende à baixa disponibilidade de nutrientes e à toxicidade por Al⁺³ quando álicos. A limitação ao enraizamento devido a

presença de altos níveis de alumínio no solo constitui fator limitante à produtividade das plantas. Nestes casos, é difícil obter-se boas produções com um manejo de baixo nível tecnológico. Uma vez eliminadas tais limitações, tornam-se bastante produtivos. A textura argilosa confere a estes solos uma maior resistência à erosão, no entanto, os cuidados com relação às práticas conservacionistas devem ser priorizados, principalmente, nas áreas de relevo ondulado e forte ondulado. Possuem boas características físicas, embora as condições de relevo sejam desfavoráveis a mecanização das lavouras. Desta maneira, são mais recomendados para a utilização com lavouras perenes, principalmente sob condições de manejo tecnificado. Quanto ao risco de erosão, embora a utilização seja basicamente com pastagens e em pequenas áreas com plantio de café, é pertinente destacar que este risco pode se intensificar, se o manejo das pastagens não for adequado. O superpastoreio nesta região, aliado aos altos índices de precipitações locais pode levar a degradação de grandes áreas.

O sucesso de uma agricultura sustentável nestes solos dependerá da disponibilidade de recursos dos produtores rurais para investimento em adubação, correção do solo e, principalmente em práticas conservacionistas. Além da correção da fertilidade deve-se atentar para a necessidade de práticas conservacionistas, principalmente, nas áreas onde estes solos ocorrem em posições de relevo ondulado e forte, com declives de 8 a 45%. De modo geral, distribuem-se pelas cotas mais altas do relevo, quando em pendentes longas o processo erosivo é bastante favorecido. Em função dos fragmentos florestais remanescentes, infere-se que a fitofisionomia da cobertura vegetal primitiva é do tipo floresta tropical subperenifólia, sendo predominantemente utilizados com pastagens, apresentando também áreas expressivas de floresta e pequenas áreas com plantio de café.

Os Latossolos Vermelhos foram separados no 4º nível categórico, em três unidades de mapeamento, compreendendo solos com horizonte A moderado e por vezes proeminente de textura argilosa, distróficos típicos álicos e não álicos, componente das unidades de mapeamento LVd1, LVd2 e LVd3.

LATOSSOLO AMARELO (LA)

Solos com matiz 7,5 YR ou mais amarelos na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B, inclusive BA. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, em resultado de enérgicas transformações no material constitutivo (Embrapa, 2006). Esta classe é bastante frequente na área de estudo, apresenta solos muito profundos, bem e acentuadamente drenados, álicos e argilosos, com sequência de horizontes do tipo A-Bw-C, possuem horizonte A moderado, proeminente e húmico. O horizonte B apresenta

espessura maior que 150cm, cores nos matizes 7,5YR a 10YR. Possuem grande homogeneidade vertical com transições graduais e difusas entre os subhorizontes subsuperficiais, textura argilosa e predomínio da caulinita na fração argila.

O horizonte A pode ser do tipo moderado, proeminente e húmico, com espessuras que variam de 20 a 145cm, textura média e argilosa, com argila variando de 223 a 553g/kg, estrutura variável do tipo granular e em blocos subangulares, com transição para o horizonte B plana e clara, por vezes difusa ou gradual. O teor de carbono orgânico varia de 7,0 a 43,4 g/kg, a CTC de 5,5 a 21,1 cmol_c/kg de TFSA, a soma de bases varia de 0,2 a 10,8 cmol_c/kg, com saturação de bases de 1 a 27%, o alumínio trocável está entre 0,8 e 2,8 cmol_c/kg, com saturação por alumínio de 24 a 90% e o pH varia de 3,8 a 5,0.

O horizonte B com estrutura variável de fraca a moderada do tipo blocos subangulares e moderada a forte granular, apresenta cores amarelo-brunado, bruno-amarelado e amareladas (matizes 7,5YR e 8YR, valores de 4 e 5 e cromas de 6 e 8), textura argilosa, com teores variando de 405 a 550g/kg, relação silte/argila entre 0,06 e 0,43. A transição é plana, gradual ou difusa entre os subhorizontes. O grau de saturação por bases varia de 4 a 26% e a saturação por alumínio de 0 a 83%. A fração argila tem atividade que varia entre 1,2 e 5,9 cmol_c/kg de argila. Os teores de ferro variam de 39 a 100 g/kg de TFSA e a relação SiO₂/Al₂O₃, (Ki) situa-se entre 0,60 e 1,97. O pH varia de 4,5 a 5,1 sendo, portanto, ácidos.

Os Latossolos Amarelos foram separados no 4º nível categórico, em treze unidades de mapeamento, sendo oito unidades compreendendo solos com horizonte A proeminente ou moderado de textura argilosa, distróficos úmbricos, distróficos típicos e distróficos argissólicos, álicos e não álicos, componente das unidades de mapeamento LAd1, LAd2, LAd3, LAd4, LAd5, LAd6, LAd7 e LAd8. Duas unidades compreendendo solos átricos e com horizonte A húmico de textura argilosa, componente das unidades LAhw1 e LAhw2 e, três unidades de mapeamento, compreendendo solos com horizonte A húmico de textura argilosa, distróficos húmicos, álicos e não álicos, componente das unidades de mapeamento LAdh1, LAdh2 e LAdh3.

Os Latossolos com caráter átrico têm teores de bases trocáveis muito baixos, mas são desprovidos de alumínio e podem apresentar capacidade de troca de ânions superior à de cátions. São solos menos produtivos em níveis de manejo baixo, porém, em nível de manejo alto ou tecnificado, podem apresentar elevada produtividade com culturas anuais (Oliveira, 2008).

O Latossolo Amarelo húmico é uma modalidade de Latossolo com horizonte A húmico espesso. O horizonte A húmico, é um horizonte mineral superficial de cor escura com valor e cromia 4,0 ou menor, saturação por bases (V%) inferior a 65%, apresentando espessura e conteúdo de carbono orgânico, dentro dos limites especificados no SBCS (Embrapa, 1999 e 2006). O Latossolo Amarelo úmbrico é uma modalidade de Latossolo com horizonte A proeminente, conforme especificado no SiBCS (Embrapa, 2006). Os solos com horizonte A proeminente e húmico, são mais ricos em matéria orgânica e com poder tampão mais elevado, o que irá requerer maior quantidade de corretivos para neutralizar sua acidez.

Estes solos estão situados em posições fisiográficas de relevo ondulado a forte ondulado com declives de 8 a 45%, sob cobertura vegetal de floresta tropical subperenifólia. São utilizados com plantio de café, olerícolas, pastagens naturais e plantadas, apresentando também áreas expressivas de floresta. Nas proximidades de Bom Jardim, Venda Azul e Amparo são ocupados por áreas urbanas e floresta.

LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (LVA)

Solos com matiz 5YR ou mais vermelho e mais amarelo que 2,5YR, na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA). Esta classe compreende solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B latossólico, em geral, muito profundos, muito porosos, bem e acentuadamente drenados, de alta permeabilidade, argilosos, muito intemperizados e, em consequência, de muito baixa fertilidade natural. Com sequência de horizontes do tipo A-Bw-C.

O horizonte A é predominantemente moderado, mas ocorrem solos com horizonte A proeminente geralmente com espessura em torno de 40cm, textura média a argilosa, com 304 a 492g/kg de argila. A estrutura é fraca e moderada pequena e média granular, com transições para o horizonte B claras e graduais. Os teores de carbono orgânico variam de 7 a 21,4 g/kg, a CTC de 5,8 a 12,3 cmol_c/kg de solo, a soma de bases com valores de 0,6 a 3,5 cmol_c/kg, a saturação por bases de 7 a 40%, o alumínio trocável de 0,2 a 1,6 cmol_c/kg e a saturação por alumínio de 5 a 71%. O pH é de 4,2 a 5,5 sendo, portanto, fortemente ácidos.

O horizonte B tem espessura superior a 180cm, cores vermelho-amareladas (matiz 5YR), textura argilosa, com 407 a 550g/kg, relação silte/argila entre 0,11 e 0,48 e alto grau de floculação no horizonte B, normalmente 100%, refletindo o alto grau de floculação dos colóides, resultando em elevada porosidade e maior resistência à erosão. Estrutura fraca média e grande em blocos, friável e muito friável quando úmido. Apresenta grande

homogeneidade vertical com transições graduais e difusas entre os subhorizontes. O grau de saturação por bases varia de 2 a 35%, e a saturação por alumínio de 0 a 80%, conferindo a alguns solos o caráter álico. A fração argila varia de 3,4 a 8 cmol_c/kg de argila. Os teores de ferro variam em torno de 63 a 127 g/kg de TFSA e a relação SiO₂/Al₂O₃, (Ki) situa-se entre 0,71 e 1,44.

Ocorrem em áreas de relevo ondulado e forte ondulado, sob vegetação primitiva de floresta, e são bastante favoráveis ao desenvolvimento radicular de plantas cultivadas, em especial as espécies florestais. Essas qualidades permitem que sejam facilmente preparados para o cultivo. Sua principal limitação se prende à baixa disponibilidade de nutrientes e à toxicidade por Al⁺³ quando álicos. A limitação ao enraizamento devido a presença de altos níveis de alumínio no solo constitui fator limitante à produtividade das plantas. Nestes casos é difícil obter-se boas produções com um manejo de baixo nível tecnológico. Uma vez eliminadas tais limitações, tornam-se bastante produtivos. A viabilidade do desenvolvimento de uma agricultura sustentável nestes solos é bastante dependente da quantidade de recursos financeiros disponíveis para investimento em fertilização e correção do solo, principalmente, a incorporação de calcário em camadas mais profundas, visando o aprofundamento do sistema radicular das plantas, possibilitando um maior aproveitamento da água, assim como de práticas conservacionistas.

Quanto aos aspectos de utilização destes solos, além da correção da fertilidade deve-se atentar para a necessidade de práticas conservacionistas, principalmente, nas áreas onde estes ocorrem em relevo ondulado e forte, com declives de 8 a 45%, de modo geral, distribuem-se pelas cotas mais altas do relevo, quando em pendentes longas o processo erosivo é bastante favorecido. Em função dos fragmentos florestais remanescentes, infere-se que a fitofisionomia da cobertura vegetal primitiva é do tipo floresta tropical subperenifólia, sendo predominantemente utilizados com pastagens, apresentando também áreas expressivas de floresta.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos foram separados no 4º nível categórico, em oito unidades de mapeamento, compreendendo solos com horizonte A moderado e por vezes proeminente de textura argilosa, distróficos típicos e distróficos argissólicos, álicos e não álicos, componente das unidades de mapeamento LVAd1, LVAd2, LVAd3, LVAd4, LVAd5, LVAd6, LVAd7 e LVAd8. As Figuras abaixo mostram perfis de Latossolo Vermelho e Latossolo Amarelo com horizonte A moderado e proeminente.

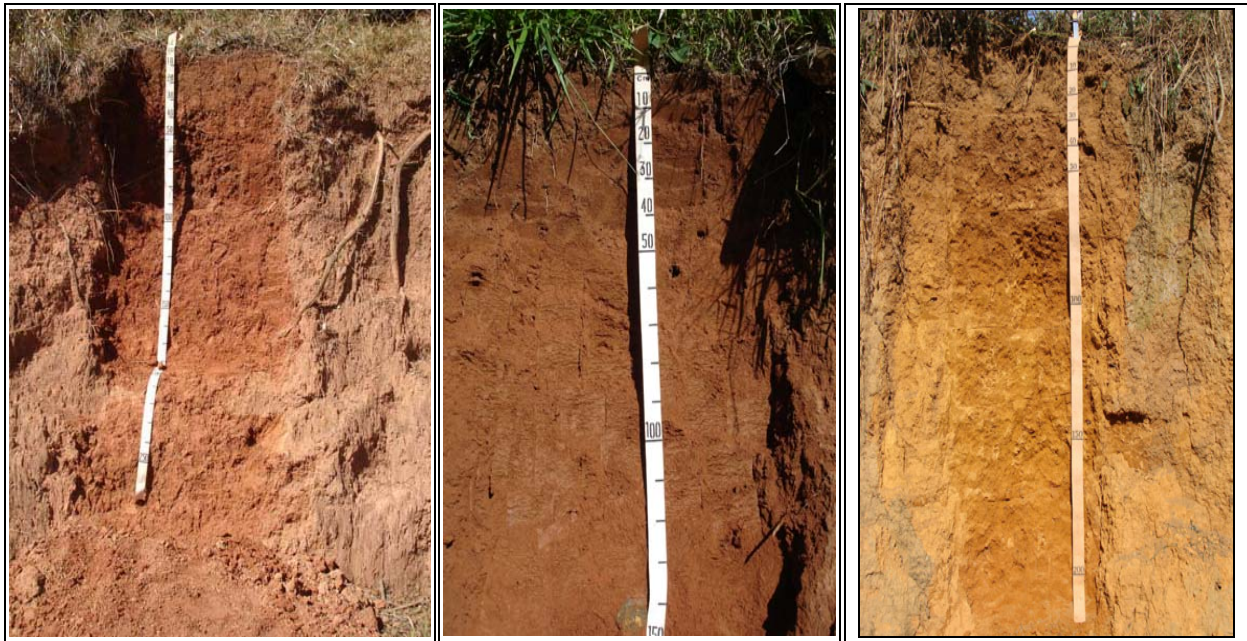


Figura 18A - Perfis de Latossolo Vermelho, Vermelho Amarelo e Amarelo distróficos



Figura 18B - Perfis de Latossolo Amarelo Húmico.

4.6.2 - ARGISSOLOS (P)

Compreende solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais argila de atividade baixa e horizonte B textural (Bt), imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes dos Alissolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos (Embrapa, 2006).

O acréscimo de argila em profundidade e a capacidade de troca de cátions inferior a 27 cmol/kg de solo são os principais atributos diagnósticos válidos para todos os Argissolos. Por

conceituação, os Argissolos apresentam predominantemente argila de atividade baixa. Contudo, a capacidade adsorptiva desta fração, para a mesma textura, é, em geral, ligeiramente superior à dos Latossolos.

Na área de estudo são geralmente bem drenados, de textura variável de média até muito argilosa e abrangem solos, desde eutróficos a distróficos, álicos ou não álicos, rasos a muito profundos, abruptos e não abruptos, com e sem cascalho.

Apresentam, em geral, maior relação textural entre os horizontes A e o horizonte B, sendo por isso, em igualdade de condições de relevo, de cobertura vegetal e de manejo, mais suscetíveis à erosão do que outros solos. Os Argissolos são, profundos a pouco profundos, bem drenados, e não apresentam qualquer impedimento físico à penetração do sistema radicular pelo menos até 150cm de profundidade. A ocorrência de saprolitos a menos de 150cm de profundidade, em alguns solos desta classe não apresenta impedimento físico ao desenvolvimento do sistema radicular pois, a rocha intemperizada é branda. É provável que os saprolitos apresentem maior teor de minerais primários intemperizáveis, constituindo-se em potencial reserva de nutrientes.

A presença de gradiente textural marcante entre os horizontes A e B e às condições de relevo, normalmente forte ondulado e montanhoso os tornam mais suscetíveis à erosão. A erodibilidade é, em geral, muito elevada nos solos que apresentam mudança textural abrupta. O horizonte Bt pode se encontrar a profundidades variadas, o que irá implicar comportamentos diferenciados.

Os Argissolos, por apresentarem em geral textura média ou arenosa em superfície e baixa atividade da fração argila, são facilmente preparados para o plantio. No entanto, são mais expostos à erosão hídrica, os de baixa fertilidade natural exigem práticas corretivas como adubação e calagem para contornar os problemas de acidez e o baixo status nutricional. Pode-se considerar os Argissolos de textura argilosa como material de boa qualidade para piso de estradas, mas seu potencial agrícola, quando situados em relevo movimentado, é baixo. Foram identificados na área Argissolos Amarelos, Argissolos Vermelhos, Argissolos Vermelho-Amarelos e solos intermediários com a classe dos Latossolos.

ARGISSOLOS VERMELHOS (PV)

Esta classe é constituída por solos com horizonte B textural imediatamente abaixo de horizonte A ou E, com matiz 2,5 YR ou mais vermelho nos primeiros 100cm do horizonte B, inclusive BA e exclusive BC.

Compreende solos minerais, não hidromórficos, normalmente profundos, com horizonte B textural imediatamente abaixo do horizonte A, argila de atividade baixa, baixos teores de ferro, saturação por bases de baixa a alta, bem drenados, cerosidade moderada e comum a forte e abundante e transições pouco nítidas entre os subhorizontes Bts. A textura varia de média a argilosa na parte superficial e argilosa a muito argilosa no horizonte Bt, sendo no geral, pouco expressivo o aumento do teor de argila do horizonte A para o Bt, mas ocorre solos com mudança textural abrupta e solos intermediários com a classe do Latossolo. Apresentam perfis profundos, com espessura do solum superior a 150cm e sequência de horizontes do tipo A-Bt-C, com predomínio de horizonte A moderado, mas também, ocorre solos com horizonte A proeminente, horizonte Bt com e sem presença de mosqueado e/ou cor variegada, textura muito argilosa, em profundidade e predomínio de caulinita na fração argila. Ocorrem sob vegetação natural de floresta tropical subperenifólia, em áreas de relevo ondulado a muito movimentadas de relevo forte ondulado. Os argissolos vermelho latossólicos são utilizados com plantio de café, os típicos são mais utilizados com pastagem plantada e sob floresta.

Possuem horizonte A moderado e proeminente, com espessuras variando de 15 a 50cm, textura média a argilosa, com argila variando de 182 a 532 g/kg, estrutura moderada e fraca pequena a média blocos subangulares, e moderada pequena a média granular, de consistência friável e muito friável quando úmido, plástica e pegajosa quando molhado, com transição para o horizonte B plana e clara ou gradual. O teor de carbono orgânico varia de 9,1 a 22,2 g/kg, a CTC de 5,2 a 12,1 cmol_c/kg de TFSA, a soma de bases varia de 1,2 a 4,8 cmol_c/kg, com saturação por bases de 13 a 53%, o alumínio trocável está entre 0,1 e 1,1 cmol_c/kg, com saturação por alumínio de 2 a 48% e o pH varia de 4,5 a 5,7.

O horizonte B textural, com estrutura variável e predomínio do tipo blocos subangulares e angulares, geralmente exibem cerosidade de moderada e comum a forte e abundante, consistência friável e firme quando úmido, plástica e pegajosa quando molhado nos horizontes Bts. Apresenta cores geralmente vivas, da gama vermelho, bruno-avermelhado, vermelho-escuro e vermelho-acinzentado (matizes da ordem de 2,5YR a 1,5YR, valores 3 e 4 e croma 2 a 7) textura argilosa ou muito argilosa em profundidade, com teores variando de 426 a 758 g/kg (com relação textural entre 1,5 a 2,2), e relação silte/argila entre 0,07 e 0,48. A transição é plana e clara ou gradual entre os subhorizontes. O grau de saturação por bases varia de 10 a 71% e a saturação por alumínio de 0 a 74%. A fração argila tem atividade que varia entre 2,7 e 7,0 cmol_c/kg de argila. Os teores de ferro variam de 53 a 152g/kg de TFSA e

a relação $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, (Ki) situa-se entre 1,5 e 2,24. O pH varia de 4,8 a 6,1 sendo, portanto, ácidos.

O horizonte B pode apresentar também, visíveis fragmentos de rochas decompostas e evidências de minerais primários facilmente intemperizáveis, em mistura com a massa do solo nesse horizonte. Nos solos que apresentam restrições de drenagem ocorre, em profundidade, presença de mosqueado ou cor variegada. Os Argissolos Vermelhos não apresentam qualquer impedimento físico à penetração do sistema radicular pelo menos até 150cm de profundidade.

Ocorrem situados em posições fisiográficas de relevo ondulado e forte ondulado, com declives de 15% a 45%, sob cobertura vegetal de floresta tropical subperenifólia e utilizados com café, pastagem natural e plantada, exibindo também áreas de floresta. A posição fisiográfica que ocupam implica em práticas conservacionistas intensivas e limitações fortes quanto a possibilidade de utilização de máquinas e implementos agrícolas.

Os Argissolos Vermelhos foram separados no 4º nível categórico, em quatro unidades de mapeamento, em função do relevo, textura, tipo de horizonte A e grau de saturação em eutróficos e distróficos. Na área foram identificados Argissolo Vermelho Distrófico típico, Argissolo Vermelho Distrófico Latossólico, Argissolo Vermelho Eutrófico típico e Argissolo Vermelho Eutrófico úmbrico, componentes das unidades de mapeamento PVe, PVd1, PVd2 e PVd3.

ARGISSOLOS AMARELOS (PA)

Esta classe é constituída por solos com horizonte B textural com matiz mais amarelo que 7,5YR na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA). Na área, compreende solos com horizonte B textural, argila de atividade baixa, baixos teores de ferro, bem a moderadamente drenados, cerosidade de moderada e comum a forte e abundante, com mudança textural abrupta e não abrupta entre os horizontes A e Bt. Apresentam perfis profundos, com sequência de horizontes do tipo A-Bt-C, possuem horizonte A moderado e proeminente, a transição para o horizonte B é plana e clara, por vezes abrupta. O horizonte Bt, com espessura maior que 150 cm, apresenta cores amareladas e amarelo-brunado, com e sem presença de mosqueado e/ou cor variegada e textura muito argilosa, em profundidade.

Possuem horizonte A moderado, com espessura variando de 15 a 80cm, textura média e argilosa, com argila variando de 304 a 531g/kg, estrutura moderada e fraca pequena a média blocos subangulares, e moderada pequena a média granular, de consistência friável e muito friável quando úmido, plástica e pegajosa quando molhado, com transição para o horizonte B

plana e clara, por vezes difusa ou gradual. O teor de carbono orgânico varia de 13,1 a 28,2 g/kg, a CTC de 6,0 a 12,6 cmol_c/kg de TFSA, a soma de bases varia de 0,2 a 6,2 cmol_c/kg, com saturação por bases de 2 a 53%, o alumínio trocável está entre 0 e 1,7 cmol_c/kg, com saturação em alumínio de 0 a 89% e o pH varia de 4,5 a 5,8.

O horizonte B com estrutura variável de moderada e forte do tipo blocos subangulares, cerosidade de moderada e comum a forte e abundante nos horizontes Bts, consistência friável e firme quando úmido e plástica e pegajosa. Apresenta cores bruno-forte, bruno-amarelado e amareladas (matizes 7,5YR e 8YR, valores de 4 e 5 e cromas de 6 e 8), com ou sem presença de mosqueado e/ou cor variegada, e textura argilosa a muito argilosa, em profundidade, com teores variando de 528 a 657 g/kg, (com relação textural entre 1,7 a 2,2), e relação silte/argila entre 0,08 e 0,40. A transição é plana, gradual ou difusa entre os subhorizontes. O grau de saturação por bases varia de 8 a 69% e a saturação por alumínio de 0 a 60%. A fração argila tem atividade que varia entre 2,4 e 5,0 cmol_c/kg de argila. Os teores de ferro variam de 53 a 128g/kg de TFSA e a relação SiO₂/Al₂O₃, (Ki) situa-se entre 1,31 e 2,11. O pH varia de 4,7 a 6,2 sendo, portanto ácidos. O horizonte B pode apresentar também, evidências de minerais primários facilmente intemperizáveis, em mistura com a massa do solo nesse horizonte. Nos solos que apresentam restrições de drenagem ocorre, em profundidade, presença de mosqueado ou cor variegada.

Ocorrem situados em posições fisiográficas de relevo suave ondulado e ondulado, alguns ocorrem em áreas de depósito de Tálus, sob cobertura vegetal de floresta tropical subperenifólia e utilizados com pastagem, olerícolas e plantio de maracujá. Os Argissolos Amarelos abruptos em relevo ondulado ou mais movimentado, são recomendados para preservação ambiental, devido ao permanente risco de erosão.

Os argissolos Amarelos foram separados no 4º nível categórico, em função do relevo, textura e tipo de horizonte A. Na área foram identificados Argissolo Amarelo Tb Distrófico típico e latossólico, compreendendo solos com horizonte A moderado e Argissolo Amarelo Tb Distrófico úmbrico, compreendendo solos com horizonte A proeminente, constituindo a unidade de mapeamento (PAd).

ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS (PVA)

Esta classe é constituída por solos com horizonte B textural imediatamente abaixo de horizonte A ou E, com matiz 5YR ou mais vermelho e mais amarelo que 2,5YR na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B, inclusive BA e exclusive BC (Embrapa, 2006).

Na área em questão, compreende solos com horizonte B textural, argila de atividade baixa, baixos teores de ferro, bem drenados, cerosidade de moderada e comum a forte e abundante, transições pouco nítidas e solos com mudança textural abrupta e não abrupta entre os horizontes A e Bt. Apresentam perfis profundos, com sequência de horizontes do tipo A-Bt-C, com predomínio de horizonte A moderado, mas ocorre solos com horizonte A proeminente, horizonte Bt, com espessura maior que 150 cm, apresentando cores bruno-avermelhado e vermelho-amarelado, com e sem presença de mosqueado e/ou cor variegada e textura muito argilosa, em profundidade. No geral, são de fertilidade natural baixa.

Possuem horizonte A moderado, com espessura variando de 15 a 40cm, textura média e argilosa, com argila variando de 264 a 432g/kg, estrutura moderada e fraca pequena a média blocos subangulares, e moderada pequena a média granular, de consistência friável e muito friável quando úmido, plástica e pegajosa quando molhado, com transição para o horizonte B plana e clara ou gradual. O teor de carbono orgânico varia de 11,2 a 21,9 g/kg, a CTC de 7,2 a 11,4 cmol_c/kg de TFSA, a soma de bases varia de 1,0 a 7,3 cmol_c/kg, com saturação por bases de 14 a 71%, o alumínio trocável está entre 0 e 1,1 cmol_c/kg, com saturação em alumínio de 0 a 67% e o pH varia de 4,4 a 6,7.

O horizonte B com estrutura variável de fraca, moderada e forte do tipo blocos subangulares e granular, cerosidade de moderada e comum a forte e abundante nos horizontes Bts, consistência friável e firme quando úmido e plástica e pegajosa quando molhado. Apresenta cores vermelho-amareladas (matiz 5YR, valores de 3 a 5 e cromas de 6 a 8), textura argilosa ou muito argilosa com teores variando de 447 a 658 g/kg (com relação textural entre 1,7 a 2,2) e relação silte/argila entre 0,13 e 0,58. A transição é plana e gradual entre os subhorizontes. O grau de saturação por bases varia de 8 a 71% e a saturação por alumínio de 0 a 67%. A fração argila tem atividade que varia entre 2,5 e 7,0cmol_c/kg de argila. Os teores de ferro variam de 56 a 136 g/kg de TFSA e a relação SiO₂/Al₂O₃, (Ki) situa-se entre 1,4 e 1,8. O pH varia de 4,8 a 6,0 sendo, portanto, fortemente a moderadamente ácidos. O horizonte B pode apresentar também visíveis fragmentos de rochas decompostas e evidências de minerais primários facilmente intemperizáveis, em mistura com a massa do solo nesse horizonte.

Nos solos que apresentam restrições de drenagem ocorre, em profundidade, presença de mosqueado ou cor variegada. Os Argissolos Vermelho-Amarelos também não apresentam qualquer impedimento físico à penetração do sistema radicular pelo menos até 150cm de profundidade. Ocorrem situados em posições fisiográficas de relevo ondulado e forte

ondulado, com declives de 15% a 45%, sob cobertura vegetal de floresta tropical subperenifolia e utilizados com pastagem natural e plantada. A posição fisiográfica que ocupam implica em práticas conservacionistas intensivas e limitações fortes quanto a possibilidade de utilização de máquinas e implementos agrícolas.

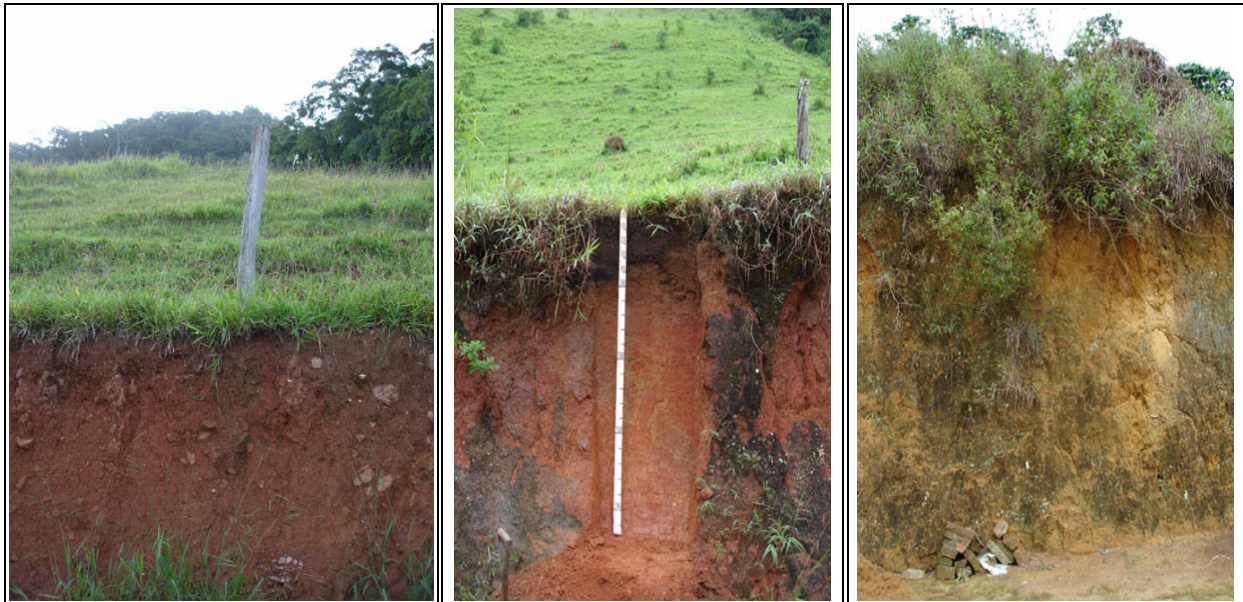


Figura 19 - Perfis e paisagem de ocorrência de Argissolo Vermelho e Argissolo Amarelo com horizonte A moderado

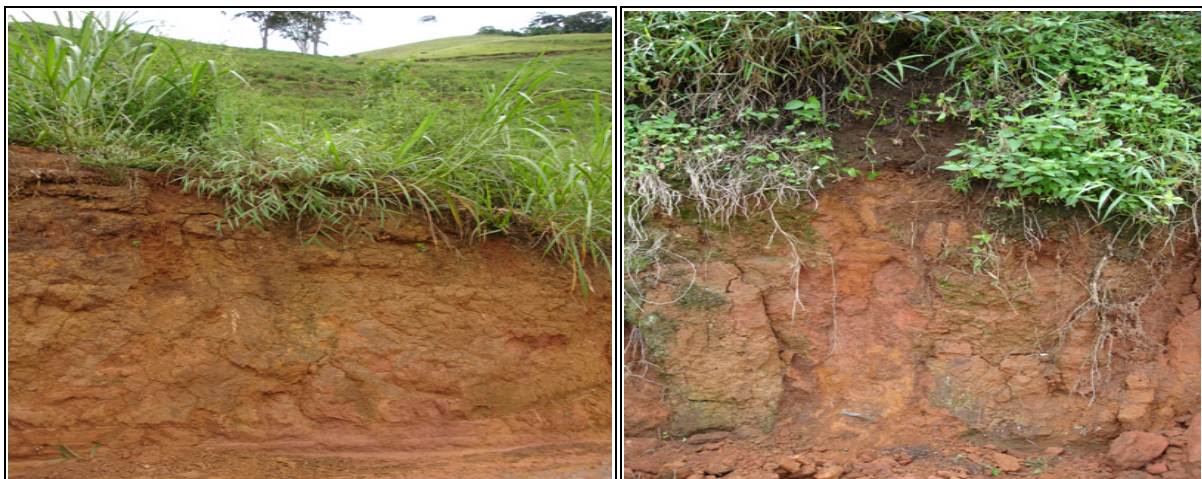


Figura 20 - Paisagem de ocorrência Argissolo Vermelho - Amarelo com horizonte A moderado

Os Argissolos Vermelho-Amarelos foram separados no 4º nível categórico em quatro unidades de mapeamento em função do relevo, textura e tipo de horizonte A. Na área foram identificados os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos típicos e Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos latossólicos, componentes das unidades de mapeamento PVAd1, PVAd2, PVAd3 e PVAd4.

4.6.3 CAMBISSOLOS (C)

Compreende solos minerais, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, inclusive horizonte hístico com espessura inferior a 40cm, constituindo grupamento de solos pouco desenvolvidos, com sequência de horizontes do tipo A (ou hístico) Bi-C, com ou sem R. Ou seja, horizonte subsuperficial, subjacente ao A, Ap, ou AB, que sofreu alteração física e química em grau não muito avançado, porém suficiente para o desenvolvimento de cor ou de estrutura, e no qual mais da metade do volume de todos os subhorizontes não deve consistir em estrutura da rocha original.

O horizonte B incipiente, para ser diagnóstico, deve ter no mínimo 10 cm de espessura e apresentam uma ou mais das características abaixo especificadas, não compatíveis com solos muito evoluídos: 4% ou mais de minerais primários alteráveis ou 6% ou mais de muscovita na fração areia total; capacidade de troca de cátions, sem correção para carbono, ≥ 17 cmol_c/kg de argila; teores elevados em silte, de modo que a relação silte/argila seja $> 0,7$ nos solos de textura média ou $> 0,6$ nos de textura argilosa, e/ou relação molecular SiO₂/Al₂O₃, (Ki) $> 2,2$ (Embrapa, 1999 e 2006).

Três classes de Cambissolos foram identificadas na área, compreendendo o Cambissolo Háptico Tb distrófico típico, o Cambissolo Húmico distrófico típico e o Cambissolo Flúvico Tb distrófico típico. Distribuem-se por toda a área mapeada, tendo sido mapeados como primeiro e segundo membro de associações.

CAMBISSOLO HÁPLICO (CX)

Solos com o horizonte Bi subjacente a horizonte A de qualquer tipo, exceto A húmico ou horizonte hístico. Os Cambissolos hápticos distinguem-se dos demais Cambissolos por não apresentarem horizonte O hístico ou horizonte A húmico. Na área estes solos apresentam argila de atividade baixa (< 27 cmol_c/kg de argila) e baixa saturação de bases ($V \leq 50\%$). São bem drenados e apresentam perfis com espessuras variáveis, alguns são profundos, em outros apresenta contato com o material saprolito a menos de 80cm, sendo desta maneira classificados como saprolítico. Possuem horizonte A moderado ou proeminente, com espessura variável de 15 a 46 cm. O horizonte Bi apresenta diversidade de cores, textura média ou argilosa, com grau de saturação por alumínio variável de 28 a 82% e saturação por bases de 8 a 35 %.

Ocorrem situados em posições fisiográficas de morros e montanhas, em relevo forte ondulado e montanhoso, com declives de 30 a 75%, ocupando as formas convexas da

vertente, o que os tornam mais suscetíveis à erosão. Componentes das unidades de mapeamento CXbd1 e CXbd2, na paisagem associam-se com Afloramento de Rocha, Latossolos e Argissolos. Em função dos fragmentos florestais remanescentes infere-se que a fitofisionomia da cobertura vegetal primitiva é do tipo floresta tropical perenifólia e subperenifólia.

Foram constatados solos distróficos, bem drenados, rasos, pouco profundos e profundos, com horizonte A moderado e proeminente, textura média ou média/argilosa. A baixa fertilidade natural, a elevada pedregosidade e a forte susceptibilidade à erosão fazem com que estes solos sejam mais indicados para a utilização com pastagens natural e reserva natural.



Figura 21 – Perfis de Cambissolo Háplico Distrófico.

CAMBISSOLO HÚMICO (CH)

Trata-se de modalidade de cambissolo com horizonte A muito espesso. Distinguem-se da classe anterior por apresentar horizonte A húmico. O horizonte câmbico apresenta diversidade de cores, dominando cores de tonalidades amareladas e brunadas; predomina solos com textura média/argilosa, com elevados teores de silte e areia grossa. Originam-se da meteorização das rochas acima citadas, sendo usual a presença de fragmentos de rocha e/ou minerais primários facilmente decomponíveis no horizonte B. Ocorrem em pequenas áreas de altitudes elevadas, ocupando posições abaciadas e côncavas, associados a classe dos Latossolos e Argissolos. Em alguns locais estes solos apresentam o horizonte A com espessura suficiente, porem os teores de C% não atende os requisitos para horizonte A húmico.

CAMBISSOLO FLÚVICO (CY)

Trata-se de modalidade de Cambissolo com horizonte A espesso e ocupando posições de baixadas ou em ambientes de várzea. Distinguem-se da classe anterior por apresentar horizonte A proeminente. O horizonte câmbico apresenta diversidade de cores. Ocorrem em toda a área em pequenas manchas, ocupando ambientes de várzea entulhadas, em relevo suave ondulado, associados aos Neossolos Flúvicos e Gleissolos. A drenagem dessa classe de solo é variável. A vegetação na área destes solos é a floresta tropical perenifólia de várzea.



Figura 22 – Perfis de Cambissolo Flúvico Distrófico.

4.6.4 -NEOSSOLOS (R)

Compreende solos pouco evoluídos e sem horizonte B diagnóstico, com reduzido desenvolvimento pedogenético, em consequência da baixa intensidade de atuação dos processos, que não conduziram, ainda, a modificações expressivas no material originário, ou devido as características do próprio material, pela sua resistência ao intemperismo ou composição química, ou mesmo do relevo, que, isoladamente ou em conjunto, impediu ou limitou a evolução desses solos.

NEOSSOLOS LITÓLICOS (RL)

Solos com horizonte A com menos de 40cm de espessura, assente diretamente sobre rocha ou sobre horizonte C ou Cr, ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2mm (cascalhos, calhaus e matacões) e que apresentam contato lítico dentro de 50cm da superfície do solo. Admite um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Esta classe ocorre associada a afloramento de rocha e Cambissolos Háplicos.

Os Neossolos Litólicos são, por definição, solos que apresentam reduzida profundidade efetiva. Essa condição limita seu uso com agricultura devido ao reduzido volume de terra disponível para o enraizamento das plantas e para a retenção da umidade. Como a maioria dos

Neossolos Litólicos, ocorre em relevo movimentado. São muito suscetíveis à erosão e apresentam várias outras limitações. Não são indicados para o uso agrícola, mas para reservas naturais. Ao fundo paisagem de ocorrência de Neossolos Litólicos Figura 23.



Figura 23 – Paisagem de ocorrência de Neossolo Litólico

NEOSSOLOS FLÚVICOS (RY)

Solos derivados de sedimentos aluviais com horizonte A assente sobre horizonte C, constituído de camadas estratificadas, sem relação pedogenética entre si, apresentando um ou ambos dos seguintes requisitos: decréscimo irregular do conteúdo de carbono orgânico em profundidade, dentro de 200cm da superfície do solo ou camadas estratificadas em 25% ou mais do volume do solo, dentro de 200cm da superfície do solo.

Na área de estudo, os Neossolos Flúvicos, são encontrados normalmente nas estreitas planícies e nos terraços fluviais, possuem sequência de horizontes do tipo A-C, em geral apresentam textura indiscriminada em razão, principalmente, da dinâmica de deposição, são moderados a imperfeitamente drenados, com evidências de gleização em subsuperfície. Por situarem em planícies e terraços fluviais, com relevo plano a suave ondulado, declives entre 0 a 5%, os Neossolos Flúvicos apresentam suscetibilidade à erosão de nula a muito baixa e, em razão do micro-relevo, apresentam profundidades efetivas variadas. No geral, predominam os solos profundos, sendo o fator limitante à presença do lençol freático, o qual, contudo, está sempre bem mais profundo do que nos Gleissolos, com os quais, juntamente com os Cambissolos Flúvicos, estes solos se associam na paisagem. São solos com textura variável, ocupando morfologicamente posições de diques dentro da planície fluvial. De modo geral, as

características destes solos variam muito, principalmente em função da natureza do material originário e apresentam permeabilidade muito condicionada pela natureza e sequência dos estratos. São solos fáceis de serem preparados para o plantio, possuem elevado potencial agrícola e apresentam razoáveis teores de minerais primários intemperizáveis, especialmente micas, com limitações principalmente devido a restrições de drenagem interna e ao ocasional risco de inundação.

Possuem horizonte A moderado, com espessura de 30cm, cores bruna, bruno-amarelado-escuro e bruno-acinzentado muito escuro (matizes da ordem de 10YR e 2,5Y, valores 3 ou 4 e cromas 2 ou 3), textura variável de média a argilosa, com argila de 121 a 514g/kg. Possuem estrutura fraca a moderada média blocos subangulares e pequena granular, de consistência friável a muito friável quando úmido e ligeiramente plástica a plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa quando molhado, com transição para o horizonte C plana e clara. O teor de carbono orgânico varia de 6,6 a 19g/kg, a CTC de 6,3 a 10,5 cmol_c/kg, a soma de bases varia de 2,2 a 4,2 cmol_c/kg, com saturação de 23 e 62%, e alumínio trocável entre 0 a 1,6 cmol_c/kg, com saturação entre 0 e 40%. O pH varia de 5,1 a 6,2 sendo, portanto, ácidos.

O horizonte C apresenta cores variáveis de amareladas até avermelhadas, texturas média, argilosa e muito argilosa com teores variando de 223 a 615g/kg, e relação silte/argila entre 0,47 e 1,21. O grau de saturação por bases varia de 25 a 53% e a saturação por alumínio de 9 a 24%.

Em função dos fragmentos florestais remanescentes, infere-se que a fitofisionomia da cobertura vegetal primitiva é do tipo floresta tropical subperenifólia de várzea. São atualmente utilizados com olerícolas, pastagens e plantio de capineiras, ou ocupados por floresta de várzea alterada. Na área ocorrem associados aos cambissolos flúvicos e gleissolos, constituindo uma unidade de mapeamento RY.

4.6.5 -GLEISSOLOS (G)

Solos hidromórficos constituídos por material mineral, com horizonte glei dentro dos primeiros 50cm da superfície do solo, ou entre 50 e 125cm, desde que imediatamente abaixo do horizonte A ou E, ou precedido por horizonte B incipiente, B textural ou horizonte C, com presença de mosqueados abundantes com cores de redução e satisfazendo, ainda, outros requisitos, conforme consta no SBCS (Embrapa, 1999).

Os Gleissolos são permanente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados. Encontram-se em planícies aluviais que apresentam excesso de água durante grande parte do ano, apresentam assim, sérias limitações impostas pela presença de

lençol freático à pouca profundidade. A utilização de tais solos exige que sejam drenados, a fim de melhorar as condições de aeração na zona da rizosfera. Apresentam geralmente textura errática ao longo do perfil, às vezes, com variações texturais muito grande entre os horizontes.

Na área estudada, verificou-se pequenas ocorrências de Gleissolos háplicos como membro terciário de associação com Neossolos Flúvicos e Cambissolos Flúvicos. O material originário destes solos é proveniente de sedimentos aluviais ou colúvio-aluviais, oriundos da decomposição de rochas de áreas circunvizinhas, que são transportadas e depositadas ao longo dos cursos d'água. O relevo é plano a suave ondulado, constituindo o principal fator de formação destes solos, tendo em vista, que condiciona uma má drenagem. A vegetação na área destes solos é a floresta tropical perenifólia de várzea. Apresentam limitações ao uso de máquinas e implementos em decorrência do lençol freático, o que exigirá também, seleção de culturas adaptadas ao excesso de água.

4.6.6 - AFLORAMENTOS DE ROCHA

Constitui um tipo de terreno e não exatamente solo. Representado por exposição de diferentes tipos de rochas, brandas ou duras, nuas ou com reduzidas porções de materiais detríticos gnáissicos, não classificáveis como solos que correspondem a delgadas acumulações inconsolidadas e de caráter heterogêneo, formado por mistura de material terroso e largas proporções de fragmentos originados da desagregação de rochas locais.

LEGENDA

Tabela 4. Legenda sinótica de solos (1ª versão).

Símbolo	ha	%	Símbolo	ha	%	Símbolo	ha	%
LAd1	1.076	2,22	LVAd1	3.197	6,59	PVAd1	2.943	6,10
LAd2	853	1,75	LVAd2	974	2,00	PVAd2	627	1,29
LAd3	555	1,14	LVAd3	1.711	3,54	PVAd3	292	0,60
LAd4	459	0,94	LVAd4	538	1,11	PVAd4	1.277	2,63
LAd5	571	1,18	LVAd5	1591	3,28	PVAd5	346	0,71
LAd6	926	1,92	LVAd6	924	1,91	PVAd6	313	0,65
LAd7	370	0,76	LVAd7	1.771	3,66	PVAd7	359	0,74
LAd8	966	1,99	LVAd8	1.117	2,31			
Sub-total	5.776	12,0	Sub-total	11.823	24,4	Sub-total	6.157	12,7
LAhd1	1.766	3,64	LVd1	259	0,52	PVd1	2.693	5,57
LAhd2	227	0,46	LVd2	2.147	4,43	PVd2	1.659	3,42
LAhd3	1.165	2,4	LVd3	238	0,48	PVd3	1.446	2,98
LAhd4	138	0,28	LVd4	649	1,33	PVd4	201	0,41
LAhd5	1.586	3,29	LVd5	410	0,84	PVd5	1.219	2,52
LAhdd6	890	1,83						
Sub-total	5.772	11,9	Sub-total	3.703	7,6	Sub-total	7.218	14,9
AR1	1.098	2,26	CXbd1	1.898	3,91	PAd	247	0,5
AR2	1.240	2,55	CXbd2	2.494	5,14			
AR3	676	1,39	CXbd3	367	0,75			
Sub-total	3.014	6,2	Sub-total	4.759	9,8	Sub-total	247	0,5
Total Geral da área						48.469,06	100%	

A legenda de identificação foi organizada em conformidade com o nível do mapeamento executado e contém a relação das unidades de mapeamento identificadas e delineadas durante os trabalhos de campo. Foram associadas classes taxonômicas devido à ocorrência de variedade de solos com distribuição irregular pela área de estudo, o que impossibilitou sua delimitação cartográfica em unidades simples. Na composição das associações, foi considerado em primeiro lugar o componente mais importante, sob o ponto de vista de extensão, usando-se o mesmo critério para os demais componentes da associação.

4.7 - Correlações, Considerações e Distribuição dos solos

As terras da área de estudo abrangem os dois principais domínios fisiográficos regionais, as baixadas e as terras altas. De forma simplificada três unidades fisionômicas distintas, relacionados às feições geomorfológicas terras baixas e terras altas, caracterizam o relevo da área, ou seja, as elevações com encostas abruptas, constituídas por montanhas alinhadas e blocos rochosos salientes, com relevo montanhoso e escarpado; em posições intermediárias uma sequência de encostas e colinas íngremes ou onduladas margeadas por morros e circundadas por exposição rochosa, com relevo ondulado e forte ondulado e as baixadas, com várzeas reduzidas dos rios e córregos que drenam a área, de relevo plano e suave ondulado. A Tabela 5 mostra 7 perfis representativos dos solos das terras altas e terras baixas, eles foram numerados de 1 a 7 (P1 a P7) para facilitar a compreensão, entre parêntesis consta o número que se encontra no anexo 2.

Os solos identificados manifestam variações em suas características morfológicas, físicas e químicas, condicionadas pelo clima, relevo, material de origem e posição que ocupam na paisagem, com enorme variabilidade em seus atributos a pequenas distâncias. O material de origem dos solos é bastante diferenciado, os solos das encostas e partes mais altas têm origem essencialmente em produtos de alterações das rochas acima citadas e, em material pré-edaforizado influenciando até o desenvolvimento do horizonte B. Ocorre na área, extensão razoável de encostas coluviais de material transportado em fases diversas, em mistura com produtos da alteração das rochas.

Na várzea, o material de origem dos solos é constituído de sedimentos argilo-arenosos, compreendendo aluviões fluviais recentes e formações aluviais e coluviais mais antigas referidas ao holoceno, proveniente de material carregado das encostas e depositado nas calhas dos rios e córregos. Em certos locais nota-se o aporte recente de material coluvial.

Nas terras altas, constituídas por morros e montanhas, predominando relevo forte ondulado

a montanhoso, com ocorrência de escarpas e afloramentos de rochas, relacionadas as litologias do pré-cambriano, observa-se em alguns pontos, diques de reduzidas dimensões, de rocha ígnea muito alterada e cobertura de natureza estritamente coluvionar, independente da altitude e às vezes até mesmo da forma das encostas e declividade do terreno. Nesta unidade os ambientes se distinguem entre floresta tropical perenifólia e subperenifólia, capoeiras em avançado estágio de regeneração e pastagens. Apesar da altitude elevada e microclima mais frio, não se observou espécimes que justificassem encaixar a vegetação como floresta altimontana. Nestes locais, a floresta é mais fechada, com espécies de porte intermediário e maior diâmetro, tem aspecto de pouco explorada, provavelmente devido ao relevo acidentado que dificulta o uso do solo e a retirada de madeira.

Os solos predominantes são Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelhos e Latossolo Amarelo Húmico e não Húmicos, que gradativamente dão lugar a Cambissolos Háplicos e Húmicos e Neossolos Litólicos, à medida que a vertente fica mais íngreme. Os Latossolos Húmicos têm maior ocorrência nas áreas abaciadas, de alvéolos intermontanos que compõem os domínios Montanhoso e Colinoso. Serras e áreas de topografia acidentada são encontradas nesse ambiente, onde se verifica ocorrências de afloramentos de rochas em associação com Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos. Excluindo os Neossolos Litólicos e os solos representativos das áreas de várzea, o restante dos solos, assim como os afloramentos de rochas, ocorrem em toda a área de estudo em diferentes posições da paisagem. Uma característica observada nos solos da região, é a policromia, cores entre o avermelhado e o amarelado, com coloração avermelhada (matiz 2,5YR ou mais vermelho) e vermelho-amarelado (matiz mais amarelo que 2,5YR e igual ou mais amarelo que 5YR). Os perfis apresentam cores variáveis, a depender da profundidade do “solum” (A+B), da posição que ocupam na paisagem e da drenagem interna. As cores amarelas dos solos são atribuídas à presença da goethita e as cores vermelhas à hematita, na área estudada as duas cores coexistem, às vezes na mesma parede do perfil de solo. Resende (2004), analisa a ocorrência de hematita e goethita, em situações bioclimáticas distintas, de várias regiões brasileiras e apresentam explicação para tal. A goethita é mais estável em ambientes úmidos, e a hematita mais instável. Para a Embrapa (1999) matizes mais avermelhadas ou mais amareladas estariam associadas à dominância de um mineral em relação ao outro. A cor avermelhada do solo é dada pela presença de hematita, que usualmente coexiste com a goethita, sendo que o avermelhamento aumenta com o aumento do teor de hematita ou com o aumento da relação hematita/goethita (Bigham et al. 1978).

Segundo Schwertmann & Kämpf, (1985) esta relação é governada por vários fatores, entre eles: teor e taxa de liberação de Fe da rocha, temperatura do solo, teor de matéria orgânica, pH, Al, sílica e umidade do solo. Esta última condicionando a decomposição da matéria orgânica e influenciando negativamente, quando elevada, na desidratação da ferrihidrita (Schwertmann & Kämpf, 1985).

Chagas (2006), encontrou em alguns perfis de solos estudados boa correlação entre posição na paisagem e mudanças nas cores avermelhadas e amareladas dos solos, estabelecendo que as condições nas encostas mais quentes e secas foram suficientes para favorecer a formação da hematita em relação à goethita. Segundo Tardy & Nahon (1985), o principal agente controlador do equilíbrio entre goethita e hematita no solo é a atividade da água: quando a atividade da água é pequena, a hematita torna-se o óxido de ferro predominante, o aumento da atividade da água propicia o aumento na participação da goethita. Desta maneira, nas encostas mais frias e úmidas, o microclima atual diferenciado favorece a transformação de hematita em goethita (xantização), conseqüentemente, os solos são mais amarelados do que aqueles das encostas mais quentes e secas.

Nas terras altas, posições intermediárias de relevos suave ondulado, ondulado e pequena proporção de forte ondulado, os ambientes se distinguem entre capoeiras, pastagens, degradados ou não e pequenas áreas de floresta subperenifolia. Os solos predominantes são Argissolos Vermelhos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Amarelos típicos e eventualmente latossólicos, seguidos de Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Vermelhos, em menor proporção. Todos distróficos, apenas na classe do Argissolo Vermelho há ocorrência de solos eutróficos, relacionado a dique de rocha básica (diabásio).

Nas áreas de várzeas, importante para a recarga de aquíferos, os solos predominantes são Neossolos Flúvicos Tb Distróficos, Cambissolos Flúvicos Tb Distróficos típicos, nas rampas suaves colúvio-aluvionares e coluvionares e, em pequena proporção e setores localizados, foram identificados Gleissolos Háplicos Tb Distróficos, ocupando junto com os Neossolos Flúvicos, as partes mais baixas das várzeas.

A Tabela 5, mostra as características físicas e químicas de alguns perfis escolhidos. Os perfis P1 a P6 são representativos das partes altas da paisagem e o perfil P7 é exclusivo das áreas de baixada.

Tabela 5 – Características físicas e químicas de alguns perfis descritos.

P1 – Latossolo Amarelo Distrófico típico - (P22)																	
Horizonte	Prof. (cm)	Cor úmida	Textura (g/kg)			ADA g/kg	GF %	Silte/ argila	Densidade g/cm ³		Porosidade cm ³ /100cm ³						
			Areia	Silte	Argila				Ds	Dp							
A	0-30	7,5YR 4/4	415	137	448	305	32	0,31	-	-	-						
AB	30-40	7,5YR 4/6	407	125	468	61	87	0,27	-	-	-						
BA	40-50	7,5YR 4/6	399	112	489	0	100	0,23	-	-	-						
Bw1	50-90	7,5YR 5/6	377	114	509	0	100	0,22	-	-	-						
Bw2	90-130	7,5YR 5/8	396	116	488	0	100	0,24	-	-	-						
Bw3	130-200	5YR 5/8	418	136	446	0	100	0,30	-	-	-						
Bw4	200-260	5YR 5/8	442	112	446	0	100	0,25	-	-	-						
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmol _c /kg)						V (%)	Al (%)	C.O. (g/kg)	Ataque sulfúrico g/kg				Relações moleculares	
	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂ Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ R ₂ O ₃ (Kr)
A	4,5	4,0	0,5	0,6	0,22	0,01	1,3	9,7	13	52	20,2	131	190	71	8,9	1,17	0,95
AB	4,5	3,9	0,3		0,10	0,01	0,4	7,4	5	76	11,8	133	193	71	9,0	1,17	0,95
BA	4,5	3,9	0,4		0,09	0,01	0,5	6,5	8	71	10,7	144	197	80	9,4	1,24	0,99
Bw1	4,6	4,0	0,3		0,05	0,01	0,4	5,9	7	71	7,9	144	201	80	9,4	1,22	0,97
Bw2	4,6	4,0	0,3		0,06	0,01	0,4	4,3	9	56	5,0	138	203	84	9,3	1,16	0,91
Bw3	4,6	4,2	0,4		0,03	0,01	0,4	2,7	15	33	2,9	126	200	87	9,4	1,07	0,84
Bw4	4,9	4,8	0,2		0,12	0,01	0,3	2,3	13	0	1,9	116	202	71	8,8	0,98	0,80
P2 – Latossolo Vermelho Distrófico típico - (P29)																	
Horizonte	Prof. (cm)	Cor úmida	Textura (g/kg)			ADA g/kg	GF %	silte/ argila	Densidade g/cm ³		Porosidade cm ³ /100cm ³						
			Areia	Silte	Argila				Ds	Dp							
Ap	0-20	2,5YR 4/3	569	107	324	203	37	0,33	-	-	-						
Bw1	20-60	2,5YR 4/6	415	117	468	61	87	0,25	-	-	-						
Bw2	60-110	2,5YR 4/8	447	86	467	0	100	0,18	-	-	-						
Bw3	110-200	2,5YR 4/8	447	86	467	0	100	0,18	-	-	-						
Bw4	260+	2,5YR 5/8	466	68	466	0	100	0,15	-	-	-						
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmol _c /kg)						V (%)	Al (%)	C.O. (g/kg)	Ataque sulfúrico g/kg				Relações moleculares	
	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂ Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ R ₂ O ₃ (Kr)
Ap	5,0	4,3	0,6	0,6	0,05	0,01	1,3	5,7	23	19	10,2	112	128	64	7,0	1,49	1,13
Bw1	5,1	4,4	0,6	0,4	0,08	0,01	1,1	4,7	23	15	7,3	176	196	82	10,4	1,53	1,20
Bw2	4,8	4,4	0,4	-	0,04	0,01	0,4	3,4	12	43	5,2	164	198	83	8,9	1,41	1,11
Bw3	4,7	4,4	0,3	-	0,03	0,01	0,3	3,6	8	40	4,1	172	203	86	10,6	1,44	1,13
Bw4	4,9	4,8	0,3	-	0,03	0,01	0,3	2,1	14	0	3,2	155	199	81	9,1	1,32	1,05
P3 – Latossolo Amarelo Distrófico Húmico - (P5)																	
Horizonte	Prof. (cm)	Cor úmida	Textura (g/kg)			ADA g/kg	GF %	Silte/ argila	Densidade g/cm ³		Porosidade cm ³ /100cm ³						
			Areia	Silte	Argila				Ds	Dp							
Ap	0-32	7,5YR 3/2	510	122	368	225	39	0,33	-	-	-						
A2	32-64	7,5YR 3/3	476	95	429	245	43	0,22	-	-	-						
A3	64-108	7,5YR 3/1	476	94	430	225	48	0,22	-	-	-						
AB	108-121	7,5YR 4/3	500	73	427	142	67	0,17	-	-	-						

Bw1	121-172	7,5YR 5/8	554	61	385	0	100	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-	
Bw2	210+	7,5YR 5/8	550	66	384	0	100	0,17	-	-	-	-	-	-	-	-	
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmol _c /kg)						V (%)	Al (%)	C.O. (g/kg)	Ataque sulfúrico g/kg				Relações moleculares	
	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (Ki)	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (Kr)
Ap	4,4	4,2	0,9		0,07	0,01	1,0	10,8	9	58	21,1	95	143	65	9,9	1,13	0,87
A2	4,7	4,2	0,5		0,02	0,01	0,5	9,6	5	71	17,8	106	146	71	9,3	1,23	0,94
A3	4,9	4,3	0,3		0,01	0,01	0,3	10,6	3	80	15,4	83	142	72	8,9	0,99	0,75
AB	5,0	4,4	0,4		0,01	0,01	0,4	5,8	7	67	8,6	85	149	86	10,3	0,97	0,71
Bw1	4,9	4,6	0,4		0,01	0,01	0,4	2,7	15	33	3,6	83	140	77	8,7	1,01	0,75
Bw2	5,2	5,1	0,4		0,01	0,01	0,4	2,2	18	0	1,9	88	165	76	9,5	0,91	0,70

P4 – Argissolo Vermelho Distrófico típico - (P28)

Horizonte	Prof. (cm)	Cor úmida	Textura (g/kg)			ADA g/kg	GF %	silte/ argila	Densidade g/cm ³		Porosidade cm ³ /100cm ³
			Areia	Silte	Argila				Ds	Dp	
Ap	0-35	2,5YR 4/2	671	127	202	142	30	0,63	-	-	-
AB	35-47	2,5YR 4/3	626	132	242	162	33	0,55	-	-	-
BA	47-60	2,5YR 4/4	632	105	263	61	77	0,40	-	-	-
Bt1	60-90	2,5YR 4/4	485	88	427	0	100	0,21	-	-	-
Bt2	90-130	2,5YR 4/6	290	77	633	0	100	0,12	-	-	-
Bt3	130-200+	7,5YR 4/8	297	70	633	0	100	0,11	-	-	-

Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmol _c /kg)						V (%)	Al (%)	C.O. (g/kg)	Ataque sulfúrico g/kg				Relações moleculares	
	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (Ki)	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (Kr)
Ap	5,2	4,3	1,1	0,7	0,06	0,01	1,9	5,2	37	10	9,1	116	84	39	5,1	2,35	1,81
AB	5,1	4,3	0,6	0,4	0,03	0,01	1,0	3,5	29	17	4,4	122	97	40	5,3	2,14	1,69
BA	5,1	4,3	0,5	0,5	0,02	0,01	1,0	3,5	29	23	4,0	114	89	35	4,7	2,18	1,74
Bt1	5,1	4,2	0,7	0,6	0,03	0,01	1,3	4,3	30	24	4,4	195	158	65	7,3	2,10	1,66
Bt2	5,1	4,4	1,0	0,5	0,04	0,01	1,5	4,9	31	12	5,0	274	209	83	9,3	2,23	1,78
Bt3	5,3	4,8	0,7	0,8	0,02	0,01	1,5	4,2	36	0	3,5	277	210	88	9,0	2,24	1,77

P5 – Argissolo Amarelo Distrófico abráptico - (P30)

Horizonte	Prof. (cm)	Cor úmida	Textura (g/kg)			ADA g/kg	GF %	Silte/ argila	Densidade g/cm ³		Porosidade cm ³ /100cm ³
			Areia	Silte	Argila				Ds	Dp	
A	0-50	7,5YR 4/3	588	108	304	203	33	0,36	-	-	-
Bt1	50-80	7,5YR 6/8	273	70	657	0	100	0,11	-	-	-
Bt2	80-120	7,5YR 5/8	271	72	657	0	100	0,11	-	-	-
Bt3	160+	7,5YR 5/8	293	52	655	0	100	0,08	-	-	-

Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmol _c /kg)						V (%)	Al (%)	C.O. (g/kg)	Ataque sulfúrico g/kg				Relações moleculares	
	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (Ki)	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (Kr)
A	5,7	4,8	2,1	0,9	0,16	0,01	3,2	6,0	53	0	13,2	130	119	42	6,8	1,86	1,51
Bt1	5,5	5,0	1,6	0,8	0,02	0,01	2,4	5,1	47	0	5,5	263	213	85	7,5	2,10	1,67
Bt2	5,6	5,4	0,8	1,1	0,01	0,01	1,9	3,7	51	0	3,7	270	218	87	7,4	2,11	1,68
Bt3	5,4	5,1	0,6		0,01	0,01	0,6	2,3	26	0	1,8	277	216	84	7,6	2,18	1,75

P6 – Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico - (P24)

Horizonte	Prof. (cm)	Cor úmida	Textura (g/kg)			ADA g/kg	GF %	silte/argila	Densidade g/cm ³		Porosidade cm ³ /100cm ³						
			Areia	Silte	Argila				Ds	Dp							
A	0-40	5YR 4/3	698	140	162	61	62	0,86	-	-	-						
Bi	40-80	7,5YR 5/4	709	129	162	121	25	0,80	-	-	-						
BiC	80-120	7,5YR 5/6	700	98	202	61	70	0,49	-	-	-						
BC	150+	7,5YR 5/6	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmol _c /kg)						V (%)	Al (%)	C.O. (g/kg)	Ataque sulfúrico g/kg				Relações moleculares	
	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ /R ₂ O ₃ (Kr)
A	4,8	3,8	0,4		0,34	0,01	0,7	7,6	9	67	10,6	85	84	31	3,6	1,72	1,39
Bi	5,1	3,9	0,2		0,22	0,01	0,4	4,0	10	67	6,1	93	99	35	3,6	1,60	1,30
BiC	4,6	3,7	0,2		0,06	0,01	0,3	3,6	8	79	4,3	85	94	44	4,0	1,54	1,18
BC	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P7 – Neossolo flúvico Tb Distrófico típico - (P26)																	
Horizonte	Prof. (cm)	Cor úmida	Textura (g/kg)			ADA g/kg	GF %	silte/argila	Densidade g/cm ³		Porosidade cm ³ /100cm ³						
			Areia	Silte	Argila				Ds	Dp							
A	0-30	5YR 4/2	804	75	121	81	33	0,62	-	-	-						
C1	30-60	2,5YR 4/2	622	175	203	122	40	0,86	-	-	-						
C2	60-100	2,5YR 5/3	116	407	477	0	100	0,85	-	-	-						
C3	150+	2,5YR 5/2	82	442	476	0	100	0,93	-	-	-						
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmol _c /kg)						V (%)	Al (%)	C.O. (g/kg)	Ataque sulfúrico g/kg				Relações moleculares	
	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ /R ₂ O ₃ (Kr)
A	6,2	4,9	2,3	1,2	0,66	0,02	4,2	6,8	62	0	8,0	105	84	50	8,7	2,13	1,54
C1	5,3	4,0	1,7	0,5	0,09	0,02	2,3	6,9	33	18	7,7	142	125	61	10,0	1,93	1,47
C2	5,0	3,8	2,5	0,7	0,18	0,04	3,4	13,6	25	29	18,2	241	208	89	13,4	1,97	1,55
C3	5,0	3,7	2,7	0,7	0,14	0,07	3,6	14,0	26	28	16,1	283	208	95	13,5	2,31	1,79

Legenda: ADA = Argila dispeesa em Água; GF = Grau de floculação; V = Saturação por bases; Al = saturação por alumínio; CO = Carbono orgânico.

Na característica de espessuras para horizontes (Tabela 5), conforme Embrapa (2006), os solos da área são profundos a muito profundos. Em relação às cores dos solos, de maneira geral, os solos não mostram a predominância de uma cor, estas variam nos horizontes diagnósticos das classes de solos estudadas do matiz 2,5YR (mais vermelhos) ao 7,5 YR (mais amarelado), tendendo a cores mais avermelhados com o aumento da profundidade.

O tipo de estrutura variou entre grãos soltos, granular e blocos angulares e sub-angulares com tamanho pequeno a médio, grau de desenvolvimento fraco a moderado na estrutura granular e fraco a forte na estrutura em blocos. A consistência variou entre não plástica, ligeiramente plástica e plástica, a pegajosidade idem, não pegajoso, ligeiramente pegajoso e pegajoso. A transição plana predomina em todos os perfis, quanto a nitidez o grau variou de clara, gradual e difusa. Em relação às características físicas (Tabela 5), o perfil P5, possui

textura franco-argilo-arenosa em superfície a muito argilosa em subsuperfície, apresenta o caráter abrupto e os solos por ele representado ocorrem em relevo ondulado e eventualmente forte ondulado. Fato que aliado aos aspectos fisiográficos das áreas de ocorrência destes solos, facilita o escoamento superficial e, os tornam bem mais propensos à erosão, o que exigirá maiores cuidados, implicando adoção de práticas intensivas de conservação do solo, para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável. Os solos que ocorrem em relevo forte ondulado não são recomendados ao uso agrícola e devem ser destinados à conservação ambiental.

O perfil P4, também possui textura franco-argilo-arenosa em superfície, tendendo a muito argilosa em profundidade, mas não apresenta o caráter abrupto, o uso destes solos é menos problemático que os solos representados pelo perfil 5, mas exige práticas conservacionistas intensivas. O perfil P6, possui textura franco-arenosa, tendendo a franco-argilo-arenosa em profundidade e representa solos que ocorre predominantemente em áreas de relevo forte ondulado a montanhoso, não recomendando para uso com agricultura e pecuária, as áreas onde ocorrem devem ser destinadas a recomposição da floresta, áreas de preservação e conservação ambiental.

O perfil P7, possui textura franco-arenosa, tendendo a argilo-siltosa em profundidade e representa as terras baixas, a classe destes solos apresenta grande potencial para agricultura intensiva, principalmente o plantio de culturas de ciclo curto, como olerícolas. Estes solos (Neossolos Flúvicos), apresentam geralmente textura errática ao longo do perfil, às vezes, com grandes variações texturais entre as camadas. São utilizados com pastagem natural, pastagem plantada e olerícolas. Apresentam limitações ao uso de máquinas e implementos em decorrência do lençol freático não muito profundo, o que exigirá, também, seleção de culturas adaptadas ao excesso de água.

O restante, perfis P1, P2 e P3, representa solos que ocorrem em áreas de relevo ondulado e forte ondulado, sob vegetação de floresta, e são bastante favoráveis ao desenvolvimento radicular de plantas cultivadas, em especial as espécies florestais. Sob o ponto de vista das características físicas, não apresentam maiores problemas para a agricultura. O alto grau de flocculação no horizonte B, reflete o alto grau de flocculação dos colóides, resultando em maior porosidade e maior resistência à erosão. Essas qualidades permitem que sejam facilmente preparados para o cultivo. No entanto, os cuidados com relação às práticas conservacionistas devem ser priorizados, principalmente, nas áreas de relevo ondulado e forte ondulado.

Em relação às características químicas, independente do setor em que os solos se

encontrem são, em geral, ácidos, possuem baixa capacidade de troca de cátions, com valores abaixo de 27 cmol/kg, com exceção do perfil 7 que apresenta nas camadas mais profundas valores superiores a esse, como se observa na tabela 5. Apresentam pobreza de nutrientes com baixos valores de soma de bases (valor S), valores de V% menores que 50%, mesmo aqueles sob uso agrícola mais intenso como os perfis P1 e P2, com pastagens plantadas, café e olerícolas, alguns perfis apresentam elevada saturação por alumínio. Os teores de ferro são baixos, sendo maiores nos solos vermelhos e diminuindo de forma progressiva em direção aos solos mais amarelos. A limitação ao enraizamento devido a presença de altos níveis de alumínio no solo constitui fator limitante à produtividade das plantas. Nestes casos é mais difícil obter boas produções com um manejo de baixo nível tecnológico. Os valores de pH em água evidenciam que todos os solos apresentam classes de reação fortemente a moderadamente ácidos.

A saturação por alumínio apresenta valores bastante altos, em todos os horizontes dos perfis P1, P3 e P6, com valores maiores que 50%, variando de 52 a 80%, conjugado com teores de Al^{+3} superiores a 0,5 cmolc/kg, o que confere a estes solos o caráter álico. O perfil P3, apresenta o caráter álico até o horizonte AB, mas nos horizontes diagnósticos Bw1 e Bw2 esse caráter está ausente, o que levou o solo a receber o sufixo epi, sendo classificado como Latossolo Amarelo distrófico húmico epi-álico. Nesta classe de solos é bastante comum na região a observação de horizontes subsuperficiais escurecidos pela maior presença de matéria orgânica em relação aos horizontes superficiais, principalmente nos solos situados nas áreas mais elevadas. Os perfis P1 e P3 possuem os maiores valores de carbono orgânico em relação aos outros perfis, com teores variando de 21,1 a 11,8 g/kg, nos horizontes superficiais. No perfil P7, os maiores valores de carbono orgânico, associado com o aumento nos teores médios de Al^{+3} , encontram-se nas camadas mais profundas e próximas ao lençol freático, considerando que os solos desta classe são formados em ambiente de deposição, junto as calhas de rios e córregos e as camadas mais profundas estão mais sujeitas a umidade por períodos mais longos do ano, acaba por favorecer a deficiência de oxigênio e restringe a atividade de microorganismos, dificultando a decomposição da matéria orgânica, e favorecendo o seu acúmulo. Assim, o maior acúmulo de matéria orgânica em função de temperaturas mais baixas e deficiência de oxigênio nas camadas do solo reduz a atividade microbiana, favorecendo o acúmulo de material orgânico com capacidade de formação de complexos com o Al^{+3} , o que reforça o enquadramento do perfil na classe dos Neossolos Flúvicos.

Os perfis se enquadram como distróficos no 3º nível categórico (Embrapa, 2006), em função da baixa saturação por bases do complexo sortivo (Tabela 5), sendo que o perfil P5 se enquadra na classe de mesodistrófico e os outros na classe de hipodistróficos. Conforme os resultados do ataque sulfúrico apresentados na Tabela 5, os teores de óxidos de ferro no horizonte B dos perfis estudados, com exceção do P7 que representa as áreas de várzea, mostram conforme Embrapa (2006), baixos a médios teores de Fe_2O_3 , com valores entre 35g/kg no horizonte Bi do P6 a 88g/kg no horizonte Bt3 do P4, enquadrando os solos nas classes de hipoférricos e mesoférricos respectivamente. Quanto as relações moleculares, os valores dos índices K_i , conforme requisitos do SiBCS Embrapa (2006), para a classe dos Latossolos, em todos os subhorizontes Bws dos perfis P1, P2 e P3, são inferiores ao limite superior exigido para a caracterização de horizonte B latossólico. Havendo predominância na classe dos Latossolos (P1, P2 e P3), de argilominerais do grupo da caulinita, com valores de K_i e K_r maiores que 0,75, conforme conceitos de Resende & Santana (1988).

4.8 - Aspectos Socioeconômicos

Os aspectos do sistema de produção, principais produtos agrícolas, estrutura fundiária e ocupação da terra, teve por base os dados do Tribunal de Contas do estado do Rio de Janeiro – TCE/RJ (2007), fundação CIDE (2005), informações da Emater, junto aos escritórios locais dos municípios envolvidos e coleta de informações junto à comunidade envolvida com a agricultura local, através de conversas informais durante os trabalhos de campo, buscando delinear o nível de preocupação e trato com as questões ambientais. A cafeicultura consolidou a evolução econômica e demográfica da região, hoje, as principais atividades econômicas se concentram na agricultura, pecuária leiteira, setor de aluguéis, administração pública e turismo. Na área de estudo o setor de extração mineral consiste na exploração de duas pedreiras, com extração de granito para pavimentação de ruas e avenidas e britas para a construção civil, ambas no município de Bom Jardim e pequenos pontos de extração de areia no leito dos rios e córregos. O turismo é outra atividade promissora que vem sendo incentivada como geradora de renda na região TCE-RJ (2005), essa atividade está mais concentrada no município de Nova Friburgo e seus respectivos distritos.

As atividades agrícolas de maior destaque são a olericultura, fruticultura, reflorestamento comercial e floricultura e, na pecuária as criações de gado leiteiro, suínos e aves. A produção agrícola é realizada, predominantemente, por pequenos agricultores, com mão-de-obra tipicamente familiar. A comercialização dos produtos é feita nas CEASAS de Nova Friburgo, São Gonçalo e do Rio de Janeiro, o transporte é feito por fretes. Nas culturas de ciclo curto

(olericultura) os principais produtos comercializados são chuchu, batata-doce, inhame, tomate, pimentão, abobrinha, repolho e feijão com duas safras anuais, nas culturas anuais é produzido o milho e nas culturas perenes o café, na fruticultura produz-se banana e maracujá, na floricultura, rosas e flores ornamentais (Emater, 1994 e 2001). A produção dessas culturas varia em função de situações momentâneas como o preço. Os produtores contam com a assistência técnica dos escritórios locais da Emater - Rio e da Secretaria municipal de Agricultura.

No cultivo das hortaliças e flores ornamentais, o manejo dos solos e das culturas envolve o uso de quantidades razoáveis de fertilizantes orgânicos e químicos, o uso de agrotóxicos e o uso da irrigação em algumas áreas. Todas essas práticas são conduzidas mediante a utilização de um sistema de manejo de médio nível tecnológico. A produção agrícola de olerícolas possui em comum o alto rendimento por unidade de área, o caráter altamente perecível e a grande quantidade de defensivos e fertilizantes que requerem durante o ciclo vegetativo (Emater, 1994 e 2001), além de envolver em grande medida o trabalho manual, demandando força de trabalho durante todo o ano, pois, a produção não é interrompida devido à prática de irrigação. As práticas empregadas, de modo geral, são as mesmas para todas as espécies, variando apenas os detalhes de tratos que são característicos de algumas delas, como por exemplo, o estaqueamento do pimentão e tomate e a desbrota no tomate (Emater, 1994 e 2001). As demais técnicas (comuns a todas) são preparo cuidadoso do solo, uso de semente adquirida no comércio especializado, emprego de calcário e adubação química e orgânica, nem sempre precedida de análise de solo, controle químico de pragas e doenças, irrigação (parcialmente), seleção e classificação, de acordo com as exigências do mercado.

As práticas agrícolas predominantes na olericultura são: adubação química e orgânica, nem sempre precedidas de análise do solo; controle químico de pragas e doenças; irrigação parcial e outros tratos culturais (capinas, desbrotas, desbastes, etc.). Na fruticultura, o uso de calagem e adubação química e orgânica do solo e tratos culturais, principalmente capina e poda. Na cultura do café as práticas são uso de mudas produzidas na própria propriedade ou adquiridas de viveiristas, coveamento, emprego de calcáreo e adubação química e orgânica, nem sempre precedida de análise do solo, capinas ou roçadas do mato, poda (parcialmente). No plantio de flores ornamentais usa-se adubação química e orgânica, nem sempre precedidas de análise do solo, controle químico de pragas e doenças, com o uso exagerado de pesticidas, e irrigação parcial.

Embora sem grandes problemas atuais de erosão, este é um fenômeno que ameaça

constantemente toda as áreas de lavouras, particularmente as áreas onde a agricultura é praticada normalmente em terrenos de encostas, às vezes íngremes e não adequadas, do ponto de vista técnico. Práticas simples de conservação, como o plantio cortando as águas, são observados ao lado de outros, feitos no sentido da declividade. Em alguns locais, a permanência do solo desnudo por longos períodos e a incipiente manutenção das estradas vicinais ainda favorece a erosão.

Seguindo a tendência da região Serrana, a estrutura fundiária caracteriza-se sobretudo pela presença significativa de pequenas propriedades rurais. Tomando como exemplo o município de Bom Jardim como mostra a Tabela 6, a proporção das propriedades rurais com dimensões menores de 50 ha, representam 85,0% dos estabelecimentos rurais do município. A mão-de-obra familiar representa 80% da força de trabalho na área rural, a mão-de-obra temporária, muito utilizada na colheita do café, representa 10% e a permanente 2%. O trabalho familiar e de parceiros também emprega trabalhadores assalariados, além de combinar outras formas de remuneração da força de trabalho. A distribuição de terras é incompatível com o número de moradores do município, de acordo com o censo de 2003, Bom Jardim tinha uma população estimada de 26.980 habitantes, entre homens e mulheres.

Tabela 6 - Distribuição fundiária do município de Bom Jardim.

Tamanho da Propriedade	Número de Proprietários	%
De 0,5 a 50 ha	1043	85,0
de 50 a 200 ha	178	14,5
Acima de 200 ha	6	0,5
Total	1227	100

(Fonte: Emater, 2001).

O turismo proporciona diversos benefícios para a comunidade local, como a geração de empregos, produção de bens e serviços e melhoria da qualidade de vida da população. A região ainda guarda vestígios de suas condições primitivas, abrigando nascentes cristalinas, ilhas de vegetação nativa e paisagens de grande beleza cênica, convivendo com atividades antrópicas de importância social e econômica. Embora as atrações culturais e festas populares locais, sejam componentes do item turismo, no escopo desse trabalho não foram consideradas, apenas os atrativos naturais, com potencial para o geoturismo, ecoturismo ou o agroturismo foram elencadas aqui.

O município de Bom jardim conta com vários atrativos naturais inseridos ao longo de seu território com potencial de exploração e incentivo ao turismo. O projeto caminhos geológicos em parceria com o DRM-RJ, Departamento de Geologia da UFRJ e a Prefeitura Municipal de

Bom Jardim, vem demarcando e colocando placas auto-explicativas nos principais atrativos com potencial geoturísticos da região. Entre Os principais atrativos turísticos naturais do município são: Cachoeiras, locais para caminhadas ecológicas, antigas sedes de fazendas do período colonial ou do ciclo do café e o circuito turístico eco-rural pedra aguda que integra um circuito intermunicipal rico em ecoturismo. Os distritos de São Pedro da Serra e Lumiar no município de Nova Friburgo, conta com vários atrativos naturais inseridos em seus domínios territoriais com grande potencial turístico.

CAPÍTULO V

5 - REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS

5.1 - Classificação Supervisionada dos Solos.

A primeira etapa do processo para a classificação pela rede neural artificial (RNA) é definir os dados de entrada e de saída da rede, assim como as áreas de treinamento e validação. Os dados de entrada foram os atributos da paisagem definidos anteriormente, contendo o mínimo de 6 (seis) e o máximo de 13 (treze) variáveis discriminantes, combinados em 11 distintas situações de treinamento, como mostra a Tabela 8, e cada um deles passou a corresponder a um neurônio na camada de entrada. As classes de saída foram as classes de solos dominantes, e não mais as unidades de mapeamento, que ocorrem na área de estudo, descritas em mais detalhes no capítulo 4 e mostradas na Tabela 7.

As classes de solos das unidades de mapeamento caracterizadas no 4º nível categórico, segundo Embrapa (1999 e 2006), identificadas no mapa de reconhecimento de baixa intensidade dos solos, conforme Calderano et al. (2010), foram agrupadas passando a constituir 36 unidades de mapeamento e utilizadas como área de verificação na abordagem por redes neurais. Esses procedimentos foram necessários para facilitar o desempenho do classificador neural. Os tipos de solos agrupados por classes dominantes passaram a constituir: paisagens de domínio dos Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Amarelos, paisagens de domínio dos Argissolos Vermelhos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Amarelos, paisagens de domínio dos Neossolos Flúvicos, paisagens de domínio dos Cambissolos Háplicos, Cambissolos Flúvicos e áreas de afloramentos de rocha, como mostra a Tabela 7. O mesmo procedimento foi aplicado à unidade depósitos sedimentares recentes, que constava no mapa de litologia e foi mesclada às outras unidades, visando eliminar informação redundante para o classificador neural, e evitar confusão com os padrões semelhantes da declividade.

Após definidas as variáveis de entrada e as classes de saída e, adotando-se como áreas de verificação as imagens contendo os 3 blocos, com 12 novas situações de treinamento (Tabela 8), foram definidos os elementos amostrais para treinamento das RNAs e verificação, que passaram a ser os perfis de solos e não mais os polígonos ocupados com as unidades de mapeamento. Uma vez que a importância dos dados está em sua variação e não em sua magnitude, como lembra Carvalho Júnior (2005). As Figuras 24 e 25 A, B e C mostram as imagens dos atributos do terreno, grids e índices do sensor TM Landsat.

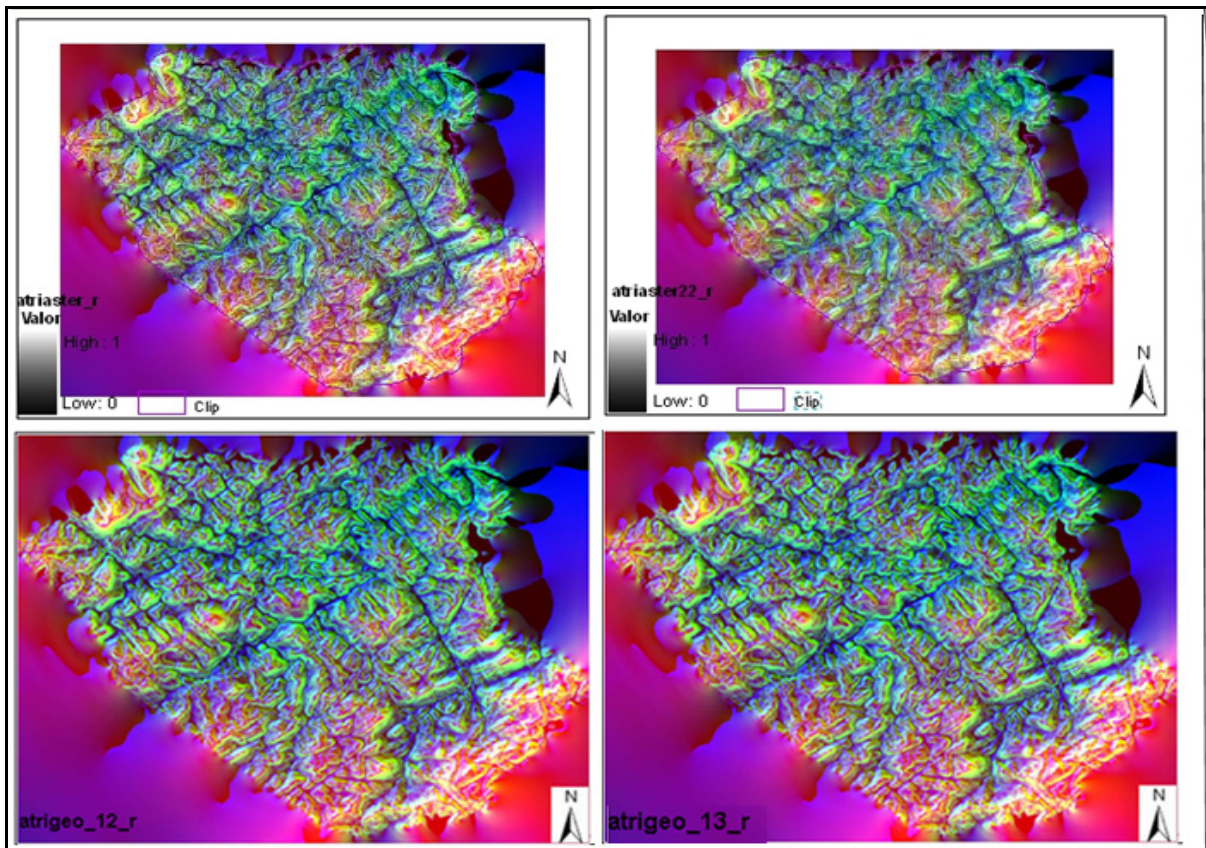


Figura 24 - Imagens dos atributos do terreno.

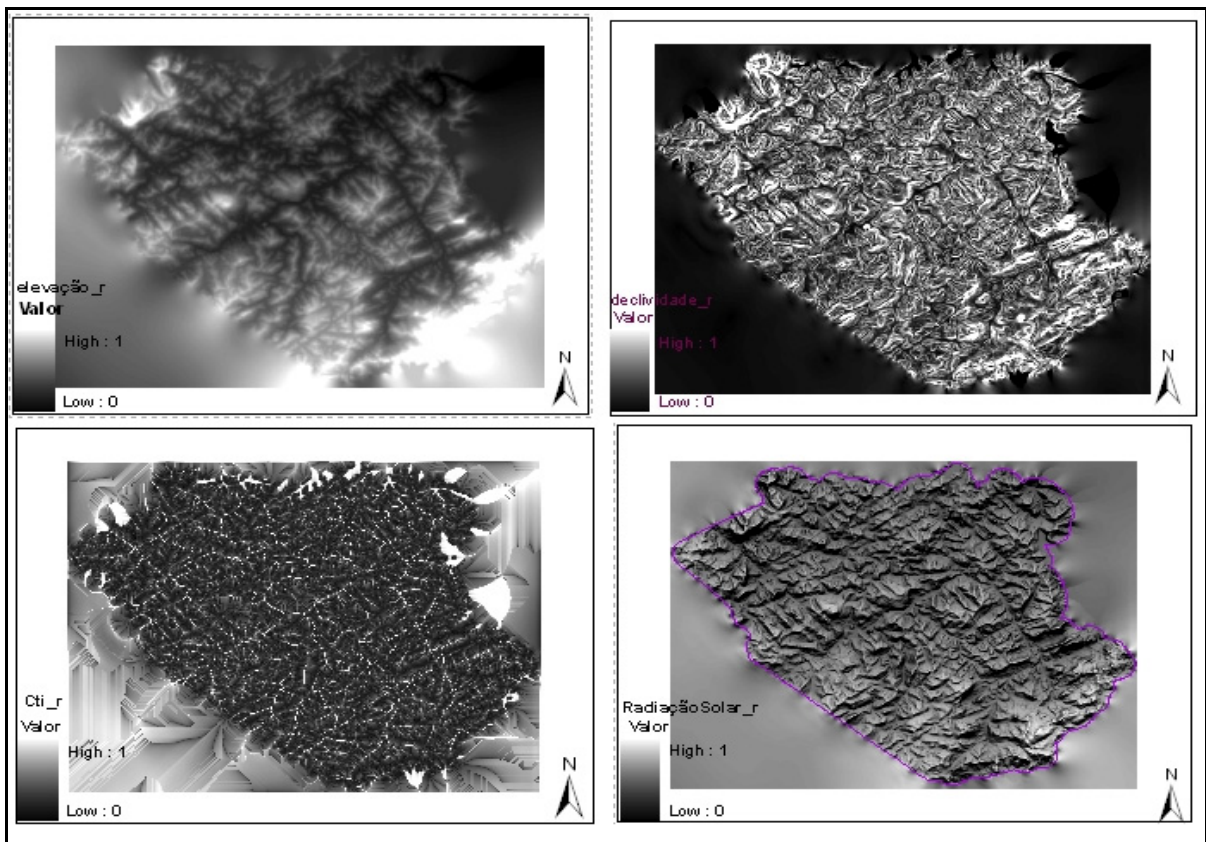


Figura 25 A- Grids elevação, clividade_gr, cti e radiação solar.

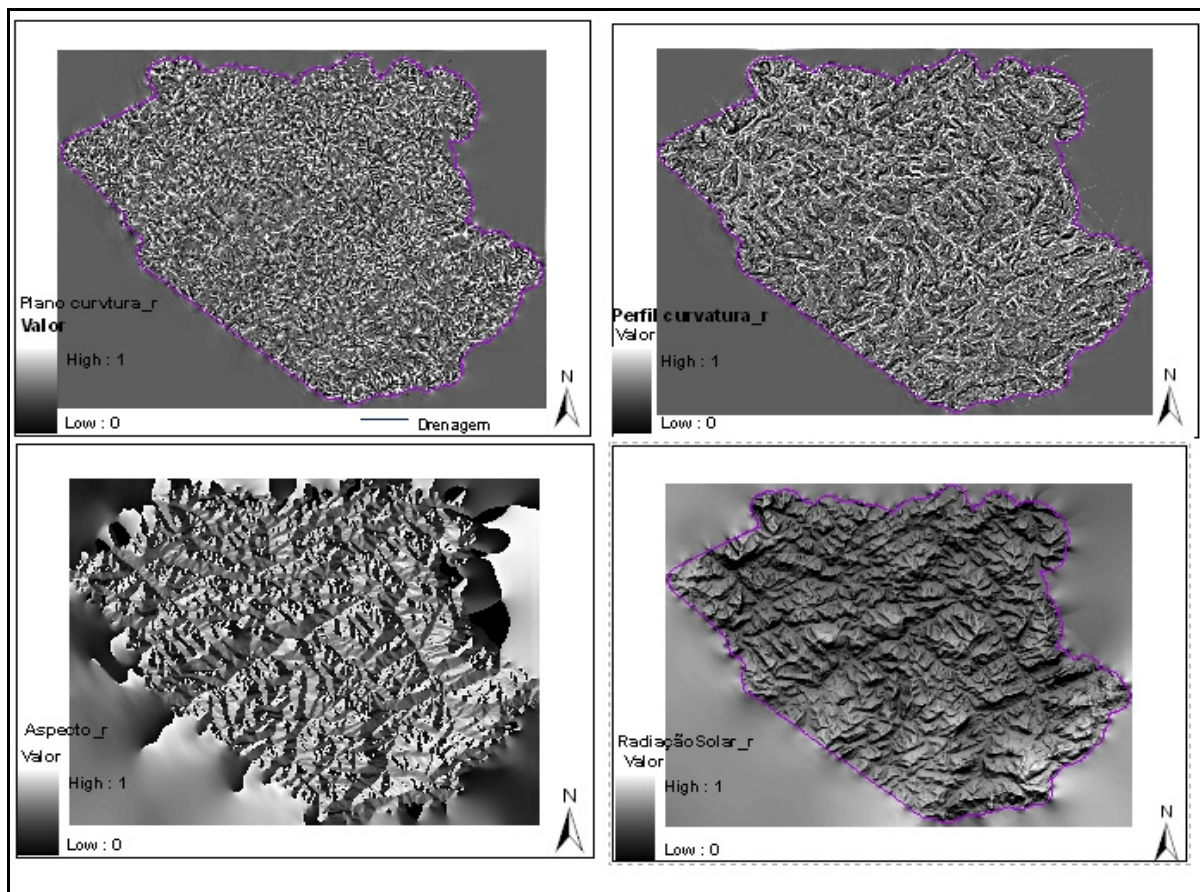


Figura 25 B – Grids aspecto, curvatura, perfil e plano de curvatura.

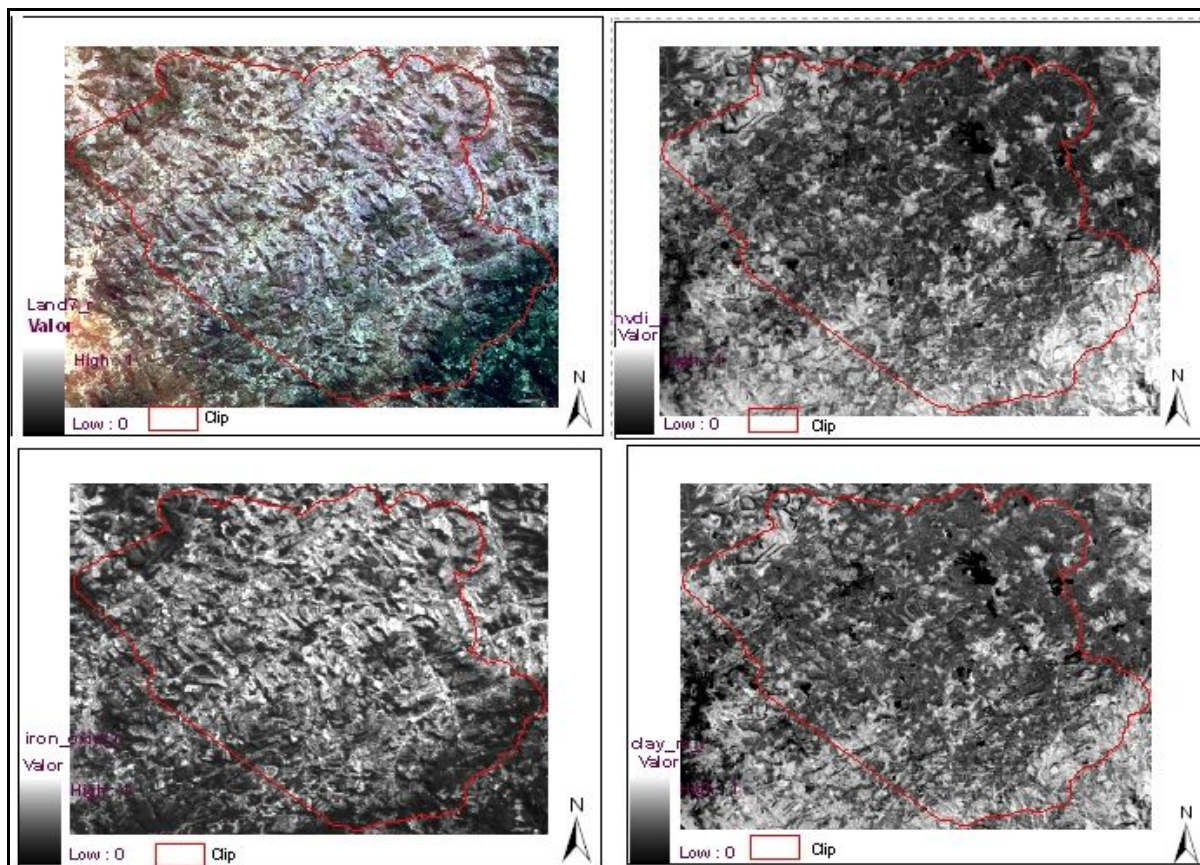


Figura 25C - Índices derivados do sensor Landsat 7.

A área de estudo apresenta uma diversidade de paisagens distintas, condicionadas pelas inúmeras características físico-bióticas locais, refletindo as situações de heterogeneidade geológica, geomorfológica e climática. Conseqüentemente os solos que aí ocorrem seguem a mesma tendência apresentando características diversas e distintas.

TABELA 7. Classe de saída utilizada na classificação por redes neurais artificiais.

Classes	Hierarquia de saída	Unidades
1	1 ^a	Afloramentos de rocha associados à Neossolo litólico distrófico típico (AR)
2	2 ^a	Cambissolo Háptico tb Distrófico típico ou léptico (CXbd)
3	3 ^a	Latossolo Amarelo Distrófico típico A moderado ou proeminente (LAd)
4	4 ^a	Latossolo Amarelo Distrófico Húmico (LAHd)
5	5 ^a	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado (LVAd)
6	6 ^a	Latossolo Vermelho Distrófico típico. (LVd)
7	7 ^a	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, típico ou latossólico (PVAd)
8	8 ^a	Argissolo Vermelho Distrófico típico (PVd)
9	9 ^a	Neossolo Flúvico distrófico típico ou associado à Cambissolo Flúvico (RY)
10	10 ^a	Argissolo Amarelo Distrófico, típico (PAd)

Para a obtenção das amostras de treinamento e validação, foi feita uma composição de todos os atributos (atributos do terreno, bandas derivadas das imagens dos sensores remotos e grid de geologia) numa mesma imagem. Foram feitas três imagens contendo os blocos, com as novas situações de treinamento, e coletadas as amostras para cada conjunto de treinamento, combinando todos os temas envolvidos no trabalho, que serviram tanto para obter o padrão geomórfico da paisagem, quanto para dar entrada no simulador de redes neurais, como pode ser observado na Figura 24. Os blocos com os conjuntos de treinamento montados são mostrados na Tabela 8.

Foram colhidas amostras ao acaso, distribuídas aleatoriamente na área de estudo (amostra estratificada), de modo a representar o melhor possível às características da população em termos de condições ambientais e, observando sempre seus valores associados para cada atributo. A seguir foi gerado um arquivo de treinamento e outro de validação no formato requerido pelo simulador de redes JavaNNS (2001). A coleta das amostras foi realizada com auxílio do software Erdas Imagine 8.5, buscando capturar um conjunto que representasse o máximo possível às características de cada classe de solo. Esse procedimento foi realizado para as três imagens produzidas. Depois de gerados os arquivos de treino e validação, foram realizados os treinamentos com várias arquiteturas de RNA's, buscando aquela que apresenta a maior exatidão global e um baixo MSE (Men Squared Errors).

5.1.1 - Definição das Arquiteturas das RNA's, testes e validação.

Estruturar a arquitetura de uma RNA consiste em definir o número de camadas escondidas e a quantidade de neurônios por camada. O número exato de camadas internas e o número de neurônios por camada para um determinado problema é frequentemente determinado, experimentalmente através de tentativas e erros, ou seja, a arquitetura foi variada até encontrar o modelo ideal que garantisse a convergência num número menor de iterações e com resultado coerente com a área. Segundo Master (1993), a estrutura de uma rede neural, ou o número de camadas e o número de neurônios em cada camada são específicos para cada caso. Para a maioria dos problemas um modelo de três camadas deve ser suficiente, a menos que o problema seja altamente complexo. Na camada interna (ou escondida), o número de neurônios depende da complexidade do problema, quanto mais simples é o problema, menos neurônios na camada interna são necessários para a convergência da rede. Neste estudo, de maneira geral, a exatidão da predição aumentou com mais dados de entrada utilizados, inclusive a inclusão da geologia, aumento no número de amostras de treinamento e validação e mesmo número de neurônios nas camadas escondidas, mas houve sempre uma considerável diferença entre as predições e os dados medidos.

Nos primeiros testes, para o grupo de treinamento contendo os índices derivados das imagens do sensor LANDSAT 7, as variáveis discriminantes utilizadas foram elevação, declividade, plano de curvatura, cti, fator LS, ndvi, iron oxid e clay minerals, produzindo uma imagem com 8 variáveis discriminantes na camada de entrada, e 9 classes de saída. Essa imagem não continha a informação da geologia. Esse conjunto denominado B9_2, foi o que apresentou inicialmente o melhor desempenho e resultados mais satisfatórios. Assim, houve necessidade de definir novos dados de entrada e novas classes de saída, para isso, as classes de saída consideradas foram definidas nas classes de solos dominantes e não mais nas unidades de mapeamento e o grid de geologia foi incluído. E a partir do conjunto de treinamento básico B9_2, contendo atributos do terreno e índices derivados das imagens do sensor LANDSAT 7, montou-se três blocos distintos, com 12 conjuntos de treinamento ao todo, sendo 11 novos conjuntos de treinamento e validação, onde foi incluída a informação de geologia e aumentou do número de amostras de treinamento e validação para 3.000 e 2.5000 respectivamente, o outro conjunto já treinado anteriormente (B9_2) continha 1.348 amostras de treinamento, como mostra a Tabela 8. Para os 11 novos conjuntos de treinamento foram realizados vários testes, utilizando arquiteturas de 6 a 13 camadas de entrada, 10 classes de saída, uma e duas camadas escondidas, redes simples e duplas. Além disso, padronizou-se as

arquitecturas das novas RNAs, os ciclos de treinamento de 10.000 a 20.000 (tempo1 e tempo2 - TP) e o número de neurônios nas camadas internas, iniciando com 1 e finalizando com 55 neurônios para todas as redes treinadas. O mesmo padrão foi aplicado novamente ao conjunto B9_2, já treinado com redes de apenas uma camada interna, no tempo1. Os conjuntos de treinamento montados, são mostrados na Tabela 8.

Desta forma, foram realizadas simulações com 12 diferentes arquitecturas de redes, durante as etapas de treinamentos, e posterior análise do desempenho das redes treinadas, com a finalidade de encontrar a arquitetura que represente melhor as classes de saída pré-definidas. Assim, a organização das diferentes arquitecturas de redes testadas foram: conjunto básico (TB9_2), com 9 classes de saída e sem a informação de geologia; onze novos conjuntos (T9G1, TP até T13), com 10 classes de saída e contendo o grid de geologia, para efeito de organização, apresentação e comparação dos resultados, os 11 novos conjuntos foram separados em três (3) blocos: (T12 e T13), (TP) e (TB9_2 , T9G, T9G1).

TABELA 8. Conjuntos de treinamento, validação e variáveis inseridas.

Variáveis	Conjuntos de treinamento e validação das RNAs (T)												
	Bloco 3		Bloco 2							Bloco 1			
	T13	T12	TP	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6	T9G	T9G1	TB9_2	
Elevação	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	
Declividade	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	
Aspecto	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Curvatura	Ok	Ok	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Pl.curvatura	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	
P.curvatura	Ok	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Índice Cti	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	
Rad.Solar	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	-----	-----	-----	Ok	-----	Ok	-----	
Fator LS	Ok	Ok	Ok	Ok	-----	-----	-----	-----	Ok	Ok	-----	Ok	
Iron Oxid	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	
Claymineral	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	
Ndvi	Ok	Ok	Ok	-----	-----	-----	-----	-----	Ok	Ok	Ok	Ok	
Geologia	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	-----	Ok	Ok	Ok	-----	
Var.preditoras	13	12	11	10	9	8	7	6	10	9	9	8	
Conjuntos	13	12	P	P1	P2	P3	P4	P5	P6	9G	9G1	B9_2	
RNs treinadas	R13	R12	RP	RP1	RP2	RP3	RP4	RP5	RP6	R9G	R9G1	R9_2	s
	R13d	R12d	RPd	RP1d	RP2d	RP3d	RP4d	RP5d	RP6d	R9Gd	R9G1d	R9_2d	dp

Legenda: T, TP, TG e TB = conjuntos de treinamento montados (numeração simples apenas para diferenciar os resultados das RNAs; R = arquitetura de rede montada; s = rede simples; d = rede dupla.

Os conjuntos de treinamento montados constituem três blocos distintos, como mostram as Tabelas 8, 12, 13 e Tabelas de 40 a 54 no anexo 3. O primeiro bloco formado pelo conjunto 9, com três situações diferentes: A) conjunto B9_2, contendo como variáveis discriminantes elevação, declividade, plano de curvatura, cti, fator LS, ndvi, iron oxid e clay minerals e nove

classes de saída (classe do Argissolo Amarelo não contemplada), B) conjunto 9G, contendo como variáveis discriminantes: elevação, declividade, plano de curvatura, cti, fator LS, ndvi, iron oxid, clay minerals e geologia e, dez classes de saída (classe do Argissolo Amarelo contemplada) e C) conjunto 9G_1 substituindo no caso B, a variável fator LS pela Radiação solar, as outras permaneceram as mesmas. O segundo bloco formado pelo conjunto P, com sete situações distintas, nesse bloco as variáveis curvatura e perfil de curvatura não estavam presentes em nenhum deles, as outras foram sendo incluídas ou excluídas em função do conjunto montado e, dez classes de saída. O terceiro bloco formado pelos conjuntos 13 e 12, o conjunto 13 com todas as variáveis e o 12 sem a variável perfil de curvatura e, ambos com dez classes de saída.

A partir dessa padronização, várias simulações foram realizadas utilizando diferentes arquiteturas de rede, visando encontrar a configuração de rede mais adequada para representar as classes de interesse, e um resultado considerado satisfatório. Até a validação final das RNAs e dos resultados obtidos, o conjunto de variáveis discriminantes contendo o grid de geologia passou por vários testes e avaliações, antes da definição da rede a ser usada na classificação final. Durante esta etapa optou-se por utilizar o método construtivo, quando o número de neurônios ocultos cresce a partir de 1 e, observando o comportamento do erro durante 10 e 20 mil ciclos de aprendizagem, define-se qual a melhor arquitetura a ser validada. O erro do treinamento mede a diferença entre os valores estimados e os valores desejados para o conjunto de treinamento. Assim, foi iniciado sequencialmente o treinamento das redes, concluído os treinamentos de cada arquitetura de rede é necessário salvar a rede no formato apropriado (net), para sua utilização posterior na classificação de toda a área (fase de teste) o que é feito através da função valida, que produz as ativações de saída para cada pixel, em relação a cada classe de interesse. Para especificar cada arquitetura de rede treinada, adotou-se como padrão, o número de nós na camada de entrada, número de nós da camada escondida (podendo variar de uma ou duas, o número de nós na camada de saída e os ciclos de treinamento, tempo 1 e tempo2. O ideal é colocar nomes pequenos nos arquivos pra não criar confusões no banco de dados do simulador, (exemplo R2626d, rede camada dupla com 26 neuronios em cada camada interna no tempo1, e R2626TP_12d rede camada dupla com 26 neuronios em cada camada interna no tempo2, do conjunto 12).

No primeiro estágio da avaliação foi realizada uma comparação entre os diferentes conjuntos de variáveis discriminantes testadas, esta comparação constou da verificação do MSE (mean square error) após 10.000 ou 20.000 ciclos de aprendizado e do desempenho do

índice Kappa e teve por objetivo selecionar o(s) melhor(es) conjunto(s) de variáveis discriminantes para ser utilizada na classificação final e a melhor arquitetura a ser validada. O comportamento do MSE, após 10 e 20 mil ciclos de treinamento obtidos para os dados de validação é bastante reduzido, para alguns conjuntos de treinamento e arquiteturas de redes treinadas, como mostrado no anexo 3, Tabelas 40 a 54, que contém, as simulações realizadas por conjuntos de treinamento testados e a arquitetura das redes. As Tabelas 9 a 24, mostram a exatidão global de algumas redes treinadas, escolhidas por conjunto de treinamento.

5.2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A escolha final do melhor conjunto de variáveis para a predição das classes de solos, foi feita com base nas matrizes de confusão e significância produzidas por conjunto de treinamento e arquitetura de redes treinadas, como mostra a seguir as Tabelas 9 a 24, onde observa-se que o índice Kappa variou bastante em função das variáveis discriminantes utilizadas e do número de neurônios na camada interna. Os melhores resultados pela classificação por redes neurais, entre os vários conjuntos de treinamentos testados, foram obtidos quando foram utilizadas todas as variáveis (atributos do terreno, índices do sensor LANDSAT 7 e grid de geologia), conjunto 13, seguido pelo conjunto 12. Os resultados são apresentados por blocos de treinamentos, com seus respectivos conjuntos.

No bloco 9, para o grupo de treinamento B9_2, tendo como variáveis discriminantes 8 atributos na camada de entrada (elevação, declividade, plano de curvatura, cti, fator LS, ndvi, iron oxid e clay minerals, sem o grid da geologia) e, 9 classes de saída, as redes treinadas com uma camada interna e 11 e 34 neurônios na camada interna, arquiteturas R[11_9] e [R34_9], apresentaram inicialmente os resultados mais satisfatórios. Observa-se pela Tabela 10 (A e B), que a RNA que melhor classificou os padrões de validação foi a rede com 34 neurônios na camada oculta, apresentando valor de exatidão global de 61,6%, com índice Kappa de 0,569, enquanto a rede com 11 neurônios, apresentou valor de exatidão global de 57,3%, com índice Kappa de 0,520. Analisando os resultados da classificação das amostras de validação, pode-se observar na rede R[34_9] que o maior acerto (92,7%) é referente à classe 9, paisagem do domínio dos Neossolos Flúvicos, seguido pela classe 1 (87,8%) domínio dos afloramentos de rocha e pela classe 2 (domínio dos Cambissolos Háplicos) com acerto de 77,3%, a classe 4, domínio dos Latossolos Amarelos Húmicos o acerto foi de (55,3%), a classe 5, domínio do Latossolo Vermelho-Amarelo o acerto foi de (52,0%), e a classe 6, domínio dos Latossolos Vermelhos o acerto foi de (64,7%), nas classes 3, 7 e 8 a rede não conseguiu alcançar 50% de acerto, isso devido em grande parte ao padrão de paisagem muito semelhante entre estas

classes no campo, embora na classe 3, domínio dos Latossolos Amarelos o acerto foi de (49,3%), a classe 7, domínio do Argissolo Vermelho-Amarelo obteve o pior desempenho com (32,7%). A classe 8, domínio do Argissolo Vermelho o desempenho foi de (42,7%), como mostra a matriz de confusão obtida na classificação destas redes, Tabela 9 (A e B).

TABELA 9. Classificação das redes neurais – [R11_9 e R34_9].

9 A – [R11_9]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	-	Total	Usuário	Z
1	109	19	0	1	1	0	0	0	0	-	130	83,8	22,95
2	24	80	1	16	1	0	11	6	3	-	142	56,3	11,40
3	1	20	97	26	20	8	28	48	14	-	262	37,0	9,92
4	9	16	11	86	16	0	18	1	0	-	157	54,8	11,72
5	0	0	12	4	68	7	4	5	1	-	101	67,3	12,36
6	0	0	2	0	0	100	36	18	3	-	159	62,9	14,16
7	4	8	21	9	38	8	50	14	1	-	153	32,7	6,13
8	1	7	5	0	1	27	1	57	3	-	102	55,9	9,42
9	0	0	1	3	5	0	2	1	125	-	137	91,2	33,48
U	0	0	0	5	2	0	0	4	3	-	5	0,0	
Total	148	150	150	150	150	150	150	150	150	-	1348		
Produ.	73,6	53,3	64,7	57,3	45,3	66,7	33,3	38,0	83,3	-			
Exatidão global = 57,4; Kappa = 0,520; Variância = 0,000228; Z calculado = 34,426; Z Tabelado = 1,96.													
9 B – [R34_9]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	-	Total	Usuário	Z
1	130	12	0	0	0	0	0	0	0	-	142	91,5	34,847
2	11	116	5	20	0	0	15	2	0	-	169	68,6	16,856
3	0	9	74	27	24	16	21	31	3	-	205	36,1	8,245
4	4	7	4	83	15	3	10	0	0	-	126	65,9	13,445
5	3	0	16	6	78	4	13	1	2	-	123	63,4	12,509
6	0	0	2	0	0	97	37	31	3	-	170	57,1	12,927
7	0	3	39	12	20	2	49	19	2	-	146	36,6	6,214
8	0	1	10	0	1	23	3	64	1	-	103	62,1	11,036
9	0	0	0	0	10	0	0	0	139	-	149	93,3	40,399
U	0	2	0	2	2	5	2	2	0	-	15	0,0	
Total	148	150	150	150	150	150	150	150	150	-	1348		
Produ.	87,8	77,3	49,3	55,3	52,0	64,7	32,7	42,7	92,7	-			
Exatidão global = 61,6; Kappa = 0,569; Variância = 0,000219; Z calculado = 38,412; Z Tabelado = 1,96.													

Vale lembrar que a exatidão global aqui referida é apenas a exatidão do classificador da RNA, em função do universo e padrão das amostras fornecidas a rede, e não significa de imediato a exatidão da classificação quando transferida para a realidade de campo.

Os resultados do treinamento destas redes iniciais não foram considerados satisfatórios, devido a padrões problemáticos de distribuição dos solos na paisagem e a falta de algumas variáveis a mais para auxiliar na solução do problema. As classes de saída não foram discriminadas de forma satisfatória em todas as 9 classes, com três classes classificadas abaixo de 50%. Outra razão para isso, é que algumas classes de solos apresentam padrões de

distribuição na paisagem muito semelhantes, embora sejam separadas no SiBCS (Embrapa, 2006), por características muito sutis, como é o caso dos Argissolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Vermelho-Amarelos, diferenciados entre si por um ligeiro grau de cerosidade e gradiente textural, outras por uma ligeira nuance de cores até os primeiros 120cm. Nestes casos é possível agrupar padrões com características semelhantes ou incluir outros padrões sem prejudicar a consistência das classes mas, que estavam prejudicando o treinamento do conjunto dos padrões apresentados a RNA. Assim houve necessidade de testar novas variáveis discriminantes, inclusive a informação de geologia, com isso melhores resultados foram obtidos.

Na sequência de treinamento do bloco 9, as redes do conjunto TB9_2 foram submetidas a novos treinamentos, com arquiteturas de camada interna dupla (TB9_2dp), visando a padronização e possíveis comparações via matriz de confusão com o conjunto de treinamento T9G e T9G_dp contendo além das variáveis preditoras do conjunto TB9_2, o grid de geologia. Após o treinamento destas redes o arquivo de validação foi apresentado a estas arquiteturas de redes e os resultados da classificação foram comparados com a resposta esperada, gerando para as RNAs uma matriz de confusão, com o índice Kappa e outros valores estatísticos. De maneira geral, para todos os conjuntos de treinamento as redes com mais de 10 neurônios na camada interna produziram resultados significativamente melhores, o mesmo aconteceu com as redes de dupla camada interna em alguns conjuntos treinados, cujos resultados finais subiram de 2 a 3 pontos, quando comparada a mesma arquitetura da rede de camada simples, embora não constituindo uma regra geral para todas as redes treinadas.

No treinamento das redes do conjunto B9_2dp, a rede com 26 neurônios na camada interna, R2626_9d alcançou valores para o índice Kappa de 0.734 e exatidão global de 76,3%. Na rede com 38 neurônios na camada interna R3838_9d, o valor de Kappa foi de 0.745 e da exatidão global de 77,3%. Para todas as outras redes desse conjunto a exatidão global permaneceu abaixo de 61%. Recordando que esse conjunto de treinamento contém as mesmas variáveis e classes de saída do conjunto B9_2, verifica-se que houve uma melhora significativa nos valores de Kappa e de exatidão global, quando comparada a rede de camada simples R34_9 da Tabela 9 (B), saindo de 61,6% de exatidão global para 77,3% e de 0,569 de Kappa para 0.745. A Tabela 12 mostra a matriz de significância de Kappa destas duas redes, onde pode-se verificar que as classes 1 e 9, apresentam os melhores resultados da classificação, com acertos de 91,9% e 92,7% na rede R2626_9d e 89,9% e 94,7% na rede R3838_9d, enquanto as classes 7 e 8 aumentaram de forma significativa seus resultados, a

classe 3 com 58,0%, continua com o resultado mais baixo.

Ao longo do processo de treinamentos dos conjuntos montados, a inclusão do grid de geologia, associado ao aumento no número de amostras de treino e validação, melhorou gradativamente os resultados finais, como mostra os resultados dos conjuntos de treinamento dos blocos 9, P, 13 e 12. O treinamento do conjunto 9G com do grid de geologia elevou nas arquiteturas de redes de camada simples, a exatidão global para 71,8% na rede R11_9G e 74,0% na rede R34_9G. Apenas a classe 3, domínio dos Latossolos Amarelos na rede R11_9G foi classificada com 46,4%, enquanto na rede R34_9G todas as classes obtiveram acerto superior a 62%. Aumentando para quarenta o número de neurônios na camada interna, rede R40_9G, a exatidão global obtida foi de 79,1% e a partir do quarto neurônio na camada interna, todas as redes treinadas desse conjunto obtiveram exatidão global acima 65%, sendo que a maioria delas obteve valores acima de 70%, como mostra a matriz de confusão obtida na classificação destas redes, Tabela 10 (A, B e C), e matriz de significância de Kappa Tabela 12. Observa-se pela Tabela 10 (A, B e C) que a RNA que melhor classificou os padrões de validação foi a rede com 40 neurônios na camada oculta, apresentando valor de exatidão global de 79,1%, com índice Kappa de 0,768, enquanto a rede com 11 neurônios apresentou valor de exatidão global de 71,8%, com índice Kappa de 0,688 e a rede com 34 neurônios, apresentou valor de exatidão global de 74,0%, com índice Kappa de 0,711. Na rede R40-9G os maiores acertos foram nas classes 1 (98,0%), 10 (88,4%), 9 (85,5%), 2 (83,6%), 4 (83,6%) e 3 (82,4%), seguida das classes 7 (72,8%) e 5 (70,0%). A classe 3 que antes estava classificada com acerto de 46,4% foi para 82,4%, quase o dobrou o resultado.

TABELA 10. Classificação das redes neurais [R11_9G; R34_9G e R40_9G]

10 A – [R11_9G]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	232	5	0	10	9	2	5	4	1	2	270	85,9	36,46
2	0	198	28	20	24	10	8	12	0	10	310	63,9	20,71
3	2	4	116	12	9	0	4	6	5	3	161	72,1	18,30
4	13	3	3	185	4	4	11	1	0	0	224	82,6	28,27
5	0	6	2	3	175	2	5	2	4	2	204	85,8	31,38
6	0	11	2	0	20	171	22	45	0	11	282	60,6	18,32
7	0	1	47	2	1	0	165	6	1	3	226	73,0	22,02
8	0	16	1	7	4	33	12	157	20	11	261	60,2	17,34
9	0	3	1	0	0	8	3	1	212	25	253	83,8	32,41
10	0	3	13	2	4	15	6	13	7	183	246	74,4	23,76
U	0	0	37	9	0	5	9	3	0	0	63	0,0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500		
Produ.	92,8	79,2	46,4	74,0	70,0	68,4	66,0	62,8	84,8	73,2			

Exatidão global = 71,8; Kappa = 0,688 ; Variância = 0,000098; Z calculado = 69,551; Z Tabelado = 1,96.

10 B – [R34 9G]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	240	6	1	2	5	0	0	0	0	0	254	94.5	59.354
2	0	172	26	14	13	15	11	26	6	5	288	59.7	18.080
3	0	25	163	10	22	10	6	5	2	2	245	66.5	19.417
4	7	6	4	208	2	2	9	12	5	0	255	81.6	30.070
5	0	7	4	9	179	10	3	5	4	2	223	80.3	26.865
6	0	0	10	0	15	157	15	27	0	7	231	68.0	19.484
7	3	5	7	1	8	9	182	1	2	8	226	80.5	27.283
8	0	20	29	4	3	23	11	158	25	17	290	54.5	16.093
9	0	1	0	1	1	6	2	6	198	17	232	85.3	32.922
10	0	8	6	1	2	18	11	10	8	192	256	75.0	24.682
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500		
Produ.	96.0	68.8	65.2	83.2	71.6	62.8	72.8	63.2	79.2	76.8			
Exatidão global = 74,0; Kappa = 0,711 ; Variância = 0,000095; Z calculado = 72,861; Z Tabelado = 1,96.													
10 C – [R40 9G]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	245	4	4	16	8	6	0	2	0	0	285	86,0	37,55
2	0	209	8	7	19	4	8	29	3	6	293	71,3	24,06
3	0	10	206	4	12	17	3	10	5	5	272	75,7	26,01
4	3	8	4	209	5	6	5	7	1	0	248	84,3	32,68
5	2	14	14	4	175	5	16	3	2	0	235	74,5	32,25
6	0	0	3	0	22	160	21	24	1	0	231	69,3	20,12
7	0	0	7	3	3	2	182	0	0	4	201	90,5	39,35
8	0	5	1	2	2	23	4	157	16	9	219	71,7	20,85
9	0	0	1	4	0	6	3	9	213	5	241	88,4	38,42
10	0	0	2	0	4	21	8	9	7	221	274	80,7	30,28
U	0	0	0	1	0	5	9	3	0	0	1	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500		
Produ.	98,0	83,6	82,4	83,6	70,0	64,0	72,8	62,8	85,5	88,4			
Exatidão global = 79,1; Kappa = 0,768; Variância = 0,000081; Z calculado = 85,046; Z Tabelado = 1,96.													

Nesse sentido, os resultados confirmam uma tendência já esperada, o uso do grid de geologia como variável discriminante contribuiu para melhorar o desempenho da classificação final quando foi utilizado em combinação com os outros.

Ainda nesse mesmo conjunto de treinamento (9G), para as redes de camada interna dupla e com as mesmas arquiteturas, redes R2626_9Gd e R3838_9Gd os valores de exatidão global foram de 78,2% e 82,8% e para o índice Kappa de 0.758 e 0.789 respectivamente. A partir do décimo quinto neurônio todas as redes apresentaram valores de exatidão global acima de 75%, como mostra a matriz de confusão obtida na classificação destas redes, Tabela 11(A e B) e matriz de significância de Kappa Tabela 12.

TABELA 11. Classificação das redes neurais [R2626_9Gd ; R3838_9Gd]

11 A – [R2626_9Gd]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	237	5	2	4	1	3	0	0	0	0	252	94.0	56.750
2	1	219	61	15	14	6	2	25	5	2	350	62.6	21.508
3	0	12	117	2	11	7	6	2	0	1	158	74.1	18.687
4	7	0	0	214	4	11	4	17	0	0	257	83.3	32.049
5	2	1	13	4	193	17	1	0	4	0	235	82.1	29.380
6	0	7	15	0	11	174	21	26	4	1	259	67.2	20.322
7	1	0	32	5	5	5	184	1	1	2	236	78.0	25.754
8	1	6	5	6	2	5	19	174	11	11	240	72.5	22.302
9	0	0	1	0	1	4	0	0	220	9	235	93.6	52.771
10	1	0	4	0	8	18	13	5	5	224	278	80.6	30.437
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500		
Produ.	94.8	87.6	46.8	85.6	77.2	69.6	73.6	69.6	88.0	89.6			
Exatidão global = 78,2; Kappa = 0,758 ; Variância = 0,000084; Z calculado = 82,884; Z Tabelado = 1,96.													
11 B – [R3838_9Gd]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	242	6	0	5	6	0	0	0	0	0	259	93,4	54,61
2	0	210	43	16	18	20	10	9	5	3	334	62,9	21,10
3	0	8	170	6	19	7	1	1	5	11	228	74,6	22,94
4	6	4	3	212	2	2	1	5	2	0	237	89,5	40,24
5	0	11	3	9	186	2	1	4	10	1	228	81,6	28,38
6	0	2	5	0	11	181	25	16	1	10	241	75,1	23,97
7	2	0	15	1	1	6	183	1	0	1	210	87,1	33,78
8	0	6	5	0	2	23	16	210	5	13	280	75,0	25,88
9	0	2	1	1	1	6	2	0	214	4	231	92,6	48,45
10	0	1	4	0	4	3	11	4	8	217	252	86,1	35,46
U	0	0	0	1	0	5	9	3	0	0	1	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500		
Produ.	96,8	84,0	68,0	84,8	74,4	72,4	73,2	84,0	85,6	86,8			
Exatidão global = 82,8; Kappa = 0,789; Variância = 0,000076; Z calculado = 90,548; Z Tabelado = 1,96.													

No conjunto de treinamento (9G_1) houve a substituição da variável fator LS pela variável radiação solar, no geral, essa substituição elevou um pouco a exatidão global em algumas redes treinadas, em outras abaixou, a rede R40_9G que antes havia alcançado 79,1% de exatidão global, abaixou para 78,6% na R40_9G1, embora 5 redes simples desse conjunto (R33_9G1; R38_9G1; R41_9G1; R43_9G1 e R44_9G1) tenham obtido exatidão global acima de 80%.

Para o mesmo conjunto com redes duplas os ganhos em algumas redes treinadas foram maiores, embora a rede [R3838_9G], que antes havia alcançado 82,8% de exatidão global, tenha caído para 77,9%, mas as redes (R3939_9G1; R4141_9G1 e R4444_9G1) atingiram 85,9%, 86,5% e 84,8% respectivamente de exatidão global, como mostra a matriz de significância de Kappa, Tabela 12. Para as redes treinadas do bloco 9, observa-se que o índice

Kappa variou bastante em função das variáveis discriminantes utilizadas, das arquiteturas montadas e do número de neurônios na camada interna. Embora várias redes treinadas deste conjunto tenham ultrapassado o valor de 0,75 de Kappa, mostrando um desempenho do classificador de muito bom a excelente, como sugerem valores de Landis & Koch (1977) e Monserud & Leemans (1992), nenhuma destas redes foi escolhida para a validação final.

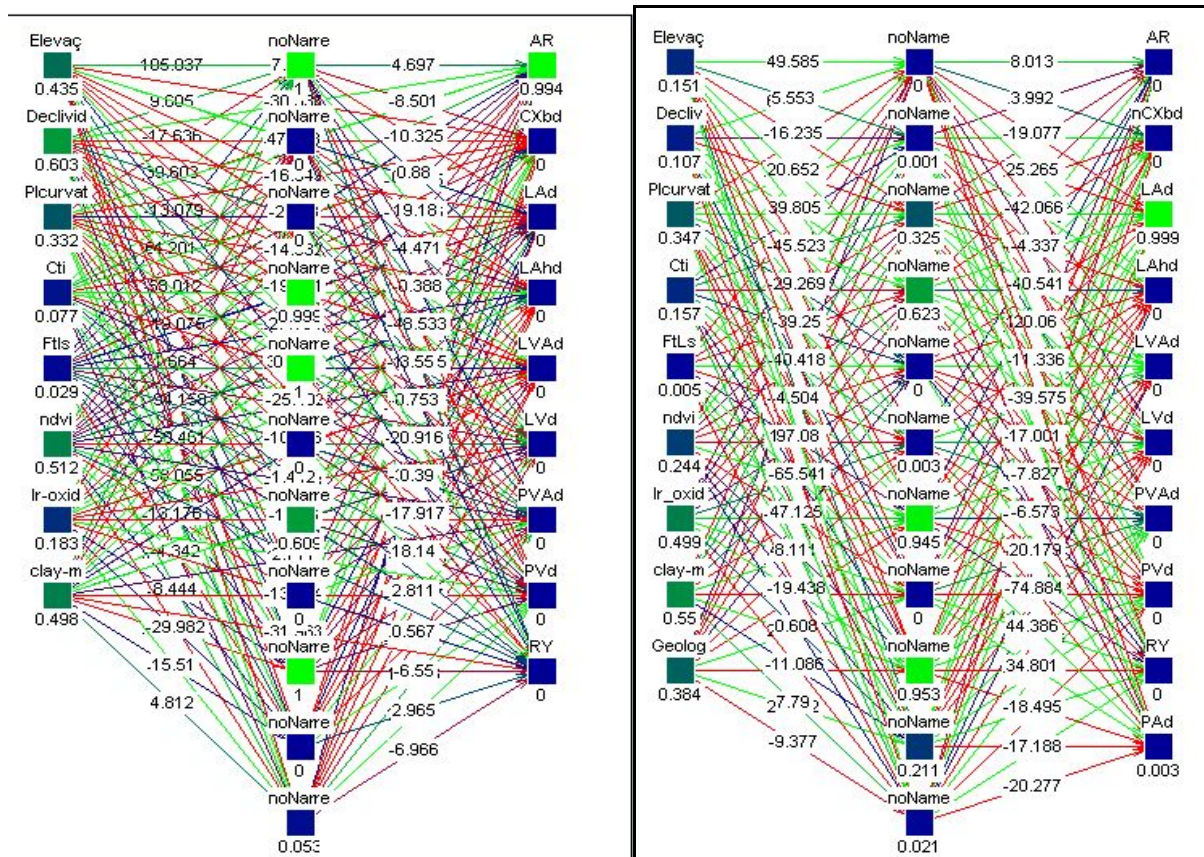


Figura 26. Configuração gráfica das RNAs de camada simples R11_9 e R11_9G e suas ligações.

Uma comparação rápida nos resultados do bloco 1, feita entre 3 redes do conjunto básico TB9_2 sem o grid de geologia testadas anteriormente, e as redes de arquiteturas iguais dos conjuntos T9G e T9G1 com o grid de geologia, mostra que a inclusão do grid de geologia elevou em média o acerto da classificação em 31%, conforme mostra as Tabelas 12, 40, 41 e 54, (redes Rd88_9d x Rd88_9G; Rd11_9d x Rd11_9G e Rd22_9d x Rd22_9G).

TABELA 12. Matriz de significância de Kappa e respectivos índices para os diferentes conjuntos e arquiteturas de redes neurais testadas do bloco 9.

Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R12_9	60.4			0.554		0,224			B9_2	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	75.0	68.7	42.7	57.3	68.0	61.3	41.3	40.0	89.3	-
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R34_9	61.6			0.569		0,219			B9_2	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	87.8	77.3	49.3	55.3	52.0	64.7	32.7	42.7	92.7	-
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R2626_9d	76.3			0.734		0,170			B9_2dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	91.9	84.7	60.0	74.0	72.0	72.7	65.3	74.0	92.7	-
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R3838_9d	77.3			0.745		0,165			B9_2dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	89.9	80.7	58.0	79.3	70.7	68.7	74.7	79.3	94.7	-
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R11_9G	71.8			0.688		0,098			9_G	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	92.8	79.2	46.4	74.0	70.0	68.4	66.0	62.8	84.8	73.2
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R32_9G	77.8			0.753		0,085			9_G	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	95.2	87.2	78.8	86.4	64.8	64.0	70.4	66.8	81.6	82.8
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R40_9G	79.1			0.768		0,081			9_G	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	98.0	83.6	82.4	83.6	70.0	64.0	72.8	62.8	85.2	88.4
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R3232_9Gd	82.5			0.805		0,071			9_G dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	98.4	78.0	87.6	82.4	86.0	74.8	75.6	66.8	87.6	87.6
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R3838_9Gd	82.8			0.809		0,070			9_G dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	97.6	86.8	68.4	86.4	81.6	76.4	73.6	72.4	88.8	96.4
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R4444_9Gd	82.9			0.810		0,070			9_G dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	96.0	89.6	80.4	84.0	79.2	78.4	72.4	66.0	90.0	92.8
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R38_9G1	81.0			0.789		0,076			9_G1	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	96.8	84.0	68.0	84.8	74.4	72.4	73.2	84.0	85.6	86.8
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R43_9G1	81.3			0.792		0,075			9_G1	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	96.8	77.6	78.8	83.6	74.8	73.2	79.6	77.6	87.2	84.0
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R44_9G1	82.0			0.800		0,073			9_G1	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	98.4	75.6	85.6	87.6	76.0	71.6	75.6	75.6	90.8	83.6
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R3939_9G1d	85.9			0.843		0,060			9_G1dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Produção	96.8	89.6	72.8	89.2	84.0	78.4	84.8	83.6	88.8	90.8
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R4141_9G1d	86.5			0.850		0,058			9_G1dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	97.6	80.8	81.2	96.4	86.0	74.0	85.6	83.6	88.0	92.0
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R4444_9G1d	84.8			0.831		0,064			9_G1dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	97.6	86.8	74.8	84.0	82.0	77.2	77.2	87.6	91.2	89.6

Na sequência do treinamento para verificar o desempenho das RNAs em situações distintas, com base no grupo de variáveis utilizadas para o bloco P, montou-se sete conjuntos de treinamento distintos, (P, P1, P2, P3, P4, P5 e P6) com o mínimo de 6 e o máximo de 11 variáveis discriminantes na camada de entrada e 10 classes de saída, que foram sendo substituídas de acordo com o conjunto montado. Nesses conjuntos as variáveis curvatura e perfil de curvatura não estavam presentes em nenhum deles, as outras foram organizadas da seguinte forma: P com 11 variáveis (elevação, declividade, aspecto, plano de curvatura, cti, radiação solar, fator LS, ndvi, iron oxid, clay minerals e geologia); P1 com 10 variáveis (elevação, declividade, aspecto, plano de curvatura, cti, radiação solar, fator LS, iron oxid, clay minerals e geologia); P2 com 9 variáveis (elevação, declividade, aspecto, plano de curvatura, cti, radiação solar, iron oxid, clay minerals e geologia); P3 com 8 variáveis (elevação, declividade, aspecto, plano de curvatura, cti, iron oxid, clay minerals e geologia); P4 com 7 variáveis (elevação, declividade, plano de curvatura, cti, iron oxid, clay minerals e geologia); P5 com 6 variáveis (elevação, declividade, plano de curvatura, cti, iron oxid, clay minerals) e P6 com 10 variáveis (elevação, declividade, plano de curvatura, cti, radiação solar, fator LS, ndvi, iron oxid, clay minerals e geologia).

A partir destes conjuntos as redes foram sendo treinadas, comparadas, validadas e os resultados da classificação foram comparados com a resposta esperada, gerando para as RNAs uma matriz de confusão com o índice Kappa e outros valores estatísticos. Estes resultados são apresentados na Tabela 13 e no anexo 4. Pelos resultados de algumas redes mostrados na Tabela 13, observa-se que o índice Kappa também variou muito nos conjuntos treinados e validados, em função das variáveis discriminantes utilizadas e do número de neurônios na camada interna.

No processo de treinamento e validação desses conjuntos os melhores resultados foram obtidos com o treinamento dos conjuntos P, P1, P2, P3 e P6 e os piores resultados foram dos conjuntos P4 e P5. Para as redes de camada simples por conjunto de treinamento, a exatidão

global alcançada foi de 83,2% no P, 83,7% no P1, 84,0% no P2, 81,6% no P3 e 81,4% no P6. Para as redes de dupla camada a exatidão global foi de 88,0% no P, 84,5% no P1, 86,0% no P2, 85,0% no P3 e 83,8% no P6. Nos conjuntos P4 e P5 a exatidão global foi de 76,8% e 70,3% nas redes simples e 82,7% e 74,7% nas redes duplas respectivamente. Como os resultados das redes treinadas nesse bloco de treinamento oscilaram muito, dificultando a escolha final da melhor arquitetura a ser validada, a partir desse bloco, padronizou-se para as dez primeiras redes por conjunto, que apresentaram os melhores desempenhos, dois novos ciclos de treinamento no tempo dois (T) e (TP), assim as redes já treinadas e salvas, foram submetidas a novos testes de treinamento de 10.000 ciclos cada (redes_T), variando apenas a taxa de aprendizagem e as cinco redes que apresentaram ganhos em relação ao treinamento anterior, receberam um novo ciclo de treinamento (Rds_TP). Só serão mostradas aqui as redes do conjunto TP, que obtiveram os melhores desempenhos e foram escolhidas para validação.

A Tabela 13 mostra a apresentação dos resultados obtidos com a validação das arquiteturas de redes selecionadas e a classificação gerada para algumas redes do conjunto P. Observa-se nesta Tabela que as redes treinadas com uma camada interna, de 36 e 46 neurônios na camada interna, arquiteturas R36_P e R46_P, apresentaram exatidão global de 82,5% e 83,2% e desempenho para o índice Kappa de 0,805 e 0,814 respectivamente. A rede R36_P em todas as classes de saída teve acerto acima de 72%, enquanto a rede R46_P teve acerto de 65,2% na classe 8, em todas as outras o acerto foi de 75%. Durante o processo de treinamento nesse conjunto, a partir do 5^o neurônio na camada interna, a exatidão global alcançada foi de 65%, a partir do 10^o neurônio foi de 70% e a partir do 15^o neurônio todas as redes ficaram acima de 77% de exatidão global. Para as redes de camada dupla os resultados oscilaram mais, mas até o 10^o neurônio na camada interna, todas as redes ficaram abaixo de 71% de exatidão global, a partir do 11^o neurônio os resultados ficaram entre 71% 88% de exatidão global, com algumas obtendo resultados excelentes acima de 85%, como as redes R3939_Pd, R4040_Pd e R4545_Pd. O melhor desempenho com um valor para o índice Kappa de 0,868 e exatidão global de 88,1%, foi da rede R4545_Pd que conseguiu classificar todas as classes de saída com acerto acima de 78%, embora as redes R3939_Pd e R4040_Pd tenham obtido bons desempenhos, com todas as classes de saída classificadas acima de 70%, como mostra a Tabela 13.

Para o conjunto P1, nas redes de camada simples as oscilações foram maiores até o 10^o neurônio, a partir do 11^o a exatidão global ficou acima de 71%, as redes R32_P1, R41_P1 e R42_P2 obtiveram 82,0%, 83,7% e 82,7% respectivamente de exatidão global. Para as redes

de camada dupla, a partir do 8^o neurônio, a exatidão global ficou acima de 71% e dez redes atingiram resultados acima de 83,0%. O melhor desempenho foi na R4343_P1d com 87,2% de exatidão global e 0,858 de índice Kappa, todas as classes de saída obtiveram acerto acima de 76,0%. As redes de melhores desempenhos receberam novo treinamento no tempo dois, algumas mantiveram os resultados atingidos anteriormente, em outras houve aumento de 2 a 3 pontos em relação ao treinamento anterior. Os melhores resultados foram nas redes R3737_TP1d, R3939_TP1d e R4040_TP1d e em todas as classes de saída os resultados foram excelentes. A rede R3737_TP1d, obteve 90.7% de exatidão global e 0.896 de índice Kappa. O maior acerto de (100%) é referente a classe 10, ou paisagem do domínio dos Argissolos Amarelos, seguido das classes 1 com (98,0%), domínio dos afloramentos de rochas e classe 9 com (96,8%), domínio dos Neossolos Flúvicos, a classe 8, domínio do Argissolo Vermelho o desempenho foi de (76,0%) e em todas as outras outras o acerto ficou acima de 84%, Tabela 13.

No conjunto P2 as oscilações permaneceram, seguindo a mesma tendência do conjunto anterior, nas redes de camada simples os melhores desempenhos foram nas redes R32_P2, R39_P2 e R41_P2, com 82,6%, 81,2% e 84,0% de exatidão global e índice Kappa de 0,806, 0.792 e 0.822 respectivamente. Nas redes de camada dupla os melhores desempenhos foram nas redes R3636_P2d com 85,3%, R4141_P2d com 85,1%, R4242_P2d com 85,4% e R4444_P2d com 86,1% de exatidão global como mostra a Tabela 12, doze outras redes desse conjunto ultrapassaram os 83% de exatidão global. Para as mesmas redes no tempo dois, algumas elevaram e outras abaixaram os resultados de 1 a 2 pontos, no entanto os resultados do treinamento desse conjunto apresentaram um desempenho estatisticamente inferior ao obtido nos conjuntos P1 e P.

No conjunto P3, durante os treinamentos as oscilações permaneceram de forma semelhante aos conjuntos anteriores, com ligeiras elevações ou quedas. Os melhores desempenhos nas redes de camada simples foram nas redes R31_P3d, R34_P3 e R41_P3d, com 81,6%, 82,1% e 81,3% de exatidão global respectivamente. Nas redes de dupla camada, 9 redes ultrapassaram os 83% de exatidão global e os melhores desempenhos foram nas redes R41414_P3d com 85,1% e R4343_P3d com 85,6% de exatidão global. No tempo dois o comportamento foi o mesmo seguido no conjunto P2 e quando comparado aos conjuntos anteriores, apresentou desempenho estatisticamente inferior ao obtido nos outros conjuntos do bloco P.

Os conjuntos P4 e P5, comparado aos demais conjuntos já treinados do bloco P, apresentaram os piores resultados, confirmando que variáveis como o aspecto, radiação solar

e fator LS são atributos importantes na discriminação das classes de solos da área de estudo. O conjunto P5 montado sem o grid de geologia e demais variáveis do conjunto P4, comparado aos resultados obtidos no conjunto P4, apresentou resultados ainda mais baixos, como já era esperado, confirmando assim que a informação da geologia é outro atributo importante na discriminação das classes de solos e sua exclusão piorou mais ainda os resultados finais. No conjunto P4, os valores de exatidão global ficaram abaixo de 76,8% em todas as redes de camada simples, a única rede que alcançou esse valor foi a R45_P4. Nas redes de camadas duplas só a R4444_P4d alcançou 82,7% de exatidão global, em todas as outras ficou abaixo de 82%.

No conjunto P5, em todas as redes de camada simples treinadas a exatidão global ficou abaixo de 70%. Nas redes de camada dupla o melhor resultado foi na R4545_P5d com 74,7%, todas as outras se mantiveram abaixo de 74%. Comparados entre si, o conjunto P4 obteve resultados superiores de mais ou menos 10%, em relação ao conjunto P5, isso confirma a contribuição da informação de geologia na melhora dos resultados. Mas quando comparados aos outros conjuntos apresentados do bloco P, eles obtiveram os piores desempenhos, como mostra a Tabela 13.

No conjunto P6, o grid de geologia volta a ser incluído e os resultados melhoraram em relação ao conjunto P5, nas redes de camada simples a R24_P6 obteve 81,4% de exatidão global, a R34_P6, 81,2% e a R42_P6, 81,4%, esses foram os melhores resultados. Nas redes de dupla camada, as redes R2525_P6d com 83,4%, R3030_P6d com 83,8%, R3737_P6d com 83,1% e R4444_P6d com 83,8% de exatidão global, foram os melhores resultados. Mas, permaneceram oscilando os índices de Kappa, como mostra a Tabela 13.

TABELA 13. Matriz de significância de Kappa e respectivos índices para os diferentes conjuntos e arquiteturas de redes neurais testadas do bloco P.

Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R36_P	82.5			0.805		0,071			P	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	95.2	78.0	86.0	77.6	72.4	85.2	87.6	73.6	86.4	82.8
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R46_P	83.2			0.814		0,069			P	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	97.2	85.2	86.8	82.8	75.6	82.4	94.0	65.2	76.8	86.4
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R3939_Pd	86.1			0.846		0,059			P dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	96.0	88.8	84.0	94.4	83.6	82.4	83.6	71.2	86.0	91.2
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R4040_Pd	85.6			0.840		0,061			P dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	96.8	91.2	77.2	85.6	83.6	83.6	86.4	71.2	90.8	89.2

Redes	Exatidão global			Kappa		Variância ^a			Conjuntos	
R4545 Pd	88.1			0.868		0,052			P dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	96.4	87.6	92.8	91.6	85.2	80.0	89.6	78.4	86.4	92.8
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância ^a			Conjuntos	
R41 P1	83.7			0.819		0,067			P1	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	96.0	86.4	70.8	91.2	79.2	77.2	85.6	79.2	86.0	85.2
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância ^a			Conjuntos	
R42 P1	82.7			0.808		0,070			P1	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	95.2	83.6	54.4	86.8	78.8	88.0	90.8	68.0	94.0	87.2
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância ^a			Conjuntos	
R4141 P1d	84.7			0.830		0,064			P1dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	97.6	80.8	92.4	85.6	75.6	88.0	76.0	71.2	90.8	88.8
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância ^a			Conjuntos	
R4343 P1d	87.2			0.858		0,055			P1dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	94.8	76.4	88.8	85.6	86.4	88.8	90.8	82.0	86.0	92.4
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância ^a			Conjuntos	
R3737 TP1d	90,7			0.896		0,042			P1dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	98.0	90.4	97.2	85.6	84.4	90.8	87.6	76.0	96.8	100.0
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância ^a			Conjuntos	
R3939 TP1d	88.8			0.875		0,049			P1dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	98.4	91.2	95.6	87.6	87.2	75.2	76.0	82.8	93.6	100.0
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância ^a			Conjuntos	
R4040 TP1d	90.6			0.895		0,042			P1dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	96.8	95.2	92.8	90.4	87.6	94.0	75.2	82.0	94.8	96.8
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância ^a			Conjuntos	
R32 P2	82,6%			0.806		0,071			P2	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	97,2	83,2	85,6	83,2	74,8	82,8	75,6	78,0	84,0	81,2
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância ^a			Conjuntos	
R39 P2	81.2			0.792		0,075			P2	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	95.6	73.6	78.8	76.4	73.2	76.0	83.6	77.2	85.6	92.4
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância ^a			Conjuntos	
R41 P2	84.0			0.822		0,066			P2	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	94.8	87.2	83.6	88.0	84.0	79.2	77.2	77.2	81.6	87.6
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância ^a			Conjuntos	
R3636 P2d	85.3			0.837		0,062			P2 dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	97.6	75.6	76.0	89.6	80.4	89.6	88.0	81.6	82.8	92.0
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância ^a			Conjuntos	
R4242 P2d	85.4			0.837		0,062			P2 dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	98.0	84.4	78.8	89.6	83.2	84.8	71.2	86.0	86.0	91.6
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância ^a			Conjuntos	
R4444 P2d	86.1			0.846		0,059			P2 dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	96.4	77.6	96.4	81.6	91.2	81.6	89.6	77.2	82.8	86.8
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância ^a			Conjuntos	
R27 P	82.6			0.807		0,071			P3	

Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	94.4	78.4	90.0	84.4	76.0	81.6	93.2	70.0	76.4	81.6
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R31_P	81.6			0.795		0,074			P3	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	92.4	82.4	77.2	84.8	70.0	72.4	89.2	75.2	85.6	86.4
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R4141_P3d	85.1			0.834		0,063			P3 dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	97.6	71.2	86.0	87.2	88.4	81.6	74.0	86.0	86.8	92.0
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R4343_P3d	85.6			0.840		0,061			P3 dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	96.8	76.4	87.6	93.6	83.6	81.6	77.2	80.8	89.2	89.2
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R31_P4	75.6			0.729		0,091			P4	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	99.2	76.0	69.6	84.4	78.8	68.8	72.0	59.2	79.2	68.8
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R45_P4	76.8			0.742		0,088			P4	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	97.2	66.8	72.8	92.4	71.6	67.2	62.0	65.6	84.4	88.0
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R3838_P4d	81.0			0.789		0,076			P4 dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	96.8	86.8	84.4	84.0	76.8	62.0	69.2	76.8	86.0	87.6
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R4444_P4d	82.7			0.808		0,070			P4 dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	94.0	89.2	74.4	93.6	82.4	77.2	76.8	66.0	80.8	92.8
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
38_P5	70.3			0.670		0,102			P5	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	97.6	70.8	43.6	80.8	60.4	59.6	62.4	69.2	88.4	70.4
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R3535_P5d	73.6			0.707		0,095			P5 dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	94.8	84.4	51.6	84.8	72.0	68.8	63.6	59.6	90.8	66.0
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R4545_P5d	74.7			0.719		0,093			P5 dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	94.8	76.0	47.6	84.4	78.4	72.8	60.0	61.6	88.0	83.6
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R42_P6	81.4			0.794		0,075			P6	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	96.8	74.4	79.2	81.6	80.8	72.0	78.4	78.4	82.4	90.4
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R3434_P6d	83.9			0.821		0,067			P6 dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	95.6	89.2	82.8	85.6	76.8	80.4	81.6	74.8	85.6	86.4
Redes	Exatidão global			Kappa		Variância^a			Conjuntos	
R4343_P6d	84.1			0.823		0,066			P6 dp	
Saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção	97.6	81.6	69.2	93.6	78.4	75.6	85.6	77.6	88.8	92.8

Durante todo o processo de treinamento os conjuntos 12 e 13 foram os que apresentaram os melhores resultados, com a maioria das redes treinadas mostrando um desempenho do classificador de muito bom a excelente, como sugerem valores de 0,75 de Kappa de Landis & Koch (1977) e Monserud & Leemans (1992). No conjunto 12, observa-se que o índice Kappa variou em função do número de neurônios utilizados na camada interna. As redes de camada simples treinadas com arquiteturas de 26 e 37 neurônios na camada interna, redes R26_12 e R37_12, apresentaram valores para o índice Kappa de 0,858 e 0,870 respectivamente, e exatidão global de 87,2% e 88,3%. A rede R37_12, em todas as classes de saída teve acerto acima de 83%, enquanto a rede R26_12 teve acertos acima de 82,0%, ambas as redes apresentaram na classificação bons resultados, conseguindo classificar todas as classes de saída pré-estabelecidas, com um desempenho bem equilibrado entre as classes, como mostra a Tabela 14 (A e B). Na rede R37_12, o maior acerto (97,6%) é referente a classe 1, domínio dos afloramentos, na classe 7, domínio dos Argissolos Vermelho-Amarelos, o acerto foi de (93,2%), na classe 9, domínio dos Neossolos Flúvicos, o acerto foi de (90,8%) e na classe 3, domínio dos Latossolos Amarelos o acerto foi de (90,4%), as demais classes ficaram posicionadas entre valores de 83,2% a 88,0%. O pior desempenho obtido na classificação ocorreu para a classe 6 (Latosolo Vermelho Distrófico), com uma exatidão de 83,2%, Tabela 14 (B). Do total dos pixels considerados como sendo da classe 6, 42 foram assinalados para outras classes, sendo 18 pixels alocados à classe 2, 2 à classe 3, 7 à classe 5, 8 à classe 7, 3 à classe 8, 2 à classe 9 e 2 à classe 10, Tabela 14 (B).

TABELA 14. Classificação das redes neurais [R26_12; R37_12]

14 A – [R26_12]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	242	2	0	7	1	0	0	0	0	0	252	96.0	70.25
2	3	219	5	13	4	2	1	1	13	5	266	82.3	31.55
3	1	21	213	6	1	1	4	17	7	0	271	78.6	28.22
4	4	1	2	208	1	3	0	1	0	0	220	94.5	55.50
5	0	2	4	3	217	9	2	3	6	7	253	85.8	35.03
6	0	0	4	2	16	221	5	12	7	0	267	82.8	32.11
7	0	0	4	0	3	6	234	7	3	4	261	89.7	42.74
8	0	3	14	7	0	8	1	200	0	2	235	85.1	32.82
9	0	0	2	1	6	0	0	3	205	11	228	89.9	40.45
10	0	2	2	3	1	1	3	6	9	221	247	89.5	41.15
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2.500		
Produ.	96.8	87.6	85.2	83.2	86.8	88.4	93.6	80.0	82.0	88.4			

Exatidão global =87,2; Kappa = 0,858 ;Variância = 0,000055; Z calculado = 115,562; Z Tabelado = 1,96.

14 B – [R37 12]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	244	3	0	3	0	0	0	0	0	0	250	97.6	90.72
2	0	211	13	23	3	18	4	1	7	4	284	74.3	25.58
3	0	18	226	2	7	2	0	5	1	2	263	85.9	35.97
4	2	6	0	212	3	0	0	0	0	0	223	95.1	58.93
5	0	2	2	4	216	7	2	3	4	1	241	89.6	40.97
6	2	6	0	2	15	208	8	11	0	0	252	82.5	30.90
7	0	2	0	1	2	8	233	6	2	0	254	91.7	47.72
8	0	1	4	3	0	3	0	210	4	9	234	89.7	40.61
9	0	0	2	0	3	2	1	4	227	12	251	90.4	43.78
10	2	1	3	0	1	2	2	10	5	220	246	89.4	41.01
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2.500		
Produ.	97.6	84.4	90.4	84.8	86.4	83.2	93.2	84.0	90.8	88.0			

Exatidão global = 88.3; Kappa = 0.870 ; Variância = 0,000051; Z calculado = 121.733; Z Tabelado = 1,96.

Para as redes de camada dupla, a partir do 8^o neurônio a exatidão global ficou acima de 71,8%, a partir do 12^o neurônio ficou acima de 81% e a partir do 16^o neurônio acima de 84%, em todas as redes treinadas. Desse grupo, 3 redes ultrapassaram 90% de exatidão global. As arquiteturas R4343_12d, R4646_12d, R5555_12d, tiveram os melhores desempenhos, com exatidão global de 90,2%, 91,1% e 90,1% respectivamente, como mostra a Tabela 15 (A, B e C). Analisando os resultados da classificação da Tabela 15, podemos observar que a arquitetura de 46 neurônios, rede R4646_12d apresentou os melhores resultados na classificação, com acertos acima de 84% em todas as classes de saída. Embora as redes R4343_12d e R4444_12d tenham apresentado exatidão global superior a rede R37_12, Tabela 14 (A). Observando a Tabela 15 (A e B), verifica-se na classe 6 que o desempenho obtido na classificação foi inferior, com uma exatidão de 77,6% e 76,0% respectivamente, e uma maior confusão na classificação da classe 6.

TABELA 15. Classificação das redes neurais [R4343 12d; R4444 12d e R4646 12d]

15 A – [R4343 12d]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	241	5	0	10	0	0	0	0	0	0	256	94.1	57.68
2	2	230	10	14	1	18	0	2	2	0	279	82.4	32.47
3	1	0	207	2	0	3	0	0	0	1	214	96.7	71.53
4	5	12	1	217	3	0	1	1	0	0	240	90.4	42.73
5	1	1	9	5	239	4	4	8	0	1	272	87.9	39.88
6	0	1	0	0	4	194	1	3	4	0	207	93.7	49.92
7	0	1	4	0	2	12	239	7	4	0	269	88.8	41.60
8	0	0	0	2	0	18	0	213	4	1	238	89.5	40.42
9	0	0	16	0	1	0	0	8	236	9	270	87.5	38.89
10	0	0	3	0	0	1	5	8	0	238	255	93.3	53.73
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500		
Produ.	96.4	92.0	82.8	86.8	95.6	77.6	95.6	85.2	94.4	95.2			

Exatidão global =90,2; Kappa = 0,891 ;Variância = 0,000044; Z calculado = 134,649; Z Tabelado = 1,96.

15 B – R4444 12d

Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	237	2	0	0	0	0	0	0	0	0	239	99.2	151.44
2	2	230	7	1	0	18	0	0	2	0	260	88.5	40.107
3	0	13	200	4	2	0	0	16	5	0	240	83.3	31.007
4	9	3	1	231	4	0	1	4	0	0	253	91.3	46.326
5	1	0	1	8	240	13	6	4	10	3	286	83.9	34.699
6	1	0	4	1	2	190	4	4	0	1	207	91.8	43.168
7	0	0	34	1	0	27	238	2	3	0	305	78.0	29.532
8	0	2	3	4	0	0	0	216	2	8	235	91.9	46.436
9	0	0	0	0	2	2	0	4	224	4	236	94.9	59.682
10	0	0	0	0	0	0	1	0	4	234	239	97.9	95.159
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500		
Produ.	94.8	92.0	80.0	92.4	96.0	76.0	95.2	86.4	89.6	93.6			

Exatidão global = 89.6; Kappa =0.884 ;Variância = 0,000046; Z calculado = 130.457; Z Tabelado = 1,96.

15 C – R4646 12d]

Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	242	16	0	10	0	0	0	0	0	0	268	90.3	44.906
2	0	224	3	7	3	14	2	3	4	0	260	86.2	36.101
3	0	1	221	10	3	0	1	15	0	3	254	87.0	37.019
4	4	5	6	222	2	1	0	4	0	0	247	89.2	42.066
5	0	2	0	0	242	7	4	1	4	3	263	92.0	49.508
6	0	0	7	0	0	219	7	1	0	0	234	93.6	52.537
7	0	0	12	0	0	6	230	6	1	0	255	90.2	43.525
8	0	0	0	0	0	2	2	210	3	1	218	96.3	68.024
9	0	0	0	0	0	0	0	3	233	9	245	95.1	62.033
10	1	2	1	1	0	1	4	7	5	234	256	91.4	46.908
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500		
Produ.	96.8	89.6	88.4	88.8	96.8	87.6	92.0	84.0	93.2	93.6			

Exatidão global = 91,1; Kappa = 0,901;Variância = 0,000040; Z calculado = 142,261; Z Tabelado = 1,96.

No treinamento do tempo dois, os melhores resultados foram nas redes R4343_TP12d, com 93,9% de exatidão global e 0.932 de índice Kappa, R4444_TP12d com 94,6% e 0.940 de Kappa, R4646_TP12d com 94,0% e 0.933 de Kappa, R4848_TP12d com 95,4% e 0.948 de Kappa, e R5555_TP12d com 94,4% e 0.938 de Kappa. Em todas as classes de saída os resultados foram excelentes, como mostra a Tabela 16 (A, B, C e D). O maior acerto de (100%), em todas as redes é referente a classe 10, paisagem do domínio dos Argissolos Amarelos, a classe 8, domínio do argissolo vermelho, teve acertos de 83,6% nas redes R4343_TP12d e R5555_TP12d, em todas as outras classes o acerto ficou acima de 89,2%. As maiores confusões ocorreram nas redes R4343_12d classes 6 e 8, rede 4646_12d classe 3 e rede R5555_12d classe 8.

TABELA 16. Classificação das redes neurais [R4343_TP12d, R4444_TP12d; R4646_TP12d, R4848_T12dP e R5555_TP12d]

16 A – [R4343 TP12d]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	243	0	0	7	0	0	0	0	0	0	250	97.2	83.822
2	0	244	0	12	0	27	0	0	0	0	283	86.2	37.820
3	0	0	223	0	3	0	0	3	0	0	229	97.4	82.992
4	7	6	0	231	0	0	0	3	0	0	247	93.5	53.694
5	0	0	0	0	246	5	0	12	0	0	263	93.5	55.494
6	0	0	0	0	0	214	0	0	0	0	214	100.0	0.000
7	0	0	23	0	0	0	245	0	0	0	268	91.4	48.052
8	0	0	4	0	0	0	0	209	3	0	216	96.8	72.220
9	0	0	0	0	1	0	5	0	243	0	249	97.6	90.360
10	0	0	0	0	0	4	0	23	4	250	281	89.0	42.814
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500		
Produ.	97.2	97.6	89.2	92.4	98.4	85.6	98.0	83.6	97.2	100.0			

Exatidão global = 93,9; Kappa = 0,932; Variância = 0,000028; Z calculado = 175,691; Z Tabelado = 1,96.

16 B – [R4646 TP12d]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	243	0	0	8	0	0	0	0	0	0	251	96.8	78.563
2	0	234	0	9	0	0	0	0	0	0	243	96.3	71.503
3	0	16	209	6	3	0	0	18	0	0	252	82.9	31.346
4	7	0	0	227	0	0	0	0	0	0	234	97.0	78.363
5	0	0	0	0	245	9	0	0	0	0	254	96.5	78.817
6	0	0	0	0	2	229	0	0	0	0	231	99.1	146.351
7	0	0	41	0	0	12	245	0	0	0	298	82.2	33.347
8	0	0	0	0	0	0	0	223	2	0	225	99.1	142.530
9	0	0	0	0	0	0	5	0	245	0	250	98.0	99.596
10	0	0	0	0	0	0	0	9	3	250	262	95.4	66.475
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500	250	
Produ.	97.2	93.6	83.6	90.8	98.0	91.6	98.0	89.2	98.0	100.0			

Exatidão global = 94.0; Kappa = 0.933 ; Variância = 0,000028; Z calculado = 176.892; Z Tabelado = 1,96.

16 C – [R4848 TP12d]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	245	0	0	7	0	0	0	0	0	0	252	97.2	84.505
2	0	247	0	19	0	3	0	0	0	0	269	91.8	49.430
3	5	0	234	0	0	0	0	18	0	0	252	92.9	51.463
4	0	0	0	222	0	0	0	0	0	0	227	97.8	90.318
5	0	0	0	2	249	17	0	0	1	0	269	92.6	52.059
6	0	3	0	0	0	226	0	0	0	0	229	98.7	118.185
7	0	0	12	0	0	4	245	0	13	0	274	89.4	43.262
8	0	0	0	0	1	0	0	232	0	0	233	99.6	209.238
9	0	0	4	0	0	0	5	0	234	0	243	96.3	71.503
10	0	0	0	0	0	0	0	0	2	250	252	99.2	159.727
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500		
Produ.	98,0	98,8	93,6	88,8	99,6	90,4	98,0	92,8	93,6	100,0			

Exatidão global = 95,4; Kappa = 0,948; Variância = 0,000022; Z calculado = 202,950; Z Tabelado = 1,96.

16 D –[R5555 TP12d]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	242	0	0	3	0	0	0	0	0	0	245	98.8	126.510
2	2	231	0	11	0	3	0	0	0	0	247	93.5	53.694
3	0	3	223	0	3	0	0	18	0	0	247	90.3	43.036
4	6	6	0	229	0	0	0	0	0	0	241	95.0	60.988
5	0	0	0	7	246	3	0	0	0	0	256	96.1	71.401
6	0	10	0	0	0	240	5	0	0	0	255	94.1	57.452
7	0	0	23	0	0	4	245	0	0	0	272	90.1	44.674
8	0	0	0	0	0	0	0	209	2	0	211	99.1	133.612
9	0	0	4	0	1	0	0	0	245	0	250	98.0	99.596
10	0	0	0	0	0	0	0	23	3	250	276	90.6	46.337
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500		
Produ.	96.8	92.4	89.2	91.6	98.4	96.0	98.0	83.6	98.0	100,0			

Exatidão global =94,4; Kappa = 0,938 ;Variância = 0,000026; Z calculado = 183,602; Z Tabelado = 1,96.

A partir dos resultados das matrizes de confusão e outros valores estatísticos da validação das RNAs apresentados nas Tabelas 14, 15 e 16, em função do seu desempenho, o conjunto 12, foi um dos escolhidos para auxiliar na discriminação dos solos da área. Assim, foi gerada uma matriz de significância de Kappa entre as redes consideradas, para verificar a existência de diferenças significativas ou não entre os resultados obtidos e para a escolha da melhor arquitetura de rede para a classificação final dos dados (Tabelas 17 e 18). Nestas Tabelas, os valores em negrito, por serem maiores que 1,96, indicam que todos os classificadores são significativamente melhores que uma classificação randômica ou aleatória, com 5% de significância. Os outros valores fora da diagonal (também maiores que 1,96) indicam diferenças significativas entre os classificadores, valores menores que isso indicam que a classificação entre as redes não foi significativamente diferente.

TABELA 17. Matriz de significância de Kappa e respectivos índices para as diferentes arquiteturas de redes neurais testadas do conjunto 12_12d.

Redes	R41	R42	R43	R44	R45	R46	R47	R48	R49	R50	R51	R52	R53	R54	R55
Exatidão global	89,2	88,2	90,2	89,6	88,7	91,1	88,0	89,7	89,2	89,2	87,8	88,6	89,1	88,2	90,1
Kappa	0.881	0.889	0.891	0.884	0.875	0.901	0.867	0.886	0.880	0.880	0.864	0.873	0.879	0.869	0.890
Variância ¹	0,047	0,051	0,044	0,046	0,049	0,040	0,052	0,046	0,048	0,048	0,053	0,050	0,048	0,051	0,110
R41	128.507														
R42	1.212	121.684													
R43	1,048	2.257	134.323												
R44	0.311	1.523	0.738	130.339											
R45	0.612	0.600	1.659	0.923	125.000										
R46	2.144	3.355	1.091	1.833	2.756	142.461									
R47	1.407	0.197	2.449	1.717	0.796	3.545	120.231								
R48	0.518	1.726	0.527	0.209	1.129	1.617	1.919	130.634							
R49	0.103	1.106	1.147	0.413	0.508	2.239	1.300	0.619	127.017						
R50	0.103	1.106	1.147	0.413	0.508	2.239	1.300	0.619	0.000	127.017					
R51	1.700	0.490	2.741	2.010	1.089	3.837	0.293	2.211	1.592	1.592	118.680				
R52	0.812	0.398	1.857	1.123	0.201	2.951	0.594	1.327	0.707	0.707	0.887	123.461			
R53	0.205	1.005	1.251	0.516	0.406	2.345	1.200	0.722	0.102	0.102	1.493	0.606	126.873		
R54	1.212	0.000	2.257	1.523	0.600	3.355	0.197	1.726	1.106	0.106	0.490	0.398	1.005	121.684	
R55	0.943	2.155	0.107	0.632	1.555	1.200	2.347	0.422	1.043	1.043	2.640	1.753	1.147	2.155	134.173

¹ valores multiplicados por 1000.

TABELA 18. Matriz de significância de Kappa e respectivos índices para as diferentes arquiteturas de redes neurais selecionadas do conjunto 12_TP12d.

Redes	R4343T	R4444T	R4646T	R4848T	R5555T
Exatidão global	93,9	94,6	94,0	95,4	94,4
Kappa	0,932	0,940	0,933	0,948	0,938
Variância ^a	0,28	0,25	0,28	0,22	0,26
R4343T	176.131				
R4444T	1,099	188.000			
R4646T	0,134	0,962	176.320		
R4848T	2,263	1,167	2,121	202.114	
R5555T	0,816	0,280	0,680	1,443	183.957

* existe diferença significativa ao nível de 95%;^a valores multiplicados por 1000.

Nesta avaliação, os maiores valores de exatidão global e índice Kappa e, conseqüentemente, os menores de variância, foram obtidos com as arquiteturas de redes com dupla camada interna contendo 48 neurônios (Kappa de 0,948), seguida das redes com 44 e 55 neurônios na camada interna (Kappa de 0,940 e 0,938, respectivamente).

A Tabela 18 mostra que todos os valores da diagonal em negrito são maiores que 1,96, indicando que a classificação de todas as redes é significativamente melhor do que uma classificação randômica ou aleatória. Os melhores desempenhos foram obtidos com as redes contendo 48 (202,114), 44 (188,000) e 55 (183,957) neurônios. No entanto, a rede com 48 neurônios na camada interna é significativamente diferente de todas as demais redes e, deste modo, foi escolhida para a discriminação das classes de solos da área.

No conjunto 13, a combinação de todos os atributos do terreno com o grid de geologia e os três índices derivados da imagem do sensor LANDSAT 7, foi o que apresentou os melhores resultados finais em várias redes desse conjunto. Durante os treinamentos, de forma geral, a evolução ocorreu parecida ao conjunto 12, com resultados ligeiramente superiores em várias redes treinadas, em outras, até mesmo com ligeira queda.

As redes de camada simples R35_13 e R51_12 Tabela 19 (A e B), apresentaram valores de 88,0% e 89,2% de exatidão global e índice Kappa de 0,867 e 0,880 respectivamente. Na classificação a rede R35_13, em todas as classes de saída, teve acertos acima de 81%, enquanto a rede R51_13 teve acertos acima de 82,4% em nove das dez classes, a classe 8, ficou com 79,6%, resultado ligeiramente inferior ao obtido nas redes simples do conjunto 12, como mostra a Tabela 14 (A e B).

TABELA 19. Classificação das redes neurais [R35_13; R51_13]

19 A – [R35_13]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	246	2	0	0	0	0	0	0	0	0	248	99.2	157.179
2	1	216	6	11	1	3	1	0	2	1	242	89.3	40.256
3	0	15	215	12	11	0	1	3	1	0	258	83.3	32.190
4	0	6	6	210	1	0	1	3	0	0	227	92.5	47.571
5	0	0	5	2	213	8	1	22	1	4	256	83.2	31.909
6	1	6	2	1	22	202	2	4	2	0	242	83.5	31.298
7	2	2	10	0	0	10	230	7	0	2	263	87.5	38.454
8	0	0	1	0	0	25	3	205	1	7	242	84.7	32.806
9	0	0	3	0	1	1	4	0	232	4	245	94.7	59.467
10	0	3	2	14	1	1	7	6	11	232	277	83.8	33.922
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2.500		
Produ.	98.4	86.4	86.0	84.0	85.2	80.8	92.0	82.0	92.8	92.8			
Exatidão global =88,0; Kappa = 0,867 ;Variância = 0,000052; Z calculado = 120,268; Z Tabelado = 1,96.													
19 B – [R51_13]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	243	1	1	2	0	0	0	0	0	0	247	98.4	110.231
2	0	231	6	20	0	0	6	0	1	4	268	86.2	36.732
3	0	2	206	0	5	1	2	2	1	4	223	92.4	46.691
4	1	11	1	220	3	2	1	5	2	1	247	89.1	40.304
5	4	0	7	0	217	1	1	12	1	1	244	88.9	39.777
6	0	0	1	1	18	231	1	2	1	0	255	90.6	44.524
7	0	0	4	3	6	8	236	2	5	1	265	89.1	41.735
8	2	2	1	0	0	4	0	199	9	7	224	88.8	37.872
9	0	2	21	3	0	0	1	8	222	6	263	84.4	33.851
10	0	1	2	0	0	3	2	20	8	226	262	86.3	36.407
U	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2.500		
Produ.	97.2	92.4	82.4	88.0	86.8	92.4	94.4	79.6	88.8	90.4			
Exatidão global = 89.2; Kappa =0.880 ;Variância = 0,000047; Z calculado = 127.943; Z Tabelado = 1,96.													

Na rede [R35_13], o maior acerto (98,4%) é referente à classe 1, domínio dos afloramentos, nas classes 9 e 10, domínio dos Neossolos Flúvicos e Argissolos Amarelos, o acerto foi de (92,8%), a classe 7, domínio dos Argissolos Vermelho-Amarelos, o acerto foi de (92,0%), a classe 2, domínio dos Cambissolos Háplicos o acerto foi de (86,4%), a classe 3, domínio dos Latossolos Amarelos, o acerto foi de (86,0%), a classe 4, domínio dos Latossolos Amarelos Húmicos, o acerto foi de (84,0%), a classe 5, domínio do Latossolo Vermelho-Amarelo, o acerto foi de (85,2%), a classe 8, domínio do Argissolo Vermelho, o acerto foi de (82,0%), e a classe 6, domínio dos Latossolos Vermelhos, teve o menor acerto com (80,8%).

Para as redes de camada dupla, os melhores resultados obtidos foram com as arquitetura de 43, 45, 47, 54 e 55 neurônios na camada interna, como mostra a Tabela 20.

Tabela 20 - Exatidão global e índice Kappa das redes de dupla camada interna do conjunto 13_TP.

Redes	Exatidão global	Kappa	Redes	Exatidão global	Kappa
R4343_13d	90,2%	0.892	R4343_TP13	95,6%	0.951
R4545_13d	90,1%	0.890	R4545_TP13	94,0%	0.933
R4747_13d	90,6%	0.896	R4747_TP13	93,2%	0.924
R5454_13d	90,1%	0.890	R5454_TP13	93,7%	0.930
R5555_13d	90,2%	0.891	R5555_TP13	93,4%	0.927

Onde: d = dupla camada ; TP = tempo dois

Observando os resultados da classificação das amostras de validação da rede R4747_13d (Tabela 21), verifica-se que ela apresentou acertos acima de 80% em todas as classes de saída. O maior acerto foi de 94.8%, nas classes 1 e 4, domínio dos afloramentos de rocha e Latossolos Amarelos Húmicos, em todas as outras classes os valores de acerto permaneceram na média.

TABELA 21 - Classificação da rede neural R4747_13d

21 – [R4747_13d]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	237	3	0	0	0	0	0	0	0	0	240	98.8	123.908
2	1	228	9	6	1	3	0	0	0	0	248	91.9	47.791
3		5	223	6	2	2	1	7	1	7	254	87.9	38.378
4	12	6	8	237	7	0	0	4	1	4	279	84.9	35.639
5		0	0	1	234	3	2	13	1	2	256	91.4	46.908
6		8	0		1	200	5	0	1	0	215	93.0	48.090
7			7		3	19	236	6	0	1	272	86.8	37.936
8			0		2	21	3	216	5	12	259	83.4	32.331
9			3			0	0	0	236	6	245	96.3	72.106
10						2	3	4	5	218	232	94.0	54.027
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500		
Produ.	94.8	91.2	89.2	94.8	93.6	80.0	94.4	86.4	94.4	87.2			

Exatidão global =90,6; Kappa = 0,896 ;Variância = 0,000042; Z calculado = 138,132; Z Tabelaado = 1,96.

No treinamento das redes de dupla camada no tempo dois, os melhores resultados obtidos foram com as arquiteturas mostradas na Tabela 20. A maioria destas redes apresentaram nas classes de saída resultados excelentes, como mostram as Tabela 22 (A e B). Observando os resultados da classificação das amostras de validação das redes na Tabela 22 (A), verifica-se que o maior acerto de (100%) é referente às classes 5 e 10, paisagens do domínio dos Latossolos Vermelho Amarelos e dos Argissolos Amarelos. Na Tabela 22 (B), verifica-se que o maior acerto de (100%) é referente às classes 2, paisagem do domínio dos Cambissolos Háplicos e classe 10, domínio dos Argissolos Amarelos. Em todas as outras classes os

resultados foram equilibrados nas duas redes treinadas.

TABELA 22. Classificação das redes neurais [R4343_TP13d, R4545_TP13d]

22 A – [R4343 TP13d]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	240	0	0	7	0	0	0	0	0	0	247	97.2	82.799
2	2	240	0	1	0	10	0	0	0	0	253	94.9	61.476
3	0	0	246	0	0	5	0	18	0	0	269	91.4	48.242
4	8	10	0	242	0	0	0	0	0	0	260	93.1	53.175
5	0	0	0	0	250	0	0	0	8	0	258	96.9	80.798
6	0	0	0	0	0	222	0	0	0	0	222	100.0	0.000
7	0	0	0	0	0	13	245	0	0	0	258	95.0	62.732
8	0	0	0	0	0	0	0	214	0	0	214	100.0	0.000
9	0	0	4	0	0	0	5	0	240	0	249	96.4	73.311
10	0	0	0	0	0	0	0	18	2	250	270	92.6	52.262
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500		
Produ.	96.0	96.0	98.4	96.8	100.0	88.8	98.0	85.6	96.0	100.0			
Exatidão global = 95,6; Kappa = 0,951; Variância = 0,000021; Z calculado = 207,761; Z Tabelado = 1,96.													
22 B – [R4545 TP13d]													
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Usuário	Z
1	242	0	0	5	0	0	0	0	0	0	247	98.0	98.386
2	0	250	0	9	1	27	0	0	0	0	287	87.1	39.600
3	0	0	220	0	0	0	0	6	0	0	226	97.3	81.887
4	8	0	0	234	0	0	0	0	0	0	242	96.7	75.668
5	0	0	0	0	247	0	0	12	0	0	259	95.4	65.691
6	0	0	0	0	2	214	0	0	0	0	216	99.1	136.797
7	0	0	11	0	0	5	245	0	0	0	261	93.9	56.868
8	0	0	0	2	0	0	0	209	0	0	211	99.1	133.612
9	0	0	19	0	0	0	5	0	239	0	263	90.9	46.011
10	0	0	0	0	0	4	0	23	11	250	288	86.8	39.142
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
Total	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2500		
Produ.	96.8	100.0	88.0	93.6	98.8	85.6	98.0	83.6	95.6	100.0			
Exatidão global = 94.0; Kappa = 0.933 ; Variância = 0,000028; Z calculado = 176.967; Z Tabelado = 1,96.													

As maiores confusões ocorreram na classe dos Argissolos Vermelhos (classe 8) da rede R4343_TP13d, com a alocação de 18 pixels nas classe 3 e 10 e, nas classes 6 e 8 (Latosolos Vermelhos e Argissolos Vermelhos) da rede R4545_TP13d, para a classe 6 foram 27 pixels alocados na classe 2 e para a classe 8 foram 12 pixels alocados na classe 5, dos Latossolos Vermelhos Amarelos e 23 alocados na classe 10, dos Argissolos Amarelos. Esta confusão pode ser explicada pela diversidade litológica e pelo grau de complexidade pedológica da área de estudo, que apresenta padrões de paisagens muito semelhantes onde estas classes de solos ocorrem e na forma como se distribuem na paisagem, ou seja, ocupam indistintamente a mesma posição na paisagem, o que torna difícil a separação dos mesmos, com 100% de acerto.

A partir dos resultados das matrizes de confusão e outros valores estatísticos da validação das RNAs apresentados nas Tabelas 19, 20, 21 e 22, em função do melhor desempenho, o conjunto 13, foi também escolhido para auxiliar na discriminação dos solos da área. Assim, foi gerada uma matriz de significância de Kappa entre as redes consideradas, para verificar a existência de diferenças significativas ou não entre os resultados obtidos e para a escolha da melhor arquitetura de rede para a classificação final dos dados (Tabelas 23 e 24).

TABELA 23. Matriz de significância de Kappa e respectivos índices para as diferentes arquiteturas de redes neurais testadas do conjunto 13d.

Redes	R41	R42	R43	R44	R45	R46	R47	R48	R49	R50	R51	R52	R53	R54	R55
Exatidão global	88,8	87,6	90,2	87,5	90,1	89,4	90,6	86,7	88,3	89,8	88,4	89,0	88,1	90,1	90,2
Kappa	0,876	0,863	0,892	0,861	0,890	0,883	0,896	0,852	0,870	0,887	0,871	0,878	0,868	0,890	0,891
Variância ¹	0,049	0,053	0,043	0,054	0,044	0,047	0,042	0,057	0,051	0,045	0,051	0,048	0,052	0,044	0,044
R41	125.143														
R42	1.287	118.542													
R43	1.668	2.960	136.029												
R44	1.478	0.193	3.148	117.167											
R45	1.452	2.741	0.214	2.929	134.173										
R46	0,714	2,000	0,949	2,189	0,734	128.799									
R47	2,097	3,386	0,434	3,572	0,647	1,378	138.256								
R48	2,331	1,049	4,000	0,854	3,781	3,040	4,422	112.850							
R49	0,600	0,686	2,269	0,878	2,052	1,313	2,696	1,732	121.824						
R50	1,135	2,424	0,533	2,613	0,318	0,417	0,965	3,466	1,735	132.226					
R51	0,500	0,784	2,166	0,976	1,949	1,212	2,592	1,828	0,099	1,633	121.964				
R52	0,203	1,493	1,468	1,683	1,251	0,513	1,897	2,537	0,804	0,933	0,704	126.728			
R53	0,796	0,488	2,462	0,680	2,245	1,508	2,888	1,533	0,197	1,929	0,296	1,000	120.370		
R54	1,452	2,741	0,214	2,829	0,000	0,734	0,647	3,781	2,052	0,318	1,949	1,251	2,245	134.173	
R55	1,555	2,843	0,107	3,030	0,107	0,839	0,539	3,881	2,155	0,424	2,052	1,355	2,347	0,107	134.323

¹ valores multiplicados por 1000.

Nesta Tabela, os valores em negrito, por serem maiores que 1,96, indicam que todos os classificadores são significativamente melhores que uma classificação randômica ou aleatória, com 5% de significância. Os outros valores fora da diagonal (também maiores que 1,96) indicam diferenças significativas entre os classificadores, valores menores que isso indicam que a classificação entre as redes não foi significativamente diferente.

TABELA 24. Matriz de significância de Kappa e respectivos índices para as diferentes arquiteturas de redes neurais selecionadas no conjunto 13 TP.

Redes	R4343TP	R4545TP	R4747TP	R5454TP	R5555TP
Exatidão global	95,6	94,0	93,2	93,7	93,4
Kappa	0,951	0,933	0,924	0,930	0,927
Variância ^a	0,21	0,28	0,31	0,29	0,30
R4343TP	207.525				
R4545TP	2,571	176,320			
R4747TP	3,744	1,172	165,955		
R5454TP	2,970	0,397	0,775	172,697	
R5555TP	3,361	0,788	0,384	0,391	169,246

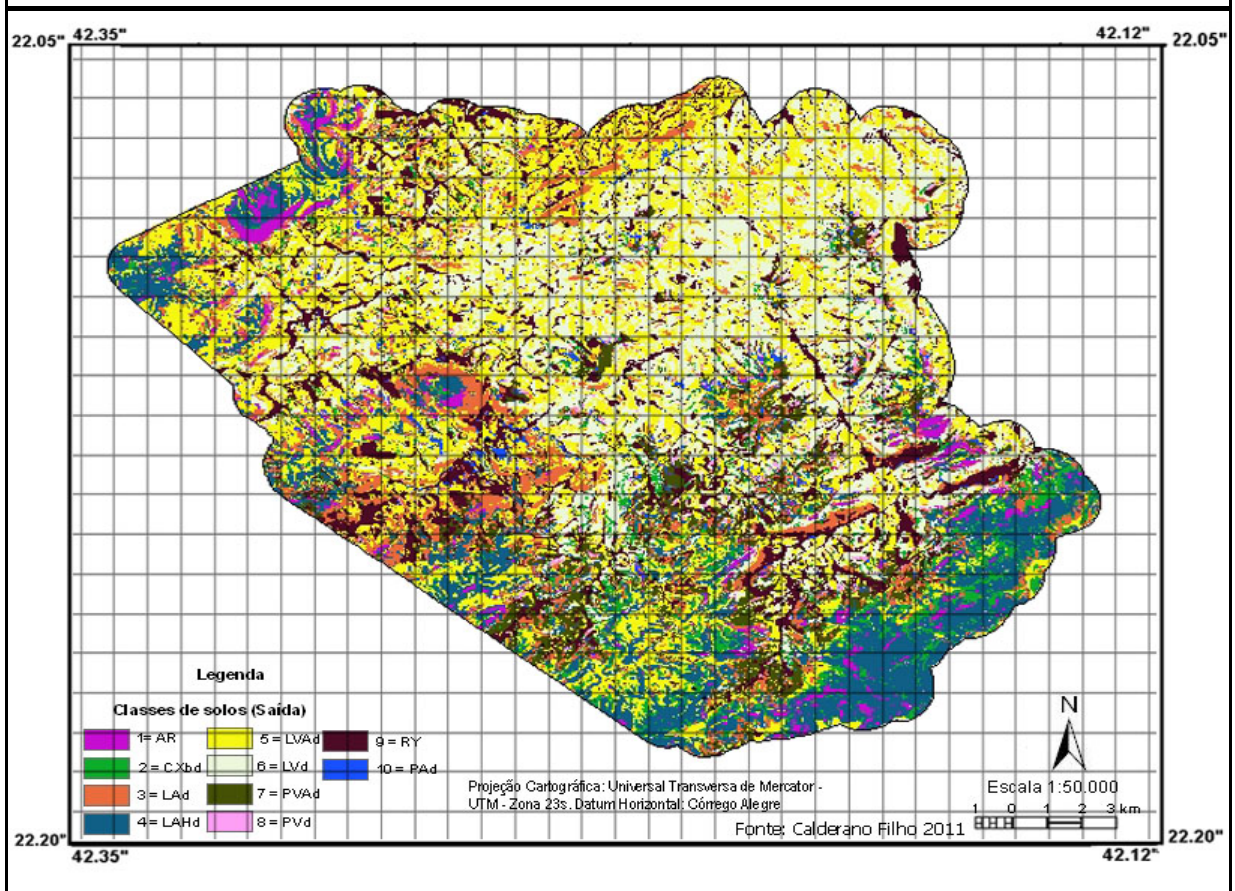
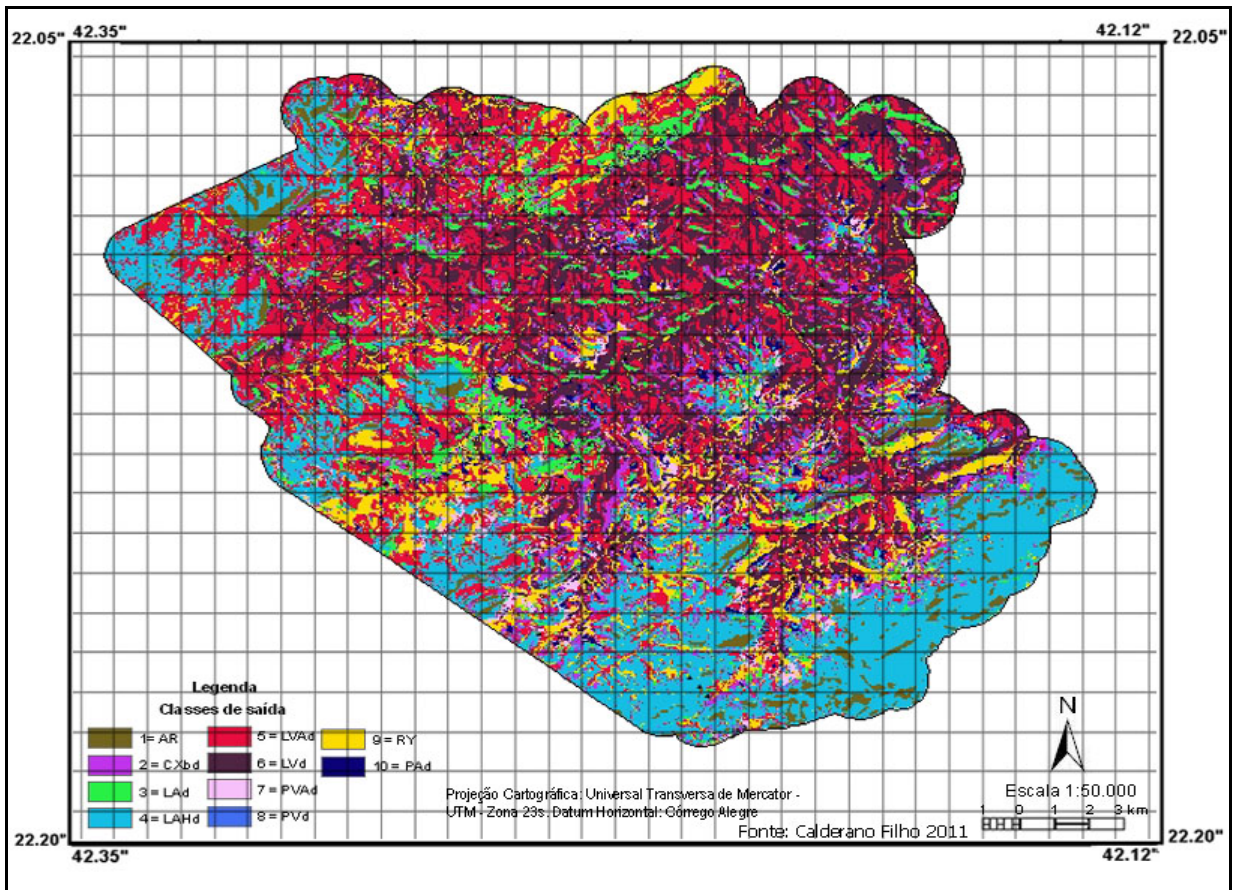
* existe diferença significativa ao nível de 95%; ^a valores multiplicados por 1000.

Nesta avaliação, os maiores valores de exatidão global e índice Kappa e, conseqüentemente, os menores de variância, foram obtidos com as arquiteturas de redes com dupla camada interna contendo 43 neurônios (Kappa de 0,951), seguido das redes com 45 e 54 neurônios na camada interna (Kappa de 0,933 e 0,930) respectivamente. A Tabela 24 mostra que os melhores desempenhos foram obtidos com as arquiteturas de redes R4343_TP13d (207,525), R4545_TP13d (176,320) e R5454_TP13d (172,697). No entanto, a rede com 43 neurônios na camada interna é significativamente diferente de todas as demais redes e deste modo, foi também escolhida para a discriminação das classes de solos da área.

5.2.1 Classificação resultante da aplicação das RNAs

Ao final de todo o processo de treinamento e validação para escolha daquela(s) que seria(m) utilizada(s) na discriminação dos solos, definiu-se pelas redes R4343_TP13d e R4848_TP12d para realizar a classificação das classes de solos da área de estudo. Para computar a classe de solo que ocorre em um determinado pixel, as informações sobre as condições ambientais (variáveis discriminantes) de cada pixel na imagem considerada foram apresentadas às redes. Assim, quando todos os pixels foram visitados pela rede, foi produzida uma representação das classes de solos identificadas na área de estudo.

Para produzir as imagem das cenas classificadas a partir dos valores de saída da rede, foram utilizado os executáveis “Funcpow” e “Project”. Através desses programas os arquivos de saída foram convertidos para o formato BIP (binaria intercalada por pixel) e AscII, gerando as imagens das cenas classificadas. Os resultados obtidos pelos classificadores utilizados foram manipulados nos softwares ERDAS Imagine 8.5 e ArcGis para produzir o mapa final das classes de solos da área de estudo. As Figuras 27 e 28, mostram a classificação resultante da aplicação das RNAs do conjunto 12, redes [R4444TP_12d] e [R4848TP_12d] para a área de treinamento. Os mapas com as classes de solos da área de estudo inferidos com as RNAs, bem como o mapa de solos convencional, são apresentados nas Figuras 27, 28, 29, 30, 31 e 17. O mapa de solos convencional produzido especificamente para atender os objetivos deste estudo é um mapa de reconhecimento de baixa intensidade, na escala de 1:50.000, que apresenta uma área mínima mapeável de 10 ha. Para facilitar a classificação supervisionada por redes neurais, algumas unidades de mapeamento foram agrupadas sem perda da qualidade final, como é o caso das unidades ARs, CXbds e LAHds que passaram, no caso dos ARs e CXbds, a constituir apenas duas unidades cada, (AR1 e AR2, Cxbd1 e Cxbd2), três unidades no caso do LAH distrófico e duas de LAH ácricos, como mostra a Tabela 35, legenda sinótica do mapa de solos convencional.

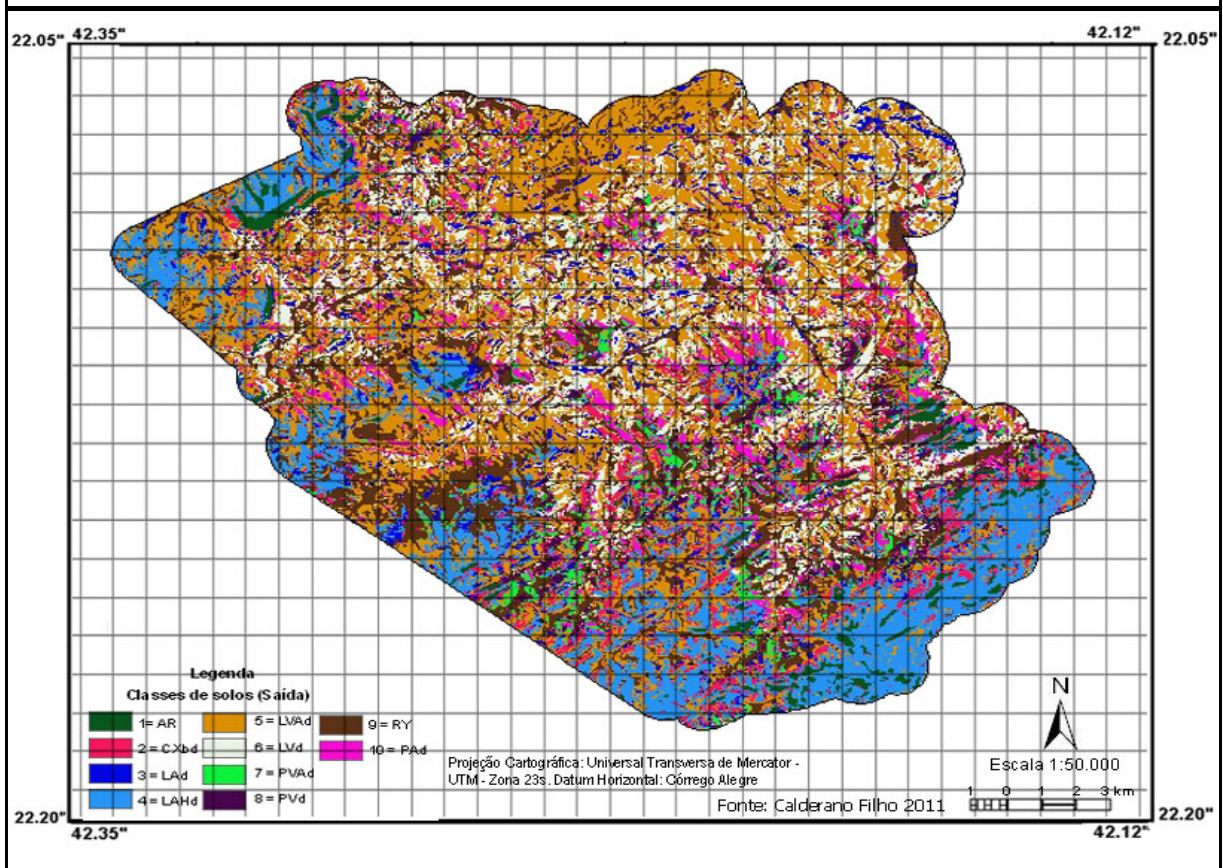
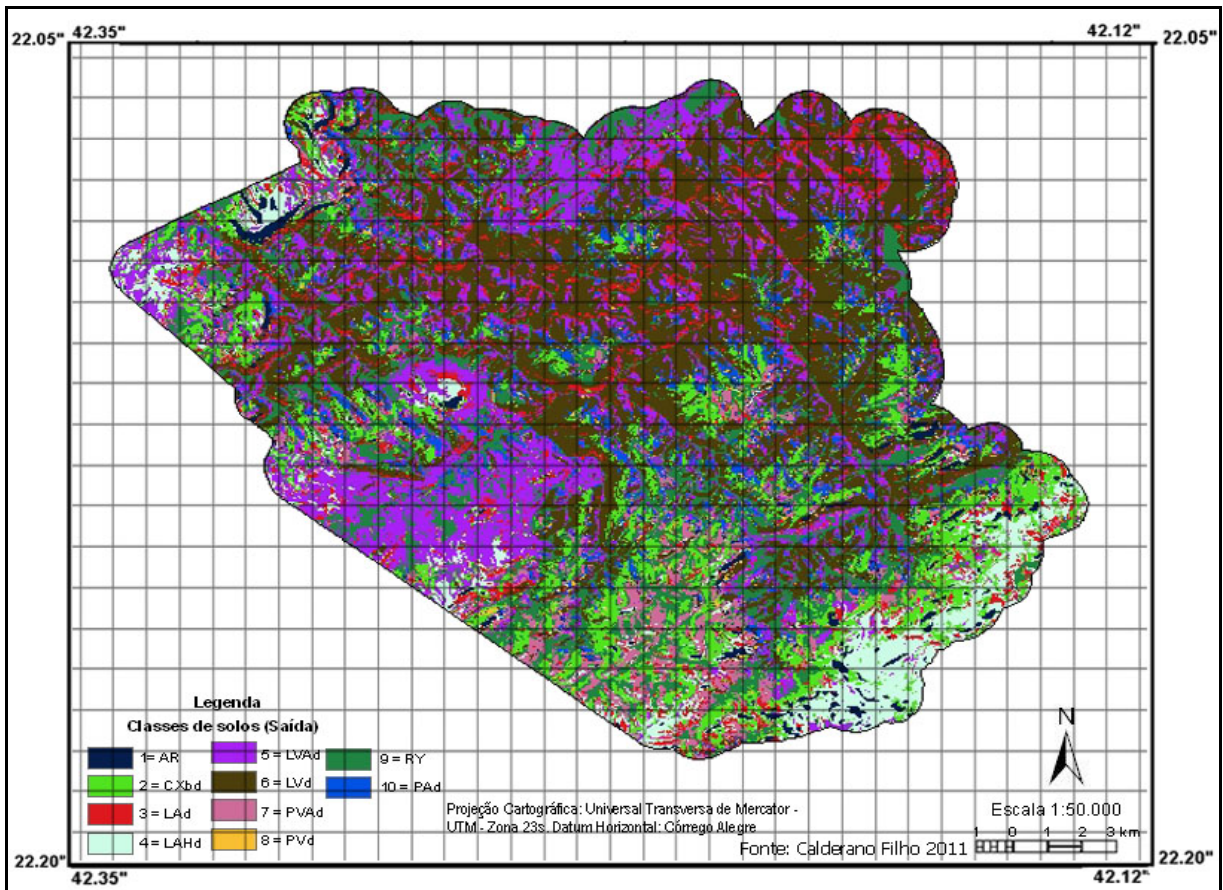


FIGURAS 27 e 28 – Classificação resultante da aplicação das arquiteturas de redes [R4444TP_12d] e [R4848TP_12d] para a área de treinamento.

Durante este estudo, em momento algum houve preocupação em comparar as metodologias aplicadas na geração do mapa de solos, da mesma forma que não houve preocupação em comparar variáveis ou o desempenho de cada uma delas, até porque, outros estudos, como os de Chagas (2006) e Sirtoli (2008), trilharam por esse caminho e acabaria por ficar repetitivo. A preocupação inicial, foi a partir das experiências anteriores, utilizar como material básico produtos de baixo custo, de fácil aquisição e disponíveis no mercado, trabalhar uma área com grau mais elevado de complexidade, principalmente em alguns atributos geobiofísicos (clima, relevo, solos e material de origem) e dessa forma testar e comprovar a eficiência das RNAs na discriminação e distribuição das classes de solos, mantendo a acurácia dos dados. A partir daí, áreas inóspitas ou de acesso difícil como a região amazônica, por exemplo poderiam passar a contar com esse tipo de informação em escala média.

Os mapas não se comparam entre si pois são metodologias diferentes que foram aplicadas. Mas, observando a Tabela 35, anexo 3, constata-se que a maioria das unidades de mapeamentos são compostas por associações de solos e o classificador por rede neural sempre alocou certo um dos membros componentes da unidade de mapeamento. Mesmo pelo método tradicional, houve enorme dificuldade em estabelecer os componentes e limites entre as manchas de solo, principalmente onde ocorrem a classe dos Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos, que ocorrem sempre associadas à classe dos Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelho-Amarelos, em posições da paisagem muito semelhantes. É possível verificar que os mapas produzidos pela abordagem por redes neurais (Figuras 27 a 31) contêm muito mais detalhes espaciais do que o mapa de solos convencional (Figura 17). Resultados semelhantes foram constatados nos trabalhos de Zhu (2000), Chagas (2006), Carvalho Júnior (2005) e Sirtoli (2008).

Neste sentido, utilizando-se o mesmo conjunto de perfis de solos (40 perfis) usados pela abordagem convencional, constata-se que a utilização conjunta dos atributos do terreno, informações da geologia e índices derivados do sensor Landsat, permitiram estabelecer com maior precisão e grau de acerto às relações solo-paisagem que ocorrem na área de estudo, possibilitando a obtenção de mapas com mais detalhes espaciais, principalmente entre os membros componentes das unidades de mapeamento. Os mapas com os resultados das melhores classificações são apresentados nas Figuras 27 a 30, bem como o mapa de solos convencional (Figura 17), que serviu de referência, a partir deles é feita uma breve discussão sobre os erros de inclusão e de omissão.



FIGURAS 29 e 30 – Classificação resultante da aplicação das arquiteturas de redes [R4343TP_13d] e [R4545TP_13d] para a área de treinamento.

Entre as várias combinações testadas, as variáveis dos conjuntos 12 e 13 apresentaram melhor potencial na predição das classes de solos pois obtiveram porcentagem de acertos acima de 90% das amostras de treinamento, valores elevados de índice Kappa e menores valores de variância, como ilustrado nas Tabelas 18, 23, 24 e 25. Embora, os resultados obtidos para o índice Kappa, quando se utilizou os conjuntos de amostras de validação, tenham sido excelentes para todos os quatro classificadores ($>0,90$), como sugerem Landis & Koch (1977) e Monserud & Leemans (1992), valores acima de ($>0,75$) mostram um desempenho do classificador de muito bom a excelente, os mapas de solos da área de estudo produzidos por estes classificadores mostram-se distintos.

A dificuldade de delimitação dos atributos do terreno nas fotografias aéreas convencionais, a falta de informações temáticas básicas com mais detalhes cartográficos, como o próprio mapa de geologia, também de reconhecimento e a não utilização das informações do mapa de geologia no delineamento inicial dos polígonos de solo, condicionou a delimitação de grandes unidades de mapeamento, compostas na maioria, por dois ou três membros (associações de solos), o que é melhor discriminado nos mapas inferidos pelas redes neurais.

Levando em consideração o aspecto visual das classificações, Figuras 27 a 30, observa-se um melhor delineamento, com uma classificação mais concisa em todas as classes para as redes de dupla camada interna com 43 e 48 neurônios respectivamente R4343_TP13d e R4848_TP12d (Figuras 29 e 28), onde as classes do domínio dos Afloramentos (AR), domínio dos Cambissolos Háplicos (CXbds) e domínio dos Latossolos Húmicos (LAHds), acompanham de forma consistente e bastante semelhante aos contornos do mapa convencional em todas as quatro classificações, Figuras 27 a 30, embora com alguns detalhes a mais. Para facilitar a visualização dos resultados a Figura 31 mostra, em apenas uma página as classes de solos inferidas com as RNAs de dupla camada interna (conjuntos 12 e 13).

Nas classes de domínio dos Latossolos Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho, a distribuição mais equilibrada e mais parecida com o mapa convencional ocorre com a classificação das redes R4343_TP13d e R4848_TP12d, nas outras redes há uma certa dominância da classe do Latossolo Vermelho em relação à classe do Latossolo Vermelho-Amarelo, embora em todas as classificações as redes alocaram de forma certa as áreas de ocorrência destas duas classes e de todas as outras classes de solos, mas houve uma superavaliação e distribuição na classe do Latossolo Vermelho. O mesmo comentário se aplica com a classificação e distribuição das classes do Argissolo Vermelho e Vermelho Amarelo, com maior predominância do Argissolo Vermelho Amarelo. Na classe de domínio

dos Argissolos Amarelos, todas as redes alocaram de forma correta e coerente com o mapa convencional a área de ocorrência e distribuição desta classe de solo, com distribuição irregular e pontilhada em vários pontos da paisagem e de pouca representatividade por área.

Especificamente para as classes do Argissolo Vermelho e Latossolo Vermelho, foi constatado que os perfis coletados de Argissolo Vermelho (PVd) ficaram posicionados nas partes mais rebaixadas da paisagem, devido a dificuldade de acesso (estradas) na área para esta classe, o que não ocorreu com a classe do Latossolo Vermelho (LVd), com acesso inclusive as partes mais altas da paisagem. A Tabela 25 mostra o desempenho das classificações das quatro redes selecionadas (conjuntos 12 e 13), com os respectivos valores de exatidão global, observa-se nesta Tabela 25 (valores em negrito), que a variável perfil de curvatura piora um pouco o resultado quando utilizada em conjunto com a variável plano de curvatura, como foi o caso do conjunto 13.

A classe do Neossolo Flúvico apresenta o fato mais curioso, em todas as redes treinadas sempre foi a classe que obteve os maiores acertos de classificação e exatidão global, mas na classificação final da imagem foi a classe que se mostrou mais irregular do ponto de vista de distribuição, aparecendo sempre mais espalhada ou difundida por toda a área de estudo como se observa nas Figuras 27 a 31. A rede R4848_TP12d (Figura 28), foi a que distribuiu essa classe de forma mais coerente e equilibrada com o mapa convencional, em todas as outras classificações, embora os locais de ocorrência estejam corretos, sempre houve uma superavaliação na distribuição desta classe, que na realidade não tem muita abrangência em hectares na área de estudo. Essa discordância na distribuição da classe do Neossolo Flúvico se explica pelo fato de ocorrer em toda a área de estudo pequenas áreas de alvéolos intermontanos, com relevo suave e valores de declividade muito próximos, inseridas nas áreas de relevo forte ondulado e montanhoso. Informação esta já detectada no grid do mde e, nestes casos, a discordância é maior e o desempenho do classificador neural é menor, quando se compara as áreas suavizadas com as áreas mais movimentadas da paisagem, como constatado por Zhu (2000), Moore (1993), Chagas (2006) e Sirtoli (2008).

Neste tipo de avaliação visual, observa-se também uma boa separação de limites entre as classes de saída, em coerência com o mapa convencional, em praticamente todas as classes de saída e em todas as redes, com exceção das paisagens dos Neossolos Flúvicos e Argissolos Vermelhos, que em algumas redes foram sub ou superdistribuídos. Como uma medida de avaliação das classificações, foi realizada também uma comparação entre a localização de alguns perfis e pontos de campo descritos durante a confecção do mapa de solos convencional

da área de estudo. Os resultados analíticos dos perfis descritos são apresentados no anexo 3, Tabelas 36 e 37. Foi constatado que em todas as classificações discutidas existe a equivalência com um dos membros da unidade de mapeamento do mapa convencional, ou seja, a concordância não foi de 100% em todos os perfis mas todos estão dentro da paisagem de domínio da classe de saída. No caso do mapa convencional, para as unidades compostas, foram considerados como corretos os pontos nos quais a classe observada é qualquer um dos componentes da associação. A mesma regra foi aplicada para os mapas inferidos, nos casos em que mais de uma classe de solo é observada em um determinado pixel, devido às limitações descritas anteriormente.

As maiores concordâncias de pontos e perfis nas duas redes avaliadas R4343_TP13d e R4848_TP12d, Figuras 29 e 28, seguem a mesma tendência do comentado acima, ou seja, ocorrem nas classes 1, 2, 4, 6, 7 e 10 e as menores nas classes 3, 5, 8 e 9. A principal discordância entre a classificação pelas redes neurais é verificada nas áreas suavizadas da paisagem (relevo suave ondulado e ondulado), observando a Figura 31 percebe-se que houve uma tendência da rede neural em classificar estas áreas como pertencentes à classe dos Neossolos Flúvicos ao invés de alocá-las como pertencentes à classe dos Argissolos Vermelhos ou Argissolos Amarelos que ocorrem em áreas de relevo suave ondulado e ondulado. Neste caso, a classificação pela rede neural R4848_TP12d (Figura 28) foi a mais correta, as outras mostraram dificuldade em discriminar adequadamente estas áreas que apresentam valores de declividade muito próximos.

Tabela 25 – Desempenho na classificação das RNAs selecionadas dos conjuntos 12 e 13.

Classes de Saída		Redes Neurais (Conjuntos 12 e 13 TP)			
		R4444 TP12d	R4848 TP12d	R4343 TP13d	R4545 TP13d
1	AR	97.2%	98.0%	96.0%	96.8%
2	CXbd	100.0%	98.8%	96.0%	100.0%
3	LAd	92.4%	93.6%	98.4%	88.0%
4	LAHd	93.6%	88.8%	96.8%	93.6%
5	LVAd	99.6%	99.6%	100.0%	98.0%
6	LVd	76.8%	90.4%	88.8%	85.6%
7	PVAd	98.0%	98.0%	98.0%	98.0%
8	PVd	92.8%	92.8%	85.6%	83.6%
9	RY	96.0%	93.6%	96.0%	95.6%
10	PAd	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

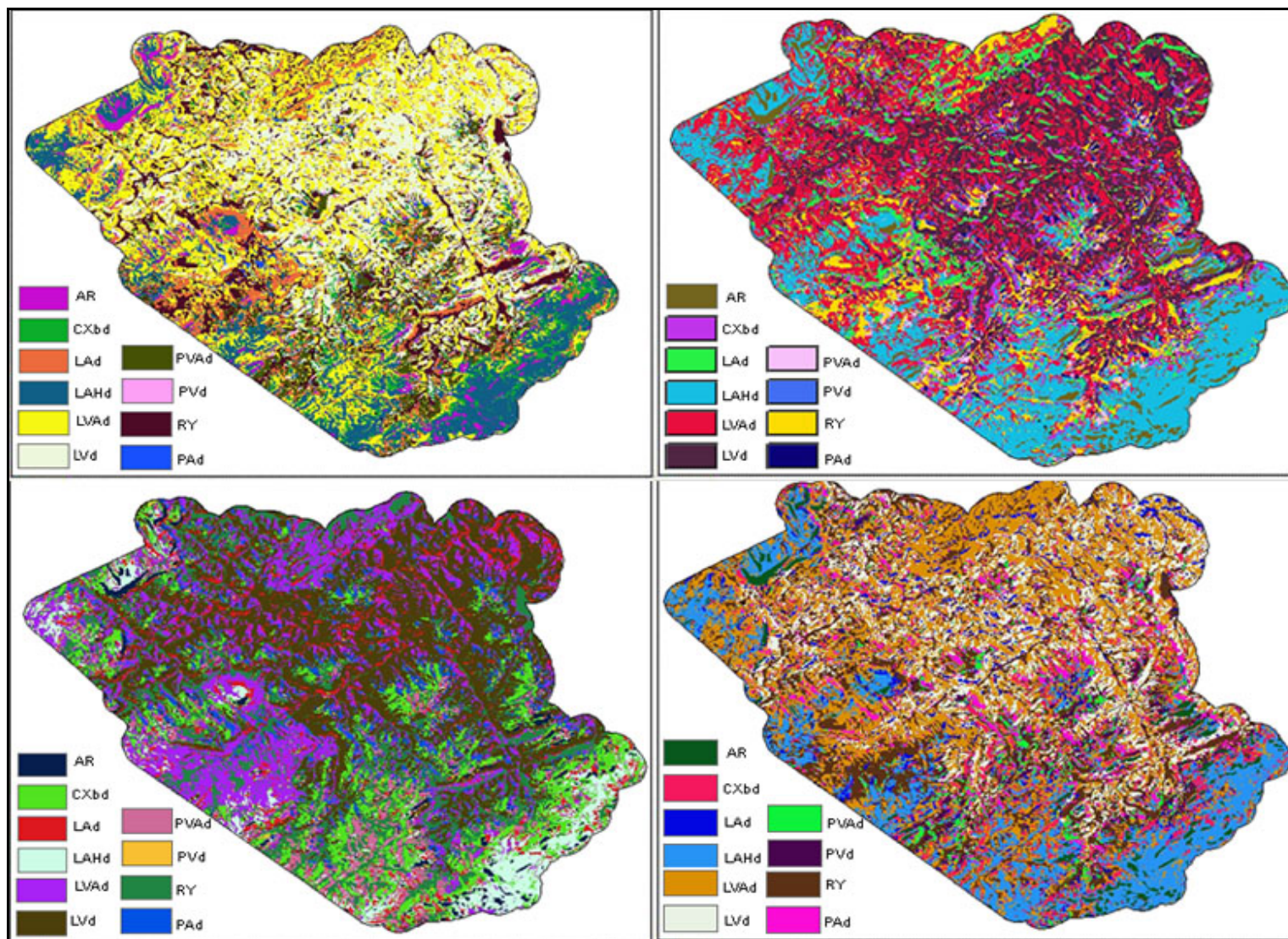


Figura 31 – Distribuição das classes de solos inferidas com as redes neurais (R4444TP_12d, R4848TP_12d) e (R4343TP_13d, R4545TP_13d)

Landis & Koch (1977) e Monserud & Leemans (1992) sugerem que valores de Kappa de 0,75 ou maiores mostram um desempenho do classificador de muito bom a excelente, enquanto valores entre 0,4 e 0,75 representam desempenho moderado e valores menores que 0,4, uma baixa concordância (baixo desempenho). Segundo a proposição dos autores, numa avaliação pelos valores do índice Kappa, o intervalo entre 0,93 e 0,95, valores obtidos nas classificações, indicam uma boa qualidade das mesmas. Pelos valores obtidos na exatidão global, todos acima de 90,0%, pode-se avaliá-los como resultados excelentes. Nos mapas inferidos a ocorrência de mais de uma classe de solo em um determinado pixel e o grau de confusão em algumas classes se deve também a dificuldade de estabelecimento de relações solo-paisagem mais precisas na área de estudo, impostas pelo tamanho do pixel utilizado, pelas variáveis ambientais discriminantes utilizadas e pela grande heterogeneidade geológica da área, o que produz materiais de origem diversos, com a ocorrência de solos com policromia de cores (bicolores) na mesma parede do perfil e pelas características do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999 e 2006), onde alguns critérios utilizados são muito sutis para estabelecer diferenciação marcante na paisagem.

Os resultados alcançados são semelhantes aos obtidos em outros estudos, como em Brown et al. (1998), que testaram a habilidade de medidas geomórficas derivadas de um modelo digital de elevação para diferenciar paisagens glaciais em Michigan, usando o classificador de máxima verossimilhança e redes neurais artificiais. Os mapas resultantes de quatro tentativas de classificação supervisionada tiveram entre 51% e 61% de concordância com o mapa geológico; Carvalho Júnior (2005), que utilizou somente atributos do terreno em uma abordagem por redes neurais artificiais para a classificação de pedopaisagens no noroeste do estado do Rio de Janeiro e obteve uma exatidão global de 70%; Chagas (2006), que utilizou três índices derivados de uma imagem do sensor ETM⁺ do LANDSAT 7 e atributos do terreno para a classificação de classes de solos na região noroeste do estado do Rio de Janeiro, Sirtoli (2008) que utilizou atributos do terreno, imagens do sensor SPOT e redes neurais artificiais na separação de três classes de solos em paisagem suave ondulada de uma microbacia na região de Londrina e de Zhu (2000) que utilizou redes neurais, tal como a utilizada neste estudo e inferiu corretamente as classes de solos avaliadas em 77% dos locais. Desta forma, os resultados obtidos no presente estudo demonstram que a utilização dos índices derivados da imagem do sensor ETM⁺ do LANDSAT 7, atributos do terreno e informações da geologia contribuíram significativamente para a resolução do problema, confirmando a potencialidade desses dados para a discriminação das classes de solos em áreas de elevada complexidade geobiofísica na Serra do Mar.

CAPÍTULO VI

6 - Interpretações Úteis ao Planejamento

O uso incorreto dos solos aliado a falta de informações adequadas e desconhecimento das potencialidades, limitações e fragilidades dos elementos componentes da paisagem, além de contribuir para a instalação dos processos de degradação ambiental, interfere diretamente na produção e na qualidade da água gerada pelas bacias hidrográficas.

6.1 - Avaliação da Susceptibilidade à Erosão

Por ser um dos indicadores da degradação do ambiente, a avaliação dos solos aos riscos de erosão torna-se fundamental em estudos ambientais e constitui-se em prática indispensável para o planejamento de uso das terras. O processo de degradação ambiental está associado as condições naturais do ambiente e, em muitos casos, ao uso inadequado dos solos que acaba por afetar os ecossistemas locais alterando muitas vezes a paisagem de uma região. Embora a erosão seja um processo natural relacionado à formação do relevo e dos solos, em muitos casos ela é potencializada por ações humanas inadequadas ou mal planejadas. A intervenção antrópica pode apressar ou retardar os processos erosivos (Guerra, 2004). Para Van Oost et al. (2000), os modelos atuais de erosão enfatizam muito o aspecto da variabilidade temporal e destacam pouco os estudos que consideram a variabilidade espacial dos atributos do solo ligados a erosão, existindo ainda uma carência de métodos efetivos para a avaliação da erosão que atenda as particularidades locais.

Os processos erosivos que se desenvolvem nas encostas fazem parte de uma complexa relação que depende de inúmeras variáveis, internas e externas. Os fatores podem ser de ordem natural, que demonstram a potencialidade da área com relação aos problemas, e de ordem antrópica, que provocam e aceleram a evolução dos mesmos. Esses processos são inter-relacionados, podendo, qualquer deles ser causa ou efeito. Da mesma forma, os fatores causadores dessas alterações geralmente interferem em mais de um processo, naturalmente sob diferentes proporções. O processo erosivo está associado principalmente ao comportamento das águas superficiais e subterrâneas, pela ação erosiva dos climas tropicais (chuvas), pelo declive e morfologia das encostas, a resistência natural dos solos à erosão e sua cobertura vegetal. Os fatores antrópicos se relacionam à ocupação das terras e às características de cada cultivo, os quais são referenciados pelo uso atual através de seu uso-manejo e de práticas conservacionistas. A análise isolada do desempenho de cada um desses fatores é complexa devido a relação de interdependência que existe entre os mesmos. Dessa

forma, eles respondem diferentemente ao processo erosivo, em função de suas características intrínsecas que são responsáveis pela susceptibilidade do solo à erosão.

6.1.1 - Critérios Utilizados

A suscetibilidade dos solos à erosão diz respeito ao desgaste que a superfície do solo poderá sofrer quando submetida a qualquer uso, sem medidas conservacionistas. As terras foram separadas em terras altas e baixas, conforme Ross (1996). As terras altas estão sujeitas a processos de perdas e abrigam formas potencialmente erodíveis, nas terras baixas predominam os processos de acumulação. No presente trabalho, além da análise do comportamento dos solos nas diferentes classes de relevo como sugerido em Mendes (1982), foram adotadas sete classes de declividade, conforme proposto em (Wittern et al. 1990), subdividindo as cinco classes de relevo apresentadas em Embrapa (1998), ou seja, 0 a 3% (plano), 3 a 8% (suave), 8 a 14% (moderadamente ondulado), 14 a 20% (ondulado), 20 a 45% (forte ondulado), 45 a 75% (montanhoso) e acima de 75% (escarpado). Para essa subdivisão utilizou o MDE15.

Os tipos de cobertura vegetal e graus de proteção adotados foram baseados em Ross (2000). Na metodologia adotada contempla-se a variável solo, que informa sobre as propriedades de erodibilidade do solo e a variável meio, que caracterizam os fatores de erosividade do meio físico, mas não define pesos para os diversos fatores, devendo estes ser ajustados às condições locais da área de estudo. Método semelhante foi apresentada no projeto riscos de erosão de solos e avaliação de terras (Corine, 1992) e na avaliação dos processos erosivos no plano estadual de recursos hídricos dos estados da Bahia e Tocantins, relatório disponível em ANA (2007).

Nesta metodologia cada fator isolado é hierarquizado por um número, denominado classe, conforme Tabela 26. Como forma de hierarquizar os processos erosivos considerou-se as informações extraídas da interpretação dos mapas temáticos de solos, geologia, relevo e declividade, vegetação, uso e cobertura atual, parâmetros e atributos de clima, nos dados técnicos contidos no diagnóstico geoambiental da área e informações de campo para elaboração do mapa final. Para os atributos de solos considerou-se ainda, dados morfológicos, físicos e químicos, camadas de impedimento, presença de horizonte plíntico, presença de concreções ou de horizonte concrecionário, horizonte coeso e lençol freático próximo à superfície. Esses parâmetros foram definidos com base na interpretação de 55 perfis de solos (40 perfis completos e 15 extras) e nos principais componentes das unidades de mapeamento identificados na área. Assim, solos com textura arenosa a média apresenta um valor de

resistência à erosão menor quando comparados com solos de textura argilosa. De forma similar, a profundidade e a drenagem do solo possuem classes de erodibilidade diferenciadas, para solos variando de muito profundo a raso e solos excessivamente drenados até muito mal drenados, os valores são diferentes. Vale esclarecer quanto a Tabela 26, ao se comparar solos diferentes em posições distintas de relevo ou declives a hierarquia de alguns graus pode-se inverter, como a classe de drenagem por exemplo, se compararmos Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos obviamente a posição dos graus se invertem, este é um dos motivos para não se aplicar notas no SIG. Pode-se também, agregar novos graus e atributos à tabela, ela reflete apenas as situações encontradas na área de interesse.

Com relação à variável meio, o relevo foi analisado através do MDE15 e caracterizado em sete classes de declividade, variando de relevo plano a relevo montanhoso e escarpado, além de considerar o aspecto e forma de curvatura das vertentes, através dos grids de aspecto, perfil e plano de curvatura das vertentes gerados com o MDE15. Para a determinação dos índices de cobertura vegetal foram utilizados os valores constantes na Tabela 26, que proporcionam o recobrimento completo do solo com vegetação nativa, até as áreas com ocupação antrópica, agropecuária e áreas urbanas. Os dados pluviométricos considerados, como forma de diferenciar o efeito da sazonalidade e da intensidade da precipitação, baseou-se nas estações pluviométricas da ANA (2007), conforme série histórica pluviométrica descrita no capítulo quatro. Onde o relevo é plano, não há deslocamento e transporte de partículas de solo, qualquer que sejam as classes de solo que compõem a unidade de mapeamento. Por essa razão essas unidades foram enquadradas no grau de suscetibilidade nula. As unidades de mapeamento, constituídas por solos que apresentam horizonte B textural em classes de relevo movimentado, foram enquadradas nos graus de suscetibilidade à erosão moderada/forte, forte e muito forte.

A integração destes fatores conjugadas com a superposição e intersecção dos mapas básicos, numa abordagem integrada que reflete a natureza e a intensidade das potencialidades e limitações impostas pelo meio, possibilitaram discriminar e separar as diferentes classes de suscetibilidade à erosão. No levantamento de solos as associações compreendem duas ou mais unidades taxonômicas, o critério estabelecido foi a análise do primeiro componente das unidades de mapeamento, seguido da ponderação dos demais componentes. No seu enquadramento prevaleceram sempre as características da unidade que conferia maior grau de limitação do solo por suscetibilidade à erosão. A cobertura vegetal foi usada como fator de amortecimento ou incremento da suscetibilidade à erosão. Uma vez identificadas as

características dos solos mapeados foram gerados índices para as características textura, profundidade e drenagem interna, relacionadas ao potencial de erodibilidade dos solos e índices para a precipitação, cobertura vegetal e relevo, relacionados com o potencial de erosividade do meio e criadas classes para cada grupo de informações e os diferentes graus de erodibilidade e erosividade potencial. Para a obtenção de um índice geral que possibilite a interpolação das variáveis erodibilidade e erosividade, gerou-se uma tabela geral de atributos que foi aplicada ao SIG, gerando um mapa com as classes gerais de atributos físicos dos solos e do meio. Assim os graus de sustentabilidade à erosão resultam da interseção e cruzamento de informação contidas nos mapas de solos, declividades, litologias, vegetação e demais parâmetros e atributos do meio físico extraídos do diagnóstico geoambiental, através de diversas etapas no SIG. As classes de solos e elementos do meio físico identificadas na área foram enquadradas nas seguintes classes de susceptibilidade à erosão Nula (N), Ligeira (L), Moderado (M), Forte (F), Muito Forte (MF), Muito forte a extremamente forte (MF/EF) e Extremamente Forte (EF) e confeccionado um mapa na escala 1:50.000, mostrando a distribuição espacial das áreas de maior e menor potencial à erosão, Figura 32.

Como o relevo é fator que limita às intervenções humanas e ocupação da paisagem, inclusive pela legislação ambiental em vigor. E o mapa ao ser gerado no SIG apresenta pequenas manchas e pontos sem representação cartográfica na escala de trabalho, essas manchas foram agrupadas e para efeitos de apresentação enquadradas nos intervalos de relevo. É importante lembrar que os dados utilizados registram informações constantes nos mapeamentos temáticos na escala 1:50.000, realizados na área de estudo durante o diagnóstico geoambiental e das demais informações que sempre acompanham esses mapeamentos. Portanto, o mapa de sustentabilidade à erosão apresentado deve ser analisado como uma fonte de informações que indica o risco potencial geral mas não deve ser utilizado como um único instrumento para a avaliação de condições geotécnicas locais. As classes de solos predominantes na área de estudo são discriminadas no Capítulo 4. As respectivas áreas e percentual de ocorrência são descritas no texto. A Figura 32 mostra o mapa de suscetibilidade das terras à erosão.

6.1.2 - Graus de Limitação por Susceptibilidade à Erosão

Os graus de limitação por susceptibilidade à erosão adotados foram: nulo, ligeiro, ligeiro a moderado, moderado, forte, muito forte e extremamente forte. Nulo (N < 3%), Ligeiro (L 3% a 8%), Ligeiro a Moderado (L/M), Moderado (M 8% a 14%), Forte (F 14% a 20%), Muito Forte (MF 20% a 45%) e Extremamente Forte (EF > 45%).

Tabela 26 - Classes e atributos dos solos e do meio

Classes e atributos dos solos (textura, drenagem, profundidade e classes de solos)			
Classes	Potencial Erodibilidade	Textura	Declividade
1*	Nulo*	argilosa	Plano (0 a 3%)
2	Ligeiro (muito baixo)	Muito Argilosa	Suave Ondulado (3 a 8%)
3	Moderado (baixo)	Argilosa	Moderadamente Ondulado (8 a 14%)
4	Forte (alto)	Média/Argilosa	Ondulado (14 a 20%)
5	Muito forte (muito alto)	Média	Forte Ondulado (20 a 45%)
6	Extremamente forte (ext.alto)	Arenosa/Média	Montanhoso (45 a 75%)
6	Extremamente forte (ext.alto)	Arenosa	Escarpado (> 75%)
Classes	Potencial Erodilidade	Profundidade Efetiva (cm)	
1	Nulo	> 200 (Muito Profundo)	
2	Ligeiro	150 - 200 (Profundo)	
3	Moderado	100 - 150 (Moderadamente Profundo)	
4	Forte	50 - 100 (Pouco Profundo)	
5	Muito forte	< 50 (Raso)	
Classes	Potencial Erodilidade	Classe de Drenagem**	
1	Muito Baixo	Excessivamente e fortemente drenado	
2	Baixo	Acentuadamente drenado	
3	Médio	Bem drenado	
4	Moderado	Moderadamente drenado	
5	Alto	Imperfeitamente drenado	
6	Muito Alto	Mal e muito mal drenado	
Classes	Potencial Erodilidade	Classes de solos ou Tipo de terreno (Tt)	
1	Nulo	Afloramentos de rocha (Tt sem recobrimento de solo)	
2	Ligeiro	Cambissolos Flúvicos, Neossolos Flúvicos e Gleissolos	
3	Moderado	Latosolos	
4	Forte	Argissolos	
5	Muito forte	Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos	
Classes de atributos do meio (relevo e cobertura vegetal)			
Classes	Potencial Erosividade	Relevo e declividade em %	
1	Nulo	Plano (0 a 3%)	
2	Ligeiro	Suave Ondulado (3 a 8%)	
3	Moderado	Moderadamente Ondulado (8 a 14%)	
4	Forte	Ondulado (14 a 20%)	
5	Muito forte	Forte Ondulado (20 a 45%)	
6	Extremamente forte	Montanhoso (45 a 75%)	
7	Extremamente forte	Escarpado (> 75%)	
Classes	Graus de proteção	Tipos de cobertura vegetal	
1	Muito alta	Matas naturais e florestas cultivadas com biodiversidade com estrato herbáceo denso.	
2	Alta	Formações arbustivas densas (mata secundária, capoeira densa). Mata homogênea de Pinus densa. Pastagens, cultivadas sem pisoteio de gado, sistemas agroflorestais e cultivo de ciclo longo como o cacau.	
3	Média	Cultivos de ciclo longo com práticas agrícolas (curvas de nível e terraceamento), como café e laranja com forrageiras entre ruas. Pastagens com baixo pisoteio. Silvicultura de eucaliptos com subbosques de nativas.	
4	Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta-	

		do-reino, laranja) com solo exposto entre ruas. Culturas anuais (soja, milho, algodão) com cultivo em curvas de nível e terraceamento.
5	Muito Baixa a Nula	Áreas desmatadas, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplenagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

* grau válido para rocha sem cobertura de solos; ** em função da classe de solo o grau inverte.

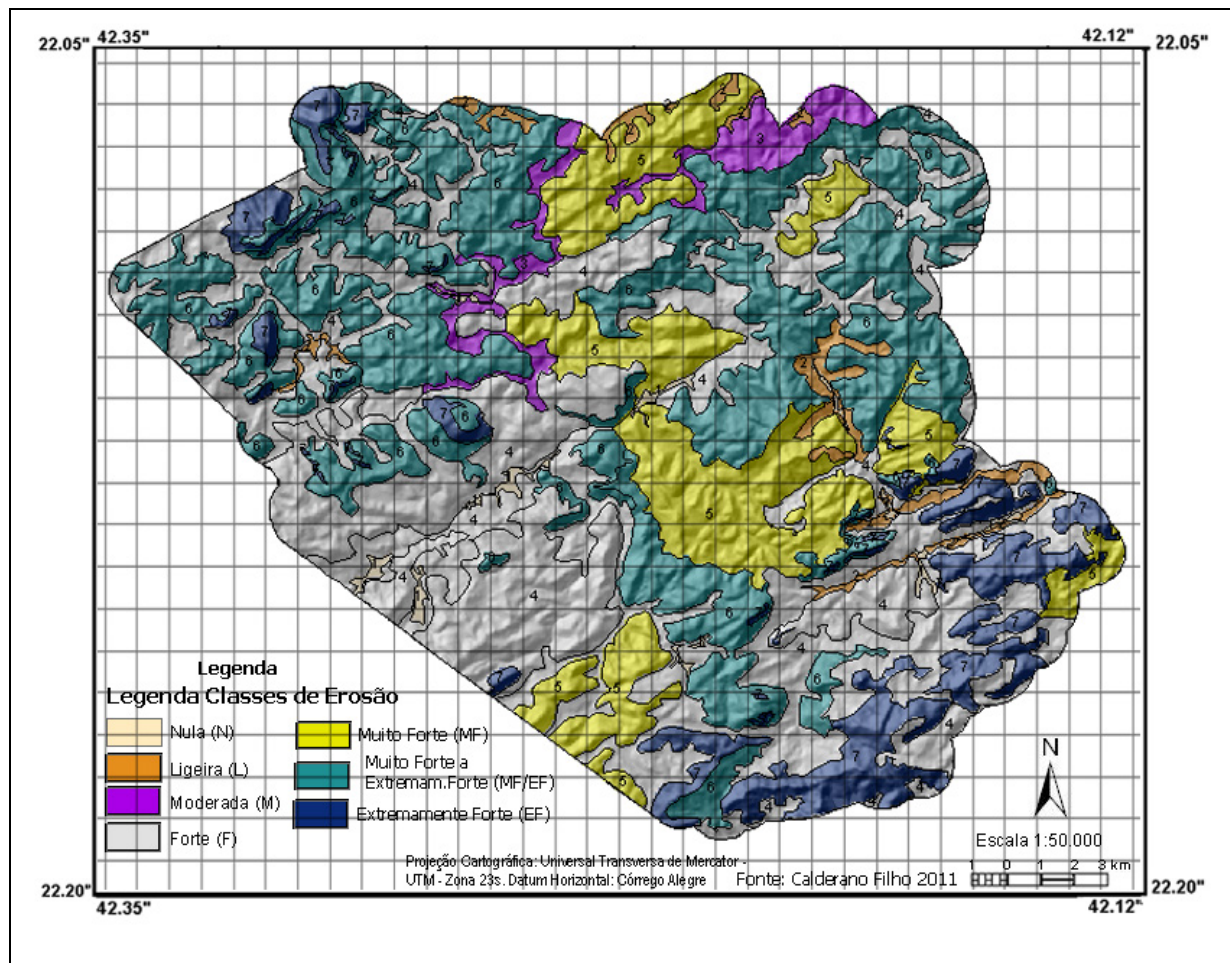
Nulo (N) - Terras planas ou quase planas, declive inferior a 3%, onde o escoamento superficial ou enxurrada (deflúvio) é muito fraco ou lento. O declive do terreno não oferece riscos à erosão hídrica significativa, salvo, possivelmente, em vertentes cujas rampas sejam muito longas e com solos altamente suscetíveis à erosão, ou quando recebem enxurradas de áreas vizinhas, situadas à montante e mais declivosas. As terras quando cultivadas por 10 a 20 anos podem apresentar erosão ligeira, que pode ser controlada com práticas simples de manejo. No mapa corresponde a classe 1 de suscetibilidade à erosão, ocorre em 343,19 ha, correspondendo a 0,71% da área de estudo.

Ligeiro (L) - Terras com declives suaves que apresentam em sua maior parte escoamento superficial lento ou médio. São terras pouco susceptíveis à erosão, relevo suave ondulado, declive entre 3% a 8%. Quando utilizadas com lavouras, por um período de 10 a 20 anos, mostram normalmente uma perda de 25% ou mais do horizonte superficial. No manejo recomenda-se práticas simples de conservação, como aração mínima, rotação de culturas, culturas em contorno. Engloba as unidades com declive B, no mapa corresponde a classe 2 de suscetibilidade à erosão, ocorre em 1.067,25ha, correspondendo a 2,2% da área de estudo.

Moderado (M) - Terras moderadamente suscetíveis à erosão, geralmente com relevo ondulado, no limite inferior da classe, declives de 8 a 14%, nos quais o escoamento superficial é médio ou rápido, para a maior parte das terras. Em alguns casos a erosão hídrica oferece poucos problemas ou então, pode ser controlada com práticas simples; na maior parte das vezes, no entanto, práticas complexas de conservação do solo podem ser necessárias para que as terras possam ser cultivadas intensamente. Estas terras podem apresentar erosão em ravinas e mesmo em forma de voçorocas se utilizadas sem adoção de práticas conservacionistas. No mapa corresponde à classe 3 de suscetibilidade à erosão, ocorre em 1.556,39 ha, correspondendo a 3,21% da área de estudo.

Forte (F) - Terras susceptíveis à erosão, o escoamento superficial é muito rápido, na maior parte da área. Terras dessa classe são facilmente erodíveis, exceto aquelas muito permeáveis. Engloba áreas de relevo ondulado, declives entre 14% a 20%. Na maioria dos casos, a

prevenção a erosão é difícil e dispendiosa e depende de práticas intensivas de controle. Deslizamentos e quedas de blocos podem ocorrer. No manejo dos solos nessa classe, deve-se usar práticas como terraços em patamar, em nível, banquetas individuais, interceptadores, controle de voçorocas, cobertura morta no inverno e viva no verão, cordões, diques, aração mínima, rotação de culturas, culturas em contorno e pastoreio controlado. No mapa corresponde a classe 4 de susceptibilidade à erosão, ocorre em 18.330,30ha, correspondendo a 37,81% da área de estudo.



Fonte: Confeccionado pelo autor.

Figura 32 – Mapa de susceptibilidade das terras à erosão.

Muito Forte (MF) – Composta de terras fortemente suscetíveis à erosão, o escoamento superficial é muito rápido, o relevo é forte ondulado, declives entre 20% a 45%. Não são recomendadas ao uso agrícola intensivo sob pena de serem totalmente erodidas em poucos anos. Trata-se de terras ou superfícies nas quais deve ser estabelecida cobertura vegetal que evite seu arrasamento. No manejo desta classe deve-se usar práticas como banquetas individuais, interceptadores, controle de voçorocas, cobertura morta no inverno e viva no

verão. Na maioria dos casos a prevenção a erosão é difícil e dispendiosa. Deslizamentos e quedas de blocos podem ocorrer. Nesta classe o solo deve estar sempre coberto, pastagem ou silvicultura com restrições podem ser usadas, mas pode ser antieconômico cultivar nessas áreas; engloba unidades com declive E. No mapa corresponde a classe 5 de susceptibilidade à erosão, ocorre em 7.495,92ha, correspondendo a 15,46% da área de estudo.

Muito Forte a Extremamente Forte (MF/ EF) – Constitui classe intermediária entre as classes 5 e 7 de susceptibilidade à erosão. No mapa corresponde a classe 6 de susceptibilidade à erosão, ocorre em 15.093,18ha, correspondendo a 31,13% da área de estudo.

Extremamente Forte (EF) – Composta de terras ou paisagens altamente susceptíveis à erosão, o relevo é montanhoso e escarpado, com declives superiores a 45%, nas quais deve ser estabelecida uma cobertura vegetal de preservação ambiental. Pelas características mencionadas, é evidente que qualquer alteração nesta classe irá desencadear a aceleração dos processos erosivos, envolvendo deslizamentos e quedas de blocos. No manejo, envolve práticas conservacionistas intensas e técnicas economicamente pouco viáveis. São por excelência destinadas à preservação da flora e da fauna ou revegetação, engloba unidades com declive F. No mapa corresponde a classe 7 de susceptibilidade à erosão, ocorre em 4.567,57ha, correspondendo a 9,42% da área de estudo.

6.2 - Avaliação das Terras

Para a FAO (1976), a avaliação de terras é o processo de estimar o desempenho (aptidão) da terra, quando usada para propósitos específicos, envolvendo a execução e interpretação de levantamentos e estudos das formas de relevo, solos, vegetação, clima e outros aspectos da terra, de modo a identificar e proceder à comparação dos tipos de usos da terra mais promissores, em termos da aplicabilidade aos objetivos da avaliação. De acordo com Beek (1978 *in* Weill, 1990), as expressões “avaliação de terras” (*land evaluation*) e “classificação de terras” (*land classification*) denotam que seu objeto de estudo é a terra (*land*), sendo preferível o uso do termo “avaliação de terras”.

A avaliação da aptidão agrícola das terras no Brasil, inicia-se com a metodologia desenvolvida por Bennema et al.(1964), na tentativa de classificar o potencial das terras para agricultura tropical, contribuições ao método foram apresentadas em Tomasi et al. (1971) e Ramalho & Beek (1978), mais tarde surgem as classificações técnicas da capacidade de uso das terras de Marques (1971) e Lepsch et al. (1983). Todos têm como ponto em comum a interpretação das terras a partir das unidades de mapeamento oriundas dos levantamentos

pedológicos e consiste basicamente, no posicionamento das terras, segundo características que são definidas em grupos, ou tipos de utilização das terras (culturas anuais, culturas perenes, pastagens, silvicultura e classe inapta). Esses sistemas posicionam as terras mediante o tipo de utilização, evidenciando uma indicação de uso correto e adequado de uma determinada superfície de terra, tanto em função da viabilidade de melhoramento frente aos fatores básicos de limitação de uso, como em função dos graus de limitação, que por ventura ocorram após a utilização de práticas agrícolas.

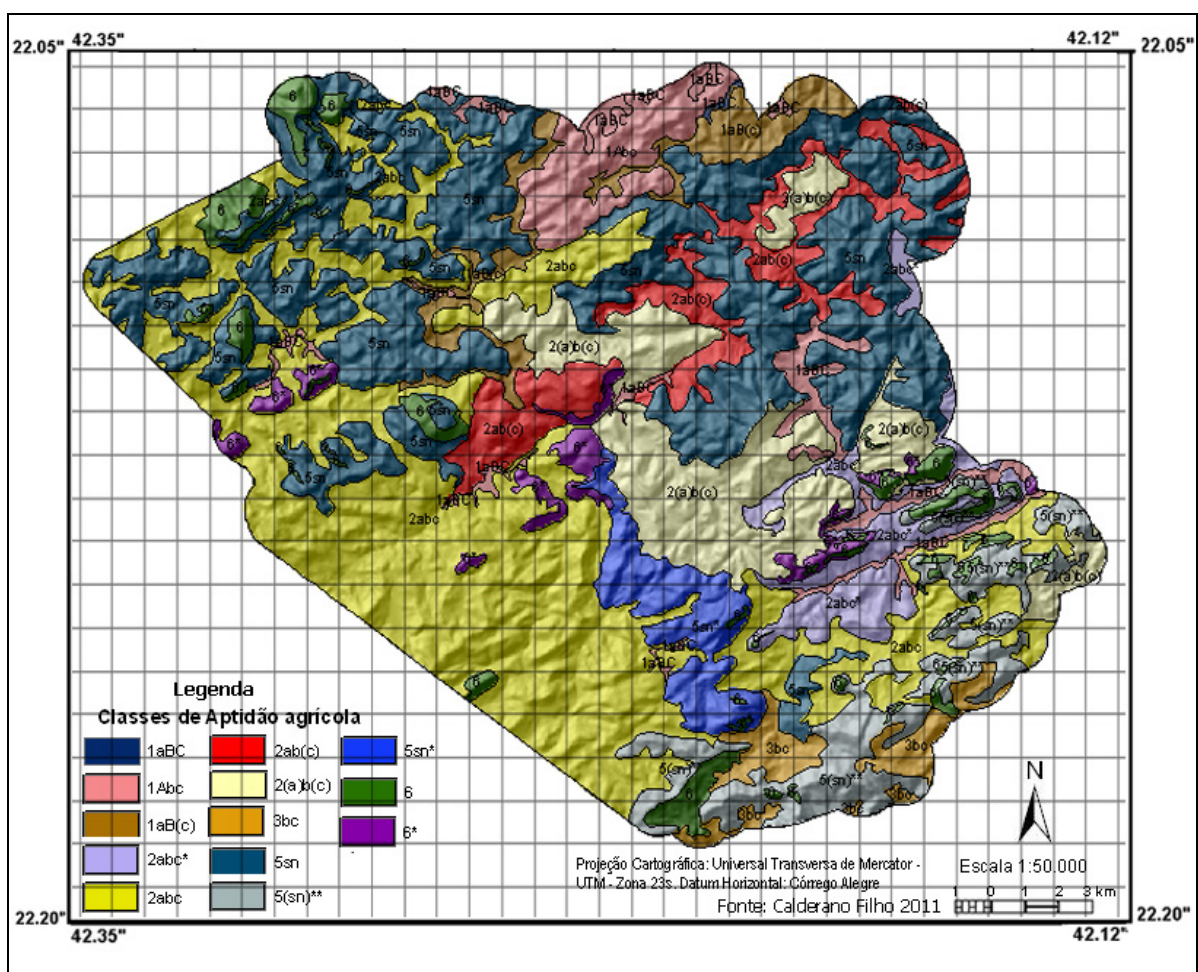
A demanda por informações detalhadas para atender condições locais de uso e manejo das terras gerou a necessidade de adaptações nesses sistemas. Atualmente coexistem outros sistemas como o de Oliveira & Berg (1985), a classificação da aptidão de uso das terras do Estado de Santa Catarina (Uberti et al. 1991) e a proposta de aptidão agroecológica das terras de Calderano Filho, (2003) e Calderano Filho et al. (2007). No presente estudo, por ser uma área pouco extensa de equilíbrio frágil, ocupada por pequenos produtores na Serra do Mar, condicionada a fortes limitações quanto ao relevo vigoroso e a fertilidade natural dos solos baixa e sujeita as restrições da legislação ambiental vigente, utilizou-se dois tipos de avaliação da aptidão (metodologia de uso corrente e metodologia de avaliação agroecológica das terras), direcionando a avaliação para as alternativas sustentáveis de utilização das terras.

6.2.1- Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras

Na avaliação da aptidão agrícola das terras pelo método de Ramalho Filho & Beek (1978), considera-se três níveis de manejo, nível A (baixo nível tecnológico), onde não há aplicação de insumos e não prevê técnicas de melhoramento, a classificação é feita de acordo com as condições naturais da terra, nível B (médio nível tecnológico), baseado em práticas agrícolas que preveem modesta aplicação de capital e técnicas de melhoramento e nível C (alto nível tecnológico), baseado em práticas agrícolas que refletem um alto nível tecnológico e de mecanização agrícola. Nesta avaliação não se considera a irrigação e avaliação para fruticultura.

A avaliação da aptidão agrícola das terras foi efetuada para todas as unidades de mapeamento estabelecidas e cartografadas no levantamento de solos da área. Para cada característica das unidades de mapeamento (fertilidade, textura, relevo, profundidade efetiva, drenagem, susceptibilidade à erosão, salinidade, pedregosidade e/ou rochosidade, entre outras) foram estabelecidas diferentes classes e/ou graus de limitação. Os fatores físicos limitantes considerados para avaliar as condições agrícolas das terras são: deficiência de fertilidade, deficiência de água, excesso de água ou deficiência do oxigênio, suscetibilidade à

erosão e impedimentos à mecanização. Para efeito da avaliação vale-se da atribuição de graus de intensidade de limitação a cada um dos cinco fatores limitantes e para os atributos considerados. Os graus de limitação admitidos foram nulo, ligeiro, moderado, forte e muito forte. A interpretação e a avaliação da aptidão é feita considerando as propriedades físicas e químicas das diferentes classes de solos, assim como a viabilidade de melhoramento dos fatores limitantes. Os fatores de limitação, com seus respectivos atributos diagnósticos e “Tabelas guias de critérios” preestabelecidas, utilizados na avaliação das terras, encontram-se em detalhe na bibliografia disponível. A avaliação da aptidão agrícola das terras, com base nessa metodologia é mostrada na Tabela 27 e Figura 33, mapa de avaliação da aptidão agrícola das terras.



Fonte: Confeccionado pelo autor.

Figura 33 – Mapa de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras.

Nesta avaliação, as unidades de mapeamento de solos foram enquadradas nas seguintes classes de aptidão: boa, regular, com restrição ou inapta, conforme os níveis de manejo A (baixo nível tecnológico), B (médio nível tecnológico) e C (alto nível tecnológico) e as características que as unidades de mapeamento apresentam. O parâmetro excesso de

água/deficiência de oxigênio não apresenta desvios nas terras altas, já nas baixas compromete o desempenho das culturas. As limitações por declividade, suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização configuram-se nos fatores limitante de maior importância, seguidos da fertilidade natural e presença de rochividade.

Com base nos resultados da avaliação da aptidão agrícola, verifica-se que a área de estudo apresenta média potencialidade agrícola, onde 59,43% (28.825,15 ha) de suas terras são adequadas para o uso com lavouras, sendo 9,1% (4.406,83 ha) de classe Boa, 48,10% (23.306,88 ha) de classe Regular, 2,23% (1.081,41 ha) de classe Restrita e 5,95% de classe Inapta. Para uso com atividades menos intensivas, encontrou-se um total de 34,62% (16.744,80 ha) indicadas para as atividades de silvicultura e/ou pastagem natural. As áreas sem aptidão agrosilvopastoril, devendo ser destinadas à preservação da fauna e da flora, representam 5,95% (2.883,85ha).

Tabela 27 - Classificação da aptidão agrícola das terras

Aptidão agrícola	fatores limitantes	área ha	%	Aptidão agrícola	fatores limitantes	área ha	%
1aBC	F,e,m, O	1.314,64	2.71	2(a)b(c)	F,E,M	4.848,34	10.00
1aB(c)	F,e,m, O	1.558,47	3.22	3bc	F,E,M	1.081,41	2.23
1Abc	F,e,m, O	1.533,74	3.17	5sn	F,e,m	12.278,51	25.33
2abc	F,E,M	13.894,84	28.66	5sn**	F,e,m	4.496,30	9.28
2abc*	F,E,M	1.700,53	3.50	6	F,E,M	1.950,55	4.02
2ab(c)	F,E,M	2.863,18	5.91	6*		933,30	1.93
				Corpos Líquidos		15,19	0,04
Total Geral						48.469,00	100,00

Legenda: (1) Principais fatores limitantes: E = suscetibilidade à erosão; F = deficiência de fertilidade; O = excesso de água; M = impedimentos à mecanização. (2) Classes de aptidão agrícola das terras: 1aBC = terras pertencentes à classe de aptidão regular no nível de manejo A e boa nos níveis de manejo B e C; 1aB(c) = terras pertencentes à classe de aptidão regular no nível de manejo A, boa no nível de manejo B e restita no nível; 1Abc = terras pertencentes à classe de aptidão boa no nível de manejo A e regular nos níveis de manejo B e C; 2abc = terras pertencentes à classe de aptidão Regular nos níveis de manejo A, B e C; 2ab(c) = terras pertencentes à classe de aptidão regular nos níveis de manejo A e B, e restrita no nível C; 2(a)bc = terras pertencentes à classe regular nos níveis de manejo B e C, e restrita no nível A; 2(a)b(c) = terras pertencentes à classe Regular no nível de manejo B e Restrita nos níveis A e C; 2(a)b = terras pertencentes à classe de aptidão Regular no nível de manejo B, Restrita no nível A e Inapta no nível C; 2ab = terras pertencentes à classe de aptidão Regular nos níveis de manejo A e B e Inapta no nível C; 3(ab) = terras pertencentes à classe de aptidão Restrita nos níveis de manejo A e B e Inapta no nível C; 3(b) = terras pertencentes à classe de aptidão Restrita no nível de manejo B e Inapta nos níveis C e A; 5sn = terras pertencentes à classe de aptidão Regular para silvicultura e pastagem natural; 6 = terras indicadas para a preservação da flora e da fauna; * = símbolo indicativo de que ocorrem terras, em menor proporção, com aptidão superior à representada no Mapa; ** = símbolo indicativo de que ocorrem terras, em menor proporção, com aptidão inferior à representada no mapa.

As áreas urbanas por constituírem pequenas manchas sem representação cartográfica na escala de trabalho adotada, foram incluídas nas classes de aptidão Boa e Restrita. Há uma grande predominância de áreas com aptidão restrita, isto pode ser explicado, em grande parte, pela baixa fertilidade natural predominante dos solos, onde apenas cerca de 10% da área total possui fertilidade natural elevada (solos eutróficos). Além disso, há uma grande ocorrência de solos ácricos que, à semelhança dos solos distróficos, necessitam de uso intensivo de insumos e tecnologia a fim de possibilitar um uso agrícola sustentável. Por outro lado, no nível de manejo C, caracterizado pela adoção intensiva de tecnologia, capital e insumos, onde a maioria das limitações existentes podem ser contornadas, o que possibilita um aumento de áreas que podem ser incorporadas ao processo produtivo, a maior limitação se prende ao relevo da área, em sua maioria forte ondulado e montanhoso.

6.2.2- Avaliação da Aptidão Agroecológica das Terras

A demanda por informações detalhadas para atender condições locais de uso e manejo das terras e planejamento de pequenos módulos rurais, gerou a necessidade de adaptações no sistema de avaliação do potencial agrícola das terras. Hoje, a legislação ambiental vigente impõe sérias restrições ao uso de certas glebas, nesse sentido, a avaliação das terras deve fornecer bases para um uso mais intensivo, contemplando alternativas sustentáveis de utilização e a análise final fornecer elementos para o planejamento de uso das terras, adequados às condições locais de áreas consideradas críticas ou marginais para o processo produtivo, onde o uso da terra de forma sustentada eleve seu nível de produção, sem destruí-la como um recurso ou desrespeite a legislação ambiental em vigor (Calderano Filho, 2003 e Calderano Filho et al. 2007).

A finalidade da avaliação agroecológica das terras é sugerir alternativas sustentáveis de utilização com menor índice de agressão, minimizando os efeitos negativos sobre o meio ambiente, sem descuidar da integridade das terras. Assim, procura estimular o aproveitamento racional e sustentado das terras, definir áreas de preservação e/ou recuperação das qualidades ecológicas de terras degradadas, bem como sugerir atividades de recuperação para fortalecer ecossistemas frágeis, de acordo com as condições locais do meio ambiente. O método foi desenvolvido para atender áreas de pequenas propriedades rurais na Serra do Mar e encontra-se em Calderano Filho (2003) e Calderano Filho et al. (2007).

Na elaboração da avaliação agroecológica, consideram-se as restrições, limitações, potencialidades, propriedades e qualidades das unidades ambientais delimitadas, a legislação ambiental vigente e o estado de degradação das terras, associadas aos aspectos geobiofísicos,

socioeconômicos, ecológicos, de uso agrícola e perfil tecnológico do agricultor. As interações dos fatores e aspectos acima citados, conjugando com as limitações apresentadas pelos ecossistemas e restrições impostas pela legislação ambiental, orienta na definição das classes de aptidão agroecológica de cada unidade ambiental e nas recomendações de uso, mostrando as áreas agricultáveis e não agricultáveis.

A avaliação é efetuada para todas as unidades de mapeamento estabelecidas e cartografadas no levantamento de solos da área. Os graus de limitação foram estimados para os componentes das unidades de mapeamento de solos que compõem as unidades ambientais e foram separados os níveis de fragilidade, considerando as informações dos elementos componentes da paisagem produzidos com o diagnóstico geoambiental existente. A sugestão e definição de sistemas agrícolas e agroflorestais é feita em função da oferta ambiental, levando-se em conta as limitações naturais das unidades geoambientais. Sendo que os critérios da legislação ambiental prevalecem sobre os demais e orienta a definição das indicações e recomendações de uso por unidade ambiental delimitada na área de estudo.

Para isso, define-se unidades ambientais, com base na estrutura e escultura da paisagem, considerando que estas refletem características e qualidades estáveis do meio. As unidades delimitadas retratam um maior nível de homogeneidade, menor nível de diversidade interna e maior coerência entre os componentes. Nas unidades delimitadas cabem, quase que somente, manejos adequados em decorrência das limitações das terras já estarem agrupadas nos solos e nas condições ambientais distintas.

Os fatores físicos limitantes considerados para avaliar as condições agroecológicas das terras foram os mesmos utilizados em Bennema et al. (1964) e Ramalho & Beek (1978) como: deficiência de fertilidade, deficiência de água, excesso de água ou deficiência de oxigênio, suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização. Para efeito da avaliação vale-se da atribuição de graus de intensidade de limitação a cada um dos cinco fatores limitantes, os graus de limitação admitidos são: nulo, ligeiro, moderado, forte e muito forte. As terras sem aptidão agrícola, indicadas para preservação da flora e fauna que correspondem ao grupo seis no sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras (SAAAT), foram separadas em três subclasses: áreas de preservação permanente, parques, reservas (áreas protegidas por lei), áreas que devem ser preservadas por constituírem ecossistemas frágeis ou por apresentarem forte restrição agroambiental, decorrente de condições especiais como posição delicada que ocupam na paisagem, e áreas de recomposição de matas.

A indicação de alternativas sustentáveis de utilização das terras para a área de estudo,

mostrando as áreas não agricultáveis e agricultáveis, é apresentada na Figura 34 e descritas abaixo nas classes: aptas para lavoura de ciclo curto; aptas para lavouras perenes e sistemas agroflorestais; passíveis de recuperação (quando degradadas) e inaptas para qualquer tipo de atividade (áreas de preservação). A Tabela 28 mostra os percentuais de ocorrência das classes.

1- *Áreas inaptas para qualquer tipo de atividade*: representadas pelas áreas de preservação, descritas como, áreas de proteção e preservação ambiental (APPA) - São ecossistemas frágeis, nos quais predomina fragmentos florestais e vegetação rupestre, relevo montanhoso na grande maioria, com blocos rochosos salientes e escarpas de granito, intercalados com afloramentos rochosos que ocorrem associados à solos rasos, Neossolos Litólicos e pequenas inclusões de Cambissolos Háplicos e Húmicos. Inclui predominantemente, áreas protegidas por lei com declive maior que 45%, terras inaptas ao uso agrícola sustentado, fato que decorre de fortes limitações do solo, relevo, rochividade e suscetibilidade à riscos e erosão extremamente forte. São impróprias ao uso agrícola e destinadas à preservação permanente (flora e fauna), de acordo com a legislação ambiental vigente, ou por situarem-se em relevo acidentado, pela presença de remanescentes de mata Atlântica, ou para proteção de nascentes e manutenção de cursos d'água.

2- *Áreas passíveis de recuperação, representadas por áreas de recomposição de matas (RM)* - São ecossistemas frágeis de relevo variável, inclui áreas de relevo pouco movimentado, com partes onduladas como topos aplainados, com 8 a 20% de declive, susceptíveis a violentos processos erosivos devido à posição delicada que ocupam na paisagem, sobrepondo os declives abruptos. Compõe-se, predominantemente, por terras desmatadas, com ocorrência de solos profundos e pouco profundos, intercalados com solos rasos, não recomendadas ao uso agrícola. O relevo e textura dos solos que aí ocorrem, aliados às precipitações concentradas e abundantes no período chuvoso, podem provocar impactos negativos de grandes dimensões ao meio ambiente, como voçorocamentos, movimentos de massa de certa amplitude, deslizamentos e inundações no restante da bacia. Não são recomendadas ao uso agrícola e devem ser destinadas à preservação permanente. A cobertura florestal deve ser reconstituída sob pena de se perderem as terras mais férteis. Recomenda-se a reconstituição das áreas desmatadas com espécies nativas, a apicultura poderá ser uma atividade permitida nessas áreas. São áreas de grande importância no reabastecimento das águas subterrâneas das sub-bacias adjacentes.

3- *Áreas aptas para lavoura perenes e sistemas agroflorestais*: representadas por áreas propícias ao cultivo de culturas perenes e/ ou sistemas agroflorestais (CPSA) - terras que apesar de frágeis, são capazes de suportar o cultivo de culturas perenes (fruticultura), sistemas

agroflorestais ou sistemas agropastoris. Inclui áreas de relevo forte ondulado, com 20 a 45% de declive, sujeitas a legislação específica, a retirada da floresta depende da autorização e aprovação do IBAMA. Ocorrência dominante de terras que permitem, em sua quase totalidade, apenas o uso de implementos de tração animal ou máquinas especiais, onde o uso de mecanização fica restrito a algumas práticas culturais. O relevo forte ondulado, predomínio de solos de textura variada, a suscetibilidade dos solos à erosão e a baixa fertilidade natural, são os principais fatores restritivos da área. O principal risco é com a erosão acelerada com perda de horizonte A. Essas terras apresentam, na sua maioria, grau de limitação forte por susceptibilidade à erosão. O desmatamento, a inclinação, o tipo de solo e o regime das chuvas explicam os maiores cuidados e preocupações com essa unidade, uma vez que a ampliação dos riscos que aí ocorrem estão na dependência direta do uso, manejo e das práticas agrícolas adotadas. Não recomenda o uso com culturas que exponham ou revolvam muito a camada superficial dos solos, devendo ser prioritariamente exploradas com lavouras climaticamente adaptadas. O cultivo de lavouras perenes deve seguir técnicas de conservação de solos para controle da erosão e a escolha das cultivares atender às exigências do mercado.

4- *Áreas aptas para lavouras* representadas por três tipos, a saber: áreas propícias à produção de culturas anuais (APPCA) - Áreas agricultáveis com 8 a 20% de declive, sem restrições quanto a legislação ambiental. Inclui, encostas coluviais de relevo ondulado com trechos suave ondulados, com ocorrência marcante de material deposicional. Compõe-se, predominantemente, de solos que somam boas condições de uso agrícola, apresentando boa profundidade e boas condições de permeabilidade, não apresentando camadas impeditivas em profundidade que impeçam ou dificultem o desenvolvimento das raízes, ocasionalmente, ocorrem solos com drenagem imperfeita, fase rochosa e solos intergráides com a classe dos Latossolos, profundos e pouco profundos de textura variada. Também ocorrem, inclusas, vertentes curtas e cabeceiras de drenos, que requerem práticas conservacionistas intensivas, a fim de evitar o aparecimento de sulcos e voçorocas e terras de menor potencial, que devem ser preservadas ou reflorestadas, como as calhas e cabeceiras de drenos. A posição na paisagem, relevo, textura e erodibilidade dos solos, ocorrência da falta de água disponível durante certo período do ano, limitação ao uso de implementos agrícolas permitindo apenas o uso de implementos de tração animal ou máquinas especiais de pequeno porte e o risco de contaminação de aquíferos e fontes localizadas no sopé da serra, são os principais fatores limitantes da unidade. Exigem um manejo que minimize as perdas da matéria orgânica no solo, com cuidados especiais no uso de água de irrigação e no tráfego de máquinas. Nas encostas usadas com agricultura, as medidas antierosão são uma obrigação e entradas de

fertilizantes orgânicos e inorgânicos, para suprir as deficiências de fertilidade dos solos, são exigidas. Embora ocorra pequenas áreas no sopé das encostas abruptas com condições de solos e de declive favoráveis ao uso agrícola, essas atividades não devem ser incentivadas. Ao contrário, deve-se estimular o reflorestamento. Essas áreas têm grande importância na manutenção de alguns minadouros e no reabastecimento das águas subterrâneas da bacia adjacente.

5 - Áreas propícias à produção de lavouras de ciclo curto (PALCC) - Áreas agricultáveis com 3 a 8% de declive, sem restrições quanto a legislação ambiental. Inclui áreas baixas de relevo suave ondulado, entulhadas com depósitos sedimentares de material argilo-arenosos, com maior umidade, sujeitas a menores riscos de inundações e que são desfavoráveis às culturas sensíveis ao excesso de água durante a estação chuvosa. Compõe-se, de solos com profundidade e drenagem variada, mas com melhores condições de fertilidade natural. De modo geral, as características dos solos variam muito, principalmente em função da natureza do material originário, apresentam permeabilidade muito condicionada pela natureza e sequência dos estratos, mas pode-se dizer que predominam solos com profundidade razoável, sendo o fator limitante, a presença de lençol freático relativamente pouco profundo. Os riscos de salinização das áreas irrigadas, contaminação e de inundação são as principais limitações. No manejo das águas de irrigação será fundamental o controle ou prevenção da salinização. Apresentam limitações ao uso de máquinas e implementos em decorrência do lençol freático, o que exigirá, também, seleção de culturas adaptadas ao excesso de água.

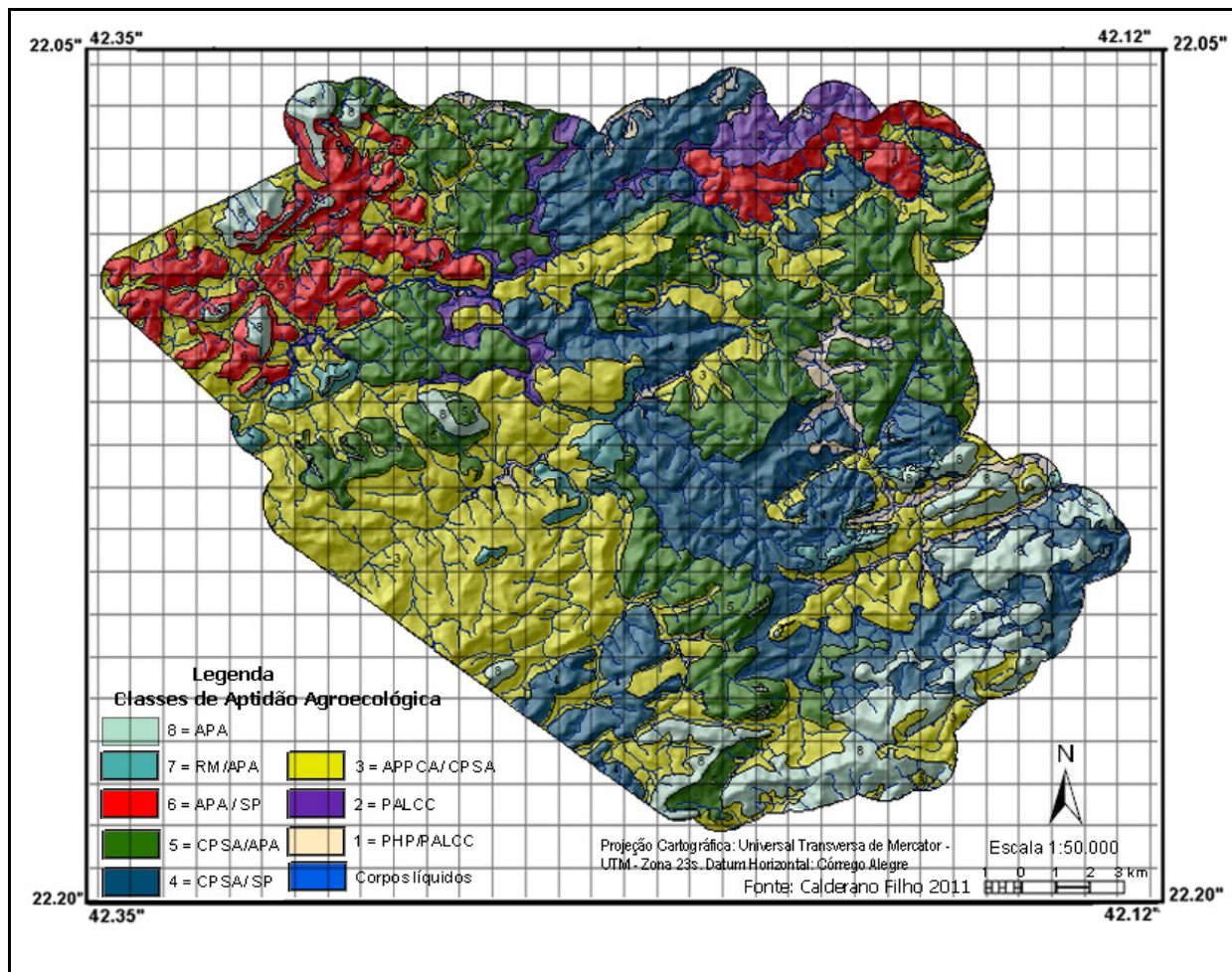
6- Áreas de produção de hortaliças e preservação (PHP) - Áreas agricultáveis com 0 a 3% de declive, prioritárias à produção de culturas de ciclo curto mas sujeitas a legislação específica. Inclui terras de baixada relevo praticamente plano, com meandros ou depressões, são superfícies encaixadas no fundo achatado do vale, normalmente margeando o rio, com depósitos sedimentares de material argilo-arenosos. Compõe-se, predominantemente, de terras com maior umidade sujeitas a inundações periódicas e prejudiciais à maioria das culturas, com sérias limitações por excesso de água e deficiência de aeração, as quais só permitem o desenvolvimento de culturas não adaptadas mediante trabalho de drenagem artificial. As terras que compõem essa unidade permitem apenas o uso de implementos de tração animal ou máquinas especiais, mesmo assim, após drenagem adequada. Em termos de recomendações e limitações possui características semelhantes as áreas de relevo suave ondulado, mas segundo a legislação ambiental em vigor, deve-se manter a floresta ao longo da calha do Rio. Os riscos de salinização, contaminação e de inundação são as principais limitações. No manejo desse compartimento, cuidados devem ser tomados no que diz respeito ao encharcamento do solo

durante as chuvas, devido à pequena inclinação do terreno e com relação aos riscos de salinização e contaminação de corpos d'água, por agrotóxicos ou por dejetos humanos e de animais.

Tabela 28 – Classificação da aptidão agroecológica das terras

Aptidão agroecológica	Classes	área ha	%	Aptidão agroecológica	Classes	área ha	%
APPA	8	4.567,56	9,42	CPSA/SP	4	9.559,66	19,73
RM/APPA	7	933,29	1,92	APPCA/CPSA	3	16.362,35	33,76
APPA/CP	6	3.960,62	8,17	PALCC	2	1.628,22	3,36
CPSA/APPA	5	10.197,25	21,03	PHP/PALCC	1	1.244,86	2,57
				Corpos Líquidos	-	15,19	0,04
Total Geral						48.4469,00	100,00

Legenda: APPA = áreas de proteção e preservação ambiental; RM = áreas de recomposição de matas; CPSA= áreas propícias ao cultivo de culturas perenes e/ ou sistemas agroflorestais; APPCA = áreas propícias à produção de culturas *anuais*; PALCC = áreas propícias à produção de lavouras de ciclo curto; PHP = áreas de produção de hortaliças e preservação.



Fonte: Confeccionado pelo autor.

Figura 34 - Mapa de Aptidão Agroecológica das Terras.

6.3 - Interpretação pedo-geotécnica

Para Salomão & Antunes (1998), dependendo dos objetivos e enfoque científico adotado, o solo pode ser interpretado de diversas maneiras, como produto do intemperismo físico e químico das rochas (geologia), como material escavável que perde sua resistência quando em contato com a água (engenharia civil), ou como uma camada superficial de terra arável, possuidora de vida microbiana (agronomia). Barroso et al. (1981), Antunes et al. (1987), Antunes (1989) e outros, com base nos mapas de solos, monitoraram durante décadas, a ocupação de áreas em várias classes de solos no município do Rio de Janeiro, concluindo que os trabalhos de mapeamentos de solos podem ser fonte bibliográfica básica para o planejamento de ocupação do meio físico, além de possibilitar considerações de forma generalizada nos estudos de investigações geológico-geotécnicas, entre as classes de solos e seus significados geotécnicos.

As informações contidas nos trabalhos de levantamento de solos (texto e mapa), podem ser usadas como indicadores geotécnicos preliminares e para prevenção de possíveis problemas decorrentes da ocupação inadequada de certas áreas (Antunes et al. 2011). A partir destas informações, Antunes et al. (2011), propõem confeccionar mapas pedo-geotécnicos básicos que podem ser utilizados como base para investigações geológico-geotécnicas preliminares. Mas, lembram que embora sejam informações úteis para finalidades diversas como, planejamento de uso do solo incluindo impactos ao meio físico e riscos associados, potencial de fornecimento de material de construção (saibro, argila, areia, etc), definição de traçado de obras civis lineares, seleção de sítios para disposição final de resíduos e rejeitos urbanos, recuperação ambiental de locais contaminados (solo e água subterrânea), elas não substituem os ensaios rotineiros convencionais físicos, mecânicos e hidráulicos típicos da geotecnia (Barroso et al. 1981; Antunes et al. 1987; Antunes, 1989; Polivanov et al. 1984; Polivanov, 1988; Gusmão Filho, 2002; Gomes, 2006) e outros.

O levantamento de solos quando acompanhado de estudos mais específicos de outros elementos físico-bióticos componentes do meio, associados às informações provenientes de interpretações úteis ao planejamento, não só facilita as análises geotécnicas, ao fornecer um quadro mais completo do meio, como possibilita apontar as limitações e potencialidades do meio físico para uso e ocupação das terras para diversos objetivos. Mas, segundo Antunes et al. (2011), em virtude do grau de especialização dos trabalhos de mapeamentos de solos e por não envolverem dados que propiciem uma adequada inferência de condições prováveis do subsolo, tais informações podem não ser plenamente entendidas ou adequadamente utilizadas

no desenvolvimento de estudos preliminares de ordem geológico-geotécnico. Antunes et al. (2011), buscou em seu trabalho elencar indicadores de ordem geo-pedológica específicos requeridos no planejamento urbano, em obras lineares e para disposição de resíduos sólidos. Nesse sentido, a interpretação pedo-geotécnica apresentada nesta seção busca correlacionar conhecimentos pedológicos e geotécnicos, e segue o modelo proposto e desenvolvido por Antunes et al. (2011) e demais autores citados.

6.3.1 Correlação Geo-pedológica

O relevo é um parâmetro importante em atividades geotécnicas, como sugerido em Antunes et al. (2011) foram acrescentados números às respectivas legendas geotécnicas quando a mesma classe de solo ocorre em várias fases de relevo. A Tabela 29 mostra algumas considerações de forma generalizadas entre as classes de solos mapeadas e seus significados geotécnicos, a Tabela 30 mostra a correlação entre a legenda pedológica e pedogeotécnica, essa Tabela é complementada com a descrição de alguns atributos e horizontes diagnósticos usados na classificação dos solos sob o ponto de vista pedológico. Foram descritos apenas os atributos considerados de relevância geotécnica que ocorrem na área de estudo. Assim, foi acrescentado à respectiva unidade geotécnica um número de 1 a 4, em função do relevo onde ocorrem e das características pedológicas apresentadas. A Figura 35 mostra o mapa geo-pedológico da área.

Tabela 29 - Síntese da correlação geo-pedológica.

Classificação Pedológica - SiBCS	Classificação Geotécnica
<p>ARGISSOLOS Desenvolvidos de rochas cristalinas. Horizonte Diagnóstico B textural (Bt), com estrutura em blocos.</p>	<p>SOLO RESIDUAL não saturado Diferença textural entre A e B. Suscetível à erosão superficial. Raros casos de material de origem alóctone, (na área ocorre na classe do Argissolo Amarelo). Indicação de Perfil de Intemperismo</p>
<p>CAMBISSOLOS HÁPLICOS Desenvolvidos de rochas cristalinas (fragmentos de rochas na matriz argilosa com relação silte / argila > 0,7), depósitos de encostas e de sedimentos aluviais. Podem ocupar relevos acidentados ou ondulados. Horizonte diagnóstico B incipiente (Bi). Ricos em minerais primários facilmente intemperizáveis quando residuais. Os Cambissolos Húmicos possuem espessa camada superficial rica em matéria orgânica (horizonte A húmico) que os diferencia dos Cambissolos Hápicos.</p>	<p>Podem indicar colúvios ou tálus quando ocupam relevos acidentados. Neste caso é indicativo de áreas potenciais de movimentos de massas.</p>
<p>CAMBISSOLOS FLÚVICOS Os formados em relevos plano desenvolvidos de sedimentos fluviais, areno-argilosos e argilosos</p>	<p>Solos Compressíveis</p> <p>SOLO TRANSPORTADO Podem ser indicativos de solos transportados, quando desenvolvidos de sedimentos em relevos planos.</p>

são denominados de Cambissolos Flúvicos.	
<p>LATOSSOLOS Horizonte diagnóstico B latossólico (Bw), profundo. Mais de 2 metros de espessura. Argila flocluladas (100%). Textura muito argilosa ou argilosa ou média dependendo do material de origem (diques rochas básicas, gnaisses, rochas alcalinas, sedimentos e arenitos) Presença de óxi-hidróxidos de ferro e alumínio. Relação silte / argila < 0,7. Os Latossolos Húmicos possuem espessa camada superficial rica em matéria orgânica (horizonte A húmico) que os diferenciam dos Latossolos típicos.</p>	<p>SOLO não saturado O Horizonte B pode ser residual, transportado ou coluvial. Baixa saturação por bases e atividade da argila baixa. Fração argila caulínítica ou oxidica ou mistura de ambos. Solos de boa drenabilidade. Indicativos de jazidas de argila.</p> <p>Solos Compressíveis</p>
<p>NEOSSOLOS Solos poucos evoluídos. Sequência de horizontes A-R , A-C ou A-CR. Ocupam várias fases de relevo. Os formados em relevo montanhosos ou forte ondulados são os Neossolos Litólicos e apresentam caráter lítico. Os formados em relevos plano desenvolvidos de sedimentos fluviais, areno-argilosos e argilosos são denominados de Neossolos Flúvicos</p>	<p>Podem ser indicativos de solos residuais, afloramentos de rocha quando desenvolvidos de rochas cristalinas e ocupam relevo movimentado.</p> <p>Podem ser indicativos de solos transportados, quando desenvolvidos de sedimentos em relevos planos.</p>
<p>GLEISSOLOS Horizonte diagnóstico Glei de coloração cinzenta, esverdeada ou azulada, em função da redução de ferro ou manganês. Ocupam áreas de relevo plano, desenvolvidos de sedimentos recentes. Indicativo de hidromorfismo.</p>	<p>SOLO TRANSPORTADO saturado, sujeito a inundações nos períodos de precipitação intensa.</p> <p>Quando possuem sais solúveis e materiais sulfídricos podem ser potencialmente corrosíveis.</p>

Fonte: Modificado de Antunes et al. (2011).

Argissolos (P) : Apresentam sequência de horizontes A-B-C na parede do perfil, tendo como horizonte diagnóstico o B textural (Bt), que representa um horizonte de acumulação de argila. O aumento do teor de argila em profundidade caracteriza a diferença textural entre os horizontes superficiais e sub-superficiais, ou seja, incremento de argila no horizonte B em relação ao A. Na área de estudo distribuem-se em várias fases de relevo, sua gênese está ligada aos produtos de decomposição das rochas do cristalino e pequenas áreas de material coluvial e depósito de tálus, como ocorre na classe do Argissolo Amarelo sob relevo suave ondulado. A fração argila dominante é de atividade baixa, sendo constituída basicamente por caulinita e óxi-hidróxidos de ferro e alumínio, anexo 2.

São considerados em geotecnia solos não saturados que podem estar associados a perfis de intemperismo, principalmente os que ocorrem em relevo suave ondulado e ondulado, tendo

como material fonte as rochas cristalinas, com exceção do Argissolo Amarelo. Os que ocorrem em relevo forte ondulado podem estar associados a afloramentos de rochas. Em função da diferença textural entre os horizontes A e B se tornam mais propensos a processos erosivos, principalmente após o desmatamento. Os solos que ocupam as paisagens formadas por relevo forte ondulado foram destinados à preservação ambiental.

Os solos desta classe que ocorrem em relevo mais vigoroso estão sujeitos a movimentos de massa, principalmente os que tem contribuição de materiais coluviais e de tálus em sua formação, ou em relevos montanhosos e escarpados. Essa classe de solos caracteriza-se também por possuir solo maduro (horizonte B) de pequena espessura (menor que 1 metro) não sendo indicativo para extração de argila. O conjunto de características dessas classes favorece a sua indicação para ocupação urbana, respeitando-se as condições de relevo e do substrato local. No mapa pedogeotécnico a legenda dessa unidade é: GP1 - Unidade geo-pedológica argissolo em relevo plano e suave ondulado; GP2 - Unidade geo-pedológica argissolo em relevo ondulado; GP3 - Unidade geo-pedológica argissolo em relevo forte ondulado e GP4 - Unidade geo-pedológica argissolo em relevo montanhoso e escarpado. Como a unidade GP4 tem pouca representativa individual na área, as pequenas manchas onde ocorrem foram incluídas na unidade GP3. Também, inclui-se na unidade GP1 pequenas áreas de Argissolo Amarelo desenvolvidos de materiais coluviais e de tálus, sem representatividade cartográfica na escala adotada, para serem delineados de forma separada.

Cambissolos (C)

Compreende solos com horizonte diagnóstico Bi (incipiente), que representa um horizonte pouco desenvolvido podendo conter materiais primários e fragmentos de rocha. Apresentam sequência de horizontes A, Bi e C com ou sem r (rocha). Ocorrem em relevos acidentados ou planos. Os desenvolvidos em relevo acidentado podem ser residuais ou de depósitos coluviais ou de tálus. Os de relevo plano são desenvolvidos de sedimentos. Ocorrem na área três classes de Cambissolos, háplicos, húmicos e flúvicos (CX, CH e CY), quando húmicos o horizonte A (superficial) ultrapassa a profundidade de 120cm. A classe dos Cambissolos Háplicos e Húmicos tem como material de origem produtos de decomposição de rochas do cristalino e/ou de depósitos coluviais ou de tálus. A classe dos Cambissolos flúvicos tem como material de origem produtos de sedimentos.

Para a geotecnia os Cambissolos Háplicos foram divididos em 3 unidades geotécnicas em função do relevo e de suas características descritivas. GCX1 - unidade geo-pedológica Cambissolo Háptico em relevo plano e suave ondulado; GCX2 - unidade geo-pedológica

Cambissolo Háplico em relevo ondulado; GCX3 – unidade geo-pedológica Cambissolo Háplico em relevo forte ondulado. GCX4 – unidade geo-pedológica Cambissolo Háplico em relevo montanhoso e escarpado. Como a unidade GCX3 tem pouca representativa individual na área, as pequenas manchas onde ocorrem foram incluídas na unidade GCX4. O Cambissolo Húmico passou a constituir a unidade GCH4 – unidade geo-pedológica Cambissolo Húmico em relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado. O Cambissolo Flúvico passou a constituir a unidade GCY1 - unidade geo-pedológica Cambissolo Flúvico em relevo plano e suave ondulado. Como ela tem pouca representativa individual na escala adotada, ocorrendo sempre associada com os solos Neossolos Flúvicos, no mapa ela é representada junto com a unidade GRY (Neossolos Flúvicos).

Latossolos (L)

Solos que apresentam horizontes minerais A, B, C, tendo como horizonte diagnóstico o horizonte B latossólico (Bw), caracterizado por ser um horizonte altamente intemperizado, constituído por uma fração argila de baixa atividade, tendo quantidades variáveis de caulinita e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio. O horizonte B latossólico (Bw) deve possuir espessura mínima de 0,50m para ser enquadrado na classe dos Latossolo. Na área de estudo a soma dos horizontes Bws normalmente ultrapassam os 200cm, constituindo solos profundos e muitos profundos e os latossolos húmicos ultrapassam a profundidade de 3m.

Estes solos distribuem-se em várias fases de relevo e, em certas áreas, estão associados a Cambissolos, são formados a partir de depósitos coluviais, tendo como substratos rochas metamórficas e ígneas. Sob o ponto de vista geotécnico, são solos não saturados, cuja fração argila é de baixa atividade. Quando ocorrem em relevo forte ondulado e montanhoso devem ser destinados a preservação ambiental. Ocorrem na área três classes de latossolos: Latossolos Amarelo (LA), Latossolo Vermelho (LV) e Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), na classe dos Latossolos Amarelos ocorrem solos com horizonte A moderado, proeminente e húmico.

Os Latossolos foram subdivididos em três unidades geotécnicas em função do relevo e de suas características descritivas: GL1 - unidade geo-pedológica latossolo em relevo plano e suave ondulado; GL2 - unidade geo-pedológica latossolo em relevo ondulado e GL3 - unidade geo-pedológica latossolo em relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado.

Os Latossolos Húmicos passaram a constituir as unidades: GLH3 – unidade geo-pedológica Latossolo Húmico em relevo forte ondulado. GLH4 – unidade geo-pedológica Latossolo Húmico em relevo montanhoso e escarpado.

Tabela 30 - Correlação entre legenda pedológica e pedo-geotécnica.

Legenda Pedológica	Legenda Pedo-Geotécnica	Sub-Legenda Pedo-Geotécnica
ARGISSOLO (P)	GP	1,2,3 e 4 em função do relevo
Argissolo Vermelho (PV)	GP	e transição para outra classe solo
Argissolo Amarelo (PA)	GP	
Argissolo Vermelho - Amarelo (PVA)	GP	
CAMBISSOLO (C)	GC	1,2,3 e 4 em função do relevo
Cambissolo Háplico, (CX)	GCX	
Cambissolo Húmico (CH)	GCH	
Cambissolo Flúvico (CY)	GCY	
LATOSSOLO (L)	GL	1,2,3 e 4 em função do relevo
Latossolo Amarelo (LA)	GL	
Latossolo Vermelho - Amarelo (LVA)	GL	
Latossolo Vermelho (LV)	GL	
Latossolo Amarelo Húmico (LAH)	GLH	1,2,3 e 4 em função do relevo
NEOSSOLO (R)	GR	1,2,3 e 4 em função do relevo
Neossolo Litólico (RL)	GRL	
Neossolo Flúvico (RY)	GRY	
GLEISSOLO (G)	GG	1, em função do relevo
Gleissolo Háplico (GX)	GGX	

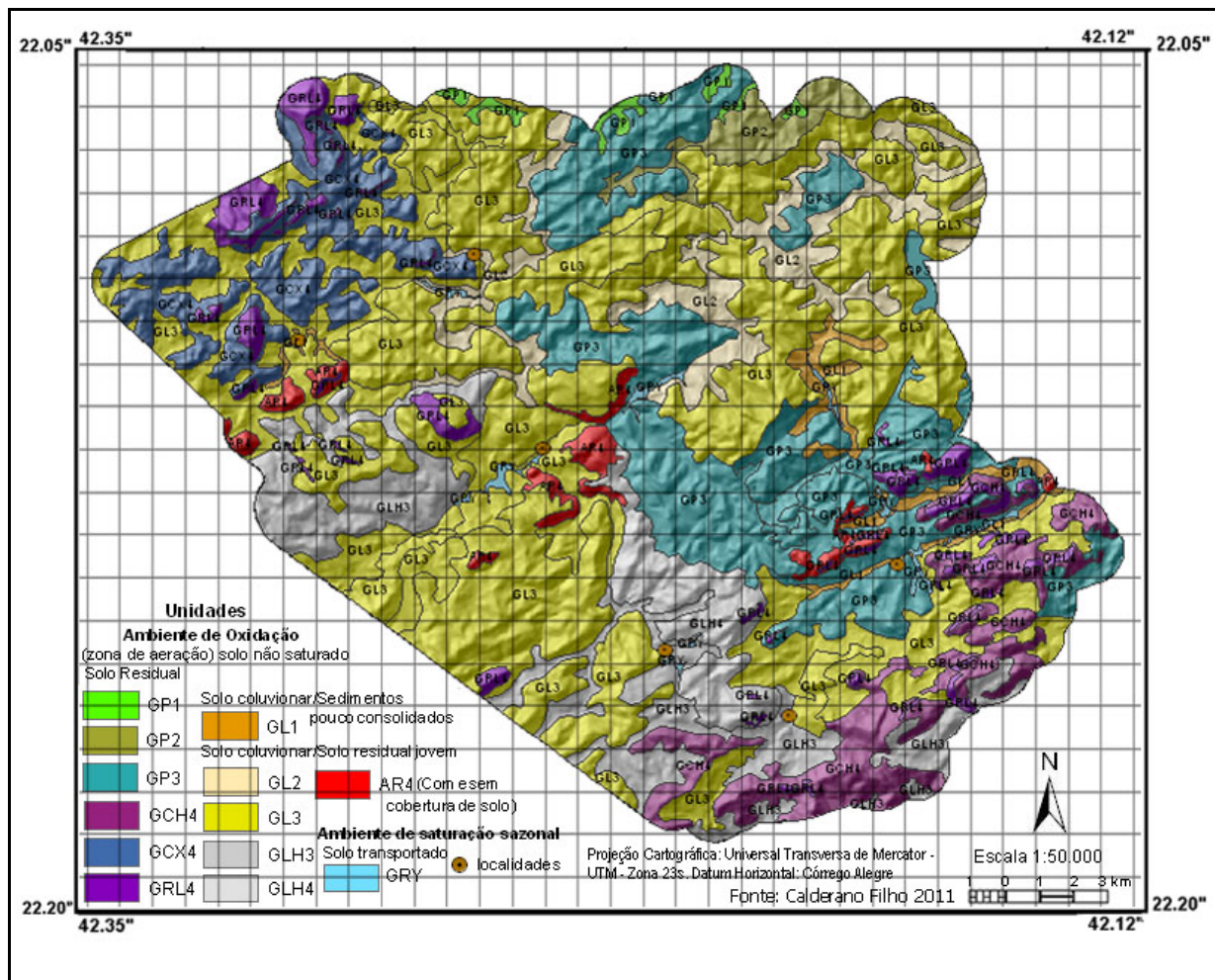
Fonte: Baseado em Antunes et al. (2011).

Neossolos (R)

São solos pouco evoluídos, constituídos de material mineral, com sequência de horizontes A/R, A/C ou A/Cr não tendo um horizonte B bem definido. Ocupam várias fases de relevo e são desenvolvidos de materiais de origem diversos, em função disso recebem as seguintes denominações: Neossolo Litólico – apresentam sequência de horizontes A/Cr ou A/R, com contato lítico. Ocorrem em relevo montanhoso e forte ondulado, associados a afloramento de rocha e Cambissolos, corresponde à unidade geo-pedológica GRL (Neossolo Litólico); Neossolo Flúvico – apresentam sequência de horizontes A/C, correspondem aos antigos solos aluviais e ocupam áreas de relevo plano. São derivados de sedimentos areno-argilosos ou argilosos e possuem origem fluvial. Corresponde à unidade geo-pedológica (GRY).

Sob o ponto de vista geotécnico, os Neossolos Litólicos são solos rasos que ocorrem associados aos afloramentos de rochas (tipicamente cristalinas), na área ocorrem associados ainda, aos Cambissolos Háplicos e Húmicos (classes CX e CH) e outras classes de solos que ocorrem na mesma fase de relevo (áreas de relevo forte ondulado e montanhoso). Ocupam áreas de relevo movimentado e podem ser indicativas de solos residuais, são desenvolvidos de rochas cristalinas. Quando associados a afloramentos de rocha e em relevo movimentado, devem ser indicados como área de preservação ambiental. O Neossolo Litólico caracteriza a unidade GRL, unidade geo-pedológica Neossolo Litólico. Os Neossolos Flúvicos são solos

transportados, desenvolvidos de sedimentos areno-argilosos ou argilosos. Ocupam áreas de relevo plano e embora sejam considerados solos não saturados, podem estar sujeitos a inundações nos períodos mais chuvosos. Na área ocorrem associados aos Cambissolos Flúvicos e Gleissolos Háplicos. Para a geotecnia caracteriza a unidade GRY, unidade geo-pedológica Neossolo Flúvico.



Fonte: Confeccionado pelo autor.

Figura 35 – Mapa geo-pedológico da área.

Gleissolos (G): São solos minerais hidromórficos desenvolvidos de sedimentos recentes. Ocupam relevo plano, tendo como característica diagnóstica a presença de um horizonte Glei, formado em ambiente hidromórfico, caracterizado por cores de redução de ferro (cinza, preto, esverdeado). Ocorrem nas áreas de várzeas, são mal ou muito mal drenadas, onde o lençol freático fica elevado durante grande parte do ano. São solos geralmente argilosos com sequência de horizontes A e C, desenvolvidos de sedimentos fluviais. Na área de estudo ocorrem apenas a classe do Gleissolos Háplicos (Gx) assim mesmo, em pequenas inclusões associados aos Cambissolos Flúvicos e Neossolos Flúvicos. Constituem a unidade geo-

pedológica GG, não separados individualmente na escala adotada.

Sob o ponto de vista geotécnico, são solos saturados, que ocorrem em relevo plano e em vários casos sujeitos a alagamentos em épocas de precipitação mais intensa, principalmente os gleissolos de textura argilosa. O baixo pH os tornam com potencial de corrosão mais elevado. São solos não indicados para ocupação urbana e disposição de resíduos.

Considerações finais

Considerando os resultados da interpretação geo-pedológica apresentada acima, são feitas algumas considerações do significado de tais informações dentro do contexto geotécnico. As unidades geo-pedológicas (GP, GCX, GCH, GL, GLH e GRL) incluem solos da classe dos Argissolos, Latossolos, alguns tipos de Cambissolos e Neossolos Litólicos. Estas classes são representativas de solos das terras altas, formados em zona de oxidação, sem influência do lençol freático na sua gênese, ocupam várias feições de relevo e são formadas a partir de materiais de origens diversificados, de produtos de decomposição das litologias referidas no capítulo quatro e listadas na Tabela 32, com ou sem contribuição de colúvios e tálus. São áreas sujeitas a movimentos de massa, principalmente em relevos montanhosos e escarpados e onde os solos são desenvolvidas de materiais colúviais e de tálus.

As unidades geo-pedológicas (GGX, GCY e GRY) incluem solos da classe dos Gleissolos e alguns tipos de Cambissolos e Neossolos, como os Cambissolos Flúvicos e Neossolos Flúvicos. São solos representativos das terras baixas, formadas nas áreas planas sob a influência ou não do lençol freático. São desenvolvidos de sedimentos de granulometria diversificada, com diferentes texturas, que foram depositados ao longo das calhas de rios, córregos e áreas de várzeas. Neste agrupamento, apenas os Gleissolos (G) têm a sua gênese ligada à condição de hidromorfismo permanente.

Na unidade geo-pedológica (GRL) de relevo montanhoso e escarpado, pode ocorrer, no período chuvoso, deslizamentos superficiais resultantes do contato solo-rocha, o mesmo pode acontecer em alguns tipos de Cambissolos, como Cambissolos Háplicos e Húmicos em relevo mais vigoroso, unidades geo-pedológicas GCX e GCH. Isso ocorre em função da diferença de permeabilidade entre a camada delgada de solo e a rocha subjacente em períodos de intensas precipitações.

Na classe dos Argissolos e Latossolos, unidades geo-pedológica (GP e GL), Antunes et al. (2011), comenta que estes solos desenvolvem perfis com horizonte C ou solo residual jovem de espessuras consideráveis associadas a elementos estruturais reliquiares, e quando sujeitas à

ação antrópica, estas áreas são consideradas como potencialmente susceptíveis à ocorrência de movimentos de massa (desenvolvimento de processos erosivos e deslizamentos). Observou-se em trabalhos de campo, principalmente na classe do Argissolo Vermelho, Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Amarelo, espessos perfis de intemperismo com contribuição de material mais micáceo ou estruturas reliquiares no material de origem, ao efetuar cortes nestes solos para fins de traçado de estradas vicinais, os taludes resultantes ficaram mais predispostos ao desenvolvimento de escorregamentos e processos erosivos, principalmente nos períodos mais chuvosos.

Antunes et al. (2011) destaca que a classe dos Latossolos e Argissolos desenvolvidos em climas tropicais, originam espessos perfis de solos com destaque para o horizonte C (solo residual jovem ou saprolítico), após várias décadas, adquirem uma morfologia que pode apresentar certa estabilidade a partir do desenvolvimento de mecanismos hidráulicos internos próprios. Mas quando esses solos são submetidos a intervenções inadequadas, o equilíbrio adquirido no tempo geológico é comprometido, ficando sujeitos a processos erosivos superficiais e sub-superficiais, inclusive com desenvolvimento de voçorocas e ocorrências de deslizamentos de várias proporções (Antunes et al. 2011).

Na classe dos Cambissolos Háplicos e Húmicos, unidades geo-pedológicas GCX e GCH, principalmente os associados às áreas onde ocorrem depósitos coluviais e de tálus e sob condições de relevo forte ondulado e montanhoso, tendem a mostrar problemas de estabilidade, ou seja, são potencialmente susceptíveis a processos de deslizamentos. Na classe dos Gleissolos, Cambissolos Flúvicos e Neossolos Flúvicos, unidades geo-pedológicas GG, GCY e GRY, estão os solos que ocorrem em regiões planas ou suaves onduladas, com declividades de até 8%. São áreas onde o lençol freático se encontra pouco profundo ou mais próximo da superfície, na maior parte do ano. Nestas áreas o maior problema é o risco ocasional de inundação na classe dos Cambissolos Flúvicos e Neossolos Flúvicos, enquanto tipicamente a classe dos Gleissolos são saturados e sujeitos a alagamentos quase que constantes, devido a influência do lençol freático mais próximo à superfície. Pode ainda estar incluso nestas áreas, alguns tipos de solos indicativos de ocorrências de solos mais expansivos e com potencial de corrosão mais elevado, que não foram detectados na escala cartográfica adotada. Assim, estas áreas não devem ser usadas para depósitos de resíduos sólidos e obras civis enterradas.

No caso de ocupação urbana, as encostas muito íngremes com de relevo forte ondulado e montanhoso, montanhoso e escarpado, onde predominam Neossolos Líticos, Cambissolos

Háplicos e Húmicos, Argissolos e Latossolos típicos e húmicos, devem ser evitadas e destinadas a outras finalidades, inclusive preservação ambiental, como comentado na descrição das unidades geoambientais. Assim como as áreas de Gleissolos, Neossolos e Cambissolos Flúvicos, que ocorrem em zonas de várzea e estão sujeitas a alagamentos constantes. No entanto, os Cambissolos e Neossolos Flúvicos que ocorrem nas áreas suave onduladas, podem suportar pequenas construções rurais, mas com as devidas obras de infraestrutura adequadas.

No caso de obras civis lineares, as áreas de Neossolos Lítólicos e Gleissolos estão excluídas, nas outras classes de solos e unidades geo-pedológicas deve-se analisar caso a caso, mas todas as áreas de relevo montanhoso e escarpado são destinadas à preservação ambiental e nas áreas onde ocorre depósitos de tálus esse tipo de obra deve ser evitado. No caso de depósitos de resíduos sólidos, Antunes et al. (2011) comenta que alguns aspectos específicos são, tipicamente, mandatórios, quais sejam: necessidade do aterro se situar em local com nível de água inferior a pelo menos 3m abaixo da superfície do terreno e disponibilidade de material argiloso para cobertura diária, material pedregulhoso para construção de drenos de gás e drenagem superficial e de areia para drenagem de base. Áreas de depósito de tálus e encostas muito íngremes são inadequadas para a implantação de tal tipo de empreendimento. Assim como as áreas de várzea, onde ocorrem os Cambissolos Flúvicos, Neossolos Flúvicos e Gleissolos. Outros comentários sobre alguns usos geotécnico das classes de solos foram incluídos na descrição das classes de solos, capítulo quatro e descrição das unidades geoambientais, capítulo sete, para informações mais detalhadas quanto ao assunto, recomendo consultar Oliveira (2008), Gomes (2006), Antunes et al. (2011) e demais autores citados.

6.4 - Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental

A avaliação da vulnerabilidade do meio físico de um determinado ecossistema ou segmento da paisagem é um tema relativamente complexo, que depende da avaliação integrada das diversas características intrínsecas dos elementos geobiofísicos componentes da paisagem. A vulnerabilidade pode ser entendida como o “status” de condições específicas dos ecossistemas ou segmento da paisagem, em análise. Onde, os graus de tolerância do meio físico natural (vulnerável ou estável) podem ter suas condições específicas de equilíbrio alteradas, ou por fatores de ordem natural ou provocada pela interferência da ação humana. Nesse sentido, a avaliação da vulnerabilidade é uma função dependente da análise integrada das condições geológicas, pedológicas, geomorfológicas, climáticas, hidrogeológicas e dos diversos atributos geobiofísicos dos elementos componentes do meio (topografia, tipos de

solo, litologias, substratos, índices pluviométricos e outros), inerentes à área de estudo. Os totais pluviométricos elevam ou diminui o grau de vulnerabilidade, e a vegetação funciona como efeito protetor e capacidade de amortizar ou amenizar a ação das águas.

O diagnóstico das características geoambientais dominantes em determinado ecossistema, possibilita entender e reconhecer as ofertas e restrições ecológicas a que os elementos componentes da paisagem estão submetidos, inferindo assim, a sua capacidade de resistir ou não às transformações e quais interferências podem romper o seu equilíbrio, provocando ou não a sua degeneração. Essas ofertas e restrições ambientais condicionam os componentes ambientais a um determinado nível de instabilidade ou estabilidade, ante os impactos, provocando mudanças, mas não significando necessariamente que vão degenerar. Isso requer atenção especial a sua gestão ambiental, já que qualquer alteração em seu equilíbrio pode ter consequências graves. A vulnerabilidade ambiental das terras varia em função dos solos, do clima, tipos de uso, uso de produtos químicos, etc, sua avaliação abrange a análise do potencial e riscos (Batjes & Bridges, 1997). Ela fornece um “status” da situação atual, difere da avaliação de riscos que são previsões futuras (ISRIC& FAO, 2000).

A qualidade ambiental é um conceito mais complexo e pode ser entendida como a condição em que se encontra a área ou ecossistema em função de suas propriedades, atributos ou dotes naturais ou o grau de comprometimento ante o impacto das atividades produtivas. É um conceito de difícil definição por envolver vários outros como: estabilidade, fragilidade, sensibilidade, vulnerabilidade, suscetibilidade e outros similares, em graus diferenciados. Visto que há diferentes enfoques que atendem os preceitos e a resposta dos componentes como solos e água ao próprio conceito de qualidade e o que se considera como tendo qualidade. O fato é que qualquer atividade produtiva, ou ação transformadora, irá alterar a qualidade primitiva de uma área ou ecossistema, embora a mudança não signifique perda ou ganho no novo quadro da qualidade. Isso vai depender da estabilidade ou fragilidade dos componentes ambientais e do tipo de ação transformadora, ou seja, da maior ou menor vulnerabilidade dos componentes ante a pressão da atividade.

Nesse sentido, tanto a qualidade, como a vulnerabilidade e a fragilidade envolvem graus distintos de sensibilidade, estabilidade e suscetibilidade dos componentes ambientais, a determinado risco, proveniente de qualquer alteração em seu equilíbrio, causada ou por fatores de ordem natural ou provocada pela interferência da ação humana. Por sua vez, a sensibilidade pode ser compreendida como a capacidade de resposta ou intensidade do sinal de resposta, que indica a menor diferença ou alteração, mediante a intensidade do sinal de

entrada. É um conceito relacionado à capacidade amortizadora, onde a maior capacidade implica em menor sensibilidade. Enquanto a suscetibilidade refere-se ao desgaste que determinado componente poderá sofrer quando submetido ao uso, sem medidas protetoras.

Tomando como exemplo o recurso solo, os atributos, propriedades e características, físicas, químicas, mineralógicas e biológicas, inerentes à sua gênese, lhe condiciona e proporciona um efeito protetor que está relacionado à capacidade que tem o solo de inativar os efeitos negativos de um determinado impacto que produz ou pode produzir modificações significativas, ou como sua capacidade de amortizar os efeitos negativos em sua qualidade. Nesse sentido, os solos diferem enormemente em sua susceptibilidade de melhoramento e degradação. Conceitos como o de sensibilidade, vulnerabilidade, suscetibilidade e outros similares, que demonstram as importantes diferenças de comportamento dos solos frente a uma mesma carga de agentes agressores, têm sido amplamente utilizados, buscando diferenciar os riscos potenciais de diferentes atividades ou para prever as consequências da continuação das atividades sob as condições atuais. Ou ainda, para estimar os impactos potenciais e o planejamento das atividades permitidas e proibidas em cada tipo de solo delimitado.

A maior ou menor sensibilidade do ambiente ante as influências sofridas está na dependência direta dos componentes individualizados, que por sua vez é função da interação de seus atributos e propriedades ou até mesmo de sua carga genética (hereditária). Assim, teríamos graus distintos de instabilidade e estabilidade em função de cada recurso separadamente e em função das ações e interferências implementadas em cada recurso, dentro de determinado grupo de atividades, ou seja, para os solos, água, relevo, vegetação, etc, ou para ações específicas como: agricultura (tipos de práticas, etc) e mineração (retirada de areia da calha, etc). A análise total seria obtida conjugando com a de cada componente, o que resultaria na qualidade do ambiente como um todo. Assim, pode-se encontrar na literatura diferentes enfoques como mapas de risco, sensibilidade, vulnerabilidade, degradação física, etc, como o projeto SOVEUR, que avalia a vulnerabilidade e o “status” da degradação das terras na Europa Central e Oriental (ISRIC & FAO, 2000). O importante é que todos ajudam a tomar decisões sobre o uso dos recursos ambientais evitando custos de recuperação futuras, onde às vezes a degradação após instalada é irreversível.

Na presente avaliação, o termo vulnerabilidade das terras está relacionado à fragilidade das terras para fins de exploração agropecuária, obras superficiais de engenharia, identificação de áreas de risco, definição de locais para aterros sanitários e cemitérios, áreas sujeitas à

contaminação do lençol freático, de importância ecológica e/ou recreativa. Para estudos específicos de geotécnia e obras mais complexas de engenharia, a avaliação em apreço não atente de imediato, devido as limitações da escala de trabalho adotada e ausência de estudos mais específicos do subsolo e substrato geológico, como análise de densidade, testes de resistência, etc. Avaliando-se apenas o solo isoladamente, verifica-se que, de acordo com suas características intrínsecas, estes possuem capacidades que diferem enormemente em seu potencial de suporte e sua susceptibilidade de melhoramento às causas da degradação. A análise empírica da fragilidade envolve estudos básicos do relevo, da litologia, da estrutura do solo, do uso da terra e do clima (Ross, 1996). Em uma abordagem qualitativa da vulnerabilidade das terras, pode-se relacionar a susceptibilidade à erosão das áreas de encosta, a condição de drenagem das áreas de baixada e fatores climáticos, especialmente precipitação.

A maioria dos métodos de avaliação da suscetibilidade e vulnerabilidade ambiental propostos na literatura envolve a integração de mapas temáticos dos fatores indicadores de fragilidades, como informações de solos, geologia, relevo, declividade e precipitação. No presente estudo a avaliação da vulnerabilidade das terras foi elaborada a partir das informações contidas no diagnóstico geoambiental, limitados à escala de 1:50.000, e considerou fatores ambientais inerentes a área de estudo, principalmente características referentes aos solos, rochiosidade, pedregosidade, relevo, drenagem, declividade, pluviosidade, litologias, cobertura vegetal, entre outros. Cabe observar que para o propósito específico de estudos geotécnicos em núcleos urbanos de pequeno porte, como é o caso das cidades e distritos inseridas na área de estudo, além da escala 1:50.000 não atender à este propósito, vários outros ensaios de laboratório e análises específicas deveriam ter sido realizadas, e não foram, por não ser o objetivo deste trabalho.

As características inerentes ao solo consideradas foram textura, estrutura, profundidade efetiva, porosidade, permeabilidade, densidade do solo, capacidade de permuta de cátions, saturação de bases, teor de matéria orgânica e pH. Com relação à condição de drenagem dos solos de baixada, foi considerada a permeabilidade inerente a cada solo, a qual depende de sua textura, teor de matéria orgânica, tipo de argila, tipo de estrutura, presença de gradiente textural, camada cimentada e/ou de impedimento, além da altura do lençol freático e o risco de inundação devido a proximidades de rios, córregos e lagos. Encontra-se inserido na avaliação da vulnerabilidade das terras, o estudo da susceptibilidade à erosão do solo, sabe-se que as áreas mais propensas à erosão são mais vulneráveis que outras áreas mais estáveis do ponto de vista geotécnico. Nesse sentido, quanto mais baixa a classe de vulnerabilidade

assinhalada no mapa, mais alta será estabilidade do ambiente onde se insere. Por outro lado, isso não isenta tais áreas de outros riscos ambientais, como é o caso das áreas planas e suavizadas, que estão sujeitas a inundação ocasional e são áreas de acumulação de clásticos.

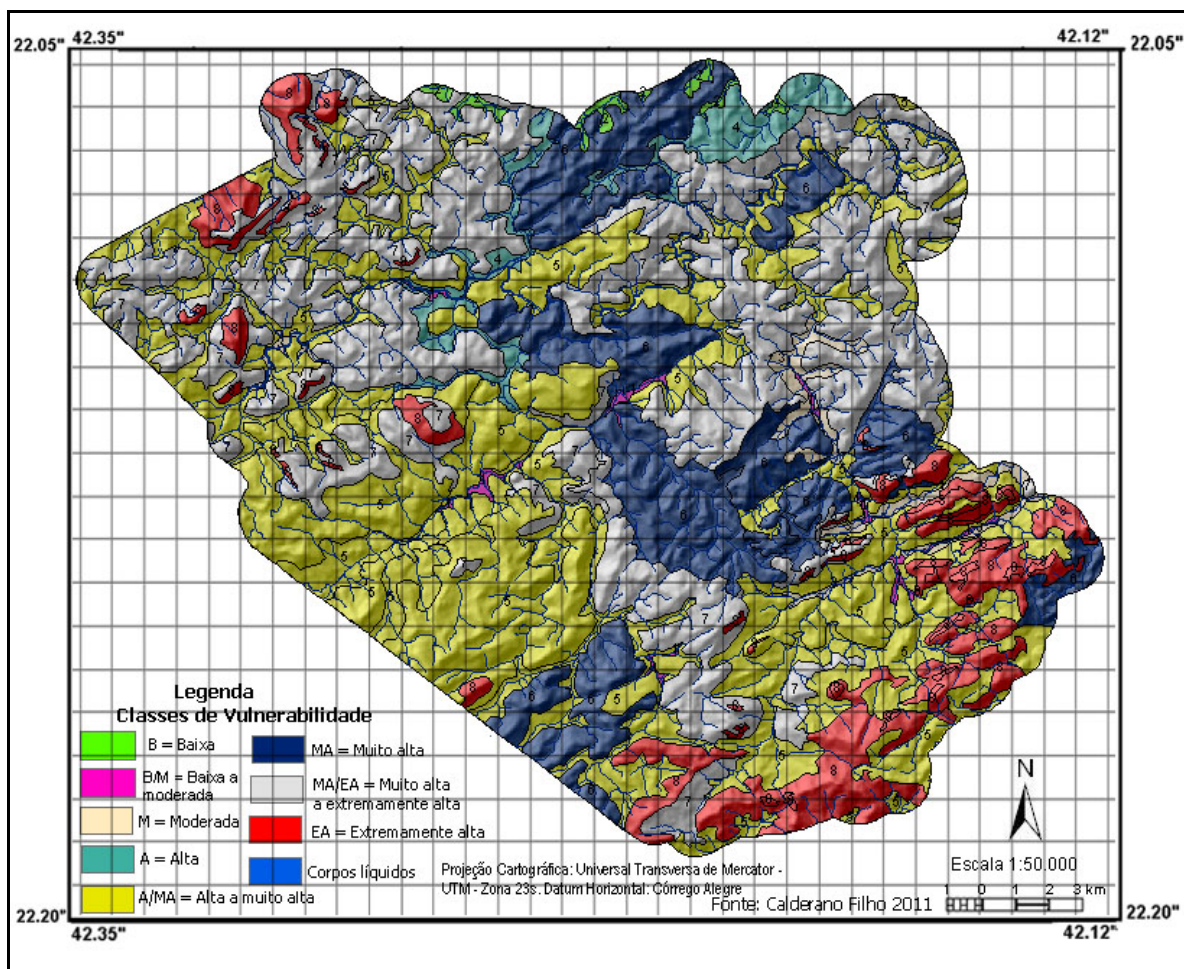
Por ser uma área montanhosa, os fatores preponderantes de maior peso, como condicionantes da vulnerabilidade são a declividade, tipos de solos, tipos de rochas e índices pluviométricos, estando os condicionantes uso e cobertura atual em segundo plano, como fatores que podem induzir ou amenizar a degradação. A precipitação é um índice variável por sub-bacias que compõe a área de estudo, e se baseou nos totais pluviométricos (séries 1941 a 2008 e 1966 a 2008) das estações pluviométricas citadas no capítulo quatro. Onde ocorrem situações de relacionamentos entre extremos de vulnerabilidade segundo a declividade com extremos de vulnerabilidade segundo fatores pedológicos, o uso e cobertura atual aliado às características do solo, como drenagem, rochosidade, pedregosidade e vegetação original funcionou como contrapeso.

Foram identificados os principais fatores relacionados à vulnerabilidade das terras, conforme avaliações realizadas por Batjes & Bridges (1997) e ISRIC & FAO (2000). As terras foram separadas, segundo sugestão de Ross (1996), em terras altas, ou seja, unidades morfológicas que apresentam formas denudacionais e estão suscetíveis a processos de perda, principalmente por erosão e terras baixas, que são unidades morfológicas que possuem formas agradacionais e estão sujeitas a processos de acumulação. Para as terras altas considerou-se: espessura do solum, transição entre horizontes (gradiente textural), tipo de textura e composição granulométrica, argilas expansivas, relevo, rochosidade, pedregosidade, camadas adensadas ou impeditivas em subsuperfície e cobertura vegetal. Para as terras baixas considerou-se: argilas expansivas, textura arenosa ou errática ao longo do perfil, camadas orgânicas, camadas adensadas em subsuperfície, concentração de sais, declividade, risco de inundação, profundidade sazonal do lençol freático e cobertura vegetal. Para avaliação da drenagem foram contemplados o risco de inundação e a profundidade sazonal do lençol freático.

As informações sobre os atributos e propriedades dos solos, bem como resultados de análises, encontram-se detalhadas no capítulo quatro e no anexo 3. Para a vegetação e cobertura atual utilizou-se os resultados do mapa de uso e cobertura das terras, como efeito protetor e capacidade de amortizar ou amenizar a ação das águas. A avaliação foi realizada de maneira comparativa, em primeira instância, seguindo-se a classificação pedológica, posteriormente, fez-se uma comparação dentro das unidades de mapeamento entre as

unidades taxonômicas, respeitando-se as limitações de cada componente e a sua representatividade na unidade. Fez-se a opção por uma avaliação qualitativa e uma carta mais genérica, voltada para o meio físico, buscando assim atender o planejamento geoambiental.

Para a geração do mapa utilizou-se o método da sobreposição temática, associado a hierarquização de atributos conforme Tabela 26, em ambiente de geoprocessamento, o que possibilitou o estabelecimento de cinco classes básicas de vulnerabilidade/estabilidade frente às diversas condicionantes do meio físico em geral e o enquadramento final das terras na área de estudo em oito classes de vulnerabilidade. A área de estudo foi sub-dividida em terras altas e terras baixas, e classificadas nas classes de vulnerabilidade: Baixa (B), Baixa a Moderada (B/M), Moderada (M), Alta (A), Alta a Muito Alta (A/AM), Muito Alta (MA), Muito Alta a Extremamente Alta (MA/EA) e Extremamente Alta (EA), descritas a seguir: Na Tabela 31, são apresentadas as classes de vulnerabilidade e os fatores condicionantes para a classificação das terras, a Figura 36 mostra a distribuição espacial das classes de vulnerabilidade ambiental.



Fonte: Confeccionado pelo autor.

Figura 36 - Distribuição espacial das classes de vulnerabilidade ambiental.

6.4.1 - Classes de Vulnerabilidade Ambiental

Classe 1 - Vulnerabilidade baixa, condicionada por risco ocasional de inundação e presença do lençol freático, próximo a superfície. Compreende parte das terras baixas, onde se inclui áreas de alvéolos intermontanos e áreas rebaixadas, entulhadas por material deposicional, com maior umidade e sujeitas a menores riscos de inundações que as áreas planas de várzeas. O relevo é suave ondulado, declividades de 3 a 8%, a vegetação predominante é de floresta tropical subperenifólia de várzea, onde se desenvolvem solos com profundidade variada e drenagem imperfeita em certos locais, com drenabilidade variando de mal a moderadamente drenados. Os solos predominantes são Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho Amarelo e Argissolo Amarelo com horizonte A moderado e proeminente, que ocorrem associados à Neossolos e Cambissolos Flúvicos, todos com argila de atividade baixa, álicos e distróficos, textura variável de média, argilosa, argilosa/muito argilosa e média/argilosa, ocupados com plantio de olerícolas, capineiras, flores ornamentais, fruticultura e capoeira. São terras pouco suscetíveis à erosão. Os alvéolos, por serem áreas de baixo gradiente, possibilitam a formação de terraços fluviais deposicionais, caracterizados como áreas de parada temporária dos clásticos.

Classe 2 - Vulnerabilidade Baixa a Moderada, condicionada por textura errática, presença de camadas orgânicas, risco de inundação e nível do lençol freático elevado em algumas épocas do ano. Compreende parte das terras baixas, solos localizados em área de baixada, com relevo praticamente plano e declividade de até 3%, sob vegetação original de floresta subperenifólia de várzea, onde predominam Neossolos Flúvicos, associados a Cambissolos Flúvicos e inclusão de Gleissolos, álicos, distróficos e pieutróficos, de textura média, argilosa, média/argilosa ou muito argilosa, ocupados com plantio de olerícolas, capineiras e áreas de pousio. São terras de nula de suscetibilidade à erosão, com limitações por excesso de água e deficiência de aeração, propícias a sofrer inundações periódicas.

Classe 3 - Vulnerabilidade moderada, condicionada por declividade, presença ou não de gradiente textural, ligeira rochiosidade e pedregosidade. Compreende parte das terras altas, onde se inclui pequenas áreas de depósito de tálus. Corresponde às áreas de colinas e morros baixos, de relevo praticamente ondulado, com declividade de 8 a 14%, sob vegetação original de floresta subperenifólia, atualmente com poucos remanescentes. Os solos predominantes são Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo com horizonte A moderado, Latossolo Amarelo com horizonte A moderado e proeminente. Em menor proporção, ocorrem Argissolo Vermelho A moderado. Os solos são bem drenados, álicos e distróficos, textura

argilosa, argilosa/muito argilosa e média/argilosa, ocupados com fruticultura, olerícolas e pastagem. Estas terras apresentam moderada suscetibilidade à erosão.

Classe 4 - Vulnerabilidade alta, condicionada por declividade, textura do solo, ligeira rochosidade e pedregosidade e vegetação original de floresta tropical subperenifólia. Compreende parte das terras altas, onde ocorre áreas de depósito de tálus. Corresponde às áreas de colinas e morros baixos, de relevo ondulado, com declividade de 14 a 20%, sob vegetação original de floresta subperenifólia, atualmente com poucos remanescentes. Os solos predominantes são Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo com horizonte A moderado, Latossolo Amarelo com horizonte A moderado e proeminente. Em menor proporção, ocorrem Argissolo Vermelho A moderado e inclusão de Cambissolo Háptico. Os solos são profundos, bem drenados a acentuadamente drenados, álicos e distróficos, textura argilosa, argilosa/muito argilosa e média/argilosa, com argila de baixa atividade, ocupados com fruticultura, olerícolas e pastagem. Nas áreas de solos menos profundos, podem ocorrer matações e afloramentos de rocha, verificando-se ainda a presença de contato lítico no perfil e depósito de tálus. Estas terras apresentam moderada a forte susceptibilidade à erosão.

Classe 5 - Vulnerabilidade alta a muito alta, condicionada por espessura do solum, textura, declividade, moderada rochosidade e pedregosidade e clima. Compreende parte das terras altas, onde ocorre áreas de depósito de tálus. Corresponde às áreas de colinas e morros de relevo ondulado e forte ondulado, com declives de 14 a 20% e 20 a 30%, sob vegetação original de floresta subperenifólia. Os solos predominantes são Latossolo Amarelo Húmico, Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo, Argissolo Vermelho Amarelo e inclusão de Cambissolo Háptico com horizonte A moderado. Os solos são intemperizados, muito profundos, porosos, permeáveis, por vezes menos espessos, bem a acentuadamente drenados, álicos e distróficos, de textura argilosa, argilosa/muito argilosa e média/argilosa, com argila de baixa atividade, ocupados com fruticultura, olerícolas e pastagem. Nas áreas de solos menos profundos, podem ocorrer matações e afloramentos de rocha, verificando-se ainda a presença de contato lítico no perfil e depósito de tálus. A posição na paisagem, o relevo e a ocorrência de solos de textura média/ argilosa, conferem um maior grau de fragilidade a essa unidade. Estas terras apresentam moderada a forte susceptibilidade à erosão, devido principalmente ao relevo declivoso e às elevadas precipitações pluviométricas que incidem nessas áreas, com valores anuais atingindo até cerca de 1.500mm.

Classe 6 - Vulnerabilidade muito alta, condicionada por espessura do solum, textura, declividade, moderada rochosidade e pedregosidade, áreas com depósito de tálus e clima.

Vegetação original de floresta tropical subperenifólia. Compreende parte das terras altas, onde ocorrem áreas de depósito de tálus e poucas ocorrências de afloramentos de rochas. Corresponde às áreas de morros com menor altitude do que as serras, de relevo forte ondulado, com declives de 20 a 45%, sob vegetação original de floresta subperenifólia. Os solos predominantes são Argissolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo distróficos A moderado, típicos, câmbicos e latossólico fase rochosa e não, Argissolo Vermelho eutrófico abrupto, A moderado, textura média/argilosa, média/muito argilosa ou argilosa/muito argilosa, Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo com horizonte A moderado, proeminente e húmico, distróficos, típicos, de textura argilosa ou muito argilosa, e inclusão de Cambissolo Háptico, textura argilosa ou média/argilosa, com horizonte A moderado. Os solos são profundos a pouco profundos, porosos, permeáveis, por vezes menos espessos. São bem acentuadamente drenados, álicos, distróficos e eutróficos, com argila de baixa atividade, ocupados com fruticultura, olerícolas, pastagem e floresta natural. Nas áreas de solos menos profundos, podem ocorrer matações e afloramentos de rocha, verificando-se ainda a presença de contato lítico no perfil e depósito de tálus. Estas terras apresentam muito forte susceptibilidade à erosão.

Classe 7 - Vulnerabilidade muito alta a extremamente alta, condicionada por declividade, espessura do solum e rochosidade abundante. Compreende parte das terras altas, com elevações de menor altitude do que as serras, com relevo forte ondulado e montanhoso, declives de 20 a 45% e maior que 45%, com vertentes escarpadas e cumes aguçados com afloramentos rochosos, litologias diversificadas, domínio de floresta subperenifólia, em menor proporção ocorre vegetação rupestre nas áreas montanhosas com afloramento de rocha. Os solos predominantes são Latossolo Amarelo de horizonte A moderado, proeminente e húmico, Latossolo Vermelho com horizonte A moderado, Latossolo Vermelho-Amarelo com horizonte A moderado, fase rochosa, distróficos típicos, de textura argilosa ou muito argilosa, Argissolo Vermelho-Amarelo, distrófico típico, textura média/argilosa e argilosa/muito argilosa, com horizonte A moderado, Cambissolo Háptico e húmico, de textura argilosa ou média/argilosa com horizonte A moderado e afloramento de rocha. Os solos são profundos a pouco profundos, porosos, permeáveis, por vezes menos espessos. São bem acentuadamente drenados, álicos, distróficos e áricos, com argila de baixa atividade, ocupados com pastagem, campo rupestre, floresta rala e floresta natural. Nas áreas de solos menos profundos, podem ocorrer matações e afloramentos de rocha, verificando-se ainda a presença de contato lítico no perfil. Estas terras apresentam muito forte a extremamente forte susceptibilidade à erosão. São

áreas muito frágeis de relevo muito movimentado, susceptíveis a violentos processos erosivos devido à posição delicada que ocupam na paisagem. O principal risco é com a erosão acelerada com perda de horizonte A e movimentos de massa. A concentração e os índices de precipitação pode provocar grandes ravinamentos, caso mantenha-se o solo descoberto ou seja retirada a cobertura vegetal nessa unidade.

Classe 8 - Vulnerabilidade extremamente alta, condicionada por declividade, espessura do solum e rochoso abundante. Compreende parte das terras altas, são ecossistemas frágeis de relevo montanhoso e escarpado, declives maiores que 45%, com blocos rochosos salientes, escarpas ou encostas íngremes, intercalados com afloramentos rochosos associados à solos rasos e profundos, bem a moderadamente drenados, nos quais predomina fragmentos florestais e vegetação rupestre. Onde predominam afloramentos de rocha associados à Neossolo Litólico e Cambissolo Háptico, com horizonte A moderado, distróficos de textura argilosa ou média/argilosa e argila de atividade baixa, em menor proporção ocorrem Argissolo Vermelho-Amarelo, com horizonte A moderado, distrófico típico, de textura argilosa ou muito argilosa e argila de atividade baixa e Latossolo Amarelo ácidos e húmicos, textura argilosa ou média/argilosa, associados a afloramento de rocha. Os solos são pouco profundos a profundos, porosos, permeáveis, por vezes menos espessos, bem a acentuadamente drenados, distróficos, ácidos e álicos, com argila de baixa atividade, ocupados com campo rupestre, floresta rala, pastagem e floresta natural. Estas terras apresentam muito forte a extremamente forte susceptibilidade à erosão. São áreas muito frágeis de relevo muito movimentado, susceptíveis a violentas processos erosivos, sujeitas a movimentos de massa, risco de desagregação e queda de blocos de rocha, devido às classes de solos que aí ocorrem e a posição delicada que ocupam na paisagem. O principal risco é com a erosão acelerada com perda do horizonte A, movimentos de massa e ocorrência de queda de blocos em função do deslocamento das rochas. A impermeabilidade do material rochoso, associado à vegetação rupestre pouco densa, propicia elevada concentração das águas de chuvas nas áreas imediatamente abaixo, incrementando os processos erosivos nestes locais. Encaixam na classe de muito alta a extremamente alta fragilidade ambiental e suscetibilidade à erosão. A concentração e os índices de precipitação pode provocar grandes ravinamentos, caso mantenha-se o solo descoberto ou seja retirada a cobertura vegetal nessa unidade.

Tabela 31 - Classes de Vulnerabilidade Ambiental da Área de Estudo

Classes de	Condicionantes					Unidades geoambientais	Área	%
Vulnerabilidade	Relevo e Declive	Solos	Critérios	Vegetação e Cobertura	Rochosidade e Pedregosidade		(ha)	
1 - Baixa (B)	Suave ondulado B - 3 a 8%	Latossolo e Argissolo Amarelo A proeminente, Neossolo flúvico, Cambissolos Flúvicos e Latossolo Vermelho Amarelo A moderado. Solos com textura média, argilosa, média/argilosa ou muito argilosa.	Vulnerabilidade baixa, condicionada por risco ocasional de inundação e presença do lençol freático, próximo a superfície.	Vegetação original de floresta subperenifólia de várzea. Plantio de fruticultura, capineira, olerícolas, capoeira e flores ornamentais.	-	2	284,05	0,58
2 -Baixa a Moderada (B/M)	Plano A - 0 a 3%	Neossolo flúvico, Cambissolo flúvico e inclusão de Gleissolo háplico. Solos com textura média, argilosa, média/argilosa ou muito argilosa.	Vulnerabilidade baixa a Moderada, condicionada por textura errática, presença de camadas orgânicas, risco de inundação e presença na superfície do lençol freático	Vegetação original de floresta subperenifólia de várzea. Plantio de olerícolas e capineira.	-	1	247,38	0,51
3 - M Moderada (M)	Ondulado C - 8 a 14%	Latossolo Amarelo, Vermelho, Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho A moderado, Latossolo Amarelo A proeminente. Solos com textura argilosa, argilosa / muito argilosa e média/argilosa.	Vulnerabilidade moderada, condicionada por declividade, presença ou não de gradiente textural e ligeira rochosidade e pedregosidade. Vegetação original de floresta tropical subperenifólia.	Vegetação original de floresta subperenifólia. Plantio de Fruticultura, olerícolas, pastagem e flores ornamentais.	ligeira	2	783,20	1,62
4 - A Alta (A)	Ondulado D -14 a 20%	Latossolo Vermelho, Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho A moderado, Latossolo Amarelo A proeminente. Solos com textura argilosa, argilosa / muito argilosa e média/argilosa.	Vulnerabilidade alta, condicionada por declividade, textura do solo, ligeira rochosidade e pedregosidade. Vegetação original de floresta tropical subperenifólia.	Vegetação original de floresta subperenifólia Plantio de fruticultura, olerícolas, café e pastagem.	ligeira	3	1.558,47	3,22
5- AMA Alta a muito alta (A/MA)	Ondulado C - 14 a 20% a Forte ondulado E - 20 a 45%	Latossolo Amarelo húmico, Latossolo Vermelho e Vermelho Amarelo Argissolo Vermelho Amarelo e inclusão de Cambissolo háplico A moderado e proeminente.	Vulnerabilidade alta a muito alta, condicionada por espessura do solum, textura, declividade, moderada rochosidade e pedregosidade e clima. Vegetação original de floresta tropical subperenifólia.	Vegetação original de floresta subperenifólia Plantios de fruticultura floresta natural, olerícolas, pastagem e café.	moderada	4 5	18.426,11	38,01
6 - MA Muito alta	Forte ondulado E - 20 a 45%	Argissolo Vermelho abruptico e não, Argissolo Vermelho Amarelo típico, latossólico e câmbico, fase rochosa e não, Latossolo Amarelo e Vermelho Amarelo A moderado e húmico e inclusão de Cambissolo háplico.	Vulnerabilidade muito alta, condicionada por espessura do solum, textura, declividade, moderada rochosidade e pedregosidade áreas com depósito de tálus e clima. Vegetação original de floresta tropical subperenifólia.	Vegetação original de floresta subperenifólia floresta natural e plantios de fruticultura olerícolas, pastagem e café.	moderada	6 7 8 13 12	7.495,93	15,48

7- MA/EA Muito alta a Extremamente alta	Forte ondulado E - 20 a 45% a Montanhoso F - > 45%	Latossolo Amarelo húmico, Latossolo vermelho Amarelo fase rochosa, cambissolo háplico e húmico, afloramento de rocha e Argissolos Vermelho Amarelo.	Vulnerabilidade muito alta a extremamente alta, condicionada por declividade, espessura do solum e rochosidade abundante. Vegetação de floresta e campo rupestre.	e Vegetação original de floresta subperenifolia rala e campo rupestre. Pastagem e floresta.	abundante	9 10	15.091,10	31,13
8 - EA Extremamente alta	Montanhoso e Montanhoso a Escarpado F - > 45%	Afloramento de Rocha, Cambissolo háplico, Neossolo litólico, em menor proporção Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Amarelo ácidos e húmicos.	Vulnerabilidade extremamente alta, condicionada por declividade, espessura do solum e rochosidade abundante. Vegetação de floresta e campo rupestre.	e Vegetação original de floresta subperenifolia rala e campo rupestre. Pastagem e floresta.	abundante	14 11	4.567,57	9,42
Água		-	-	-	-	-	15,19	0,03
Total Geral							48.469,00	100,00

CAPÍTULO VII

7. – ESTUDO GEOAMBIENTAL

7.1- Mapa Geoambiental

A compartimentação da paisagem em unidades homólogas pode ser um bom modelo de trabalho na busca de alternativas sustentáveis para a utilização de áreas de equilíbrio delicado na Serra dos Orgãos, sob interferência antrópica. A compartimentação do modelado com base na estruturação e esculturação da paisagem, com suas amplitudes, gradientes topográficos e formas, além de auxiliar no planejamento de uso e manejo das terras, contribui para o uso sustentável destas áreas, particularmente quando em escalas médias (Calderano Filho et al. 2010). Estudos de compartimentação da paisagem tem sido feitos de forma bastante variada e diferenciada, em função de aspectos relacionados à metodologia utilizada e aos objetivos da aplicação. Exemplos de trabalhos nessa linha são encontrados em Witter et al. (1991, 1993a e 1993b); Silva (1993); Theodorovicz e Cantarino (1994), Vedovello & Mattos (1998); Dantas et al. (2001); Dias (2002), Orlandi Filho & Trainini (2002); Calderano (2005); Reckziegel & Robaina (2008), Trentin (2007) e outros. Trabalhos que identificam as características ecogeográficas locais e os problemas geoambientais associados são mostrados em Schaefer (1997) e Zink (1993).

Os mapas geoambientais adotados na CPRM por Theodorovicz et al. (1994) e Trainini et al. (1998 e 2001), tinham por premissa geral a divisão da área em zonas homólogas, ou seja, áreas com propriedades qualitativas idênticas e a mesma estrutura, conforme definição de Veneziani&Anjos (1982, *in* Theodorovicz et al. 2003). Onde, através das características físicas das unidades delimitadas, pode-se inferir as restrições ou favorabilidades às diversas intervenções humanas.

Zonas ou unidades geoambientais são espaços identificados em um território, que apresentam certa homogeneidade interna em função de suas variáveis ambientais, passíveis de serem delimitadas horizontalmente no espaço, numa escala definida. Para Silva (1993), uma unidade geoambiental é uma entidade espacializada com um conjunto de atributos afins. É um termo que se aplica a porções territoriais que realmente representam alguma integração dos elementos físicos do meio. Assim, cada unidade delimitada passa a constituir uma unidade funcional, que possui um conjunto de informações fundamentais ao manejo e à manutenção do ecossistema, e faz parte de um conjunto que desempenha funções específicas no equilíbrio e desenvolvimento do ambiente.

Do ponto de vista operacional, os mapeamentos temáticos-ambientais, são os subprodutos básicos utilizados que antecedem ao estudo geoambiental. Os estudos específicos permitem direcionar as atividades socioeconômicas de acordo com a vocação agroecológica dos sistemas ambientais, elencar, entre as possibilidades de uso selecionadas as que apresentam maior potencial de produção, menor custo ambiental e maior geração de renda, equacionando sempre eficiência técnica e ambiental. Quando as zonas se estabelecem por um pequeno conjunto de critérios não representam as interações do meio. O mapa geoambiental é segundo Theodorovicz et al. (2003), um documento orientativo e de síntese, não substituindo os levantamentos mais detalhados necessários à elaboração de planos diretores.

No contexto deste trabalho, unidade geoambiental deve ser entendida como unidade funcional, ou seja, uma entidade que apresenta certa homogeneidade com relação a determinados atributos ambientais ou elementos geobiofísicos e pode acomodar uma ou várias feições geomorfológicas, geológicas, pedológicas e climáticas. As unidades delimitadas procuram retratar um maior nível de homogeneidade, menor nível de diversidade interna e maior coerência entre os componentes, com características intrínsecas próprias que as individualizam, estando portanto sujeitas às mesmas ofertas, restrições e limitações impostas pelo meio (Calderano Filho, 2003; Calderano Filho, et al. 2010b). Nesse sentido, o objetivo deste item foi estabelecer unidades geoambientais e efetuar a sua caracterização, visando gerar subsídios para o planejamento da área. Onde, os elementos físico-bióticos componentes da paisagem detectados na área de estudo, foram identificados, caracterizados, analisados e agregados em unidades relativamente homogêneas, compartimentadas em função da estrutura e escultura do meio e discretizadas com base nos conteúdos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e climáticos, estando portanto, sujeitas às mesmas ofertas e restrições impostas pelo meio. Em cada uma das unidades definidas, associou-se um conjunto de indicações relativas as suas limitações e potencialidades, ofertas e restrições ambientais.

No que concerne às unidades geoambientais, mesmo reconhecendo a existência de interdependência entre as mesmas, principalmente no que se refere ao fluxo de água e sedimentos é possível analisá-las separadamente. Nas unidades delimitadas cabem quase que somente manejos adequados em decorrência das limitações das terras já estarem agrupadas nos solos, rochas, relevo e declives e nas condições ambientais distintas a cada compartimento. Nessa forma de abordagem, as unidades por refletirem características e qualidades estáveis do meio e estarem sujeitas às ofertas e restrições ambientais semelhantes, impostas pelo meio, têm papel fundamental na indicação de alternativas sustentáveis de

utilização das terras.

Para a confecção deste mapa, o método interpretativo, através da superposição e sobreposição de mapas (*Layers*) com a combinação de atributos dos elementos geobiofísicos componentes da paisagem foi o escolhido. O método interpretativo vem sendo sistematizado em trabalhos como os de Veneziani e Anjos (1982); Theodorovicz e Cantarino (1994); Ross (1995); Vedovello & Mattos (1998); Dantas et al. (2001) e outros. Como não existe um único critério para a delimitação de unidades geoambientais que atenda a diversidade de cenários existentes no território nacional, a delimitação normalmente é feita caso a caso, em função do cenário local e do inter-relacionamento das variáveis ambientais na área de estudo. No caso específico a situação é um pouco mais complicada, em função das características geobiofísicas peculiares da região serrana, da área escolhida e a escala de trabalho adotada, devido a combinação de fatores climáticos, geológicos, pedológicos e geomorfológicos da Serra do Mar, condicionando a área de estudo a uma maior heterogeneidade geobiofísica. Embora a escala 1:50.000, seja uma escala média sugerida na literatura científica como ideal para o planejamento municipal, do ponto de vista temático-cartográfico ela não consegue separar bem a diversidade de situações que ocorrem na área em questão, talvez a escala ideal no presente caso deveria ter sido a de 1:25.000. Uma questão importante relacionada à escala adotada e a maior heterogeneidade geobiofísica da área, é que não se consegue estabelecer unidades mais puras nessa escala de trabalho, nem unidades geológicas e pedológicas. Assim, deve-se estar ciente da limitação do trabalho na escala apresentada, principalmente quando se busca usos locais específicos como o estabelecimento de unidades geotécnicas, pois uma mesma unidade pedológica pode conter uma ou várias unidades geotécnicas, como é caso da classe dos Argissolos, com substratos diferenciados (granito, gnaisse e outros), além de ocorrerem em áreas de depósitos de tálus.

Para a delimitação das unidades geoambientais apoiou-se na base cartográfica, no MDE, na rede de drenagem, nos divisores de água da área, nos intervalos de classes do mapa de declividade, nas informações geológicas, nos totais pluviométricos e nas unidades de mapeamento dos solos, com seus diversos atributos e fases. Os limites finais das unidades geoambientais foram ajustados com base nas fases de relevo e vegetação do mapa de solos. O mapa de solos foi um produto importante para o desenvolvimento do mapa geoambiental, a partir deste mapa e da integração das informações levantadas nos diversos temas estudados, foi possível a diferenciação e espacialização de áreas com potencial natural para determinado desenvolvimento, proteção, conservação ou recuperação.

Na caracterização das unidades geoambientais além das variáveis acima, considerou-se ainda, a aptidão agrícola das terras, a legislação ambiental vigente, o uso e cobertura das terras, a avaliação qualitativa da susceptibilidade dos solos à erosão e a vulnerabilidade ambiental das unidades e sua posição na paisagem. As informações produzidas foram associadas com informações de pluviosidade e de áreas protegidas por legislação específica ou reservas existentes, visando as possíveis recomendações, o que possibilitou o enquadramento das unidades geoambientais de acordo com suas potencialidades e limitações, vulnerabilidades e estabilidades. Com esses procedimentos e conforme a metodologia de espacialização geoambiental adotada, foi possível a compartimentação da área em quatorze unidades face as diversas condicionantes do meio físico, considerando as variáveis pedológicas, geológicas, de relevo e uso e cobertura das terras. Desse modo, o mapa geoambiental apresenta uma espacialização dos diversos ambientes que integram a paisagem da área. Para cada compartimento geoambiental identificado é apresentado, de forma sinótica, as características, potencialidades e limitações das terras e sugeridas recomendações baseada em suas principais vocações.

Para a caracterização das unidades geoambientais, observou-se ainda a legislação ambiental vigente. As áreas que se revestem de interesse e valor em seu aspecto natural e que por este motivo, encontram-se sob a tutela de leis oficiais, tendo seu uso limitado e dependente de autorização dos órgãos ambientais competentes. Das observações e análises resultaram as seguintes indicações: 1. Terão que ser respeitadas todas as restrições de uso impostas no Art. 2º do Código Florestal (Lei Federal nº. 4771, de 15 de setembro de 1965), a saber: A - ao longo dos rios (alterado pela Lei "F" nº. 7803 de 18/07/89 e Constituição Estadual, art. 265, I); B - ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios de água naturais ou artificiais (respeitar a Lei Estadual nº. 1130 de 12/2/1987, art. 9º. inciso III, & único) e Constituição Estadual art. 265, I); C- nas nascentes (respeitar a redação da Lei Federal no. 7754, de 14/4/89) e "olho d'água", seja qual for sua situação topográfica (respeitar a Resolução CONAMA nº. 04/85 e a Constituição Estadual, art. 265, inciso III); D - no topo de morros, montes, montanhas e serras (respeitar Resolução CONAMA nº. 04/85); E - nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45º equivalente a 100% na linha de maior declive; 2. É preciso considerar as áreas que abrigam exemplares ameaçados de extinção, raros, vulneráveis ou menos conhecidos da flora e da fauna, bem como aquelas que são usadas como local de pouso, alimentação ou reprodução de aves migratórias, que são, principalmente, as áreas chamadas popularmente de "brejo" (Constituição Estadual Art. 265,

inciso IV e Resolução CONAMA 04/85). As áreas de preservação permanente devem ser mantidas e resguardadas com a implementação das reservas legais (Código Florestal, lei nº 4.771/ 65, art. 16, § 4º e art. 44, III, artigos com redação determinada pela Medida Provisória 2.166- 67/2001). A Resolução CONAMA 303/02, Art. 3º, inciso VI, regulamenta as distâncias de investigação para a existência ou não de APP de topo de morro ou montanha e o Art. 2º, inciso VI, estabelece a base da forma de relevo como sendo o plano horizontal definido por planície ou lençol d'água ou depressão mais baixa ao seu redor. Onde a FROA (Forma de relevo objeto de análise) é parte de um divisor d'águas e é parte de um conjunto de morros e montanhas.

7.2 - Unidades Geoambientais

A superposição e interposição das informações contidas na BDE (base de dados espaciais), como dados geológicos, climáticos, de relevo e declividade, de vegetação, e de tipos de solo, descritos em maior detalhe no capítulo quatro, aliados às informações de fotointerpretação, mapeamentos temáticos e processamento de dados temáticos com apoio de SIGs, forneceram o alicerce básico para a delimitação e análise das unidades geoambientais e sua representação em mapa (Figura 37). Segundo a metodologia de espacialização adotada, foi possível estabelecer 14 unidades geoambientais, descritas de acordo com a sua posição na paisagem e suas características edafoambientais dominantes, conforme apresentado nas Tabelas 32 e 33 legenda das unidades geoambientais e matriz diagnóstica das unidades geoambientais delimitadas. A Figura 37 mostra o mapa geoambiental da área.

Em prosseguimento à metodologia adotada, as unidades geoambientais serão detalhadas nos itens posteriores. Através das informações produzidas com a caracterização geoambiental e da análise conjunta dos mapas, a área foi dividida em quatro compartimentos ou conjuntos, classificados como subdomínio e quatorze unidades geoambientais. Assim, dentro dos limites da área foram estabelecidos quatro subdomínios básicos de paisagem, ou seja, as unidades de paisagem mais visíveis no terreno: as Serras Alinhadas, Colinas e Morros, separadas em encostas suave onduladas e onduladas e encostas onduladas e forte onduladas e as baixadas (planícies fluviais e terraços). Com relação aos solos destacam-se na região quatro grandes domínios pedológicos, condicionados principalmente pelas características de relevo. Uma área correspondente à superfícies de relevo montanhoso e forte ondulado, com predomínio de Cambissolos e Neossolos Litólicos associados a afloramento de rochas, uma superfície de relevo forte ondulado e montanhoso, dissecados, com predomínio de Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos, de média a alta fertilidade e restrições nas propriedades físicas,

apresentando elevada susceptibilidade à erosão; uma outra área correspondente à superfícies de relevo forte ondulado e ondulado com encostas convexas, com predomínio de Latossolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Vermelho-Amarelos latossólicos, de baixa fertilidade, profundos e de boas propriedades físicas, apresentando menor susceptibilidade à erosão, onde, em menor proporção ocorrem Argissolo Vermelho e Argissolo Amarelo. E uma quarta área referente às áreas baixas correspondentes às planícies fluviais onde ocorrem Neossolos Flúvicos, Cambissolos Flúvicos e ocorrências de Gleissolos Háplicos.

Unidade 1: Áreas planas com 0 a 3% de declive, encaixadas no fundo dos vales, normalmente margeando a calha dos rios e córregos de maior eixo da área, com maior umidade e risco de inundação, prejudiciais à maioria das culturas. Constituída por sedimentos argilo-arenosos, areno-argilosos e argilo-siltosos, compreendendo aluviões fluviais recentes, depósitos de planície de inundação, canais fluviais, leques aluviais e formações aluviais mais antigas referidas ao Holoceno. São superfícies planas com ocorrência marcante de vegetação de floresta tropical subperenifólia de várzea e campo higrófilo várzea, onde predominam Neossolos Flúvicos e Cambissolos Flúvicos distróficos e pequenas inclusões de Gleissolos Háplicos, de melhor fertilidade natural em relação às outras unidades geoambientais, onde ocorrem solos com fertilidade do horizonte A melhorada pelo uso constante da adubação, constituindo classe de solos distróficos epieutróficos apesar de apresentarem o caráter álico em profundidade. Com argila de atividade baixa, textura variada ao longo do perfil, de média, argilosa, média/argilosa ou muito argilosa, desenvolvidos de sedimentos provenientes de deposição orgânica e de sedimentos aluviais e materiais diversos carreados das encostas e depositados nas calhas dos córregos e rios. Na classe dos Neossolos Flúvicos ocorrem solos com textura errática ao longo do perfil.

Essa unidade ocupa 531,3ha e 1,1% da área de estudo, a vegetação é de floresta subperenifólia de várzea e campo higrófilo várzea, a precipitação média anual varia de 1327 a 1585 mm. São áreas valorizadas por serem relativamente planas e de maior umidade ao longo do ano, o que proporciona extraordinária facilidade de ocupação agrícola, sendo prioritárias à produção de culturas de ciclo curto, principalmente com olerícolas. Atualmente esses terrenos são ocupados por plantios de olerícolas diversas, pomar caseiro, capineiras, pousio, vegetação arbustiva, pequenas edificações e núcleos residenciais rurais. Vale lembrar, que o material detrítico pode chegar até o baixo vale carreado das outras unidades à montante, assim o fundo plano do vale não está a salvo de enchentes e entulhamentos, conseqüentemente, as casas não

devem ser construídas muito próximas do canal fluvial.

Os solos em consequência da textura errática e variada, são muito porosos e com elevada permeabilidade. Tal atributo, juntamente com a baixa capacidade adsorptiva, os caracteriza como material inadequado para receber efluentes que contenham produtos prejudiciais às plantas, aos animais e ao homem e para aterros sanitários, lagoas de decantação e outros usos correlatos, devido à facilidade de contaminação dos aquíferos. Há riscos de contaminação de corpos d'água, por agrotóxicos ou por dejetos humanos e de animais. Essas áreas se encaixam na classe de muito baixa vulnerabilidade e fragilidade ambiental e na classe nula de susceptibilidade à erosão, uma vez que não há risco de perda do horizonte A para os solos de textura média, enquanto que para os solos com textura argilosa, o risco maior é com a drenagem. No plantio de olerícolas usa-se alguma irrigação suplementar, mais para suprir a periodicidade no fornecimento de água do que para suprir déficits nas quantidades fornecidas pelas chuvas. Nas áreas com plantio de olerícolas irrigadas, os maiores cuidados devem ser quanto ao uso da irrigação e produtos químicos utilizados, como os agrotóxicos, que podem contaminar as águas dos rios e córregos, além da possibilidade de salinização dos solos. Os riscos de salinização devido a adubação das lavouras, contaminação de corpos d'água, por agrotóxicos ou por dejetos humanos e de animais e de inundação são as principais limitações. Para a agricultura são áreas que não apresentam restrições severas quanto ao seu uso, não possuindo limitações severas quanto à declividade e as condições de fertilidade dos solos, embora sejam áreas sujeitas à legislação específica e com possibilidades de sofrer inundações periódicas. Nestas áreas a aptidão agrícola encaixa na classe boa (1ABC) e na aptidão agroecológica são áreas propícias ao plantio de hortaliças (PHP). São terras com moderadas exigências de fertilizantes e baixa necessidade de calagem para manutenção e correção de seu estado nutricional. O escoamento superficial é lento ou muito lento, oferecendo certas dificuldades para o uso de implementos agrícolas. Devido à falta de desnível, torna-se mais difícil a drenagem dos Gleissolos háplicos, o que exigirá, também, seleção de culturas adaptadas ao excesso de água, nesta classe de solo. As práticas de conservação do solo estão no nível mais alto, sendo a drenagem o principal fator limitante, recomenda-se práticas conservacionistas simples em função da textura, do relevo e a posição onde ocorrem na paisagem, visando a preservação do solo e da água, acompanhadas por cuidados na restituição e manutenção da fertilidade destes solos, quando submetidos ao processo produtivo intenso para manter a fertilidade das terras e atender às exigências das culturas e, controle da umidade.

Limitações - Na várzea o ambiente apresenta sérias limitações impostas pela presença do lençol freático a pouca profundidade. São áreas com 0 a 3% de declive, sujeitas a legislação específica, com moderada a baixa capacidade de carga e passíveis de contaminação, com limitações por excesso de água e deficiência de aeração, propícias a sofrer inundações periódicas e prejudiciais ao desenvolvimento da maioria das culturas, as quais só permitem o desenvolvimento de culturas não adaptadas mediante trabalho de drenagem artificial. Por serem relativamente planas e de maior umidade ao longo do ano, são áreas valorizadas, que proporcionam extraordinária facilidade de ocupação, sendo prioritárias à produção de culturas de ciclo curto, principalmente com olerícolas. São ambientes inadequados para a construção de aterros sanitários, construções civis, lagoas de decantação e como local para recebimento de efluentes e outros usos correlatos, pela inexpressiva zona de aeração e facilidade de contaminação dos aquíferos. São terrenos inundáveis nos baixos cursos fluviais, onde deve ser evitada a urbanização, ou disposição de resíduos sólidos. São mais propícias para a agricultura, não possuindo limitações severas quanto à declividade e as condições de fertilidade dos solos, são terras com moderadas exigências de fertilizantes e baixa necessidade de calagem para manutenção e correção de seu estado nutricional.

Potencialidades - Áreas agricultáveis e de preservação da mata ciliar. Solos de moderada a alta fertilidade adequados para agricultura de ciclo curto, como a produção de hortaliças, respeitando as limitações naturais dos terrenos. Aquíferos livres com potencial regular a bom. Possível fonte de areia para construção civil.

Recomendações: Segundo a legislação ambiental vigente, deve-se manter a floresta ao longo da calha do Rio. Controle ambiental das atividades de mineração e proteção e recuperação das matas ciliares. Prioritárias à produção de culturas de ciclo curto, são áreas ideais para o desenvolvimento de plantas com raízes superficiais. No manejo desse compartimento, cuidados devem ser tomados no que diz respeito ao encharcamento do solo, durante as chuvas, devido à pequena inclinação do terreno. Os riscos de contaminação de corpos d'água, por agrotóxicos ou por dejetos humanos e de animais e de inundação, são as principais limitações. São indicados para o uso com culturas de ciclo rápido ou adaptadas ao excesso de umidade, mas com potencialidades distintas para cada uma de suas partes componentes.

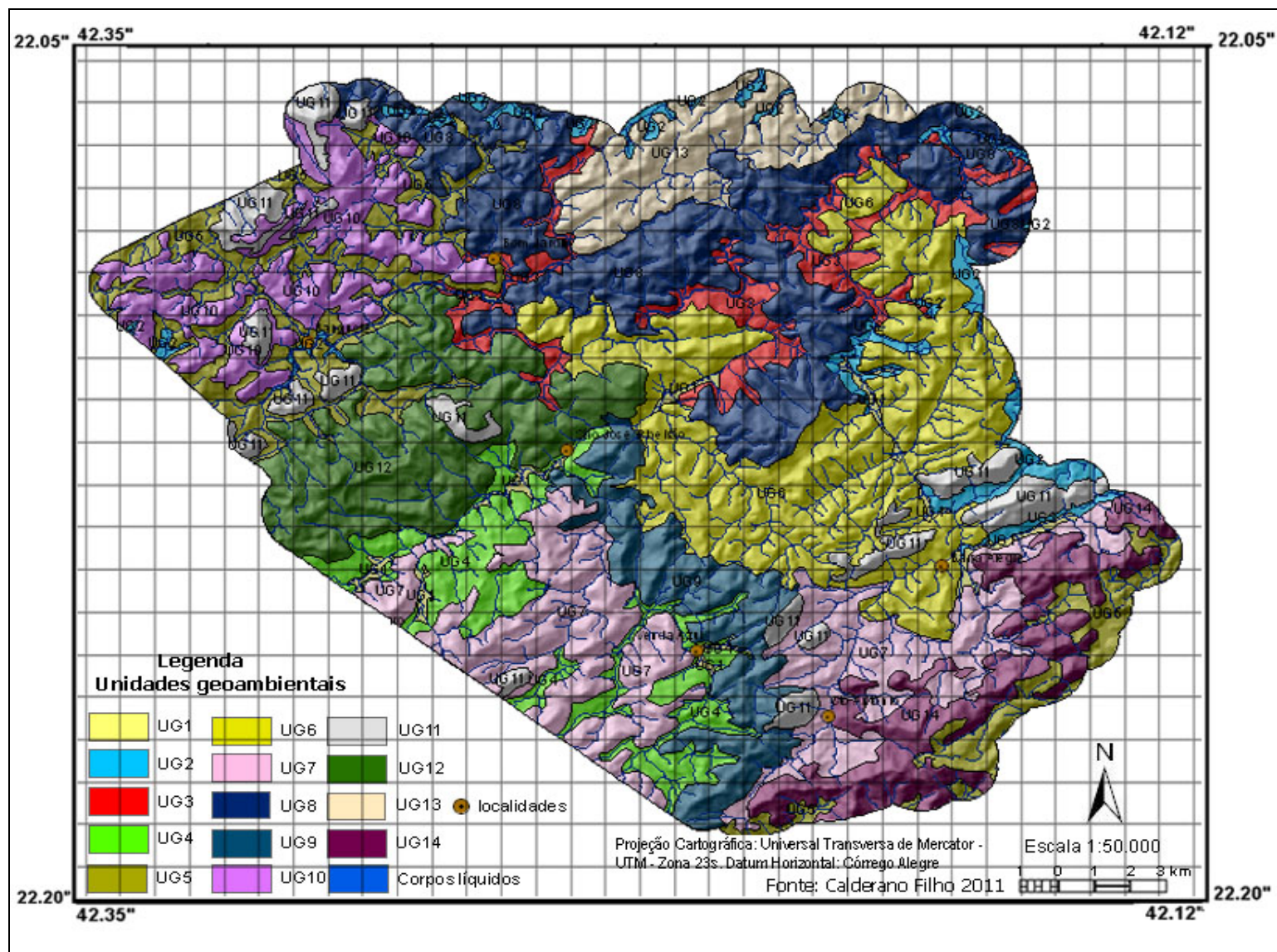


Figura 37 – Mapa geambiental da área.

Tabela 32 - Legenda das unidades geoambientais

Unidades geoambientais	Solos componentes	Área Ha	%
Unidade 01	RY + CY +(GX)	531,3	1,1
Unidade 02	LAd + PAd+RY+LVAd	1.395,7	2,9
Unidade 03	LVd+ LVAd + PVd+LAd	2.333,5	4,81
Unidade 04	LAdh + LVd + LAd +(CX)	2.700,3	5,57
Unidade 05	LAd +PVAd + CX + LVAd	4.101,6	8,46
Unidade 06	PVd + LAd + PVAI + PVAd	7.882,64	16,26
Unidade 07	LVAd + PVc + LAhd +LVd	5.784,45	11,93
Unidade 08	LVd + LAd + AR + CX	6.327,20	13,05
Unidade 09	LAhd +LVAd + CX + AR	2.595,87	5,36
Unidade 10	CX + Ch +LVAd + (AR)	2.964,0	6,12
Unidade 11	AR + CX +RY	2.230,42	4,60
Unidade 12	LAd + LVAd + (CX)	4.374,52	9,03
Unidade 13	PVe + PVAd +CX (PAd)	2.377,52	4,91
Unidade 14	Ch +AR + PVAd + (Lhw)	2.854,8	5,89
Total		48,469,00	100,00

Unidade 2: Caracteriza as áreas baixas suavizadas com 3 a 8% de declive, relevo suave ondulado, agricultáveis e sem restrições quanto à legislação ambiental. Inclui áreas baixas de relevo suave ondulado, entulhadas por material deposicional, com maior umidade e sujeitas a menores riscos de inundações, que a unidade anterior. Ocorrem ora margeando a calha dos rios e córregos constituindo os terraços, ora constricto entre as encostas coluviais constituindo os alvéolos intermontanos, onde se desenvolvem solos com profundidade variada e drenagem imperfeita. São áreas com maior umidade, entulhadas com depósitos preferencialmente coluviais de consistência arenosa, areno-argilosa e argilo-silte-arenosa e sedimentares de material argilo-arenosos, inclui depósito de Tálus ou material eluvio-coluvial raso (solo imaturo) sujeito a rastejo e escorregamentos. Os alvéolos, por serem áreas de baixo gradiente, possibilitam a formação de terraços fluviais deposicionais, caracterizados como áreas de parada temporária dos clásticos. Nesta unidade as feições características do terreno cristalino não se apresentam nos componentes, já que o processo deposicional mascara estas tendências.

São áreas desfavoráveis às culturas sensíveis ao excesso de água durante a estação chuvosa. A vegetação predominante é de floresta tropical subperenifólia de várzea e campo higrófilo de várzea. Essa unidade ocupa um total 1.395,70ha e 2,9% da área de estudo. A precipitação média anual varia de 1327 a 1367 mm.

Predominam nessa unidade Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo com horizonte A moderado e proeminente, constituindo classe de solos típicos e úmbricos, seguidos de Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo vermelho Amarelo em menor proporção, que

ocorrem associados à Neossolos e Cambissolos Flúvicos, todos com argila de atividade baixa, distróficos, textura variável de argilosa, argilosa/muito argilosa e média/argilosa. As características dos solos variam muito e apresentam permeabilidade condicionada pela natureza do material originário, no geral, os solos tem profundidade razoável, sem camadas impeditivas ao desenvolvimento das raízes, ou que restrinja ainda mais a drenagem, com média fertilidade natural e boas características físicas, sendo o fator limitante, a presença de lençol freático relativamente pouco profundo, em algumas classes de solos em certos períodos do ano. São fáceis de serem preparados para o plantio, apresentam exigências de fertilizantes e necessidade de calagem menos elevada, são aptos à agricultura desde que utilizado o manejo, adubação e corretivos adequados a época mais propícia à cultura.

Em consequência da textura, alguns solos são muito porosos e com elevada permeabilidade. A textura errática dos Neossolos, a espessura do horizonte A e riqueza em matéria orgânica, os tornam bem mais friáveis, aliado a presença de lençol freático mais próximo à superfície, aumenta-lhes as possibilidades de contaminar os aquíferos por material tóxico neles depositados. Tal atributo, juntamente com a baixa capacidade adsorptiva, os caracteriza como material inadequado para receber efluentes que contenham produtos prejudiciais às plantas, aos animais e ao homem, e para aterros sanitários, lagoas de decantação e outros usos correlatos, devido à facilidade de contaminação dos aquíferos e rios. Essas áreas se encaixam na classe de baixa vulnerabilidade e fragilidade, sendo terras pouco susceptíveis à erosão classe ligeira a moderada, uma vez que há maior risco de perda do horizonte A para os solos de textura média, enquanto que para as unidades com textura argilosa, o risco maior é com a drenagem, mas a erodibilidade dos solos sob cultivo varia com o tipo de solo e as práticas de manejo adotadas. A aptidão agrícola encaixa na classe boa (Iabc) e na aptidão agroecológica são áreas propícias ao plantio de hortaliças e lavouras de ciclo curto (PHP/PALCC). São terras com moderadas exigências de fertilizantes e baixa necessidade de calagem para manutenção e correção de seu estado nutricional.

Nesta unidade, o uso da terra é de plantios de olerícolas diversas, às vezes com irrigação suplementar, plantios de flores ornamentais e fragmentos de floresta. Pelas condições topográficas que apresentam, a densidade de ocupação concentra maior número das edificações e residências dos produtores e os módulos são intensamente utilizados. Pela heterogeneidade da granulometria do material que compõe os alvéolos, deve-se ter cuidado quanto à expansão das edificações nesta unidade, pois cortes feitos nas encostas que delimitam o fundo plano, para a construção de casas e estradas vicinais, acabam expondo o

substrato de material mais instável e podem provocar deslizamentos durante as chuvas de verão. Nos plantios de olerícolas e flores ornamentais usa-se alguma irrigação suplementar. Nas áreas de lavouras irrigadas, os maiores cuidados devem ser quanto ao uso da irrigação e produtos químicos utilizados, como os agrotóxicos, que podem contaminar as águas dos rios e córregos, além da possibilidade de salinização.

Limitações - Terrenos inundáveis nos baixos cursos fluviais, onde deve ser evitada a urbanização, ou disposição de resíduos sólidos. Moderada a baixa capacidade de carga. O lençol freático elevado em certos períodos do ano é passível de contaminação. As maiores limitações dessas áreas à atividade agrícola é a sua pouca extensão e pela concentração de edificações, principalmente nos distritos e núcleos rurais. Os riscos de contaminação de corpos d'água, por agrotóxicos e de inundação, são as principais limitações.

Potencialidades - Terrenos com melhor drenagem, são áreas que não apresentam restrições quanto ao seu uso, não possuem limitações quanto à declividade, as condições de fertilidade dos solos melhoram em algumas classes, em outras permanecem. Aquíferos livres com potencial regular a bom. Possível fonte de areia para construção civil, mas com possibilidades de sofrer inundações. No geral são prioritárias ao plantio de olerícolas, mas com potencialidades distintas para cada uma de suas partes componentes, são indicados para o uso com culturas de ciclo rápido ou adaptadas ao excesso de umidade. Nesse declive a superfície é pouco inclinada e o escoamento superficial é lento ou médio, mas não apresenta limitações ao uso de máquinas e implementos agrícolas.

Recomendações - Em função do tipo de relevo e das características dos solos, este grupamento pode ser utilizado para diversos tipos de ocupação, respeitando as limitações naturais dos terrenos. No geral são prioritárias ao plantio de olerícolas, mas com potencialidades distintas para cada uma de suas partes componentes. Não apresentam limitações ao uso de máquinas e implementos, em decorrência do lençol freático exigirá seleção de culturas adaptadas ao excesso de água. Para o uso destas áreas com agricultura recomenda-se a adoção de práticas conservacionistas simples em função da textura, do relevo e a posição onde ocorrem na paisagem, visando à preservação do solo e da água, acompanhadas por cuidados na restituição e manutenção da fertilidade destes solos e controle da umidade. São terras com moderadas exigências de fertilizantes e baixa necessidade de calagem para manutenção e correção de seu estado nutricional. Adubações de manutenção devem ser feitas visando manter a fertilidade das terras e atender às exigências das culturas. No manejo das águas de irrigação será fundamental o controle ou prevenção da salinização,

devido a aplicação constante de adubos químicos nas áreas com lavouras irrigadas. As características dos solos que aí ocorrem, combinada com a baixa capacidade adsortiva, faz com que sejam inadequados para receber efluentes que contenham produtos prejudiciais às plantas, aos animais e ao homem e para aterros sanitários, lagoas de decantação e outros usos correlatos, devido à facilidade de contaminação dos aquíferos e rios.

Unidade 03: Áreas agricultáveis com 8 a 20% de declive, sem restrições quanto à legislação ambiental em sua grande maioria. Tem como características o relevo ondulado com trechos suave ondulados, declives de 8 a 14% e 14 a 20%, com ocorrência marcante de floresta tropical subperenifólia. Predominam nestas áreas produtos de alterações de metamórfitos (horblenda-biotita-gnaiss, anfibólitos, rochas calcossilicáticas), parcialmente migmatizadas e anfibólito gnaiss calcossilicáticos da unidade Euclidelândia, associadas a rochas do Complexo Indiviso (conjunto de migmatitos heterogêneos e homogêneos, embrechitos facóidais da unidade Imbé, além de migmatitos da unidade Rio Negro e Euclidelândia), em mistura com depósitos coluvionares de fases diversas e depósito de tálus. Apresentam solos muito profundos e acentuadamente drenados, onde predominam Latossolo Amarelo com horizonte A moderado e proeminente, Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo, ambos com horizonte A moderado, distróficos, típicos, de textura argilosa ou muito argilosa. Em menor proporção ocorrem Argissolo Vermelho distrófico, A moderado, textura argilosa e e inclusão de Cambissolo háplico, textura argilosa e média/argilosa. Essa unidade ocupa 2.333,50ha e 4,81% da área de estudo. A precipitação média anual varia de 900 a 1327mm. Essas áreas encaixam na classe de moderada vulnerabilidade e fragilidade ambiental. A susceptibilidade das terras à erosão fica na classe moderada, uma vez que há maior risco de erosão superficial para os solos com horizonte A proeminente, mas a erodibilidade dos solos sob cultivo varia com o tipo de solo e as práticas de manejo adotadas. São áreas propícias ao plantio de culturas anuais e de ciclo curto, a aptidão agrícola fica em regular no sistema de manejo A, boa no nível B e restrita no nível C, classe 1aB(c) e a agroecológica se encaixa nas classes PALCC/ APPCA.

Limitações - Terrenos de moderada susceptibilidade à erosão e solos de baixa fertilidade natural. Os Latossolos devido à sua elevada permeabilidade e à baixa capacidade adsortiva de alguns elementos, se qualificam como pouco filtrantes. Tal atributo permite esperar que, apesar de sua espessura, sejam grandes as possibilidades de contaminação dos aquíferos por material tóxico neles depositados (Oliveira, 1999). Para alguns elementos o material latossólico apresenta grande capacidade de adsorção, como no caso do P, elemento com alto

potencial poluidor.

Potencialidades - Áreas agricultáveis, sem restrições quanto a legislação ambiental específica, mas limitadas as atividades agrícolas intensivas que exponham muito ou revolvam a camada superficial dos solos. Evidentemente, são terras indicadas para usos diversos, considerando o relevo e as características dos solos, assim como a unidade anterior podem ser consideradas as melhores áreas no contexto deste estudo, com potencial para exploração com lavouras e fruticultura. Compõe-se, predominantemente, de solos que somam boas condições de uso agrícola, apresentando boa profundidade e boas condições de permeabilidade, não apresentando camadas impeditivas em profundidade que impeçam ou dificultem o desenvolvimento das raízes. Terrenos de moderada a alta capacidade de carga (colúvios e solos residuais). Adequado para pastagens, criação e cultivos anuais e perenes nos terrenos menos íngremes e para urbanização nas vertentes mais suaves. Material para piso de estradas, construções civis e aterros sanitários. Aquíferos livres a semiconfinados restritos aos vales com potencial regular.

Recomendações – Indicadas para lavouras anuais, ciclo curto e fruticultura. Preservação e recuperação de matas nas cabeceiras de drenagens e vertentes curtas. Controle ambiental em atividade de mineração. Recuperação de áreas degradadas. Nas áreas utilizadas com agricultura recomenda-se práticas conservacionistas, a fim de evitar o aparecimento de sulcos, voçorocas e perda da camada orgânica, principalmente nos solos com horizonte A proeminente, acompanhadas por cuidados na restituição e manutenção da fertilidade destes solos e controle da umidade.

Unidade 04: Esta unidade corresponde as partes elevadas da paisagem, de relevo ondulado e forte ondulado e ocorrência marcante de floresta tropical subperenifólia. Predominam nestas áreas rochas graníticas da unidade São José do Ribeirão, migmatitos homogêneos e heterogêneos, cortados por corpos graníticos e chornockitos, dioritos e pegmatitos da unidade Imbé e depósitos de tálus. Apresentam solos muito profundos e acentuadamente drenados, onde predomina o Latossolo Amarelo com horizonte A moderado, proeminente e húmico e Latossolo Vermelho com horizonte A moderado, distróficos típicos, de textura argilosa ou muito argilosa, com inclusão de Cambissolo Háplico de textura argilosa ou média/argilosa. Essa Unidade ocupa 2.700,30ha e 5,57% da área de estudo. A precipitação média anual varia de 1327 a 1585 mm. Inclui terras sujeitas à legislação ambiental específica, devido ao relevo forte ondulado, a retirada da vegetação depende de autorização do IBAMA. Encaixam na classe de alta vulnerabilidade e fragilidade ambiental e moderada a forte susceptibilidade à

erosão, uma vez que há maior risco de erosão superficial para os solos com horizonte A proeminente e húmico, mas a erodibilidade dos solos sob cultivo varia com o tipo de solo e as práticas de manejo adotadas. A aptidão agrícola fica na classe regular 2abc, nos três níveis de manejo considerados e na agroecológica fica na classe APPCACPSA.

Possuem potencialidades distintas em função de suas partes componentes, são terrenos de moderada a alta capacidade de carga (colúvios e solos residuais). Adequado para pastagens, criação, cultivos perenes e anuais, nos terrenos menos íngremes, sistemas agroflorestais, nos terrenos mais íngremes e urbanização nas vertentes mais suaves. Aquíferos livres a semiconfinados restritos aos vales com potencial regular. Material para piso de estradas, construções civis e aterros sanitários. Exigem um manejo que minimize as perdas da matéria orgânica no solo, com cuidados especiais no uso de água de irrigação, no tráfego de máquinas e nos cortes de estradas vicinais. Inclui terras de menor potencial, que devem ser preservadas ou reflorestadas, como as calhas e cabeceiras de drenos.

A posição na paisagem, o relevo e a ocorrência de solos de baixa fertilidade natural e textura média/ argilosa, conferem um maior grau de fragilidade a essa unidade, a erodibilidade dos solos e o risco de contaminação de aquíferos e fontes localizadas no sopé da serra, são os principais fatores limitantes da unidade. Nas encostas usadas com agricultura, medidas preventivas contra a erosão são uma obrigação e entradas de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, para suprir as deficiências de fertilidade dos solos, são exigidas. Práticas conservacionistas inadequadas podem provocar erosão severa, sulcos e voçorocas.

Recomendações - Exigem um manejo que minimize as perdas da matéria orgânica no solo, com cuidados especiais no uso de água de irrigação, no tráfego de máquinas e nos cortes de estradas vicinais. Inclui terras de menor potencial, que devem ser preservadas ou reflorestadas, como as calhas e cabeceiras de drenos. Embora haja pequenas áreas no sopé das encostas com condições de solos e de declive favoráveis ao uso agrícola, essas atividades não devem ser incentivadas. Ao contrário, deve-se estimular o reflorestamento. Essas áreas têm grande importância na manutenção de alguns minadouros. Implantação de sistema agropastoril e agroflorestais para recomposição da Mata Atlântica. Preservação e recuperação de matas nas cabeceiras de drenagens. Controle ambiental em atividade de mineração e recuperação de áreas degradadas.

Unidade 05: Áreas de relevo ondulado e forte ondulado, sob floresta tropical subperenifólia, solos muito profundos e acentuadamente drenados, onde predominam o Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo com horizonte A moderado e

Latossolo Amarelo com horizonte A proeminente e húmico, distróficos típicos, de textura argilosa ou argilosa/muito argilosa e Cambissolo Háptico de textura argilosa ou média/argilosa. Onde predominam migmatitos de estruturas diversas constituindo granitóides cinzentos, gnáissicos e porfíróides, de composição granodiorítica do Complexo Rio Negro, associados com produtos de alterações das rochas das unidades Batólito Serra dos Órgãos, Imbé, Crubixais, Rio Bonito Lumiar, em mistura com inclusões de depósitos coluvionares de fases diversas. Essa Unidade ocupa 4.101,60ha e 8,46% da área de estudo, a precipitação média anual varia de 1327 a 1367 mm. Encaixam na classe de alta a muito alta vulnerabilidade e fragilidade ambiental e moderada a forte susceptibilidade à erosão, tendendo a forte e muito forte, uma vez que há maior risco de erosão superficial para os solos da classe dos Argissolos, Cambissolos e solos com horizonte A proeminente e húmico, mas a erodibilidade dos solos sob cultivo varia com o tipo de solo e as práticas de manejo adotadas.

Limitações - Solos de baixa fertilidade natural, inclui terras sujeitas à legislação ambiental específica, a retirada da vegetação depende de autorização do IBAMA. A posição na paisagem, o relevo e a ocorrência de solos de textura média/ argilosa, conferem um maior grau de fragilidade a essa unidade, a erodibilidade dos solos e o risco de contaminação de aquíferos e fontes localizadas no sopé da serra, são os principais fatores limitantes da unidade. Nas encostas usadas com agricultura, medidas preventivas contra a erosão são uma obrigação e entradas de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, para suprir as deficiências de fertilidade dos solos, são exigidas. Os riscos são agravados pelas condições de textura média, presença de solos mais rasos com baixos conteúdos de matéria orgânica e baixa fertilidade natural.

Potencialidades – Terrenos de moderada a alta capacidade de carga (colúvios e solos residuais). Apresenta potencialidades distintas para cada uma de suas partes componentes, não sendo recomendado o uso com culturas anuais, que exponham ou revolva a camada superficial dos solos, devendo ser prioritariamente exploradas com pastagem, criação e cultivos perenes (fruticultura) nos terrenos menos íngremes, para urbanização nas vertentes mais suaves e sistemas agroflorestais e agropastoril nas partes mais íngremes. Inclui terras de menor potencial, que devem ser preservadas ou reflorestadas, como as calhas e cabeceiras de drenos e as áreas forte onduladas. Aquíferos livres a semiconfinados restritos aos vales com potencial regular. Material para piso de estradas, construções civis e aterros sanitários. Pode-se considerar os Argissolos de textura argilosa como material de boa qualidade para piso de estradas, mas seu potencial agrícola, quando situados em relevo movimentado, é limitado.

Recomendações - Práticas conservacionistas inadequadas podem provocar erosão severa,

sulcos e voçorocas, nesta unidade. Exigem um manejo que minimize as perdas da matéria orgânica no solo, com cuidados especiais no uso de água de irrigação, no tráfego de máquinas e cortes dos taludes para traçado de estradas vicinais. Inclui terras de menor potencial, que devem ser preservadas ou reflorestadas, como as calhas e cabeceiras de drenos e as áreas forte onduladas. Ocorrem áreas que requerem práticas conservacionistas intensivas, a fim de evitar o aparecimento de sulcos e voçorocas. Embora haja pequenas áreas no sopé das encostas abruptas com condições de solos e de declive favoráveis ao uso agrícola, essas atividades não devem ser incentivadas. Ao contrário, deve-se estimular o reflorestamento. Essas áreas têm grande importância na manutenção de alguns minadouros. Implantação de sistema agropastoril e agroflorestais para recomposição da Mata Atlântica. Preservação e recuperação de matas nas cabeceiras de drenagens. Controle ambiental em atividade de mineração e recuperação de áreas degradadas. Em função da menor resistência à erosão apresentada por solos de textura média/argilosa, recomenda-se reflorestamento e preservação ambiental, nessas glebas.

Unidade 06 : Constituídas por sequência de morros, encostas e colinas circundadas por exposição rochosa, com menor altitude do que as serras, compreende as encostas abruptas do Cristalino, em maioria com material decomposto "*in situ*", declives entre 20% e 45%, relevo forte ondulado, inclusões de afloramentos de rochas e ocorrência marcante de floresta tropical subperinifólia. Onde predomina migmatitos homogêneos e heterogêneos, cortados por corpos graníticos e chornockitos, dioritos e pegmatitos da unidade Imbé e depósitos de tálus. Apresentam solos profundos a muito profundos, bem a moderadamente drenados, com predomínio de Argissolo Vermelho distrófico típico, com horizonte A moderado, o Latossolo Amarelo distrófico típico, com horizonte A proeminente e o Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico latossólico, textura média/argilosa, média/muito argilosa ou argilosa/muito argilosa e argila de atividade baixa. Em menor proporção ocorrem Argissolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Amarelo distróficos típicos e inclusões de Cambissolo Háplico textura argilosa ou média/argilosa, com horizonte A moderado, argila de atividade baixa e afloramentos de rochas, são ocupados por pastagens, fruticultura e subordinadamente por fragmentos de mata. Essa Unidade ocupa 7.882,64ha e 16,26% da área de estudo. A precipitação media anual varia de 1327 a 1367 mm. São terras sujeitas à legislação ambiental específica, devido ao relevo forte ondulado, a retirada da vegetação depende de autorização do IBAMA. Essas áreas encaixam na classe de alta a muito alta vulnerabilidade e fragilidade ambiental. A susceptibilidade das terras à erosão fica na classe de muito forte, uma vez que há maior risco

de erosão superficial para os solos da classe dos Argissolos e Cambissolos.

Limitações - Terrenos de muito forte susceptibilidade à erosão. Ocorrência de solos com baixa fertilidade natural, constituindo solos álicos e distróficos. O relevo forte ondulado, solos de textura média/muito argilosa, a susceptibilidade dos solos à erosão e a baixa fertilidade natural são os principais fatores restritivos da área, características que aliadas aos atributos inerentes à classe dos solos Cambissolos, situação de relevo e os altos índices de precipitação, conferem a esse ambiente elevado grau de fragilidade. O principal risco é com a erosão acelerada com perda de horizonte A. A ampliação dos riscos que aí ocorrem estão na dependência direta do uso, manejo e das práticas agrícolas adotadas. A concentração e os índices de precipitação pode provocar grandes ravinamentos, caso mantenha-se o solo descoberto no período chuvoso ou seja retirada a cobertura vegetal. Os riscos são agravados pelas condições de relevo, textura média/muito argilosa, presença de solos rasos com baixos conteúdos de matéria orgânica e baixa fertilidade natural.

Potencialidades - Terrenos de moderada a alta capacidade de carga (colúvios e solos residuais). Adequado para pastagens, criação, culturas perenes e implantação de sistemas agroflorestis. Aquíferos livres a semiconfinados restritos aos vales com potencial regular. Apresenta potencialidades limitadas não sendo recomendado o uso com culturas anuais.

Recomendações - Implantação de sistema agropastoril e agroflorestais para recomposição da Mata Atlântica. Preservação e recuperação de matas nas cabeceiras de drenagens. Controle ambiental em atividade de mineração. Recuperação de áreas degradadas. Em função da menor resistência à erosão apresentada pelos solos de textura média/muito argilosa, recomenda-se a silvicultura e preservação ambiental nessas glebas. Nas encostas usadas com agricultura, as medidas anti-erosão são uma obrigação e entradas de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, para suprir as deficiências de fertilidade dos solos, são exigidas. Cuidados especiais devem ser tomados com o corte de taludes, para traçado de estradas vicinais, principalmente na classe dos Argissolos que apresentam substratos variados inclusive de rochas gnáissicas.

Pode-se considerar os Argissolos de textura argilosa como material de boa qualidade para piso de estradas, mas seu potencial agrícola em relevo movimentado é limitado. A presença de saprolitos a menos de 100cm de profundidade, em geral não apresenta impedimento físico ao enraizamento posto que, nesses casos, tais camadas são espessas e a rocha intemperizada é branda. É possível que os saprolitos apresentem maior teor de minerais primários intemperizáveis que os horizontes superiores, constituindo-se em importante zona de reserva potencial em nutrientes.

Unidade 07: Tem como características o relevo forte ondulado, com ocorrência de floresta tropical subperinifolia, onde predominam migmatitos homogêneos e heterogêneos, cortados por corpos graníticos e chornockitos, dioritos e pegmatitos da unidade Imbé e depósitos de tálus. São elevações com menor altitude do que as serras e praticamente desprovidas de afloramentos de rochas, apresenta solos profundos, bem a moderadamente drenados, onde predominam o Latossolo Amarelo com horizonte A proeminente e húmico, Latossolo Vermelho com horizonte A moderado, distróficos típicos, de textura argilosa ou muito argilosa, Argissolo Vermelho distrófico câmbico e típico, textura média/argilosa e argilosa/muito argilosa, com horizonte A moderado e argila de atividade baixa e inclusão de Cambissolo Háptico de textura argilosa ou média/argilosa. Ocupados por pastagens e subordinadamente por fragmentos de mata.

Essa Unidade ocupa 5.784,45ha e 11,93% da área de estudo. A precipitação média anual varia de 1327 a 1585 mm. Essas áreas encaixam na classe de muito alta vulnerabilidade e fragilidade ambiental. A susceptibilidade das terras à erosão fica na classe de muito forte, uma vez que há maior risco de erosão superficial para os solos da classe dos Argissolos câmbicos e Cambissolos Hápticos.

Limitações - Inclui áreas frágeis de relevo forte ondulado, com 20 a 45% de declive, sujeitas a legislação específica, a retirada da floresta depende da autorização e aprovação do IBAMA. Essas terras apresentam, na sua maioria, grau de limitação muito forte por susceptibilidade à erosão. O relevo forte ondulado, associado ao predomínio de solos de textura média/ argilosa, elevam o grau de susceptibilidade dos solos à erosão. O relevo, a susceptibilidade à erosão e a fertilidade natural, são os principais fatores restritivos da área. O principal risco é com a erosão acelerada com perda de horizonte A. A concentração e os índices de precipitação pode provocar grandes ravinamentos, caso mantenha-se o solo descoberto ou seja retirada a cobertura vegetal nessa unidade.

Potencialidades – Terrenos de moderada a alta capacidade de carga (colúvios e solos residuais). Adequado para pastagens, criação e cultivos perenes nos terrenos menos íngremes e sistemas agroflorestais e agropastoris. Aquíferos livres a semiconfinados restritos aos vales com potencial regular.

Recomendações - Implantação de sistema agropastoril e agroflorestais para recomposição da Mata Atlântica. Preservação e recuperação de matas nas cabeceiras de drenagens. Controle ambiental em atividade de mineração. Recuperação de áreas degradadas. Não é recomendável o uso com culturas anuais, devendo ser prioritariamente exploradas com pastagens plantadas

ou culturas que mantenham o solo coberto, como fruticultura ou sistemas agroflorestais e preservação ambiental.

Unidade 08 : São elevações com menor altitude do que as serras, de relevo forte ondulado em maior proporção e montanhoso, em menor proporção, com vertentes escarpadas e cumes aguçados com afloramentos rochosos, de litologias diversificadas, onde predominam migmatitos homogêneos e heterogêneos, cortados por corpos graníticos e chornockitos, dioritos e pegmatitos da unidade Imbé, e granitóides cinzentos de composição granodiorítica cortadas por aplogranitos, aplitos e pegmatitos do Batólito Serra dos Órgãos. Com gradientes elevados e amplitudes topográficas entre 500m e 900m e predomínio de floresta tropical subperenifólia, em menor proporção ocorre vegetação rupestre, nas áreas de relevo montanhoso com afloramento de rocha. Apresenta solos profundos, bem a moderadamente drenados, associados a solos mais rasos, onde predominam o Latossolo Amarelo com horizonte A moderado, proeminente e húmico, Latossolo Vermelho com horizonte A moderado, distróficos típicos, de textura argilosa ou muito argilosa, Argissolo Vermelho-Amarelo, distrófico típico, textura média/argilosa e argilosa/muito argilosa, com horizonte A moderado e argila de atividade baixa, afloramento de rocha e inclusão de Cambissolo Háplico de textura argilosa ou média/argilosa. Essa unidade ocupa 6.327,20ha e 13,05 % da área de estudo. A precipitação média anual varia em torno de 1367 mm. São áreas muito frágeis de relevo muito movimentado, susceptíveis a violentos processos erosivos devido a posição delicada que ocupam na paisagem. Essas áreas encaixam na classe de muito alta a extremamente alta vulnerabilidade e fragilidade ambiental. A susceptibilidade das terras à erosão fica na classe de muito forte a extremamente forte, uma vez que há maior risco de erosão superficial para os solos da classe dos Argissolos câmbicos, Cambissolos e solos com horizonte A húmico e proeminente.

Limitações - São áreas muito frágeis de relevo forte ondulado e montanhoso e alta declividade, inadequados para a urbanização e agricultura, de muito forte susceptibilidade a erosão e movimentos de massa, devido a posição delicada que ocupam na paisagem. O relevo forte ondulado e montanhoso, associado ao predomínio de solos de textura média/muito argilosa, elevam o grau de susceptibilidade dos solos à erosão. O principal risco é com a erosão acelerada com perda de horizonte A. Os índices de precipitação e a concentração podem provocar grandes ravinamentos, caso mantenha-se o solo descoberto ou seja retirada a cobertura vegetal nessa unidade.

Potencialidades – Apresenta potencialidades distintas para cada uma de suas partes

componentes, não sendo recomendado o uso com agricultura, devendo ser prioritariamente exploradas com pastagem plantada nos terrenos menos íngremes, sistemas agroflorestais, reflorestamento e recomposição de matas nas partes mais íngremes. Terrenos de moderada fertilidade natural, moderada a alta capacidade de carga (colúvios e solos residuais). Áreas de beleza cênica, indicadas para turismo ecológico. Devido ao relevo movimentado, rochoso e solos rasos de pouca profundidade, este segmento não é propício ao uso agrícola e inadequado para a urbanização, mas é de grande importância na captação das águas de chuvas e realimentação das bacias adjacentes, assim como na manutenção de minas existentes no sopé da serra, além de abranger ambientes que guardam características favoráveis para abrigar e preservar espécies animais e vegetais, particularmente devido à sua extensão.

Recomendações - Implantação de sistema silvopastoris, agroflorestais e recomposição da Mata Atlântica. Proteção dos mananciais. Controle ambiental em atividade de mineração. Recuperação de áreas degradadas. Há ocorrência de queda de blocos em função do deslocamento das rochas. Obviamente, são áreas impróprias à utilização intensiva. Tais áreas devem ser reservadas à preservação ambiental, mantendo a vegetação de mata existente e revegetando aquelas que estiverem desprovidas de cobertura vegetal, são indicadas a preservação ambiental e recomposição de matas, a cobertura florestal deve ser reconstituída sob pena de se perderem as terras mais férteis, no restante da área. Recomenda-se a reconstituição das áreas desmatadas com espécies nativas, a apicultura poderá ser uma atividade permitida nessas áreas. São áreas de grande importância no reabastecimento das águas subterrâneas das bacias subjacentes.

Unidade 09: Alinhamentos serranos com litologia diversificada, vertentes escarpadas e cumes aguçados, gradientes elevados e amplitudes topográficas entre 600m e 1000m, de relevo forte ondulado e montanhoso, na grande maioria, com afloramentos rochosos, e domínio de floresta tropical subperenifólia, em menor proporção ocorre vegetação rupestre, nas áreas de relevo montanhoso com afloramento de rocha. Onde domina migmatitos homogêneos e heterogêneos, cortados por corpos graníticos e chornockitos, dioritos e pegmatitos da unidade Imbé e granito da unidade São José do Ribeirão. Apresenta solos profundos a muito profundos, bem a moderadamente drenados, predominando Latossolo Amarelo de horizonte A moderado e húmico, Latossolo Vermelho-Amarelo com horizonte A moderado, fase rochosa, distróficos típicos, de textura argilosa ou muito argilosa, Cambissolo Háptico de textura argilosa ou média/argilosa com horizonte A moderado e argila de atividade baixa e afloramento de rocha. Ocupados por pastagens e fragmentos de mata.

Essa unidade ocupa 2.595,87ha e 5,36 % da área de estudo. A precipitação média anual varia de 1367 mm a 1585mm. São áreas muito frágeis de relevo muito movimentado, susceptíveis a violentos processos erosivos devido a posição delicada que ocupam na paisagem. Essas áreas encaixam na classe de muito alta a extremamente alta vulnerabilidade e fragilidade ambiental e muito forte a extremamente forte susceptibilidade à erosão.

Limitações - Terrenos forte ondulado e montanhoso de alta declividade, com afloramento de rocha, inadequados para a urbanização e agricultura. O relevo forte ondulado e montanhoso, associado ao predomínio de solos de textura média/muito argilosa, elevam o grau de susceptibilidade dos solos à erosão. O principal risco é com a erosão acelerada com perda de horizonte A e movimentos de massa. A concentração e os índices de precipitação podem provocar grandes ravinamentos, caso mantenha-se o solo descoberto ou seja retirada a cobertura vegetal nessa unidade.

Potencialidades – Não recomendado para agricultura, devendo ser prioritariamente exploradas com pastagem plantada e sistemas agroflorestais nos locais menos íngremes, reflorestamento e recomposição de matas nas partes mais íngremes. Terrenos de moderada fertilidade natural, moderada a alta capacidade de carga (colúvios e solos residuais). Áreas de grande beleza cênica, indicadas para turismo ecológico. Devido ao relevo movimentado, rochoso e solos rasos de pouca profundidade, este segmento não é propício ao uso agrícola e inadequado para a urbanização, mas é de grande importância na captação das águas de chuvas e realimentação das bacias adjacentes, assim como na manutenção de minas existentes no sopé da serra. Além de abranger ambientes que guardam características favoráveis para abrigar e preservar espécies animais e vegetais, particularmente devido à sua extensão.

Recomendados para implantação de sistema silvopastoris, agroflorestais e recomposição da Mata Atlântica. Proteção dos mananciais. Controle ambiental em atividade de mineração. Recuperação de áreas degradadas. Há ocorrência de queda de blocos em função do deslocamento das rochas. Obviamente, são áreas impróprias à utilização que devem ser reservadas à preservação ambiental, mantendo a vegetação de mata existente e revegetando aquelas que estiverem desprovidas de cobertura vegetal. São indicadas para preservação ambiental e recomposição de matas, a cobertura florestal deve ser reconstituída sob pena de se perderem as terras mais férteis no restante da área. Recomenda-se a reconstituição das áreas desmatadas, com espécies nativas, a apicultura poderá ser uma atividade permitida nessas áreas. São áreas de grande importância no reabastecimento das águas subterrâneas das bacias

adjacentes.

Unidade 10: Corresponde em parte aos alinhamentos serranos de litologia diversificada, vertentes escarpadas e cumes aguçados, amplitudes topográficas entre 700m e 1000m, gradientes elevados com relevo montanhoso e forte ondulado, ocorrência de afloramento de rocha, predomínio de floresta tropical subperenifólia, em menor proporção ocorre vegetação rupestre. Onde, domina granitóides cinzentos granodioríticos cortadas por aplogranitos, aplitos e pegmatitos do Batólito Serra dos Órgãos e migmatitos de estruturas diversas constituindo granitóides cinzentos, parcialmente gnáissicos e porfiróides, de composição granodiorítica do Complexo Rio Negro. Apresenta solos profundos e rasos, bem a moderadamente drenados, onde predominam Cambissolo háplico, textura argilosa ou média/argilosa com horizonte A moderado e húmico e argila de atividade baixa, associado a Latossolo Vermelho com horizonte A moderado, textura argilosa ou muito argilosa, e inclusão de afloramento de rocha. Ocupados por pastagens e subordinadamente por fragmentos de mata. Essa unidade ocupa 2.964,0ha e 6,12 % da área de estudo. A precipitação média anual varia de 1367mm a 1585mm. São áreas muito frágeis de relevo muito movimentado, susceptíveis a violentas processos erosivos devido a posição delicada que ocupam na paisagem. Essas áreas encaixam na classe de muito alta a extremamente alta vulnerabilidade e fragilidade ambiental. A susceptibilidade das terras à erosão fica na classe de muito forte a extremamente forte.

Limitações - Terrenos inadequado para a urbanização e agricultura, relevo muito movimentado e muito forte susceptibilidade a erosão e movimentos de massa, com potencial para pastagem plantada e sistemas agroflorestais nos terrenos menos íngremes, reflorestamento e recomposição de matas nas partes mais íngremes. São áreas muito frágeis, devido à posição delicada que ocupam na paisagem. O relevo, a susceptibilidade à erosão, a fertilidade natural e a ocorrência de solos textura média e rasos, são os principais fatores restritivos da área. O principal risco é com a erosão acelerada com perda de horizonte A e movimentos de massa. A concentração e os índices de precipitação podem provocar grandes ravinamentos, caso mantenha-se o solo descoberto ou seja retirada a cobertura vegetal nessa unidade.

Potencialidades – Adequados para pastagem plantada e natural, sistemas agroflorestais, criação e preservação, por abranger ambientes que guardam características favoráveis para abrigar e preservar espécies animais e vegetais, particularmente devido à sua extensão. Não se recomenda o uso com agricultura, devendo ser prioritariamente exploradas com pastagem

plantada e sistemas agroflorestais nos terrenos menos íngremes, reflorestamento e recomposição de matas nas partes mais íngremes.

Recomendadas para a preservação ambiental, implantação de sistema silvopastoris, agroflorestais, recomposição das áreas de matas, proteção de nascentes e mananciais. Recuperação de áreas degradadas, preservação e recuperação de matas nas cabeceiras de drenagens. Controle ambiental em atividade de mineração. Considerando que podem causar impactos negativos de grandes dimensões ao meio ambiente, deve-se destiná-las à preservação permanente. A cobertura florestal deve ser reconstituída sob pena de se perderem as terras mais férteis. Recomenda-se a reconstituição das áreas desmatadas, com espécies nativas, a apicultura poderá ser uma atividade permitida nessas áreas. São áreas de grande importância no reabastecimento das águas subterrâneas das bacias adjacentes.

Unidade 11: Áreas de relevo montanhoso e escarpado, com afloramentos rochosos e escarpas de granito, de amplitudes topográficas entre 800m e 1100m, gradientes elevados e domínio de granitóides cinzentos de composição granodiorítica cortadas por aplogranitos, aplitos e pegmatitos do Batólito Serra dos Órgãos e migmatitos homogêneos e heterogêneos, cortados por corpos graníticos e chornockitos, dioritos e pegmatitos da unidade Imbé. Domínio de floresta tropical subperenifólia e vegetação rupestre, com solos rasos e pouco profundos, bem a moderadamente drenados. Onde predomina afloramentos de rocha que ocorrem associados à Cambissolo Háplico e Neossolo Litólico com horizonte A moderado textura argilosa ou média/argilosa e argila de atividade baixa, com inclusões de Argissolo Vermelho-Amarelo, argila de atividade baixa e Latossolo Amarelo com horizonte A moderado, distróficos típicos, textura argilosa. Essa unidade ocupa 2.230,42ha e 4,60 % da área de estudo. A precipitação média anual varia de 1327mm a 1367mm. São áreas extremamente frágeis de relevo muito movimentado, susceptíveis a violentos processos erosivos, na classe dos cambissolos, Neossolos Litólicos e Argissolos devido à posição delicada que ocupam na paisagem. Essas áreas encaixam na classe de muito alta a extremamente alta vulnerabilidade e fragilidade ambiental. A susceptibilidade das terras à erosão fica na classe de extremamente forte.

Limitações - São ecossistemas frágeis, nos quais predomina fragmentos florestais e vegetação rupestre, relevo montanhoso e escarpado, com blocos rochosos salientes e escarpas de granito, intercalados com afloramentos rochosos associados a solos rasos. Terrenos com baixa capacidade de carga, alta susceptibilidade à processos de erosão e movimentos de massas, devido às classes de solos que aí ocorrem e a posição delicada que ocupam na

paisagem. Há ocorrência de queda de blocos em função do deslocamento das rochas. Solos pouco espessos. Inadequado para a urbanização, agricultura e pecuária. Potencial hidrogeológico baixo a nulo.

Potencialidades – Ocorrência dominante de áreas protegidas por lei, com declives maiores que 45%, compõe-se, primordialmente, de terras inaptas ao uso agrícola sustentado, fato que decorre de fortes limitações do solo, relevo, rochosidade e susceptibilidade à erosão extremamente forte. Áreas de beleza cênica, como a pedra de Santa Tereza e Pedra Aguda, além de várias cachoeiras, indicadas para turismo ecológico e geoturismo. Potencial mineral para granito e rochas ornamentais. Devido ao relevo movimentado, rochosidade e solos rasos de pouca profundidade, este segmento não é propício ao uso agrícola, são áreas inaptas para qualquer tipo de atividade e destinadas à preservação permanente, de acordo com a legislação vigente. São terrenos de grande importância na captação das águas de chuvas e realimentação da bacia adjacente, assim como na manutenção de minadouros existentes no sopé da serra. Além de abranger ambientes que guardam características favoráveis para abrigar e preservar espécies animais e vegetais, particularmente devido à sua extinção.

Recomendações - São impróprias ao uso agrícola e destinadas à preservação permanente (flora e fauna), de acordo com a legislação ambiental vigente, ou por se situarem em relevo acidentado, pela presença de remanescentes de mata Atlântica, ou para proteção de nascentes e manutenção de cursos d'água. Deve-se recompor e manter a vegetação de mata existente e revegetar as áreas que estiverem desprovidas de cobertura vegetal. Proteger nascentes e mananciais, recuperar áreas degradadas, preservação e recuperação de matas nas cabeceiras de drenagens. Controle ambiental em atividade de mineração. Recomenda-se a reconstituição das áreas desmatadas com espécies nativas, a apicultura poderá ser uma atividade permitida nessas áreas.

Unidade 12 : Tem como características o relevo forte ondulado, com ocorrência marcante de floresta tropical subperinifolia, onde predomina granitóides cinzentos de composição granodiorítica cortadas por aplogranitos aplitos e pegmatitos do Batólito Serra dos Órgãos e depósitos de tálus. Onde predominam o Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo com horizonte A moderado e proeminente, distróficos, típicos, de textura argilosa ou muito argilosa com inclusão de Cambissolo Háplico textura argilosa ou média/argilosa, com horizonte A moderado e argila de atividade baixa, ocupados por pastagens e fragmentos de mata. Essa unidade ocupa 4.374,52ha e 9,03 % da área de estudo. A precipitação média anual gira em torno de 1367 mm. Amplitudes topográficas entre 700m e 1000m e gradientes

elevados. Essas áreas encaixam na classe de alta a muito alta vulnerabilidade e fragilidade ambiental. A susceptibilidade das terras à erosão fica na classe de muito forte.

Limitações - São terras sujeitas à legislação ambiental específica, devido ao relevo forte ondulado, a retirada da vegetação depende de autorização do IBAMA. Terrenos de muito forte susceptibilidade a erosão e solos de baixa fertilidade natural. A posição na paisagem, o relevo, a ocorrência de solos de textura média/argilosa, presença de solos mais rasos com baixos conteúdos de matéria orgânica e baixa fertilidade natural, conferem um maior grau de fragilidade a essa unidade, a erodibilidade dos solos e o risco de contaminação de aquíferos e fontes localizadas no sopé da serra, são os principais fatores limitantes da unidade. O principal risco é com a erosão acelerada com perda de horizonte A. A ampliação dos riscos que aí ocorrem estão na dependência direta do uso, manejo e das práticas agrícolas adotadas.

Potencialidades - Terrenos de moderada a alta capacidade de carga (colúvios e solos residuais). Adequado para pastagens, criação, culturas perenes e implantação de sistemas agroflorestais. Aquíferos livres a semiconfinados restritos aos vales com potencial regular. Apresenta potencialidades limitadas não sendo recomendado o uso com culturas anuais. Os riscos são agravados pelas condições de relevo, textura média/argilosa, presença de solos rasos e baixa fertilidade natural.

Recomendadas para a implantação de sistema agropastoril, agroflorestais e culturas perenes (fruticultura). Preservação e recuperação de matas nas cabeceiras de drenagens. Controle ambiental em atividade de mineração. Recuperação de áreas degradadas. Ocorrem áreas que requerem cuidados especiais e práticas conservacionistas intensivas, a fim de evitar o aparecimento de sulcos e voçorocas. Práticas conservacionistas inadequadas podem provocar erosão severa, sulcos e voçorocas. Em função da menor resistência à erosão apresentada pelos solos de textura média/argilosa, recomenda-se a silvicultura e preservação ambiental, na classe dos cambissolos. Nas encostas usadas com agricultura, as medidas anti-erosão são uma obrigação e entradas de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, para suprir as deficiências de fertilidade dos solos, são exigidas. A concentração e os índices de precipitação pode provocar grandes ravinamentos, caso mantenha-se o solo descoberto no período chuvoso ou seja retirada a cobertura vegetal.

Unidade 13: Tem como características o relevo forte ondulado e inclusão de relevo ondulado, com ocorrência marcante de floresta tropical subperinifólia, onde ocorrem migmatitos de estruturas diversas constituindo granitóides cinzentos, parcialmente gnáissicos e porfiróides, de composição granodiorítica do Complexo Rio Negro e migmatitos

homogêneos e heterogêneos, cortados por corpos graníticos e chornockitos, dioritos e pegmatitos da unidade Imbé. Apresenta solos profundos, bem a moderadamente drenados, com predomínio de Argissolo Vermelho eutrófico abruptico, Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico fase rochosa, com horizonte A moderado, textura média/muito argilosa e argilosa/muito argilosa, Cambissolo Háptico, textura argilosa ou média/argilosa e inclusão de Argissolo Amarelo distrófico típico, textura argilosa/muito argilosa, com horizonte A moderado e argila de atividade baixa, que ocorre nas áreas de relevo mais suavizado. Ocupados por pastagens, fragmentos de mata e pequenos cultivos. Essa unidade ocupa 2.377,52ha e 4,91 % da área de estudo. A precipitação media anual gira em torno de 1367 mm, as amplitudes topográficas estão entre 500m e 800m, com gradientes elevados. Essas áreas encaixam na classe de alta a muito alta vulnerabilidade e fragilidade ambiental. A susceptibilidade das terras à erosão fica na classe de muito forte.

Limitações - Inclui áreas frágeis de relevo forte ondulado, com 20 a 45% de declive, sujeitas à legislação ambiental específica, devido ao relevo forte ondulado, a retirada da vegetação depende de autorização do IBAMA. Terras que apresentam, na sua maioria, grau de limitação muito forte por susceptibilidade à erosão. O relevo forte ondulado, associado a ocorrência de solos abrupticos de textura média/muito argilosa, elevam o grau de susceptibilidade dos solos à erosão e conferem um maior grau de fragilidade a essa unidade. O relevo, a erodibilidade dos solos e o risco de contaminação de aquíferos e fontes localizadas no sopé da serra, são os principais fatores limitantes da unidade. O principal risco é com a erosão acelerada com perda de horizonte A, uma vez que há maior risco de erosão superficial para os solos da classe dos Argissolos abrupticos e Cambissolos. A ampliação dos riscos que aí ocorrem estão na dependência direta do uso, manejo e das práticas agrícolas adotadas. A concentração e os índices de precipitação podem provocar grandes ravinamentos, caso mantenha-se o solo descoberto ou seja retirada a cobertura vegetal. Nas encostas usadas com agricultura, medidas preventivas contra a erosão são uma obrigação e entradas de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, para suprir as deficiências de fertilidade dos solos, são exigidas.

Potencialidades - Terrenos de moderada a alta capacidade de carga (coluvios e solos residuais). Inclui solos de fertilidade superior, mas limitados para a agricultura. Adequado para pastagens, criação, culturas perenes e sistemas agroflorestais nos terrenos mais íngremes e urbanização nas vertentes mais suaves. Aquíferos livres a semiconfinados restritos aos vales com potencial regular. Apresenta potencialidades limitadas não sendo recomendado o uso com culturas anuais.

Recomendadas para a implantação de sistema agropastoril, agroflorestais e culturas perenes (fruticultura). Preservação e recuperação de matas nas cabeceiras de drenagens. Controle ambiental em atividade de mineração. Recuperação de áreas degradadas. Ocorrem áreas que requerem cuidados especiais e práticas conservacionistas intensivas a fim de evitar o aparecimento de sulcos e voçorocas. Práticas conservacionistas inadequadas podem provocar erosão severa, sulcos e voçorocas. Em função da menor resistência à erosão apresentada pelos solos de textura média/muito argilosa e média/argilosa, recomenda-se a silvicultura e preservação ambiental, na classe dos Argissolos abrupticos e Cambissolos. Nas encostas usadas com agricultura, medidas preventivas contra a erosão são uma obrigação e entradas de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, para suprir as deficiências de fertilidade dos solos, são exigidas. Não é recomendável o uso com culturas anuais, devem ser prioritariamente exploradas com pastagens plantadas ou culturas que mantenham o solo coberto, como fruticultura ou sistemas agroflorestais e preservação ambiental.

Unidade 14 : Alinhamentos serranos com litologia diversificada, vertentes escarpadas e cumes aguçados, onde predominam migmatitos homogêneos e heterogêneos, cortados por graníticos e charnockitos, dioritos e pegmatitos da unidade Imbé; gnaisses e migmatitos cortados por aplogranitos da unidade Crubixais; migmatitos heterogêneos e corpos dioríticos migmatizados e migmatitos porfiroblásticos, cortados por diques graníticos e pegmatíticos da unidade Rio Bonito Lumiar. Amplitudes topográficas entre 800m e 1200m e gradientes elevados. São áreas de relevo montanhoso, com escarpas e afloramento de rocha, onde ocorre floresta tropical subperenifólia e vegetação rupestre. Apresenta solos rasos e profundos, bem a moderadamente drenados, onde predominam Cambissolos húmicos e háplicos, distróficos de textura argilosa ou média/argilosa, associados a afloramento de rocha e Argissolo Vermelho-Amarelo, com horizonte A moderado, distrófico típico, de textura argilosa ou muito argilosa, argila de atividade baixa e inclusão de Latossolo Amarelo ácrico húmico. Ocupados por fragmentos de mata, capoeiras e subordinadamente pastagens. Essa unidade ocupa 2.854,80ha e 5,89 % da área de estudo. A precipitação média anual varia de 1327 mm a 1367mm. Essas áreas encaixam na classe de extremamente alta vulnerabilidade e fragilidade ambiental. A susceptibilidade das terras à erosão fica na classe de extremamente forte.

Limitações - São áreas muito frágeis, de relevo montanhoso, na grande maioria, com blocos rochosos salientes, intercalados com solos húmicos associados a afloramentos rochosos. Terrenos de susceptibilidade à erosão extremamente forte, com riscos de deslocamentos das rochas e movimentos de massa. O relevo montanhoso, associados ao

predomínio de solos de textura média/muito argilosa e a posição delicada que ocupam na paisagem, elevam o grau de susceptibilidade dos solos à erosão. O principal risco é com a erosão acelerada com perda de horizonte A húmico e movimentos de massa. O relevo, a susceptibilidade à erosão e a fertilidade natural, são os principais fatores restritivos da área. A concentração e os índices de precipitação pode provocar grandes ravinamentos, caso mantenha-se o solo descoberto ou seja retirada a cobertura vegetal nessa unidade. Terrenos inadequados para a urbanização, agricultura e pecuária. Potencial hidrogeológico baixo a nulo.

Potencialidades – Ocorrência dominante de áreas protegidas por lei, com declive maior que 45%, compõe-se, primordialmente, de terras inaptas ao uso agrícola sustentado, fato que decorre de fortes limitações do solo, relevo, rochoso e susceptibilidade à erosão extremamente forte. Áreas de beleza cênica, indicadas para turismo. Potencial mineral para granito e rochas ornamentais. Devido ao relevo movimentado e rochoso, este segmento não é propício ao uso agrícola, mas é de grande importância na captação das águas de chuvas e realimentação da bacia adjacente, assim como na manutenção de minadouros existentes no sopé da serra. Além de abranger ambientes que guardam características favoráveis para abrigar e preservar espécies animais e vegetais, particularmente devido à sua extensão.

Recomendações - Áreas impróprias ao uso agrícola e destinadas à preservação permanente (flora e fauna). São áreas que devem ser destinadas à preservação ambiental, recomposição da mata atlântica, mantendo a vegetação de mata existente e revegetando aquelas que estiverem desprovidas de cobertura vegetal. Proteção de nascentes e mananciais. Controle ambiental em atividade de mineração. A cobertura florestal deve ser reconstituída sob pena de se perderem as terras mais férteis. Recomenda-se a reconstituição das áreas desmatadas, com espécies nativas, a apicultura poderá ser uma atividade permitida nessas áreas.

Tabela 33 - Matriz diagnóstica das unidades geoambientais delimitadas

Unidades	Relevo e Declive	Solo	Litologia	Geomorfologia	Drenagem	Cobertura Vegetal
1	Plano/Suave Ondulado 0 a 3%	Neossolo flúvico, Cambissolo flúvico e inclusão de Gleissolo háplico. Solos álicos, distróficos epieutróficos com textura média, argilosa, média/argilosa ou muito argilosa.	Sedimentos argilo arenosos, areno-argilosos e argilo-siltosos, compreendendo aluviões fluviais recentes, depósitos de planície de inundação, canais fluviais, leques aluviais e formações aluviais mais antigas referidas ao Holoceno.	Planície de inundação com várzea dos rios e córregos de maior eixo.	Rios perenes meandrantos com moderada capacidade de transporte e velocidade da água. Maior eixo de drenagem é o Rio Grande.	Plantios de olerícolas, capineiras, fruteiras, pousio e capoeira.
2	Suave Ondulado 3 a 8%	Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo A proeminente, Neossolo flúvico e Latossolo Vermelho Amarelo A moderado. Solos álicos e distróficos.	Depósitos preferencialmente colúviais de consistência arenosa, areno-argilosa e argilo-silte-arenosa, inclui depósito de tálus ou material eluvio-colúvial raso (solo imaturo) sujeito a rastejo e escorregamentos.	Áreas entulhadas com rampas de colúvio, poucos terraços. Incluem áreas de alvéolos intermontanos e vales suspensos contidos entre os blocos rochosos.	Rede de canais perenes e intermitentes, escoamento orientado. Maior volume de água e menor velocidade.	Plantios de olerícolas, flores ornamentais e fruteiras.
3	Ondulado 8 a 14% e 14 a 20%	Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo, Argissolo Vermelho A moderado, Latossolo Amarelo A proeminente. Solos álicos e distróficos com textura argilosa, argilosa / muito argilosa e média/argilosa.	Depósitos colúvionares de fases diversas, em mistura com produtos de alterações das rochas das unidades euclidilândia, complexo indiviso, imbé e depósito de tálus.	Encostas colúviais, inclusão de depósitos de tálus ocupando as áreas de sopé.	Canais efêmeros e perenes com padrão dendrítico, subparalelo e paralelo acompanhando variações do relevo local. Escoamento orientado. Velocidade e volume de água médio.	Manchas de floresta natural plantios olerícolas, flores ornamentais, fruteiras e pastagem.
4	Ondulado e Forte Ondulado	Latossolo Amarelo húmico, Latossolo Vermelho e Latossolo Amarelo A proeminente e inclusão de Cambissolo háplico. Solos álicos e distróficos	Granito São José do ribeirão; migmatitos homogêneos e heterogêneos, cortados por corpos graníticos e chornockitos, dioritos e pegmatitos da unidade Imbé e depósitos de tálus.	Encostas colúviais e encostas abruptas do cristalino, com inclusão de depósitos de tálus ocupando as áreas de sopé.	Canais efêmeros e perenes com padrão dendrítico, subparalelo e paralelo acompanhando variações do relevo local. Escoamento orientado. Velocidade e volume de água médio.	Plantios de olerícolas, fruteiras, pastagem, café e floresta natural.
5	Ondulado e Forte Ondulado	Latossolo Amarelo, Argissolo Vermelho Amarelo, Cambissolo háplico e Latossolo Vermelho Amarelo. Solos álicos e distróficos	Depósitos colúvionares de fases diversas, em mistura com migmatitos de estruturas diversas constituindo granitóides cinzentos, gnáissicos e porfiróides, de composição granodiorítica do Complexo rio negro, associados com produtos de alterações das rochas do Batólito Serra dos Órgãos, Imbé, Crubixais e Rio Bonito Lumiar.	Encostas colúviais e encostas abruptas do cristalino. circundadas por exposição rochosa. Afloramentos de rochas com blocos rochosos e salientes.	Canais efêmeros e perenes com padrão dendrítico, subparalelo e paralelo acompanhando variações do relevo local. Escoamento orientado. Velocidade e volume de água médio.	Plantios de olerícolas, fruteiras, pastagem, café e floresta natural.

6	Forte Ondulado	Argissolo Vermelho, Latossolo Amarelo, Argissolo Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho Amarelo latossólico. Solos álicos e distróficos	migmatitos homogêneos e heterogêneos, cortados por corpos graníticos e chernockitos, dioritos e pegmatitos da unidade Imbé e depósitos de tálus.	Encostas abruptas do Cristalino, circundadas por exposição rochosa. Incluem depósitos de tálus ocupando as áreas de sopé.	Canais efêmeros e perenes Com padrão dendrítico, subparalelo e paralelo. Escoamento orientado. Velocidade e volume de água médio.	Plantios de pastagem, café fruteiras e floresta natural.
7	Forte Ondulado	Latossolo Vermelho Amarelo, Argissolo Vermelho câmbico, Latossolo Amarelo húmico e Latossolo vermelho.	migmatitos homogêneos e heterogêneos, cortados por corpos graníticos e chernockitos, dioritos e pegmatitos da unidade Imbé e depósitos de tálus. Imbé e tálus	Encostas do Cristalino circundadas por exposição rochosa. Incluem depósitos de tálus ocupando as áreas de sopé. Escarpas e blocos falhados, com Segmentos da serra do Mar.	Canais efêmeros e perenes com padrão dendrítico, subparalelo e paralelo. Escoamento orientado. Velocidade e volume de água médio.	Plantios de pastagem, café fruteiras e floresta natural.
8	Forte ondulado a Forte ondulado e montanhoso	Latossolo vermelho e Latossolo Amarelo A proeminente, Afloramento de rocha e Cambissolo háplico.	migmatitos homogêneos e heterogêneos, cortados por corpos graníticos e chernockitos, dioritos e pegmatitos da unidade Imbé, e granitóides cinzentos de composição granodiorítica cortadas por aplogranitos, aplitos e pegmatitos do Batólito Serra dos Órgãos.	Encostas do Cristalino, circundadas por exposição rochosa. Escarpas e blocos falhados, com segmentos da serra do Mar. Afloramentos de rocha com blocos rochosos e salientes.	Canais efêmeros e perenes com padrão dendrítico, subparalelo e paralelo acompanhando variações do relevo local. Escoamento orientado e difuso. Velocidade e volume de água elevado.	Floresta natural e pastagem
9	Forte ondulado e Montanhoso	Latossolo Amarelo húmico, latossolo vermelho Amarelo fase rochosa, cambissolo háplico e Afloramento de rocha	migmatitos homogêneos e heterogêneos, cortados por corpos graníticos e chernockitos, dioritos e pegmatitos da unidade Imbé e granito São José do ribeirão	Escarpas e blocos falhados, com Segmentos da serra do Mar. Afloramentos de rocha, blocos rochosos salientes. Encostas do cristalino circundadas por exposição rochosa.	Escoamento em maioria difuso de grande velocidade. Predomínio de poucos canais efêmeros.	Floresta natural e pastagem
10	Forte ondulado e Montanhoso	Cambissolo háplico e húmico, Latossolo Vermelho Amarelo e inclusão de afloramento de rocha	granitóides cinzentos granodioríticos cortadas por aplogranitos, aplitos e pegmatitos do Batólito Serra dos Órgãos e migmatitos de estruturas diversas constituindo granitóides cinzentos, parcialmente gnáissicos e porfiróides, de composição granodiorítica do complexo rio negro.	Escarpas e blocos falhados, com Segmentos da serra do Mar. Afloramentos de rocha, blocos rochosos salientes. Encostas do cristalino circundadas por exposição rochosa.	Escoamento em maioria difuso de grande velocidade. Predomínio de poucos canais efêmeros	Floresta natural e pastagem
11	Forte ondulado a Montanhoso e Montanhoso a Escarpado	Afloramento de rocha, Cambissolo háplico e Neossolo litólico.	granitóides cinzentos de composição granodiorítica cortadas por aplogranitos, aplitos e pegmatitos do Batólito Serra dos Órgãos; migmatitos homogêneos e heterogêneos, cortados por corpos	Escarpas e blocos falhados, com Segmentos da serra do Mar. Afloramentos de rocha, blocos rochosos e salientes.	Escoamento em maioria difuso de grande velocidade. Predomínio de poucos canais efêmeros	Vegetação rupestre com Líquens, Musgos e Bromélias recobrando as encostas rochosas. Manchas de floresta rala.

			graníticos e chornockitos, dioritos e pegmatitos da unidade Imbé			
12	Forte Ondulado	Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho Amarelo e inclusão de Cambissolo háplico	granitóides cinzentos de composição granodiorítica cortadas por aplogranitos aplitos e pegmatitos do Batólito Serra dos Órgãos e depósitos de tálus.	Encostas abruptas do Cristalino, circundadas por exposição rochosa. Incluem depósitos de tálus ocupando as áreas de sopé.	Canais efêmeros e Perenes com padrão dendrítico, subparalelo e paralelo. Escoamento orientado. Velocidade e volume de água médio.	Plantios de pastagem, café fruteiras. Reflorestamento com eucaliptos e floresta natural.
13	Forte Ondulado	Argissolos vermelho eutrófico abruptico, Argissolo vermelho amarelo distrófico típico fase rochosa e Cambissolo háplico e e inclusão de Argissolo Amarelo, Solos eutróficos e distróficos.	migmatitos de estruturas diversas constituindo granitóides cinzentos, parcialmente gnáissicos e porfiróides, de composição granodiorítica do complexo rio negro e migmatitos homogêneos e heterogêneos, cortados por corpos graníticos e chornockitos, dioritos e pegmatitos da unidade Imbé.	Encostas abruptas do Cristalino, constituídas por material de decomposição "in situ" circundadas por exposição rochosa.	Canais efêmeros e perenes com padrão dendrítico, subparalelo e paralelo. Escoamento orientado. Velocidade e volume de água médio.	Plantios de pastagem, café fruteiras. Reflorestamento com eucaliptos e floresta natural.
14	Montanhoso	Cambissolo húmico, Afloramento de rocha e Argissolos vermelho amarelo.	migmatitos homogêneos e heterogêneos, cortados por graníticos e chornockitos, dioritos e pegmatitos da unidade Imbé; gnaiesses e migmatitos cortados por aplogranitos da unidade Crubixais; migmatitos heterogêneos e corpos dioríticos migmatizados e migmatitos porfiroblásticos, cortados por diques graníticos e pegmatíticos da unidade Rio Bonito Lumiar.	Encostas do Cristalino, constituídas por material de decomposição "in situ" circundadas por exposição rochosa. Afloramentos de rocha com blocos rochosos e salientes.	Escoamento em maioria difuso de grande velocidade. Predomínio de poucos canais efêmeros	Vegetação rupestre com Líquens, Musgos e Bromélias recobrando as encostas rochosas. Manchas de floresta rala.

CAPÍTULO VIII

CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

8.1 Considerações Gerais

A área estudada apresenta um quadro fisionômico bastante diversificado, com relevo movimentado e um mosaico de paisagens que foram sendo alteradas ao longo dos anos, devido as constantes e sucessivas intervenções antrópicas, em função de diferentes usos do solo. As alterações e o uso do solo sem um planejamento adequado transformaram as florestas em imensas áreas de pastagens, muitas das quais encontram-se hoje degradadas, restando apenas manchas de florestas secundárias, assim mesmo, restritas as áreas de maiores altitudes. Isso acarretou a retirada da cobertura florestal de áreas consideradas vulneráveis, como margens de corpos hídricos, topos de morros e áreas com alto grau de susceptibilidade à erosão.

Das atividades produtivas de maior interesse aos objetivos deste estudo, a agricultura e pecuária de leite e corte são as atividades econômicas mais importantes desenvolvidas na área do médio alto curso do Rio Grande. Tomando como exemplo o município de Bom Jardim, a agropecuária corresponde com 16,8% das atividades econômicas produzidas, enquanto o setor de mineração corresponde com apenas 0,2%. Na produção agrícola destaca-se a cafeicultura, olericultura, plantio de flores ornamentais, fruticultura em menor escala, plantios de forrageiras para apoiar a pecuária de leite e pequenas granjas, onde se produz frangos e ovos. Os núcleos urbanos são muito pequenos para uma análise geotécnica na escala de trabalho apresentada e o setor de extração mineral consiste na exploração de duas pedreiras, com extração de granito para pavimentação de ruas, avenidas e britas para a construção civil e, pequenos pontos de extração de areia no leito dos rios e córregos. Nesse sentido, grande parte dos comentários e medidas sugeridas neste item está relacionada com as atividades agropecuárias e os impactos ambientais decorrentes. A busca pelo aumento da produção e a intensidade de uso da terra, conduzem a uma degradação ambiental, por vezes grave, com reflexos mais evidentes na poluição das águas superficiais e subterrâneas, na degradação dos solos, na destruição dos habitats da fauna e no abandono de terras menos produtivas. Estes problemas assumem especial gravidade e importância em áreas de equilíbrio frágil, ocupadas por pequenas propriedades com agricultura familiar, onde grande parte dos produtores são descapitalizados.

A topografia local bastante movimentada é um dos fatores que impedem o maior

aproveitamento, quanto ao uso do solo. Pelo fato de existirem muito poucas áreas suavizadas, a agricultura é comumente praticada em terrenos de declividades acentuadas, com a máxima ocupação de áreas íngremes que compõem a paisagem local. Essa ocupação provoca inúmeras transformações ambientais, que acabam constituindo-se em conflitos de uso da terra. A necessidade de preservar fragmentos da mata Atlântica, conservar a biodiversidade, proteger a fauna, proteção de minadouros e mananciais, proteger as cabeceiras do rio Grande, mantendo a água não contaminada por agrotóxicos e dejetos humanos, os solos sem erosão, evitando assoreamentos na calha do rio, evitando novos desmatamentos e incorporação de áreas marginais ao processo produtivo, são motivos que justificam a geração destas informações, os cuidados com o manejo ambiental da área e a sugestão de medidas agroambientais. As considerações que serão abordadas neste item são no sentido de integrar os espaços destinados à conservação e o uso com a sustentabilidade do ambiente, identificando estratégias de manejo do solo e água, com ações mitigadoras de prevenção e controle que resultem na redução das perdas de solo por erosão. Sugerindo quando possível um conjunto de boas práticas agrícolas e usos alternativos, visando a conservação dos recursos naturais, elevação da produtividade agrícola e melhoria na qualidade ambiental, com a finalidade de alcançar objetivos ambientais.

A agricultura, desde suas primeiras manifestações, vem modelando paisagens, dando origem a ambientes semi-naturais com biodiversidade própria, a relação desejável entre agricultura e ambiente é bem expressa pelo termo “agricultura sustentável” (COM 1999 e 2000). De acordo com a Comunidade Européia COM (1999 e 2000) e FAO (1993), uma perspectiva mais ampla de sustentabilidade inclui, no entanto, um vasto conjunto de aspectos ligados às terras e ao seu uso, como a proteção de paisagens, habitats e biodiversidade, e objetivos como a qualidade do solo, da água potável e do ar. Com essas preocupações, a União Européia desenhou uma política agrícola comum, na qual os requisitos ambientais foram especificamente integrados à política ambiental, nesta direção que apontam as recomendações dos relatórios COM (1999 e 2000), onde as reformas empreendidas proporcionam um poderoso impulso para a integração entre agricultura e ambiente e a relação desejável fica bem expressa no termo “agricultura sustentável”.

8.1.1 - As questões ambientais na área de estudo

Alguns dos processos de degradação e alterações ambientais identificados na área de estudo estão, basicamente, relacionados com os processos de degradação da qualidade dos solos, instalação de processos erosivos com perda da matéria orgânica e consequente redução

da produção e da produtividade, início de degradação da qualidade d'água, devido ao uso de agrotóxicos, a prática da irrigação e a contaminação de cursos d' águas com dejetos humanos e de animais, devastação das florestas nativas, devido à exploração não-sustentável da vegetação primária e secundária e as queimadas. Sendo estes os principais impactos que acontece basicamente em toda a área de estudo, onde verifica-se também alguma degradação qualitativa, onde a disposição final de resíduos sólidos põe em risco sistemas hidrogeológicos de interesse local. Considerando as várias ações antrópicas de maior importância na área, quanto às suas interfaces com o meio ambiente, pode-se considerar que as atividades na área são de baixo a médio impacto, com situações pontuais e não pontuais de poluição, ocasionadas principalmente, pela falta de esgotamento sanitário, coleta de lixo, uso da água, uso de agrotóxicos, prática da irrigação e ausência de práticas agrícolas adequadas. Pode-se afirmar que as atividades atualmente desenvolvidas na área não causam impactos negativos de caráter irreversível na área onde se insere, na sua envolvente e nas populações mais próximas.

De acordo com ANA (2006), verifica-se problemas graves de poluição de águas, gerados por esgotos domésticos e o conflito gerado pelo decréscimo da qualidade das águas e o abastecimento humano configura-se como de urgente solução no Rio Grande, a jusante da foz do rio Bengala, que recebe cargas orgânicas do município de Nova Friburgo e de outros municípios em sua bacia, inclusive Bom jardim, suas águas são captadas em sua calha para consumo humano nos municípios de Trajano de Moraes, São Sebastião do Alto e Santa Maria Madalena. Especificamente na bacia do Rio Grande, o conflito gerado pelo decréscimo da qualidade das águas e o abastecimento humano, exige solução urgente (ANA 2006).

Quanto ao esgoto sanitário, coleta de lixo e tratamento de água, dados embora divergentes, do TEC (2007), CIDE (2005) e Ministério das Cidades (2003), apontam que no município de Bom Jardim a rede coletora de esgoto sanitário chega a 43,7% dos domicílios do município; outros 9,5% têm fossa séptica, 9,9% utilizam fossa rudimentar, 9,0% estão ligados a uma vala, e 27,6% são lançados diretamente nos rios. O esgoto coletado não passa por tratamento e é lançado nos córregos e rios. Com coleta regular de lixo 68,3% dos domicílios do núcleo urbano, outros 2,2% têm seu lixo jogado em terreno baldio ou logradouro e 27,0% os queimam. Na questão dos resíduos sólidos, dados do CIDE (2005), apontam que do total produzido em Bom Jardim 11,9 toneladas/dia são coletadas, cujo destino é valas a céu aberto ao lado de unidade de compostagem e local de queima irregular de propriedade da Prefeitura, localizado no Horto Municipal. No tocante ao abastecimento de água, 51,6% dos domicílios tem acesso à rede de distribuição, 47,3% com acesso à água através de poço ou nascente e

1,0% têm outra forma de acesso à mesma. O total distribuído alcança 9.520 metros cúbicos por dia, dos quais 78% passam por tratamento convencional, 9% por simples desinfecção e o restante não é tratado (provavelmente água de fonte). A realização de investimentos e ações de desenvolvimento tecnológico resultará na implantação de projetos mais eficientes e menos impactantes na qualidade dos corpos hídricos e do solo, e na reutilização dos subprodutos dos tratamentos de água, esgoto e resíduos sólidos e, na a gestão dos recursos naturais de forma mais competente e eficaz (ANA, 2006; TCE , 2007; Cide 2005).

No tocante a agricultura no geral, pode-se considerar que a área tem um manejo razoável, há no entanto, situações pontuais e não pontuais de poluição do solo e das águas, nas glebas onde se pratica a agricultura intensiva, com culturas de ciclo curto e plantio de flores ornamentais, em regime de irrigação e processos erosivos induzidos e ocasionados por explorações nas encostas, com particular incidência nas áreas de declives abruptos com plantios de café e pastagens. Alguns agricultores tem criação de gado de corte e de leite, outros têm animais como porcos e aves, com o objetivo de atender somente ao consumo familiar. As práticas agrícolas são conduzidas mediante a utilização de um sistema de manejo de médio a baixo nível tecnológico. Igualmente ocorrem situações de indisciplina na aplicação de produtos fitopatológicos, com consequências negativas na poluição das águas (Emater, 1994 e 2001). O manejo dos solos e das culturas envolve o uso de quantidades razoáveis de fertilizantes orgânicos e químicos. A maioria das pastagens são plantadas, com pouca adubação e manejo de baixo nível tecnológico, muitas das quais encontram-se degradadas. O plantio das hortaliças é feito da mesma forma, independente da classe de solo e do tipo de cultura.

A erosão induzida, problema mais sério nas áreas com plantios de café, afeta bastante o horizonte superficial de algumas classes de solos, principalmente os com horizonte A proeminente e húmicos, reduzindo a sua espessura e carreando a matéria orgânica. As limitações agrícolas observadas na área incluem declives com fortes gradientes, dificuldades de mecanização, exigências de medidas anti-erosivas, exigências de defensivos e corretivos, deficiência hídrica no período seco limitando a produção e o número de colheitas por ano, custos de insumos agrícolas e falta de mão de obra local. As restrições mais importantes relacionadas à produção agrícola, aumento de produtividade e qualidade do ambiente, são a escassez de umidade durante o período de seca, atualmente crescente, solos com fertilidade decrescente, por causa da baixa fertilidade natural da maioria dos tipos de solos, o que é agravado pela falta de adubações corretivas e de manutenção, rotação de culturas e período de

pousio para restabelecer sua fertilidade, os custos dos fertilizantes comerciais, degradação dos solos por erosão hídrica e comprometimento da qualidade da água em certos locais. Outros fatores que restringem o aumento de produção agrícola são a busca por maiores produtividades, incorporando áreas marginais ao processo produtivo, ameaças ecológicas ou possíveis ameaças com o uso e manejo atual adotado, reversão ou mitigação dos riscos e a capacidade de administração dessas restrições por parte dos produtores rurais.

Os solos identificados manifestam variações em suas características morfológicas, físicas e químicas, condicionadas pelo clima, relevo, material de origem e posição que ocupam na paisagem (Calderano Filho et al. 2009c). Os Argissolos são, depois dos Latossolos, os solos mais representativos na área de estudo. São estes que apresentam maior susceptibilidade para a erosão hídrica. Os Cambissolos ocorrem localmente principalmente nas partes côncavas, enquanto os Neossolos Flúvicos têm maior representatividade nas partes baixas da paisagem e não apresentam risco de erosão. A erosão hídrica tem implicações na redução da capacidade de infiltração e de retenção de umidade do solo. Os subsolos da área de estudo, particularmente os da classe dos Argissolos, não são tão permeáveis em subsuperfície como são na camada superior, além de terem na sua maioria, um baixo teor de matéria orgânica. Assim, quando a água escorre sobre o terreno, o subsolo não absorve a água da chuva com a mesma rapidez e, conseqüentemente, haverá um maior escoamento e menos água disponível para as plantas. A utilização correta do solo exige práticas conservacionistas intensivas.

No tocante a legislação ambiental os produtores devem respeitar a legislação em vigor, em matéria de utilização de pesticidas, aplicação de fertilizantes e utilização da água, desde que devidamente orientados e, quando adequado, às diretrizes regionais ou nacionais em respeito às boas práticas agrícolas. Isso significa que todos os agricultores devem, no mínimo, respeitar os requisitos gerais de proteção do ambiente. Alguns poucos adotam medidas visando conservar e manter a qualidade da água, com o plantio de espécies nativas e preservação da vegetação junto às nascentes e calhas. Embora certo número de produtores estejam cientes da necessidade de manutenção do equilíbrio ambiental e abertos a mudanças que lhes beneficiem ou tragam benefícios diretos às suas terras, há ausência de planejamento e incentivos que estimulem mudanças no comportamento atual dos agricultores.

Para superar essas importantes restrições relacionadas à produção e ao uso da terra, os agricultores deveriam adotar simultaneamente as melhores práticas de gerenciamento sustentável, uso de adubos orgânicos, adotar as recomendações de nutrientes de acordo com as exigências das culturas respeitando as necessidades das plantas; conservação do solo e da

água; uso ecológico e econômico das glebas disponíveis, dos fertilizantes e pesticidas, reconhecimento da importância do uso racional e preservação dos recursos. Tudo isso combina um conjunto de procedimentos que busca integrar o planejamento do solo e da água, através de recomendações técnicas e gerenciamento de recursos, comentadas aqui como medidas “agroambientais”. A utilização de melhores práticas agrícolas desempenha importante papel no melhoramento do nível de segurança e qualidade dos alimentos, podendo contribuir para uma melhor saúde dos agricultores, trabalhadores e consumidores (COM, 1999 e 2000).

Nas zonas rurais os objetivos ambientais são frequentemente mais ambiciosos do que as “boas práticas agrícolas” (COM 1999), nesses casos, os objetivos ambientais apenas serão alcançados se forem adequadamente remunerados. Modelos semelhantes foram implantados em países da UE como Portugal, Espanha, França, Bélgica e outros estados membros (COM,1999 e 2000) e aplicado por Resende (1994) às condições de Portugal. Assim, integrando o que foi exposto até agora, algumas das recomendações práticas incluem:

I) Redução da degradação da qualidade d'água, devido ao uso inadequado de pesticidas, agrotóxicos, prática de irrigação e a poluição e contaminação com dejetos humanos e animais, onde o uso mais eficiente e controlado do sistema de irrigação devia ser pesquisado, a coleta e descarte do lixo e a rede de esgotamento sanitário implantados em todos os distritos rurais, não constituindo uma preocupação apenas do poder público local. No manejo das águas de irrigação será fundamental o controle ou prevenção da salinização e contaminação e no esgotamento sanitário a construção de fossa sépticas; II) Uso racional dos recursos naturais, procurando orientar os produtores a manter a capacidade produtiva das terras, evitando assim, novos desmatamentos para que outras áreas, não adequadas sejam, incorporadas ao processo produtivo. Redução da degradação da qualidades dos solos, devido ao uso com atividades agrícolas, que induzem e facilitam os processos erosivos e deixam suas marcas visíveis na paisagem, como ocorre com a cultura do café e o manejo técnico e adequado das pastagens; III) Melhoria das condições físicas, químicas e biológicas dos solos, com a possibilidade de aumentar o conteúdo de matéria orgânica, através de práticas apropriadas e o uso crescente de tipos de fertilizante e adubos orgânicos. A primeira sugestão devia ser melhor estudada para as diferentes classes de solos que ocorrem na área, as outras duas avaliadas junto com os agricultores, identificando inclusive, locais e tipos de fertilizantes orgânicos disponíveis; IV) Recomposição das florestas com espécies nativas em todas as glebas sugeridas; V) Traçar um quadro mais claro das práticas sustentáveis e não sustentáveis utilizadas atualmente, elencar

os indicadores ambientais que contribuam para a qualidade, assim os agricultores poderiam dispor de um programa agroambiental para proteger, ou melhorar o ambiente, para além das boas práticas agrícolas.

8.2 – CONCLUSÕES

Através de uma metodologia que combinou técnicas de campo, laboratório e etapas de geoprocessamento, foi possível realizar o estudo geoambiental da área, separar, diagnosticar e classificar quatorze unidades geoambientais, em áreas de paisagens montanhosas da Serra do Mar, com potencialidades, limitações e fragilidades diferenciadas e, sugerir formas de usos alternativos em função das vocações agroecológicas apresentadas por cada unidade geoambiental delimitada. Os produtos gerados com o diagnóstico geoambiental permitiram conhecer as propriedades e atributos dos elementos geobiofísicos componentes da paisagem, possibilitando avaliar as potencialidades e limitações de cada componente, com base nas ofertas ecológicas apresentadas.

Os procedimentos e técnicas utilizadas com o uso de SIGs e a montagem da base de dados georreferenciada contendo os produtos do diagnóstico geoambiental, como mapas de solos, geologia, declividade, uso e cobertura das terras, MDEs, produtos de sensoriamento remoto, não só facilitaram a integração dos temas, permitindo indicar limitações e potencialidades em relação ao uso, como auxiliaram nas etapas de interpretações úteis ao planejamento e produção de mapas interpretativos em meio digital, como susceptibilidade das terras à erosão, aptidão agroecológica das terras, vulnerabilidade ambiental e interpretação pedo-geotécnica. Estes mapas, além de servirem para subsidiar cenários ambientais, através de cruzamentos, constituem-se num banco de dados geoambientais disponíveis a qualquer tempo para viabilizar conflitos de uso das terras no médio alto curso da bacia do rio Grande e de subsídios para se alcançar a sustentabilidade do processo produtivo.

O uso dessa abordagem, além de oferecer facilidades e rapidez na análise ambiental por integrarem dados numa mesma projeção e *datum*, armazenados em SIG, possibilitou melhor compreensão dos recursos ambientais com suas potencialidades e limitações, identificar áreas frágeis e, elencar opções de uso com base na oferta ambiental apresentada por cada elemento componente da paisagem. As sugestões de uso apresentadas por unidade geoambiental, por serem mais condizentes com o equilíbrio ambiental, irão subsidiar a exploração racional, principalmente dos recursos solo e água, contribuindo para o uso sustentável da área. Assim, constata-se que a metodologia obteve bons resultados, pois onde se observou a ocorrência de compartimentos mais frágeis e problemáticos em função dos solos, declividade, maior

susceptibilidade aos processos erosivos e maior grau de fragilidade ambiental, estes foram indicados para preservação ambiental ou recomposição de matas.

Os resultados mostram-se coerentes com as condições edafocológicas do ambiente para o uso agrícola sustentado e o emprego dessa abordagem pode ainda proporcionar subsídios para uma maior precisão e agilidade no manejo das práticas de uso e conservação do solo e da água na busca de ações sustentáveis. Os resultados produzidos além de contribuir para o conhecimento de ecossistemas frágeis na Serra dos Órgãos, sob interferência antrópica, contribuem para o desenvolvimento da cartografia geoambiental, em escala média da paisagem da Serra do Mar.

As características naturais e as modificações da paisagem na área de estudo estão vinculadas a um conjunto de fatores geobiofísicos e socioeconômicos que conjugados imprimem novas formas e características na paisagem. As modificações imposta pelo uso na área restringiu a presença da vegetação original às áreas de maiores altitudes. Entre os principais fatores que limitam as atividades agrícolas na área, merece destaque, o relevo com suas altitudes, declividades, vertentes aguçadas, seguido de outras limitações geoambientais locais, como solos de textura média no horizonte superficial, baixa fertilidade natural e os elevados índices de precipitações locais. Esses condicionantes geobiofísicos, aliados à posição delicada que os solos ocupam na paisagem, tornam a área susceptível à violentos processos erosivos, podendo considerá-la como área de “equilíbrio frágil”. A adoção de práticas de uso inadequadas a realidade local contribuí para os processos erosivos, intensificando o grau de instabilidade ambiental.

Quanto a aplicação de RNAS

A utilização de SIGs e de técnicas digitais aplicadas neste trabalho, além de facilitar a sobreposição e cruzamento dos temas, permitiu a geração de variáveis ambientais, identificação mais detalhada de componentes na paisagem e a partir dos MDEs a extração de outros atributos dele derivados, que auxiliaram tanto nas etapas de diagnóstico geoambiental, análise ambiental e na classificação supervisionada por redes neurais.

Com relação aos MDEs, o modelo produzido com células de grid de 15m atendeu especificamente as etapa de diagnóstico e análise ambiental da área. O modelo produzido com células de grid de 30m atendeu apenas a classificação supervisionada por redes neurais.

O modelo digital de elevação (MDE) é fator chave na determinação de outros atributos dele derivados e, conseqüentemente, nos resultados finais da classificação supervisionada por

redes neurais. Em razão disto, quanto melhor e mais consistente for o MDE, mais representativos serão seus atributos e mais coerentes os resultados finais. Os mapas de solos e de litologias também foram produtos básicos importantes em todas as fases de desenvolvimento do trabalho, apoiando não só as etapas do estudo geoambiental, como a predição de classes de solos com suporte de redes neurais artificiais.

Os atributos do terreno derivados do MDE associados a informação de geologia e índices derivados da imagem do sensor ETM+ do LANDSAT 7, (elevação, declividade, aspecto, curvatura, plano de curvatura, perfil de curvatura, índice topográfico combinado (cti), radiação solar, fator LS, geologia, ndvi, minerais de argila e índice de óxidos de ferro) foram fundamentais para se entender as relações solo-paisagem e discriminação das classes de solos por redes neurais, em áreas de relevo movimentado e de complexidade elevada na Serra do Mar. Contribuindo desta forma, significativamente para a resolução do problema. A utilização da informação de geologia melhorou o desempenho da classificação entre 20 a 30%.

O uso do simulador de RNA JavaNNS (2001), foi fundamental para alcançar os resultados aqui apresentados, não só por se tratar de um sistema livre, de fácil acesso e interface amigável, mas pela consistência do programa e dos dados de saída. Embora os procedimentos de utilização de RNA's, com esse simulador envolva uma grande manipulação de formas, formatos e tipos de arquivos, necessitando de verificações constantes da consistência dos dados. A utilização de RNA's no processo de predição das classes de solos, conseguiu discriminar consistentemente e de forma bastante coerente as classes de solos definidas que ocorrem na área, obtendo-se resultados considerados excelentes com valores de exatidão global e do índice kappa.

Quando comparados ao mapa de solos convencional algumas classes de saída tiveram boa concordância, outras não. Constata-se o mesmo quando se compara com pontos de observação e perfis coletados no campo, (modelos distintos), mas os mapas inferidos mostram mais detalhes espaciais do que o mapa de solos convencional. As principais causas das discordâncias entre os mapas inferidos e o mapa de solos convencional foram: limitação de escala do mapa convencional, heterogeneidade geológica da área, profundidade do contato lítico e/ou exposição da rocha, problemas relacionados com o modelo de correlação ambiental utilizado na área. Da mesma forma o grau de confusão apresentado na distribuição de algumas classes de solos e a presença de mais de uma classe de solo associada a um determinado pixel somente ocorreu devido à dificuldade ou impossibilidade de estabelecimento de relações solo-paisagem mais precisas na escala de trabalho adotada. Os resultados alcançados são

semelhantes aos obtidos em outros estudos, como Brown et al (1998), Zhu (2000), Carvalho Júnior (2005), Chagas (2006) e Sirtoli (2008).

O estudo confirma o potencial da aplicação de RNAs na geração de informações dos solos, em áreas heterogêneas com grau elevado de diversidade geobiofísica na Serra do Mar. Assim, o estudo mostra que a utilização de atributos do terreno, informação da geologia e dados de sensores remotos em uma abordagem por redes neurais pode contribuir e muito para o mapeamento de solos no Brasil, por outro lado, a disponibilidade de produtos orbitais a custos reduzidos, a facilidade de obtenção dos atributos do terreno derivados do MDE em um SIG e o uso de programas grátis como simulador de RNAs, tornam a abordagem utilizada ainda mais atraente.

Recomenda-se o avanço nas pesquisas de mapeamento digital tanto na geração do mapa de solos como na geração do mapa de geologia e, nos futuros estudos, testar outras variáveis preditoras, produtos de sensores remotos com maior resolução espectral, aplicados em áreas menores, com modelos mais detalhados, avaliando as técnicas em condições geoambientais distintas da paisagem brasileira.

9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. Zoneamento da Amazônia. Questões de escala e de método. **Estudos Avançados**, IEA/USP, São Paulo, 1989, 4-20 p.
- ALVES FILHO, N. T., et al. Programa Estadual de Desenvolvimento Rural Sustentável em Microbacias Hidrográficas do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: SEAAPI, 1999, 36 p.
- ANA. Agência Nacional de Águas, 2007. **Hidro Sistema de Informações Hidrológicas**. Brasília: Superintendência de Informações Hidrológicas (SIH), 2007. Disponível em: www.ana.gov.br. Acesso em: 01 abr 2007.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul Diagnóstico dos Recursos Hídricos**. Relatório final elaboração: Fundação COPPETEC, Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas, 2006, Brasília.
- ANTUNES, F. S.; BARROSO, J. A.; PEDROTO, A.; POLIVANOV, H. A Importância da Utilização de Levantamentos Pedológicos para a Elaboração de Mapas Geotécnicos. In: Simpósio de Geologia Regional RJ-ES, 1., 1987, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1987. v. 1, p. 227-235.
- ANTUNES, F. S. O Uso da Pedologia na Engenharia. In: Colóquio de Solos Tropicais e Sub-Tropicais e suas Aplicações em Engenharia Civil, 2., 1989, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre:UFRGS, p. 25-33.
- ANTUNES, F. S.; CAMPOS, T. M.; POLIVANOV, H. A.; SANTOS, U. G.; CALDERANO, S. B.; ANDRADE. A. G. (2011). Interação entre a pedologia e a geotecnia a partir do desenvolvimento de classes e unidades geo-pedológicas. **Revista Geotecnia**, (no prelo).
- BANNARI A., MORIN D., BONN F., HUETE A.R (1995) A review of vegetation indices. **Remote Sensig**, Rev. 13, pp 95-120.
- BARROSO, J. A.; ANTUNES, F. S.; POLIVANOV, H. Correlações de Características Genéticas de Solos e suas Propriedades Geotécnicas. In: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, 1981, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...**Rio de Janeiro: ABMS, p. 187-198.
- BASHER, R. Is pedology dead and buried. **Australian Journal of Soil Research**, v.35, n.5, p. 979 - 994, 1997.
- BATJES, N. H. and E. M. BRIDGES. 1997, Implementation of a Soil Degradation and Vulnerability Database for Central and Eastern Europe. In: **Proceedings of an international workshop** (Wageningen, 1-3 October 1997), ISRIC, Wageningen, pp. 85.

- BEALE, R.; JACKSON, T. **Neural Computing**. Bristol - UK. Institute of Physics Publishing. 1994. 240p.
- BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Detalhamento da Metodologia Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal**: Brasília, SAE-MMA. 1996.
- BEHRENS, T.; FORSTER, H.; SCHOLTEN, T.; STEINRÜCKEN, U.; SPIES, E. D.; GOLDSCHMITT, M. Digital soil mapping using artificial neural networks. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.168, p.21-33, 2005.
- BENNEMA, J.; BEEK, K. J.; CAMARGO, M. N. **Interpretação de levantamento de solos no Brasil: Um sistema de classificação de capacidade de uso da terra para levantamentos de reconhecimento de solos**. DPFS - FAO, Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo. Rio de Janeiro, julho de 1964. [S.l.: s.n.], 1v. 50p. Original datilografado.
- BERRY, L. G. (Ed). **Joint Committee on Powder Diffraction Standards-JCPDS: selected powder diffraction data for minerals**. Philadelphia, PA: [s.n], 1974. 833 p.
- BERTALLANFY, L.V. **Teoria Geral de Sistemas**. Petrópolis: Editora Vozes, 1977.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F.(1999). **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone -4ed.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI, JR. **Equação de perdas de solo**. Boletim Técnico Instituto Agrônômico, n.21, p.25, 1975.
- BIGHAM, J. M. et al. Iron oxide mineralogy of well drained, Ultisols and Oxisols: II. Influence on color, surface area, and phosphate retention. **Soil Science Society of American Journal**, v.42, p.825-830, 1978.
- BIRKELAND, P. W. **Soils and geomorphology**. New York: Oxford University Press, 1984. 430p.
- BIRKELAND, Peter W. **Pedology, Weathering, and Geomorphological Research**. New York. Oxford University Press. London. 1974. Toronto.
- BOCANEGRA, C.W.R. **Procedimentos para tornar mais Efetivo o Uso das Redes Neurais Artificiais em Planejamento de Transportes**. 2002, 146 f. Mestrado em Engenharia Civil, Transportes, EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- BORUVKA, L.; PENIZEK, V. **A test of an artificial neural network allocation procedure using the Czech soil survey of agricultural land data**. In: LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A.B.; VOLTZ, M. (Ed.). **Digital soil mapping: an introductory perspective**. Amsterdam: Elsevier, 2007. p.415-424.
- BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. In: Stewart, B.A., ed. **Advances in Soil Science**, v.9, p.171-213, 1989.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. New Jersey: Prentice-Hall. 1996. 740p.

BRAGA, A. P.; Carvalho, A. P. de L., LUDERMIR, T. B. **Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora. 2000. 262p.

BRONDINO, N.C.M. **Estudo da Influência da Acessibilidade no Valor de Lotes Urbanos Através do Uso de Redes Neurais**, 1999, 97 f. Doutorado em Engenharia Civil, Transportes, EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos.

BROWN, D. G.; LUSCH, D. P. & DUDA, K. A. Supervised classification of types of glaciated landscapes using digital elevation data. **Geomorphology**, v.21, p.233-250, 1998.

BURROUGH, P. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. New York: Oxford University Press, 1986. 194p.

CALDERANO FILHO B.; WITTER K. P.; CONCEIÇÃO. M.; TAVARES N. P.; FAGUNDES S. R. F. **Identificação de Limitações pedológicas e ambientais causadoras da degradação de áreas do Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. 1991. 106p. (Relatório técnico Convênio IBAMA-Jardim Botânico do Rio de Janeiro/EMBRAPA-SNLCS).

CALDERANO FILHO, B. **Visão Sistêmica como Subsídios para o Planejamento Agroambiental da microbacia do Córrego Fonseca**. 2003, 240p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.

CALDERANO FILHO, B.; GUERRA, A.J.T.; PALMIERI, F.; CORREIA, J.R.; ARGENTO, M.S.F. Aptidão agroecológica de terras, proposta de avaliação em paisagens rurais montanhosas da Serra do Mar, ocupadas por pequenos agricultores. **Cadernos de C&T**, Brasília, v. 24, n1/3, p.39-75, jan-dez. 2007.

CALDERANO FILHO, B.; POLIVANOV, H.; CARVALHO JÚNIOR, W.; GUERRA, A. J. T.; CHAGAS. C.S.; CLADERANO, S.B. Diagnóstico físico-biótico do município de Bom Jardim-RJ, com auxílio de geotecnologias, para fins de planejamento de paisagens rurais montanhosas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., Fortaleza, CE. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009a.

CALDERANO FILHO, B.; POLIVANOV, H.; CARVALHO JÚNIOR, W.; GUERRA, A.J.T.; CHAGAS, C.S.; CLADERANO, S.B. Caracterização dos solos do município de Bom Jardim - RJ, com suporte de MDE e variáveis morfométricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., Fortaleza, CE. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, pt. 1060. 2009b.

CALDERANO FILHO, B.; POLIVANOV, H.; GUERRA, A. J. T.; CHAGAS. C. S.; CARVALHO JÚNIOR, W.; CLADERANO, S.B. Estudo geoambiental do município de Bom

Jardim – RJ, com suporte de geotecnologias: Subsídios ao planejamento de paisagens rurais montanhosas. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 22 (1): 55-73, abr. 2010a.

CALDERANO FILHO, B.; POLIVANOV, H.; GUERRA, A. J. T.; CHAGAS, C. S.; CARVALHO JÚNIOR, W.; CLADERANO, S.B. Delimitação de unidades ambientais com suporte de SIG, Subsídios para o planejamento geoambiental de paisagens rurais montanhosas. **Geografia (Londrina)**, Curitiba, v,19 n.2, 2010: 24-48. 2010b.

CALDERANO, S. B. **Delineamento Geoambiental do Município de Santo Antônio de Pádua, RJ. Potencialidades e Limitações ao Uso da Terra**. 2005. 147p. Dissertação (Mestrado em Geologia de Engenharia e Ambiental). Programa de Pós- Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, RJ.

CALDERANO, S. B.; DUARTE, M. N.; GREGORIS, G. **Análise mineralógica das frações finas do solo por difratometria de raios-X: revisão e atualização da metodologia e critérios usados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2009. (Embrapa Solos, Comunicado Técnico, 53).

CALÔBA, L. P. Uma pequena introdução às Redes Neurais Artificiais e Aplicações. Curso compacto Informativo. In: **Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Gramado, Rio Grande do Sul, 2005, 84pg.

CÂMARA G., MONTEIRO A. M. V.; MEDEIROS J. S. **Representações Computacionais do Espaço: Um Diálogo entre a Geografia e a Ciência da Geoinformação**. Divisão de Processamento de Imagens, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DPI/INPE)- 2000.

CAMPBELL, J.B. **Introduction to remote sensing**. 28 ed. The Guilford Press, New York, 1996. 622p.

CAPRA, F. **O ponto de Mutação**. São Paulo, Editora Cultrix Ltda, 2004. 444 p.

CARVALHO JÚNIOR, W. **Classificação supervisionada de pedopaisagens do domínio dos mares de Morros utilizando Redes Neurais Artificiais**. 2005, 143p. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Viçosa, MG.

CARVALHO, A P. **Solos do arenito Caiuá**. In: Solos Altamente Suscetíveis à Erosão. Ed. Pereira, Vicente de Paula. UNESP/SBCS, 1992. P.39 – 50.

CASTRO, I. E. O Problema da Escala. In: I. E. Castro, P. C. Gomes and R. L. Corrêa (ed). **Geografia: Conceitos e Temas**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1995. V, pp.117-140.

CAUDILL, M. Neural network: training tips and techniques. **AI Experts**, v.6, p.56-61, 1991.

CAVALCANTI, A. P. B & MATEO, J. M. R. **Planejamento ambiental: Bases conceituais níveis e métodos** In: Desenvolvimento sustentável e planejamento Bases teóricas e

conceituais Orgs: CAVALCANTI, A. P. B et.al. Imprensa Universitária. Fortaleza-Ceará, 1997. 86 p.

CHAGAS, C. S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros.** 2006, 223p. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Viçosa, MG.

CHANG, D. H. & ISLAM, S. Estimation of soil physical properties using remote sensing and artificial neural network. **Remote Sensing of Environment.** v.74, p.534-544, 2000.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** São Paulo, Editora Edgard Blucher, 2007. 236 p.

CIDE (Rio de Janeiro, RJ). **Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2005.

COELHO NETTO, A. L.; DANTAS, M. E.; ROSAS, R. O. **Grandes Domínios Geocológicos da Amazônia Legal (1:2.500.000):** bases para o estudo dos efeitos de borda das linhas de transmissão de energia a serem implantadas na Amazônia Florestal. Relatório ELETROBRAS. p:26. 1993.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, COM – CORINE, Soil erosion risk and important land resources in the Southern regions of the European Community, Luxembourg, 77 p. 1992.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, COM - **Directions towards sustainable agriculture.** Brussels, 1999.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, COM. **Indicadores da integração das preocupações de caráter ambiental na política agrícola comum.** 2000. Disponível em: [http// www. Europa.eu.int/comm/agriculture](http://www.Europa.eu.int/comm/agriculture). Acesso em: maio de 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resoluções:** 04/85, 20/86 e 303/2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>. Acesso em: março 2009.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in environmental management: a new introduction.** 2. ed. New York: Oxford University Press, 1990. 410 p.

CORINE. **Land Cover (Coordination of Information on the environment).** Comm of European Communities, Bruxelas. 106 pp. 1992.

CPRM. Geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental. 1CD-rom.RIO DE JANEIRO. 2001.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 170p. 1992.

DANIEL, K. W.; TRIPATHI, N. K. & HONDA, K. Artificial neural network analysis of laboratory and in situ spectra for the estimation of macronutrients in soils of Lop Buri (Thailand). **Australian Journal of Soil Research**. v.41, p.47-59, 2003.

DANTAS, M.E. **Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro**. BRASÍLIA: CPRM, 2001. 1 CD-ROM.

DANTAS, M.E.; 2006. **Diagnóstico geoambiental da bacia do Rio Cuiabá**. In: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/CPRM- Geobank. Disponível em: [http:// www. cprm. gov. br](http://www.cprm.gov.br). Acesso em 20 junho de 2009.

DERRE, D. V. & PATTON, F. D. "Slope stability in residual soils". Proc. 4nd Panam Conf. on Soil Mechanics and Found. Eng., Porto Rico, vol.1, p.98-170. 1971

DIAS, C. T. H.; et al. Geoambientes do Parque Estadual do Ibitipoca, município de Lima Duarte-MG. **Revista Arvore**, v 26, n.6, p. 777 a 786. 2002.

DUMANSKI, J. Sustainable land management for the 21st century. volume 1: workshop summary compiled on behalf of the organizing committee. **proceedings** of the international workshop on sustainable land management for the 21st century. university of lethbridge, canada, june 20-26, 50 pp. 1993.

EGLER, C. A. G. Em busca de uma classificação espacial adequada à gestão sustentável do território no Brasil. Laboratório de Gestão do Território (LAGET) do Departamento de Geografia da UFRJ. 2007.

EMATER RIO - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio de Janeiro, RJ. Programa Estadual de Microbacias. Município de Nova Friburgo. **Relatório Emater**, 1994. 13p.

EMATER RIO - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio de Janeiro, RJ. Levantamento Sócio-econômico do município de Bom Jardim. **Relatório Emater**, 18p. 2001.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de método de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 1v.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Serviço de Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. **Delineamento macro-agroecológico do Brasil, Escala 1:5.000.000**. 1992b.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento**: normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro, 1988. 67p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 11).

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**, 10., Súmula... Rio de Janeiro. 1979. 83p. (EMBRAPASNLCS. Série Miscelânea, 1).

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos; DINEMET-RJ; PESAGRO-RJ; FEEMA-RJ. **Zoneamento Agro-ecológico do Estado do Rio de Janeiro, Escala 1:250.000**. Relatório técnico do Convênio – SEMAM/ SNLCS 1992a.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos; IBAMA-RJ: Jardim Botânico do Rio de Janeiro. **Identificação de Limitações pedológicas e ambientais causadoras da degradação de áreas do Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. 1992. 106p. Rio de Janeiro: Expressão e Cultura. Série estudos e Contribuições. n.10.

ENVI. **Online Help Navigator**. Boulder, Research Systems, 2001.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. **Understand GIS: the Arc/Info method**. Redlands, CA. 1997.

ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.). **ArcMap 9.2**. Redlands, California, USA, 2006.

ERHART, H. (1966). A teoria Bio-Resistásica e os problemas Biogeográficos e Paleobiológicos. **Notícias geomorfológicas**, Ano VI, n. 11, Campinas, pp.51-58.

ESPINHOSA, M. C. **Utilização do Sensoriamento Remoto Orbital e Redes Neurais Artificiais no mapeamento de macrófitas aquáticas emersas em grandes reservatórios**. 2004, 122f. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP.

FAO 1993, (FESLM): **An International Framework for Evaluating Sustainable Land Management**. World Soil Resources Report, n^o 73. FAO, Rome, 74 p.

FAO. **A Framework for Land Evaluation**. Rome: 72 p. FAO Soils Bulletin. No 3. 1976

FAO. **Zonificación agroecológica – Guia general**. Roma: FAO, 1997. 82p. (Boletín de Suelos, 73).

FERNANDES, M.C.; MENEZES, P. M. L. Comparação entre métodos para geração de MDE para a obtenção de observações em superfície real no maciço da Tijuca - RJ. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, p. 154-161, 2005.

FIDÊNCIO, P. H.; RUISANCHES, I. & POPPI, R. J. Application of artificial neural networks

to the classification of soils from São Paulo state using near-infrared spectroscopy. **Analyst**. v.126, p.194-200, 2001.

FONTES, M. P. F. **Vermiculita ou Esmectita com hidróxi nas entrecamadas, proposição de nomenclatura**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, v. 15, nº1, p. 24 - 28, 1990.

FOOTE K. E. & HUEBNER D. J. Error Accuracy and Precision. Department of Geography, **University of Texas at Austin, Publication**, p. 1 - 36, 1996.

FORMAN, R.T.T. & GODRON, M. - **Landscape Ecology**. John Wiley & Sons, 1987.

FREEMAN, J. A; SKAPURA, D. M. **Neural Network-Algorithms and Programming Techniques**. Reading. Addison Wesley Pub. Comp. 1991.

FU, P. & RICH, P. M. **Design and Implementation of the Solar Analyst: An ArcView Extension for Modeling Solar Radiation at Landscape Scales**. ESRI International User Conference Proceedings. San Diego, California: ESRI, July 26-30, 1999.

GALLANT, J. C. & WILSON, J. P. **Primary topographic attributes**. In: WILSON, J. P. & GALLANT, J. C. (Eds.). **Terrain Analysis: Principles and applications**. New York: John Wiley & Sons, 2000. p.51-85.

GALO, M. L. B. T. **Caracterização Ambiental do Parque Estadual Morro do Diabo através de dados e técnicas de Sensoriamento Remoto: Abordagens utilizando redes neurais artificiais**. 2000. 205f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

GOMES, A. M. B. G. da. **Condicionantes Geológico-Geotécnicos de Escavação Grampeada em Solo Residual de Gnaisse**. 2006, 126p. Mestrado em Engenharia Civil, COPPE/ UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

GOODCHILD, M. F.; QUATTROCHI, D. A. Scale, multiscaling, remote sensing and GIS. In: QUATTROCHI, D. A.; GOODCHILD, M. F. **Scale in Remote Sensing and GIS**. Boca Raton: CRC, 1997. introduction, p. 1-11.

GRECCHI, R. C. **Zoneamento Geoambiental da Região de Piracicaba – SP, com auxílio de Geoprocessamento**. Dissertação de Mestrado – EESC – USP. 1998.

GUERRA, A. J. T. **Processos erosivos nas encostas**. In: Geomorfologia e Conceitos uma atualização de bases. Orgs. A. J. T. GUERRA e S.B. CUNHA, Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2004. p.149-209.

GUSMÃO FILHO, J. de A. **Solos: da formação geológica ao uso na engenharia**. Recife. Ed. Universitária da UFPE, 198p, 2002.

HALL, G. F. & OLSON, C. G. Predicting variability of soils from landscape models. In:

MAUSBACH, M. J. & WILDING, L. P. (Eds.). Spatial variabilities of soils and landforms. Madison, Wisconsin: **Soil Science Society of America**, 1991. p.9-24. (SSSA Special Publication; nº 28)

HAYKIN, S. **Redes Neurais: princípios e prática**. trad. Paulo Martins Engel. - 2 ed. – Porto Alegre: Bookman, 2001. 900p.

HERRMANN, L.; ANONGRAK, N.; ZAREI, M.; SCHULER, U.; SPOHRER, K. Factors and processes of gibbsite formation in northern Thailand. **Catena**, v. 71, n. 2, p. 279-291, 2007.

HEUVELINK, G. **Error propagation in Environmental Modelling With GIS**. London, Taylor and Francis, 1998.

HIROSE, Y.; YAMASHITA, K. & HIJIYA, S. Back-propagation algorithm which varies the number of hidden units. **Neural Networks**, v.4, p.61-66, 1991.

HUDSON, B. D. The soil survey as a paradigm-based science. **Soil Science Society of American Journal**, v.56, p.836-841.1992.

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, 2000, p. 29-50.

HUTCHINSON, M.F. **A new procedure for gridding elevation and stream data with automatic removal of apurious pits**. *Journal of Hydrology*, v. 106, p. 211-232, 1989.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. (2000). **Ajuda On-line do SPRING**.

ISRIC & FAO. **Mapping of Soil and Terrain Vulnerability in Central and Eastern Europe**. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC)/Land and Water Development Division (AGL) of FAO. CD of SOVEUR project (Versão.1.0). 2000.

JAVANNS. **Java Neural Network Simulator**. Version 1.1. University of Tübingen. 2001. <http://www-ra.informatik.uni-tuebingen./software/JavaNNS/welcome.html>.

JENNY, H. **Factors of soil formation; a system of quantitative pedology**. New York: McGraw-Hill, 1941. 281p.

KAUFMAN, Y. J et al. Earth Observing System AMI Mission to Earth. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, p.1045-1055, 1998.

KRUIJF, H. A. M.; SCHOUTEN, A. J. **On problem of measuring vulnerability of soil ecosystems**. In: DUIJVENBOODEN, W. Van, ed. *Vulnerability of soil and groundwater pollutants*. The Hague: W. Van, 1987. p. 97-109.

LANDIS, J. R. & KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data.

Biometrics. v.33, p.159-174, 1977.

LEE, S.; RYU, J. H.; WON, J. S. & PARK, H. J. Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. **Engineering Geology**. v.71, p.289-302, 2004.

LEPSCH, I. F., coord.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D. & SPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso (4a aproximação)**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175 p.

LICZNAR, P. & NEARING, M. A. Artificial neural networks of soil erosion and runoff prediction at the plot scale. **Catena**. v.51, p.89-114, 2003.

LIPORACE, F. S. **Um sistema neural para monitoração do desflorestamento em Região Amazônica utilizando imagens do Landsat**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1994. 122p. Dissertação de Mestrado.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Tolerância de perdas de terra para solos do estado de São Paulo**. Campinas. Instituto Agrônômico, 12 p. (Boletim Técnico). 1975.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, 51(2) : 189-196, 1992.

LUDKA, I. P.; WIEDEMANN, C. M. Geoquímica do gabro coronítico de Amparo, RJ. **Anuário do Instituto de Geociências** (Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, v. 25, p. 44-67, 2002.

MARQUES, J. Q. de A. **Manual brasileiro para levantamento da capacidade de uso da terra: 3a aproximação**. Rio de Janeiro: Escritório Técnico Brasil-EUA, 1971. 433 p.

MAS, J. F.; PUIG, H.; PALACIO, J. L. & SOSA-LÓPEZ, A. Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks. **Environmental Modelling & Software**, v.19, p.461-471, 2004.

MASTER, T. **Practical neural network recipes in C++**. Academic, San Diego, Califórnia. 1993. 493p.

MATEO, J. M. R. El médio ambiente y la sostenibilidad ambiental urbana desde una perspectiva espacial; El Cable, Revista de Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, 2004, Número 3, p.57 – 70.

MATEO, J. M. R. **Planificación Ambiental**. Cuba: Universidad de La Habana, 2001. 98p.

MATEO, J. M. R., SILVA, E. V., CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia das Paisagens**. Editora UFC. Fortaleza-Ceará. 2007. 207p.

MATHER, P. M. **Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction**. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1999. 306p.

MATOS, G.; FERRARI, P.; CAVALCANTI, J. **Projeto Faixa Calcária Cordeiro-Cantagalo**. Belo Horizonte: DNPM/CPRM, 1980, 620 p.

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.

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

McKENZIE, N. J. & RYAN, P. J. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. **Geoderma**. v.89, p.67 - 94, 1999.

MEDEIROS, J. S. **Banco de Dados Geográficos e Redes Neurais Artificiais: Tecnologia de Apoio à Gestão do Território**, 1999, 221f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MENDES, J. C. ; TEIXEIRA, P. A. D. ; MATOS, G. C. ; LUDKA, I. P. ; MEDEIROS, F. F.; ÁVILA, C. A. Geoquímica e geocronologia do Granitóide Barra Alegre, Faixa Móvel Ribeira, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 37, p. 101-113, 2007.

MENDES, J.C.; JUNHO, M.C.B.; GHIZI, A. Geology and geochemistry of granitic and dioritic rocks of the São José do Ribeirão intrusive massif, mountain region of Rio de Janeiro State, Brazil. *Revista Universidade Rural. Série Ciências Exatas e da Terra*. v. 21, n. 2, p. 1-11, 2002.

MENDES, W. Relação entre os graus de limitação do uso do solo por suscetibilidade à erosão e às unidades de mapeamento de solo. **Revista Brasileira de Geografia**. 44(3), 1982, pp. 445 – 476.

MENEZES, P. M. L. e Coelho Neto A. L. Escala: estudo de conceitos e aplicações. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 19., 1999/CIPA, 17. 1999, Recife. **Anais....**p. 8-14.

MERHA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAYS AND CLAY MINERALS, 7. **Proceedings**. New York: Pergamon Press, 1960. p. 317-327.

MINASNY, B. & McBRATNEY, A. B. The neuro-m method for fitting neural network parametric pedotransfer functions. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p.352-361, 2002.

MINASNY, B.& MCBRATNEY, A. Evaluation and development of hydraulic conductivity pedotransfer functions for Australian soil. **Australian Journal of Soil Research**, v.38, p.905-926, 2000.

MINASNY, B.; HOPMANS, J. W.; HARTER, T.; ECHING, S.O.; TULI, A.; DENTON, M.A. Neural networks prediction of soil hydraulic functions for alluvial soils using multistep outflow data. **Soil Science Society of America Journal**, v.68, p.417-430, 2004.

MINISTÉRIO DAS CIDADES, (2003). **Sistema Nacional de Indicadores Urbanos**, (dados referentes ao ano de 2000 e Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - IBGE. Disponível em: <<http://www.ministerios.das.cidades.gov.br/port>. Acesso em: junho de 2009.

MONSERUD, R. A. & LEEMANS, R. Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic. **Ecological Modelling**, v.62, p.275-293, 1992.

MONTELLO, D. R. & S.M. Freundsuh. "**Sources of spatial knowledge and their implications for GIS**: An introduction Geographical Systems 2:169-176. Concise overview of several perceptual and cognitive issues relevant to GIS. 1995.

MOORE, I.D.; GRAYSON, R.B.; LADSON, A. R. Digital terrain modeling: A review of hydrological, geomorphological an biological applications. **Hydrological Processes**, v. 5, p. 3-30, 1991.

MOORE, I. D. et al. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.443-452, 1993.

MOREIRA, M.A. et al. Modelo de mistura espectral para identificar e mapear áreas de soja e milho em quatro municípios do estado de Minas Gerais. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais...**, Santos, SP, 1998. INPE, CD-ROM.

NARVAES I. S. & SANTOS, J R. A utilização da segmentação de imagens-fração como técnica de classificação da cobertura vegetal na região central e entorno da Flona do Tapajós, utilizando imagem CCD/CBERS-2. In Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, Santa Catarina, Brasil, 2007. **Anais...**São José dos Campos, INPE, 993-1000.

NIMER, E. Clima. In: IBGE/Departamento de Geografia, Rio de Janeiro. **Geografia do Brasil Região Sudeste**. Rio de Janeiro, IBGE, 1977. v.3., p.51- 89.

OLIVEIRA, J. B de. **Pedologia aplicada**. São Paulo, Piracicaba, FEALQ. 2008.592p.

OLIVEIRA, J. B. de., BERG, M. **Aptidão agrícola das terras do Estado de São Paulo**: quadrícula de Araras. II. Memorial descritivo. Campinas: Instituto Agrônômico, 1985. 60 p. (IAC. Boletim Técnico, 102).

OLIVEIRA, R.R.; LIMA, D.F.; DELAMÔNICA, P.; TOFFOLI, D.D. & SILVA, R. F. Roça caiçara: um sistema primitivo auto-sustentável. **Ciência Hoje**, 18 (104): 44-51.1995.

ORLANDI FILHO, V. & TRAININI, D. (2002). **Mapa Geoambiental**. Zoneamento Ecológico - Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Entorno do Distrito Federal (ZEE RIDE Brasília), Brasília, CPRM-DEGET.

PENNOCK, D. J.; ZEBARTH, B. J. & DE JONG, E. Landform classification and soil distribution in hummocky terrain, Saskatchewan, Canada. **Geoderma**, v.40, p.297-315, 1987.

PETERSEN, G. W.; NIELSEN, G. A. & WILDING, L. P. Geographic information system and remote sensing in land resource analysis and management. **Suelo y Planta**, v.1, p.531-543, 1991.

POLIVANOV, H. **Caracterização química, mineralógica, física e geotécnica de perfis de alteração desenvolvidos de gnaisses**. 1998. Tese (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 332 p.

POLIVANOV, H.; ANTUNES, F. S.; BARROSO, J. A.; CABRAL, S. Correlações entre parâmetros químico-mineralógicos e geotécnicos de Latossolos In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 4., 1984. Belo Horizonte, MG. **Anais...** v.3. p. 391-406.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1978. 65p.

RECKZIEGEL, E. W. & ROBAINA, L. E. de S. Mapeamento geoambiental da área interfluvial dos rios Ibicuí e Jaguari - São Vicente do Sul, RS. **Ciência e Natura**, UFSM, 30 (2): pp.185 - 200, 2008.

REIS, A. P.; MANSUR, K. L. **Sinopse Geológica do Estado do Rio de Janeiro**: mapa geológico 1: 400.000. Niterói: Secretaria de Estado - Departamento de Recursos Minerais, 1995. p. 28 – 29.

RESENDE C. M. Investimentos e Ambiente Apoios agrícolas e medidas agro ambientais, 1994. Disponível em: <[http://www.aeiou.pt/registros/apoios agrícolas](http://www.aeiou.pt/registros/apoios_agricolas). Acesso em: Agosto de 2002.

RESENDE, M. Características do solo e da paisagem que influenciam a susceptibilidade à erosão. In: Simpósio Sobre Manejo e Conservação do Solo no Cerrado, Campinas, 1992. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.32-67.

RESENDE, M. **Propriedades e Interpretação**. In: RESENDE, M et al. Pedologia base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 2004. p. 14 -75.

RESENDE, M., SANTANA, D.P. Uso das relações K_i e K_r na estimativa da mineralogia para a classificação dos Latossolos. In: Reunião de classificação, correlação de solos e interpretação de aptidão agrícola, 3, 1988, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro: 1988. Embrapa Snlcs, Sbcs, 1988. p. 225-232.

RESENDE, M.; ALMEIDA, J.R. de. Modelos de predição de perdas de solo: uma ferramenta para manejo e conservação do solo. **Informe Agropecuário**, v. 11, n. 128, p.38-54., 1985.

RESENDE, M; CURTI, N.; KER, J. C; RESENDE, S. B. **Mineralogia de solos brasileiros**:

interpretações e aplicações. Lavras: UFLA, 2005. 192 p.

REZENDE, S. B.; RESENDE, M. Solos dos mares de morros: ocupação e uso. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Eds.). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: SBCS; UFV, DPS, 1996. p. 261- 288.

RICHARDS, J. A. **Remote sensing digital image analysis**, Springer-Verlag, Berlim, 1999. pág. 240.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Estado de Indústria, Comércio e Turismo Departamento de Recursos Minerais. DRM, **Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro. Folhas:** Duas Barras e Trajano de Moraes. 1982.

RIO DE JANEIRO (Estado). **Constituição do Estado do Rio de Janeiro**. Ed. Destaque. 12^a edição, Rio de Janeiro-RJ. 155 p., 1999.

RIZZINI, C.T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: Manual de Dendrologia Brasileira**. São Paulo: Editora da USP, 1972. 294p.

RIZZO, L. T. B. **Relações solo-paisagem em uma área do extremo sul do Estado de São Paulo (Bacia do Rio Ribeira de Iguape)**. Tese de Mestrado. Piracicaba: ESALQ, 1991. 167p.

ROISENBERG, M. (2010). **Introdução ao Estudo das Redes Neurais Artificiais**. Disponível em < <http://www.inf.ufsc.br/~mauro/ine6103/slide/>. Acesso em: março de 2010.

ROSS, J. L. S. Análises e Sínteses na Abordagem da Pesquisa para o Planejamento Ambiental. Revista do Departamento de Geografia - FFLCH-USP, N.9. 1995. pp. 65-76.

ROSIER, G. F. 1965. Pesquisas geológicas na parte oriental do Estado do Rio de Janeiro e na parte vizinha do Estado de Minas Gerais. **Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia do DNPM**. V. 222 – p. 141, Rio de Janeiro.

ROSS, J. L.S. **Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da., org. Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p.291-336.

ROSS, J. L.S. Geomorfologia Ambiente e Planejamento. São Paulo: **Contexto**, 2000. 85 p.

RUMELHART, D. E., HINTON, G. E. & WILLIAMS, R. J. Learning internal representation by error propagation. In: RUMELHART, D. E. & McCLELLAND J. L. (eds.). Parallel Distributed Processing: exploration in the Microstructure of Cognition, Vol. 1: Foundations, Cambridge, MA: The MIT Press. 1986. p.318 - 362.

SABINS, F. F. **Remote Sensing: Principles and Interpretation**. 3rd ed. New York: W. H. Freeman and Company, 1997. 432p.

SALOMÃO, F. X. T.; ANTUNES, F. S. Solos. In: Oliveira, A. M. dos S.; Brito, S. N. de B. (Ed.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo:ABGE, 1998. Cap. 6.

SANCHEZ, R. O. **Bases para o Ordenamento Ecológico-Paisagístico do Meio Rural e Florestal, Zoneamento Agroecológico** - Cuiabá. Fundação de Pesquisas Cândido Rondon, Cuiabá, MT, 160p. 1992.

SANTOS, M. L. M., Antunes, F. S., Calderano, S. B., Santos, H. G., Polivanov, H., Campos, T. M. P., Zaroni, M. J., Donagemma, G. K., Amaral, C. P. **Correlação Pedológico-Geotécnica do Município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 42 p. (EMBRAPA-Documentos).

SANTOS, P.R.A. 2005. **Avaliação da Precisão Vertical dos Modelos SRTM em Diferentes Escalas**: Um Estudo de Caso na Amazônia. Mestrado em Engenharia Cartográfica, Instituto Militar de Engenharia, Dissertação de Mestrado, 116p.

SCHAEFER, C. E. R. Ecogeography and human Scenario. **Ciência e Cultura**, v. 49, n. 4, p. 241-252, 1997.

SCHWERTMANN, U. & KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of Southern and Central Brazil. **Soil Science**, v.139, p.344-350, 1985.

SILVA, F. R. R. **Zoneamento geoambiental do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrosocioeconômico**. Petrolina (Recife: EMBRAPA/CPATSA e CNPS), v.1, 1993. 89p.

SIMONSON, R.W. Outline of a generalized theory of soil genesis. **Soil Science Sociedad. Am. Proc.** (23):152-152, 1959.

SIRTOLI, A. E. Mapeamento de solos com auxílio da geologia, atributos do terreno e índices espectrais integrados por redes neurais artificiais. Tese, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 96p. 2008.

SMITH, P. G. R.; THEBERGE, J. B. **A review of criteria for evaluating natural areas. Environmental Management**, New York, v.10, p.715-734, 1986.

SOBREIRA, F. G. **Estudo Geoambiental do Conselho de Sesimbra** – Tese - Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa . 347p. 1995.

SOCHAVA, V. B. Por uma teoria de classificação de Geossistemas de vida terrestre. **Biogeografia**. São Paulo: IG-USP n. 14, p 1 – 24, 1978.

TARDY, Y. & NAHON, D. Geochemistry of laterites, stability of Al-goethite, Al-hematite, and Fe³⁺-kaolinite in bauxites and ferricretes: an approach to the mechanism of concretion formation. **American Journal of Science**, v.285, p.865-903, 1985.

TCE – Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro. **Estudo Socioeconômico 2007**: Bom Jardim. 2007. 100p. Secretaria Geral de Planejamento.

THEODOROVICZ ET AL., 2003. Zoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape: premissas e diretrizes metodológicas. Projeto paisagens geoquímicas e geoambientais do Vale do Ribeira. In: Oficina Internacional de Ordenamento Territorial Mineiro. Realizada de 25 a 28 de abril de 2005 na CPRM, Rio de Janeiro. **CYTED**, CPRM-RJ. CD-ROM. 2005.

THEODOROVICZ, A., THEODOROVICZ, A. M. de e CANTARINO, S. C. Projeto Curitiba: **Atlas Geoambiental da Região Metropolitana de Curitiba**: Subsídio ao Planejamento Territorial. São Paulo: CPRM. 1994. 45 p.

TOMASI, J. M. G.; RAMALHO-FILHO, A. **Aptidão agrícola dos solos do sul do Estado de Mato Grosso**. Rio de Janeiro: DNPEA-DPP- Ministério da Agricultura, 1971. 72 p (Boletim Técnico, 19).

TRAININI, D. R., GIOVANNINI C. A.; RAMGRAB, G. E.; VIERO, A. C. **Carta Geoambiental da Região Hidrográfica do Guaíba**. Mapas escala 1:250.000. Porto Alegre: CPRM/ FEPAM/PRÓ-GUAÍBA, 2001.

TRAININI, D. R.; GIOVANNINI, C. A.; VIERO, A. C. **Mapa de Domínios Geoambientais/ Zonas Homólogas da Bacia Hidrográfica do rio Gravataí**. Mapas escala 1:250.000. Porto Alegre: CPRM/FEPAM/PRÓ-GUAÍBA, 1998.

TRENTIN, R. **Definição de Unidades Geoambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Itu**, Oeste do R S. Dissertação de Mestrado. UFSM. Santa Maria, 150p. 2007.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro. IBGE-SUPREN. 1977.

UBERTI, A. A. A.; BACIC, I. L. Z.; PANICHI, J. A. V.; LAUS NETO, J. A.; MOSER, J. M.; PUNDEK, M. & CARRIÃO, S. L. **Metodologia para classificação da aptidão de uso das terras do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis, EMPASC/EMATER - SC.1991. 19p.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, Goiânia, Brasil. **Anais...**São José dos Campos, INPE, 3595-3602. 2005.

VALERIANO, M. M. & ROSSETTI, D. F. TOPODATA: **Seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM**. São José dos Campos: INPE, 2008.

VAN OOST, K.; GOVERS, G.; DESMET, P. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. **Landscape Ecology**, v.15, p.577-589, 2000.

VAZ, L. F., 1996. Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rochas em regiões tropicais. **Solos e Rochas**, ABMS-ABGE, vol.19, no.2, p.117-136.

VEDOVELLO, R.; MATTOS, J. T. A utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de unidades geotécnicas. Uma abordagem a partir de sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3. Florianópolis. **Anais.....** CD-ROM, ABGE, 1998.

VENEZIANI, P. & ANJOS, C. E. dos - **Metodologia de Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto e Aplicações em Geologia**. S. J. dos Campos: INPE-2227 - MD/014, 1982. 61p.

VICENS, R. S. **Abordagem geocológica aplicada às bacias fluviais de tabuleiros costeiros no norte do Espírito Santo: Uma Contribuição para avaliação e gestão dos recursos hídricos**. 2003. 252p. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro-Programa de Pós Graduação em Geografia, Rio de Janeiro.

VIEIRA, C. A. O. **Accuracy of Remotely Sensing Classification of Agricultural Crops: A Comparative Study**. Tese de Doutorado. University of Nottingham. 2000. 352p.

VOLTZ, M., LAGACHERIE, P.; LOUCHARTE, X. Predicting soil properties over a region using sample information from a mapped reference area. **European Journal of Soil Science**, v.48, p. 19-30. 1997.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. **Advance Soil Science.**, v.3, p. 1-70. 1984.

WEILL, M. A. M. Metodologias de Avaliação de Terras para fins Agrícolas. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, v.52, n.4 p.127-160. Out/dez 1990.

WISCHMEIER, W. H & SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**. A guide to conservation planning. Supersedes Agriculture Handbook n. 282. Science and Education Administration United States Depart of Agriculture, (1978).

WISCHMEIER, W.H. & MANNERING, J.V., 1969. Relation of soil properties to its erodibility. **Proceedings** of Soil Science Society of America, 33:131-137.

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

WITTERN K. P. MOTCHI E. P. CALDERANO FILHO, B; LEMOS. A. L. Levantamento detalhado de Solos e Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras da Usina Novo Horizonte no Município de Campos, RJ. (Relatório técnico Convênio Secretária Estadual de Agricultura SEA-RJ/Emater-Rio/EmbrapaSolos). Rio de Janeiro, 1990. 86p.

WITTERN K. P., CALDERANO FILHO B, AMARAL F. C. S., TAVARES N. P. CONCEIÇÃO M. Zoneamento Agroecológico dos Municípios que compõem os Vales dos Rios Una, Macaé e São João, a Leste do Estado do Rio de Janeiro. In: Congresso Brasileiro de

Ciência do Solo, 23., 1991, Porto Alegre, RGS. **Anais...** SBCS, 1991, p.265.

WITTERN K.P., CALDERANO FILHO B., FONSECA.O.O.M., FAGUNDES S.R.F., TAVARES N. P., VASCONCELOS J. B., MUELER.K.E., ARANOVIK S., TAVARES A.M.S., DAMAZIO H. N. Zoneamento Agroecológico do Estado do Rio de Janeiro Escala 1:250.000. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 24., 1993, Goiânia GO. **Anais...** SBCS, 1993, p. 413- 414.

WITTERN, K. .P. **Solos, o mapa da mina**. Globo Rural, v. 8, p. 30-33, 1993.

WYSOCKI, D. A.; SCHOENEBERGER, P. J. e LaGARRY, H. E. Chapter 1. Geomorphology of Soil Landscapes. Wilding, L. P. Section E. Pedology. In: Summer, M. E. (Editor). **HandBook of Soil Science**. 1999. CRC Press. New York. p 5-36.

YAMAGUCHI, Y. et al. ASTER early image evaluation. **Advanced Space Research**, v.28, p.69-76, 2001.

YAMAGUCHI, Y. et al. Overview of advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER). **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, p.1062-1071, 1998.

YANG, G.; COLLINS, M. J. & GONG, P. Multisource data selection for lithologic classification with artificial neural networks. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, p.3675-3680, 1998.

ZELL, A. et al. SNNS: **Stuttgart Neural Network Simulator**. User Manual, Version 4.1. Stuttgart, University of Stuttgart. 1995. 303 p.3o

ZELL, A. Et al. **Stuttgart Neural Network Simulator v4.2**. University of Stuttgart: Institute for Parallel and Distributed High Performance Systems/University of Tübingen - Wilhelm-Schickard-Institute for Computer Science - Department of Computer Architecture. 1996.

ZHU, A. X. A similarity model for representing soil spatial information. **Geoderma**, v.77, p.217-242, 1997.

ZHU, A. X. Mapping soil landscape as spatial continua: the neural network approach. **Water Resources Research**, v.36, p.663-677, 2000.

ZINCK, J. A. Introduction. In: ZINCK, J. A. Soil survey: perspectives and strategies for the 21st century. **ITC Publication**, Enschede, The Netherlands, n21, p.2-6, 1993.

ZINCK, J. A. **Soil Survey: Epistemology of a vital discipline**. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Enschede, the Netherlands. 1990.40p.

ZONNEVELD, I. S. **Land Evaluation and Land (scape) Science**. IN: Textbook of Photo Interpretation. Use of aerial photographs in Geography and Geomorphology. Vol 7. Cap. 7. Enschede. ITC. 1972.

ZONNEVELD, I.S. 1988. **Landscape ecology and its application**. In: Landscape Ecology and Management. Proceedings of the First Symposium of the Canadian Society for Landscape Ecology and Management: University of Guelph, May 1987. Editado por Michael R. Moss. Polyscience Publications Inc. Second Printing.

ZONNEVELD, I.S. **Chairman's Welcome**. In: Paper index International Association for Landscape Ecology, 2000. Disponível em: <http://www.wkap.nl/journals/landscape>. Acesso em: 20 dez. 2001.

ANEXOS

Anexo 1

Características espectrais dos sensores Landsat e Aster e, Classificação supervisionada nos programas Envi 4.0 e Spring.

Anexo 2

Legenda Sinótica do mapa de solos; Características físicas, mineralógicas e químicas dos perfis descritos e totais pluviométricos da área de estudo.

Anexo 3

Resultados das Redes Neurais treinadas: Tabelas por conjunto de treinamento

ANEXO 1: Características espectrais dos sensores Landsat e Aster e, classificação supervisionada nos programas Envi 4.0 e Spring.

1.1- Características espectrais dos sensores Landsat e Aster

A) ETM+ LANDSAT7

Tabela 34 A- Principais aplicações das bandas espectrais dos sensores TM e ETM+ do satélite Landsat.

Canais	Intervalo Espectral (µm)	Região Espectral	Resolução Espacial	Aplicações
1(TM e ETM+)	0,45 – 0,52	Azul -Visível (VIS)	30m	Boa penetração na água (mapeamento do litoral); distinção solo/vegetação.
2(TM e ETM+)	0,52 – 0,60	Verde -Visível (VIS)	30m	Reflexão máxima no espectro verde, determinação da vitalidade da vegetação
3(TM e ETM+)	0,63 – 0,69	Vermelho - Visível (VIS)	30m	Absorção alta de clorofila; distinção solos/vegetação, diferença dos tipos de trigo
4(TM e ETM+)	0,76 - 0,90	Infravermelho Próximo	30m	Reflexão alta da vegetação; determinação da massa Orgânica; distinção terra/água
5(TM e ETM+)	1,55– 1,75	Infravermelho Médio	30m	Absorção mínima da água, determinação do conteúdo de água no solo e na vegetação; distinção nuvem/neve; aplicações geológicas.
*6(TM e ETM+)	10,4– 12,5	Infravermelho Termal	60m e 120m	Determinação de temperatura e umidade das superfícies terrestres; análise de “stress” da vegetação; distinção cidade/campo.
7(TM e ETM+)	2,08 – 2,35	Infravermelho Médio	30m	Aplicações geológicas, diferença entre os minerais e rochas; Determinação do conteúdo de água no solo e na vegetação.
**8(TM e ETM+)	0,52 – 0,9	Pancromático (Visível/ Infravermelho Próximo)	15m	Distinção de Áreas Urbanas

* Banda separada em 6.1 e 6.2 no ETM+ ;**Banda disponível apenas no ETM+ (Enhanced Thematic Plus) Landsat7. Fonte: modificado de Sulsoft 2009.

B) ASTER

O ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) é um radiômetro de imageamento multiespectral de alta resolução (Yamaguchi et al., 1998), que está a bordo da nave TERRA da NASA, lançada em 1999. TERRA é formalmente conhecida como EOS AM-I e leva cinco instrumentos de observação: ASTER, CERES, MISR, MODIS e MOPITT (Kaufman et al., 1998). O ASTER consiste de 3 diferentes subsistemas, a saber: o

visível e infravermelho próximo (VNIR), o infravermelho de ondas curtas (SWIR) e o infravermelho termal (TIR). Destes três subsistemas, neste trabalho enfoca-se o uso do VNIR e SWIR, que operam em faixas do espectro que podem ser observados na Tabela 34B.

Tabela 34 B - Características do instrumento ASTER utilizados.

Características do ASTER			
Alcance Espectral	Intervalo Espectral		Resolução espacial
VNIR	0.5 - 0.9 μm		15m (3 bandas +1)
SWIR	1.6 - 2.5 μm		30m (6 bandas)
TIR	8 - 12 μm		90m (5 bandas)
Intervalo espectral por Banda			
Bandas	VNIR	Bandas	SWIR
banda 1	0.52 - 0.60 μm	banda 4	1.600 – 1.700 μm
banda 2	0.63 - 0.69 μm	banda 5	2.145 – 2.185 μm
banda 3	0.76 - 0.86 μm	banda 6	2.185 – 2.225 μm
banda 3B	0.76 - 0.86 μm	banda 7	2.235 – 2.285 μm
		banda 8	2.295 - 2.365 μm
		banda 9	2.360 - 2.430 μm

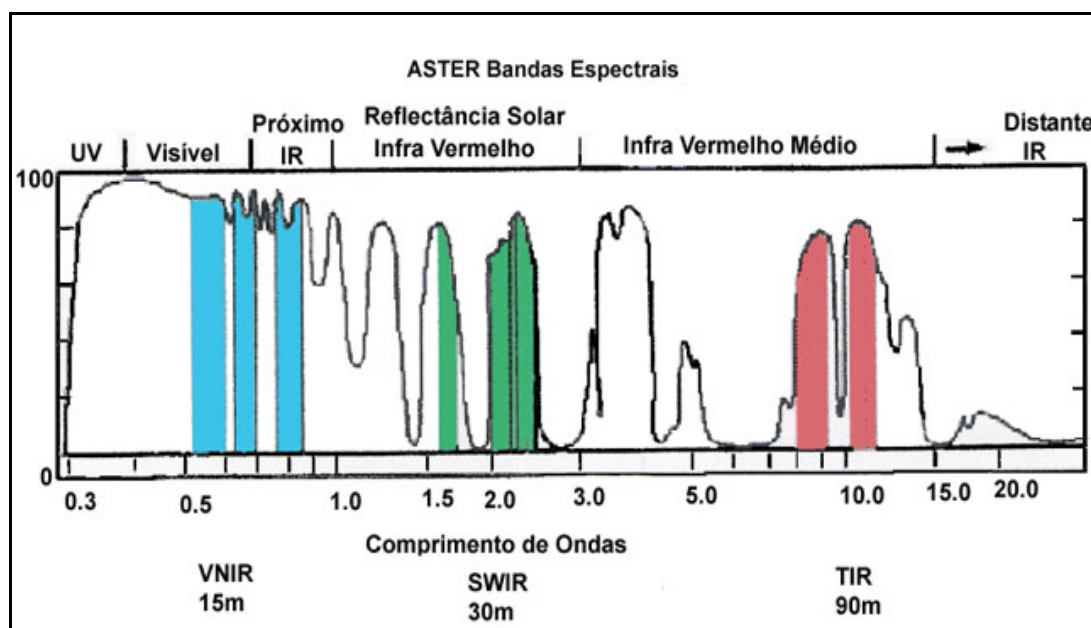


Figura 39 – Bandas espectrais do sensor ASTER

O sensor ASTER foi desenvolvido para fornecer imagens em 14 bandas espectrais nas regiões do visível e infravermelho próximo (VNIR), infravermelho de ondas curtas (SWIR) e infravermelho termal (TIR) e produz imagens multiespectrais da superfície da terra de alta resolução (15 - 90m). Os dados do ASTER podem ser usados para auxiliar estudos de monitoramento a longo prazo de mudanças locais e regionais da superfície da terra, podendo-se observar respostas relativas à mudança climática global, ou seja, uso da terra, desflorestamento, desertificação, mudanças no nível de lagos e praias, mudanças nas comunidades vegetacionais, movimentos glaciais e processos vulcânicos. O VNIR é bastante útil para interpretação topográfica por causa da sua cobertura estéreo “along-track” com 15m

de resolução espacial e também é importante na avaliação da vegetação e minerais de óxido de ferro na superfície de solos e rochas. Por sua vez, as bandas do SWIR foram selecionadas principalmente para o mapeamento mineral e da superfície do solo (Yamaguchi et al., 2001). As imagens estereoscópicas do ASTER que possibilitam a geração de MDEs são registradas somente na banda 3, na região do infravermelho próximo de 0,78 a 0,86 μm . Usando telescópios na posição Nadir e Off-Nadir, são gerados pares estereoscópicos adquiridos em uma mesma órbita (“along track”), através de dois sensores idênticos.

1.2 - Classificação supervisionada nos programas Envi 4.0 e Spring.

A) Envi classificação

Com auxílio do programa ENVI 4.0 a classificação supervisionada de uso e cobertura das Terras, foi feita com as três bandas SWIR do sensor ASTER. O algoritmo escolhido foi a Classificação de Probabilidade Máxima “Maximum Likelihood Classification”. A classificação de probabilidade máxima assume que as estatísticas para cada classe, em cada banda estão normalmente distribuídas e calcula a probabilidade que um dado pixel pertence a uma classe específica. A menos que se selecione um limite de probabilidade, todos os pixels são tratados de forma igual. A cada pixel é atribuído a classe que tem a probabilidade mais alta (isto é, a probabilidade máxima). Se a probabilidade mais alta é menor que o limite que foi especificado, o pixel permanece não classificado. O ENVI implementa a classificação de probabilidade máxima calculando as seguintes funções discriminantes para cada pixel na imagem (Richards, 1999):

$$g_i(\mathbf{x}) = \ln p(\omega_i) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| - \frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{m}_i)^t \Sigma_i^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{m}_i)$$

Onde:

i = classes

\mathbf{x} = n-dados dimensionais (onde n é o número de bandas)

$p(\omega_i)$ = probabilidade com que classe ω_i acontece na imagem é assumido o mesmo valor para todas as classes

$|\Sigma_i|$ = determinante da matriz de covariância dos dados na classe ω_i

Σ_i^{-1} = A matriz inversa

\mathbf{m}_i = significa o vetor

No programa Envi 4.0 a distância Mahalanobis é um classificador de distância sensível a direção que usa estatísticas para cada classe. A classificação pela distância Mahalanobis é semelhante a classificação de probabilidade máxima (“Maximum Likelihood Classification”),

mas é um método mais rápido e assume que a covariância de todas as classes são iguais, como descrito em Richards (1999). A menos que se especifique um limite de distância, o que no caso um número de pixels podem ser não classificados se eles não encontrarem um limite, todos os pixels são independentes para o ROI, durante o processo de classificação.

B) Segmentação de imagens no SPRING

A segmentação consiste na extração de objetos relevantes para as aplicações desejadas. Neste processo, divide-se a imagem em regiões homogêneas, entendidas como o conjunto de pixels contíguos que se espalham bidimensionalmente e que apresentam uniformidade. No SPRING, o processo de classificação emprega classificadores pixel a pixel (que utilizam apenas a informação espectral isoladamente de cada pixel para achar regiões homogêneas) e classificadores por regiões que utilizam, além da informação espectral de cada pixel, a informação espacial que envolve a relação entre os pixels e seus vizinhos. Estes classificadores reconhecem áreas homogêneas da imagem, baseados nas propriedades espectrais e espaciais. O processo de segmentação é utilizado inicialmente para separar regiões onde as propriedades espaciais e espectrais irão juntar áreas com a mesma textura. Consiste em agrupar regiões a partir de uma medida de similaridade entre elas. As figuras 40a, 40b e 40c mostram exemplos deste processo na área de estudo, onde diferentes tipos de cobertura vegetal e uso da terra são delimitados e agrupados em regiões homogêneas segundo limiar de similaridade de 15, 20 e 30 respectivamente.

Segmentação de imagem no SPRING



Figura 40a – Segmentação no Spring com limiar de similaridade de 15.

Figura 40b - Segmentação no Spring com limiar de similaridade de 20.

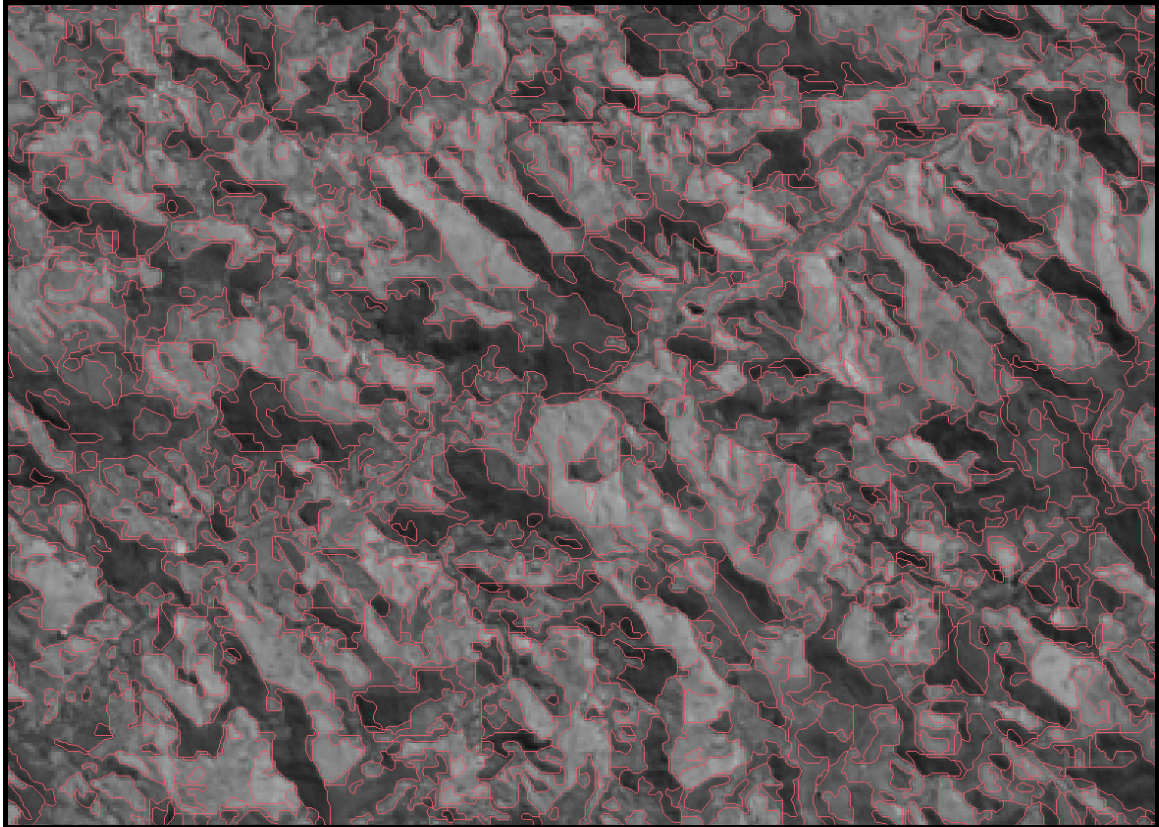


Figura 40c - Segmentação no Spring com limiar de similaridade de 30.

Anexo 2 –Legendo sinótica do mapa de solos; Características físicas, mineralógicas e químicas dos perfis descritos e totais pluviométricos da área.

2.1 – Legenda sinótica do mapa de solos convencional

Tabela 35 – Legenda sinótica do mapa de solos convencional (1ª Versão)

Simbolo	Classe de Solo
	LATOSSOLO AMARELO HÚMICO
LAhd1	Latossolo Amarelo Húmico ácrico + Latossolo Vermelho-Amarelo + Inclusão Cambissolo Háptico e Latossolo Vermelho distróficos.
LAhw1	Latossolo Amarelo Húmico ácrico + Cambissolo Háptico Tb distrófico + Afloramento de Rocha.
LAhw2	Latossolo Amarelo Húmico ácrico + Cambissolo Háptico Tb distrófico.
LAhd2	Latossolo Amarelo Húmico + Latossolo Amarelo + Neossolo flúvico Tb + Cambissolo flúvico Tb, todos distróficos.
LAhd3	Latossolo Amarelo Húmico + Latossolo Vermelho-Amarelo + Cambissolo Háptico Tb todos distróficos + Inclusão Afloramento de Rocha.
LAhd4	Latossolo Amarelo Húmico + Latossolo Vermelho + Inclusão Cambissolo Háptico Tb e Latossolo Amarelo, todos distróficos.
	LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO
LAd1	Latossolo Amarelo + Latossolo Vermelho, ambos distróficos + Afloramento de Rocha
LAd2	Latossolo Amarelo + Latossolo Vermelho-Amarelo + Inclusão Cambissolo Háptico todos distróficos.
LAd3	Latossolo Amarelo + Cambissolo Háptico + Latossolo Vermelho-Amarelo, todos distróficos.
LAd4	Latossolo Amarelo + Latossolo Vermelho + Cambissolo Háptico Tb, todos distróficos.
LAd5	Latossolo Amarelo + Neossolo Flúvico + Cambissolo Flúvico Tb, todos distróficos.
LAd6	Latossolo Amarelo + Argissolo Vermelho-Amarelo Latossólico + Cambissolo Háptico Tb, todos distróficos.
LAd7	Latossolo Amarelo + Cambissolo Háptico Tb + Latossolo Vermelho, todos distróficos.
LAd8	Latossolo Amarelo + Latossolo Vermelho + Argissolo Vermelho-Amarelo, todos distróficos.
	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO
LVAd1	Latossolo Vermelho-Amarelo + Argissolo Vermelho-Amarelo + Cambissolo Háptico Tb, todos distróficos.
LVAd2	Latossolo Vermelho-Amarelo + Latossolo Amarelo Húmico + Latossolo Vermelho todos distróficos.
LVAd3	Latossolo Vermelho-Amarelo + Latossolo Vermelho + Cambissolo Háptico Tb todos distróficos + inclusão de Argissolo Vermelho-Amarelo e Afloramento de Rocha.
LVAd4	Latossolo Vermelho-Amarelo + Argissolo Vermelho-Amarelo + Latossolo Amarelo todos distróficos.
LVAd5	Latossolo Vermelho-Amarelo + Argissolo Vermelho-Amarelo + Latossolo Amarelo Húmico + Inclusão Cambissolo Háptico Tb, todos distróficos.
LVAd6	Latossolo Vermelho-Amarelo + Afloramento de Rocha + Cambissolo Háptico Tb + Inclusão Latossolo Vermelho, todos distróficos.
LVAd7	Latossolo Vermelho-Amarelo + Argissolo Vermelho-Amarelo Tb + Cambissolo Háptico Tb + Afloramento de Rocha + Latossolo Vermelho-Amarelo, todos distróficos.
LVAd8	Latossolo Vermelho-Amarelo + Latossolo Vermelho + Cambissolo Háptico Tb todos distróficos + Inclusão Latossolo Amarelo Húmico.
	LATOSSOLO VERMELHODISTRÓFICO
LVd1	Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-Amarelo + Argissolo Vermelho Tb, todos Distróficos.
LVd2	Latossolo Vermelho + Latossolo Amarelo + Cambissolo Háptico Tb, todos Distróficos.

LVd3	Latossolo Vermelho distrófico + Afloramento de Rocha + Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.
LVd4	Latossolo Vermelho + Argissolo Vermelho-Amarelo + Latossolo Vermelho-Amarelo, todos Distróficos.
LVd5	Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-Amarelo + Cambissolo Háplico Tb, todos distróficos.
ARGISSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO	
PVAd1	Argissolo Vermelho-Amarelo + Argissolo Amarelo Latossólico + Argissolo Vermelho latossólico todos distróficos.
PVAd2	Argissolo Vermelho-Amarelo + Argissolo Amarelo + Cambissolo Háplico Tb, todos distróficos + inclusão Afloramento de Rocha e Latossolo Amarelo distrófico.
PVAd3	Argissolo Vermelho-Amarelo + Latossolo Amarelo Húmico + Inclusão de Neossolo Flúvico Tb, todos distróficos.
PVAd4	Argissolo Vermelho-Amarelo + Argissolo Vermelho + Inclusão de Latossolo Amarelo Húmico e Neossolo Flúvico Tb, todos distróficos.
PVAd5	Argissolo Vermelho-Amarelo + Argissolo Vermelho + Cambissolo Háplico Tb + Inclusão de Argissolo Amarelo, todos distróficos.
PVAd6	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico + Afloramento de Rocha + Latossolo Amarelo distrófico.
PVAd7	Argissolo Vermelho-Amarelo + Argissolo Amarelo + Inclusão de Argissolo Vermelho e Cambissolo Háplico, todos distróficos.
ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO	
PVd1	Argissolo Vermelho + Latossolo Amarelo + Argissolo Vermelho Amarelo + Inclusão de Cambissolo Háplico, todos distróficos e Afloramento de Rocha.
PVd2	Argissolo Vermelho latossólico + Argissolo Vermelho Amarelo latossólico + Argissolo Vermelho-Amarelo, todos distróficos.
PVe	Argissolo Vermelho eutrófico + Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico + Cambissolo Háplico distrófico + Inclusão Argissolo Amarelo eutrófico e Latossolo Amarelo distrófico.
PVd3	Argissolo Vermelho + Argissolo Amarelo + Inclusão Latossolo Vermelho e Latossolo Amarelo, todos distróficos.
PVd4	Argissolo Vermelho + Argissolo Amarelo + Inclusão Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho, todos distróficos.
ARGISSOLO AMARELOS DISTRÓFICO	
PAAd1	Argissolo Amarelo + Argissolo Vermelho, ambos distróficos.
CAMBISSOLO HÁPLICO DISTRÓFICO	
CXbd1	Cambissolo Háplico + Latossolo Vermelho-Amarelo + Afloramento de Rocha + inclusão Neossolo Litólico, todos distróficos.
CXbd2	Cambissolo Háplico distrófico + Afloramento de Rocha + Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abrupto e não abrupto.
CXbd3	Cambissolo Háplico + Latossolo Amarelo + Afloramento de Rocha + Latossolo Vermelho-Amarelo, todos distróficos.
AFLORAMENTO DE ROCHA	
AR1	Afloramentos de Rocha + Latossolo Vermelho-Amarelo + Neossolo Litólico, ambos distróficos.
AR2	Afloramentos de Rocha + Cambissolo Háplico + Neossolo Litólico, ambos eutróficos.
AR3	Afloramentos de Rocha + Cambissolo Háplico + inclusão Neossolo Litólico e Latossolo Vermelho-Amarelo, todos distróficos.

Características mineralógicas de alguns perfis descritos

Os difratogramas são apresentados na seguinte ordem: amostra não tratada (Am.total); amostra desferrificada e saturada com magnésio (Mg) e posteriormente solvatada com etileno glicol (MgEG); amostra desferrificada e saturada com K com varreduras executadas à temperatura ambiente (K25) e, após aquecimento, nas temperaturas assinaladas (K110, K350 e K550).

De modo geral, há grande semelhança entre os difratogramas dos horizontes de um mesmo perfil de solo. Entre os perfis, no entanto, diferenças na proporção dos minerais e, em grau bem menor, nos espécimes constituintes, são evidentes. Dos minerais identificados, a caulinita encontra-se presente em todas as amostras analisadas. A mineralogia da fração argila dos Latossolos em geral é constituída por caulinita, gibbsita, goethita e, por vezes, com reflexões de pequena magnitude, vermiculita com hidróxi-Al nas entrecamadas, vermiculita e anatásio. No entanto, verifica-se diferença na proporção desses componentes, nos Latossolos situados nas posições mais elevadas refletindo as condições bioclimáticas desses ambientes como referido em Embrapa (1979b), Rezende&Resende (1996), com tendência de maior participação da gibbsita.

Quanto aos Argissolos, ocorre na área certa variedade constituindo-se classe de solos Vermelhos, Vermelho-Amarelos e Amarelos, alguns de características intermediárias como latossólicos ou câmbicos, ou de caráter abruptico, mas não é a classe de solo de maior frequência na área de estudo. Apresentam no geral variado grau de evolução pedogenética, sendo predominantemente cauliníticos. Os DRX mostram reflexões marcantes de caulinita. Entre os óxidos, predomina a goethita. Foram registradas reflexões de gibbsita nos DRX de argila em condições naturais e desferrificada, nos Argissolos intermediário para Latossolo situado em altitude mais elevada.

Os Cambissolos Húmicos situam-se nas posições mais elevadas da paisagem, em sua maioria, relacionados às áreas de relevo com encostas côncavas e plano-inclinadas e de forte declividade. Verifica-se tendência de ocorrerem nas faces de menor exposição solar (sul e sudeste), mais frias e úmidas, onde a atividade biológica é menor, o que restringe a decomposição da matéria orgânica do solo. Encontram-se associados a Latossolos Húmicos e, nos trechos mais íngremes, a afloramentos rochosos e solos rasos (Neossolos Litólicos). São mais intemperizados e/ou lixiviados em relação aos Cambissolos Háplicos, conforme evidenciado pelos DRX, onde se observam reflexões bem distintas de caulinita e de gibbsita e indícios de goethita e de vermiculita. A presença simultânea de gibbsita e de argilominerais 2:1 sugere que esse óxido pode ter se formado diretamente dos minerais primários do solo

(Herrmann et al., 2007).

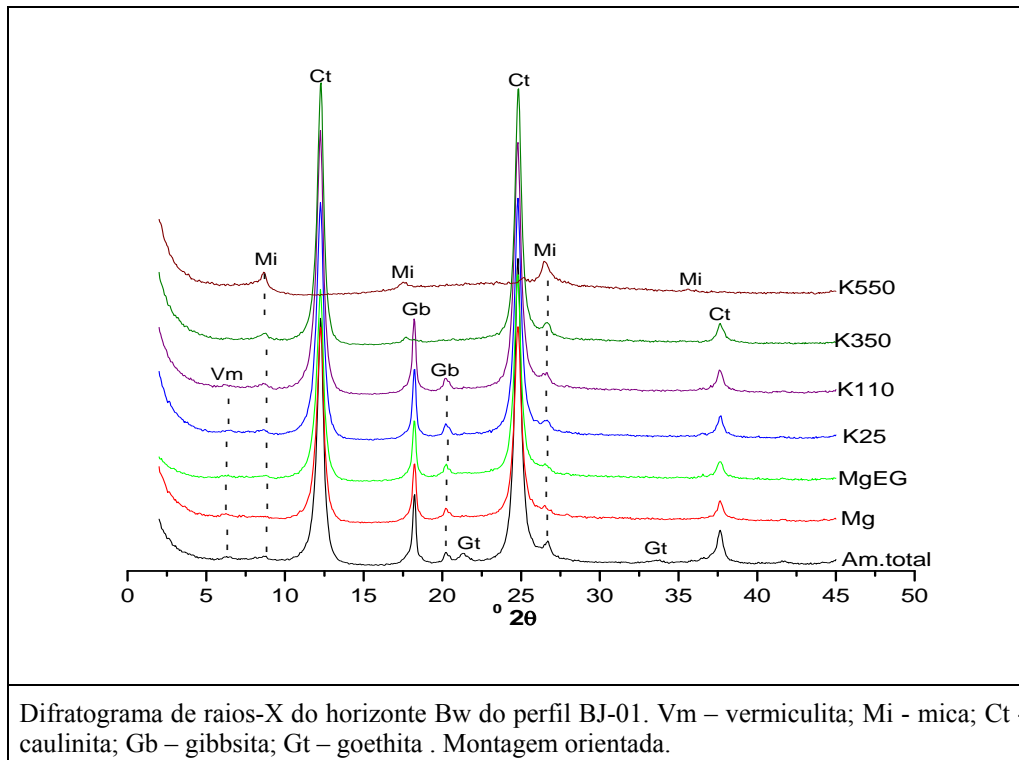


Figura 41a - Perfil 01 - Latossolo Amarelo Distrófico horizonte Bw. Amostra constituída por caulinita; gibbsita; goethita, com indícios de mica e de vermiculita.

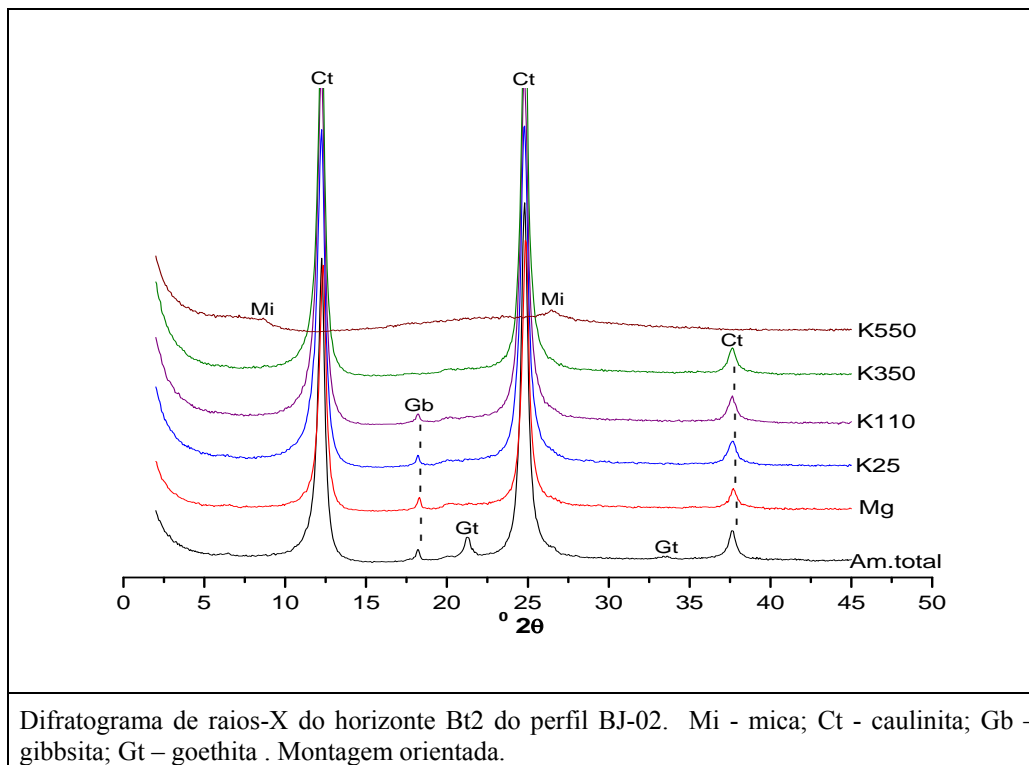


Figura 41b - Perfil 02 – Argissolo Vermelho Distrófico. Horizonte Bt2. Amostra constituída por caulinita; goethita e gibbsita; com indícios de mica.

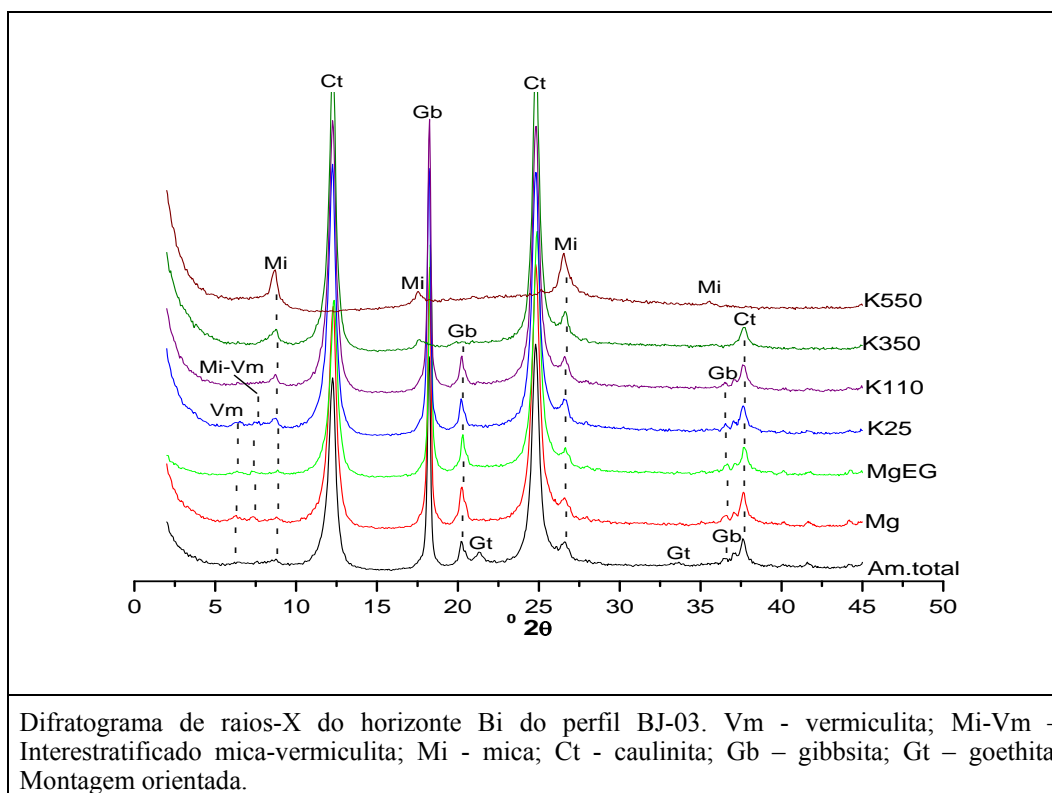


Figura 42a - Perfil 03 - Cambissolo Háplico Distrófico. Horizonte Bi. Amostra constituída por caulinita; gibbsita; goethita, mica e indícios de vermiculita e de interstratificado mica-vermiculita.

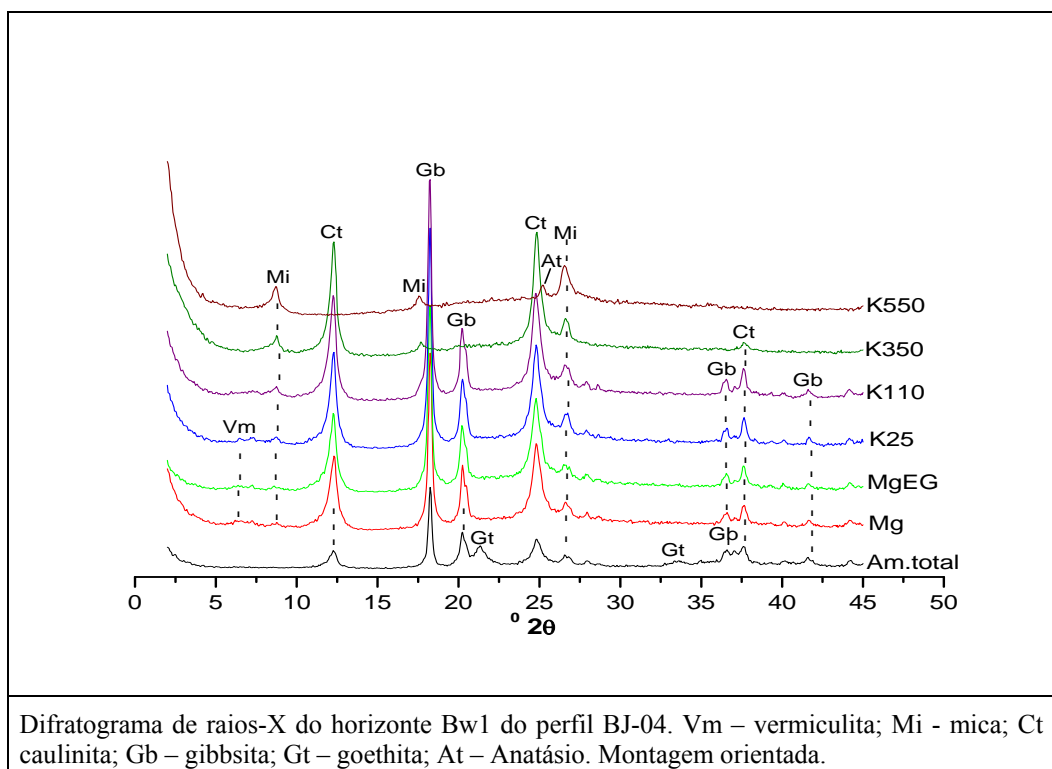
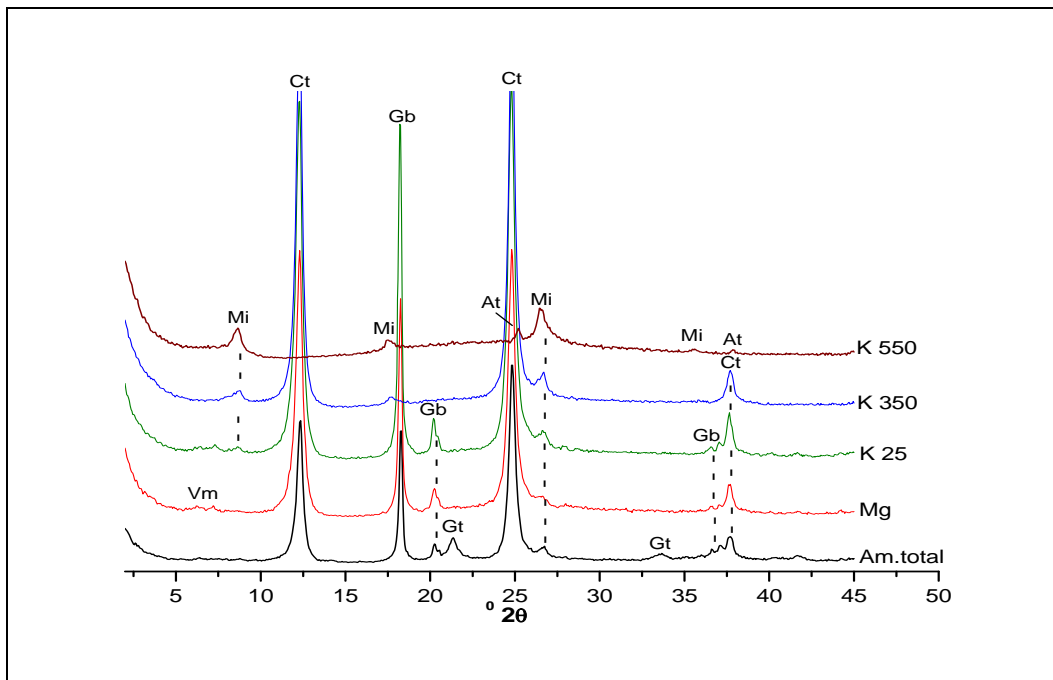
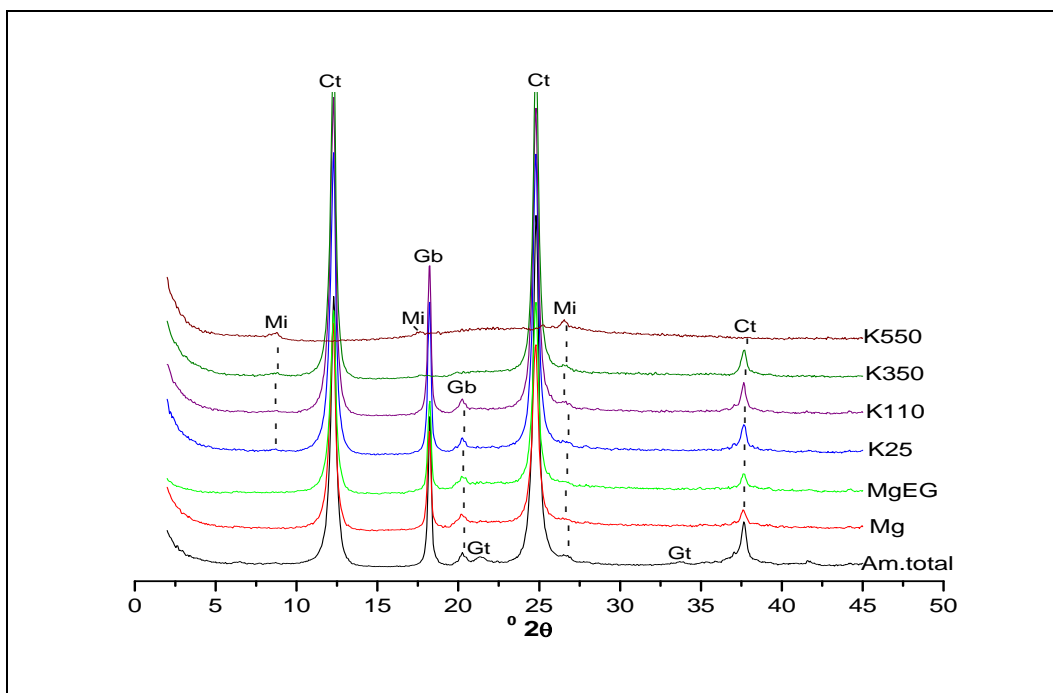


Figura 42b - Perfil 04 – Latossolo Amarelo ácrico húmico. Horizonte Bw1. Amostra constituída por gibbsita; caulinita, goethita, com indícios de mica, de anatásio e de vermiculita.



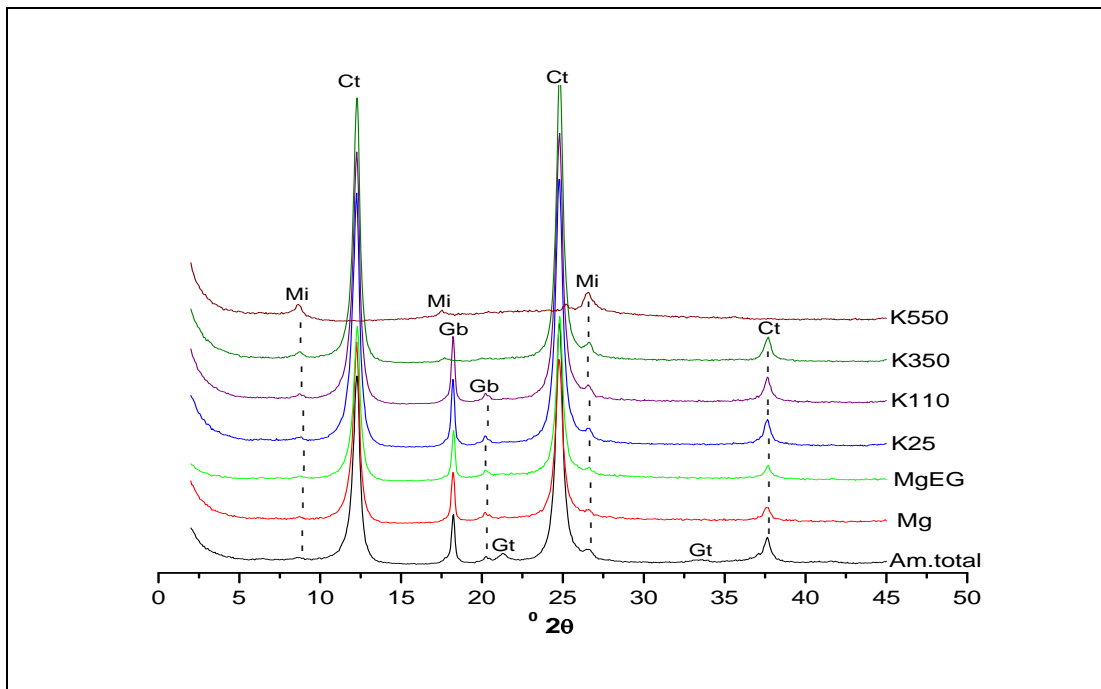
Difratograma de raios-X do horizonte Bw1 do perfil BJ-05. Vm - vermiculita; Mi - mica; Ct - caulinita; Gb – gibbsita; Gt – goethita; At – Anatásio. Montagem orientada.

Figura 43a - Perfil 05- Latossolo Amarelo Distrófico Húmico. Horizonte Bw1. Amostra constituída por caulinita; gibbsita; goethita, com indícios de mica, de vermiculita e de anatásio.



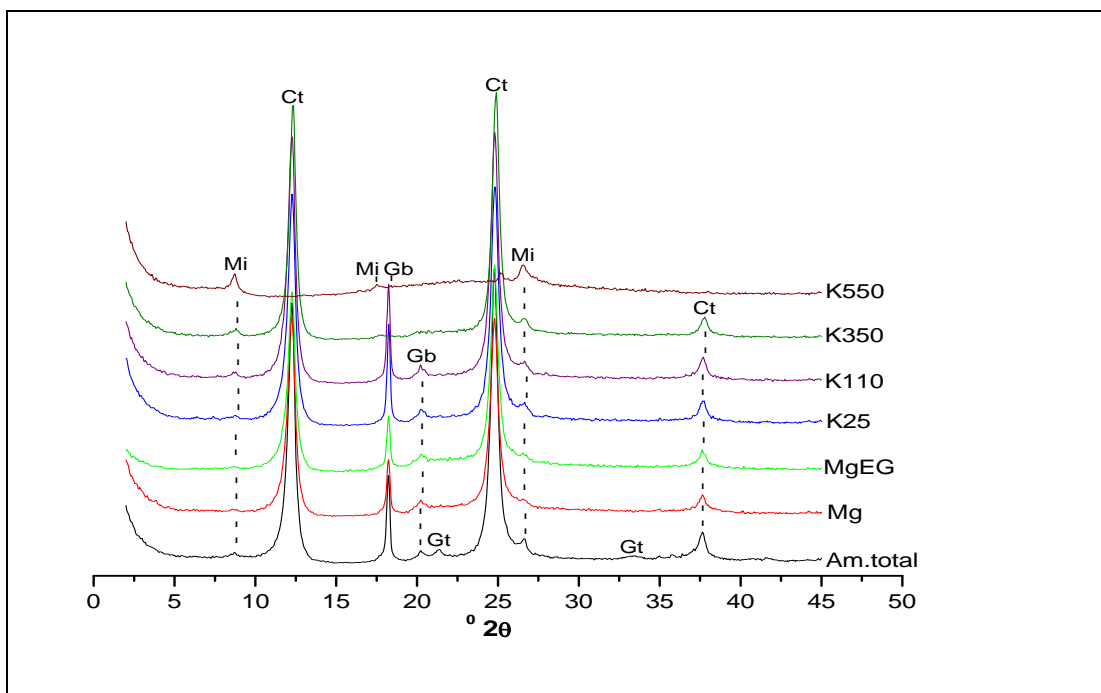
Difratograma de raios-X do horizonte Bw2 do perfil BJ-06. Mi - mica; Ct - caulinita; Gb – gibbsita; Gt – goethita. Montagem orientada.

Figura 43b - Perfil 06 – Latossolo Amarelo Distrófico típico. Horizonte Bw2. Amostra constituída por caulinita, gibbsita; goethita, com indícios de mica.



Difratograma de raios-X do horizonte Bt2 do perfil BJ-07. Mi - mica; Ct - caulinita; Gb – gibbsita; Gt – goethita. Montagem orientada.

Figura 44a - Perfil 07 – Argissolo Vermelho Distrófico latossólico. Horizonte Bt2. Amostra constituída por caulinita; gibbsita e goethita, com indícios de mica.



Difratograma de raios-X do horizonte Bt2 do perfil BJ-08. Mi - mica; Ct - caulinita; Gb – gibbsita; Gt – goethita. Montagem orientada.

Figura 44b - Perfil 08– Argissolo Vermelho Distrófico típico. Horizonte Bt2. Amostra constituída por caulinita; gibbsita e goethita, com indícios de mica.

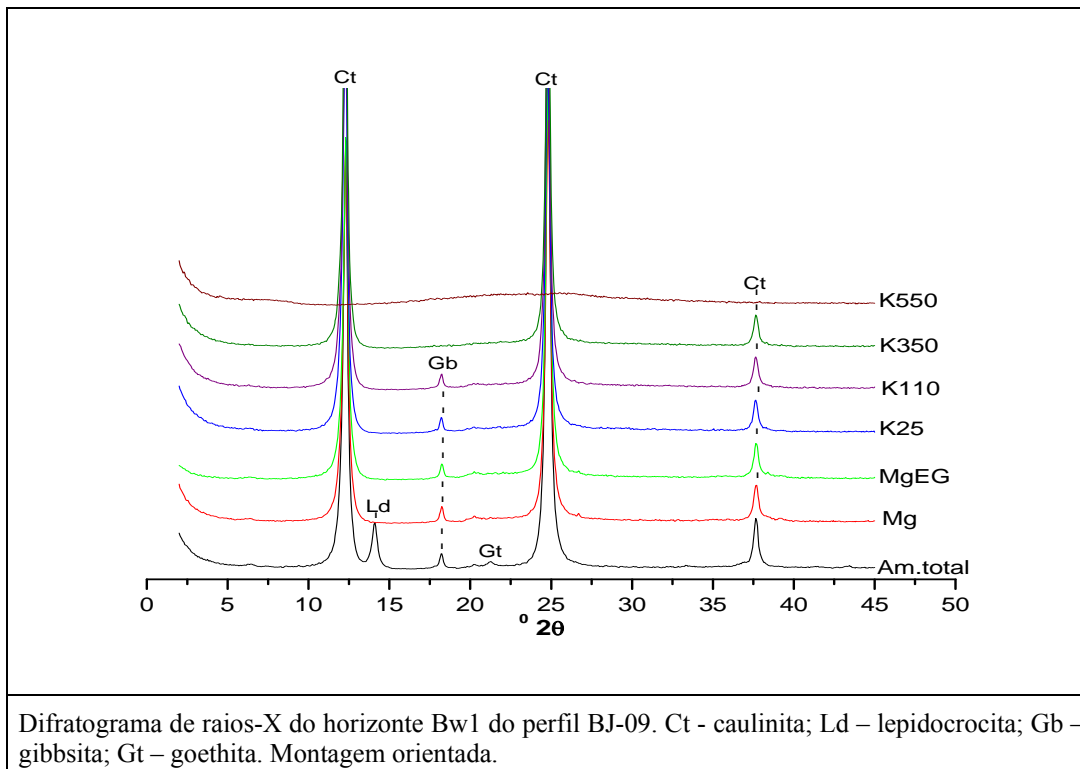


Figura 45a - Perfil 09- **Latossolo Amarelo Distrófico argissólico**. Horizonte Bw1. Amostra constituída por caulinita; lepidocrocita, gibbsita e goethita

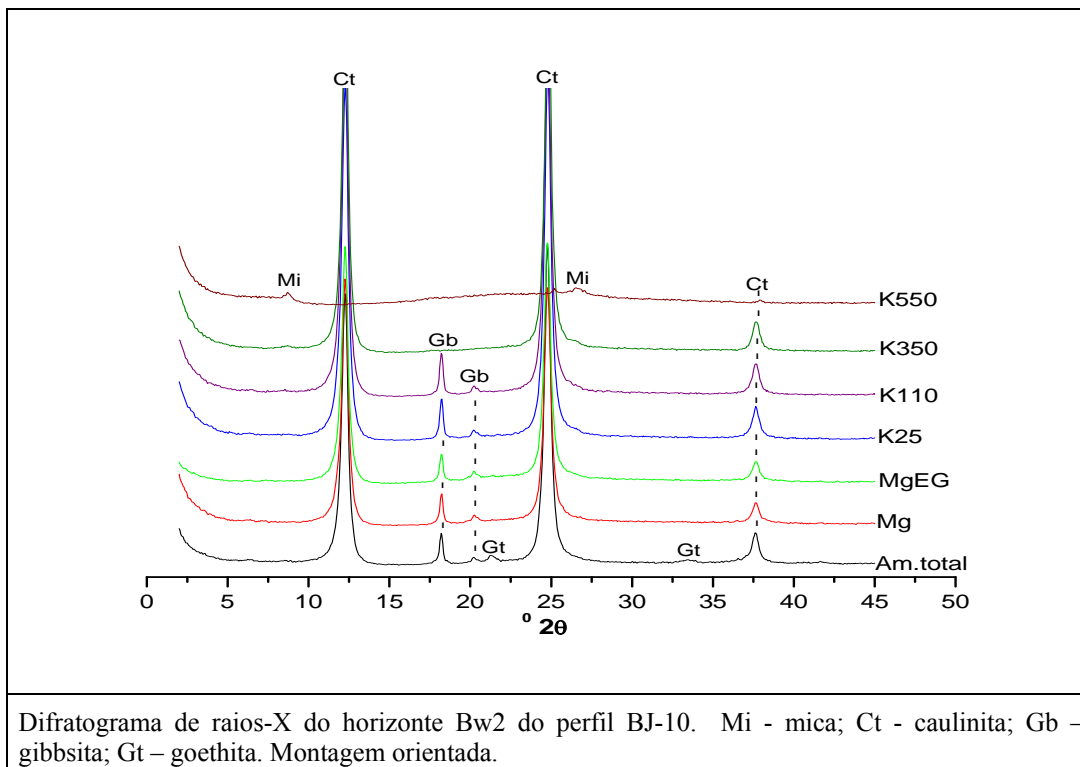
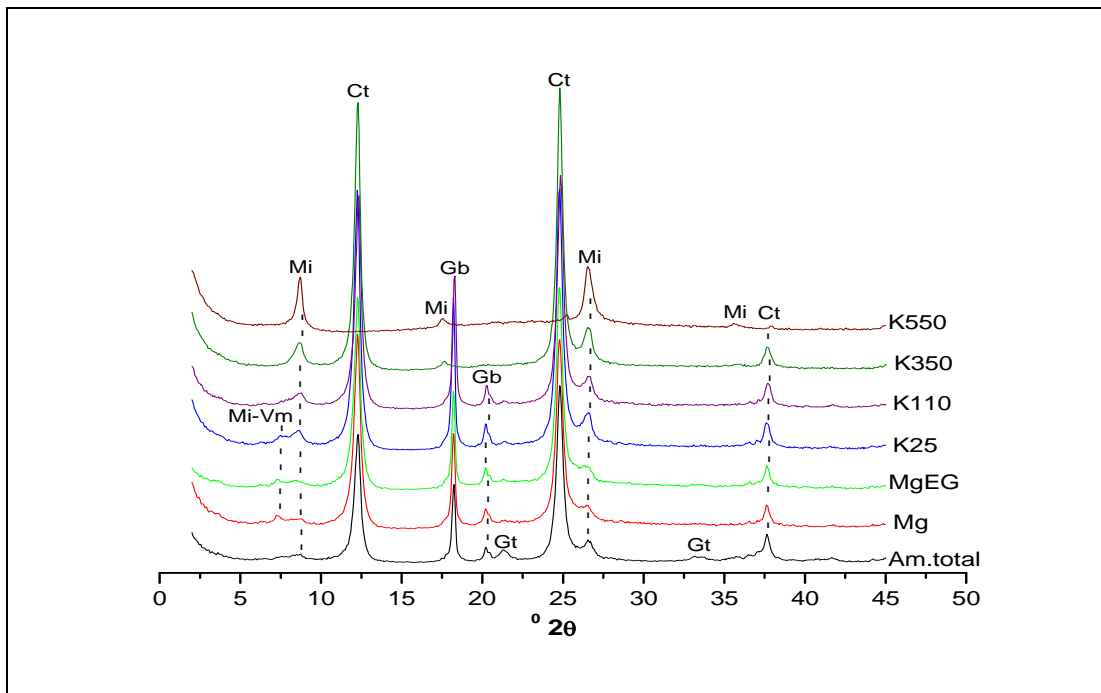
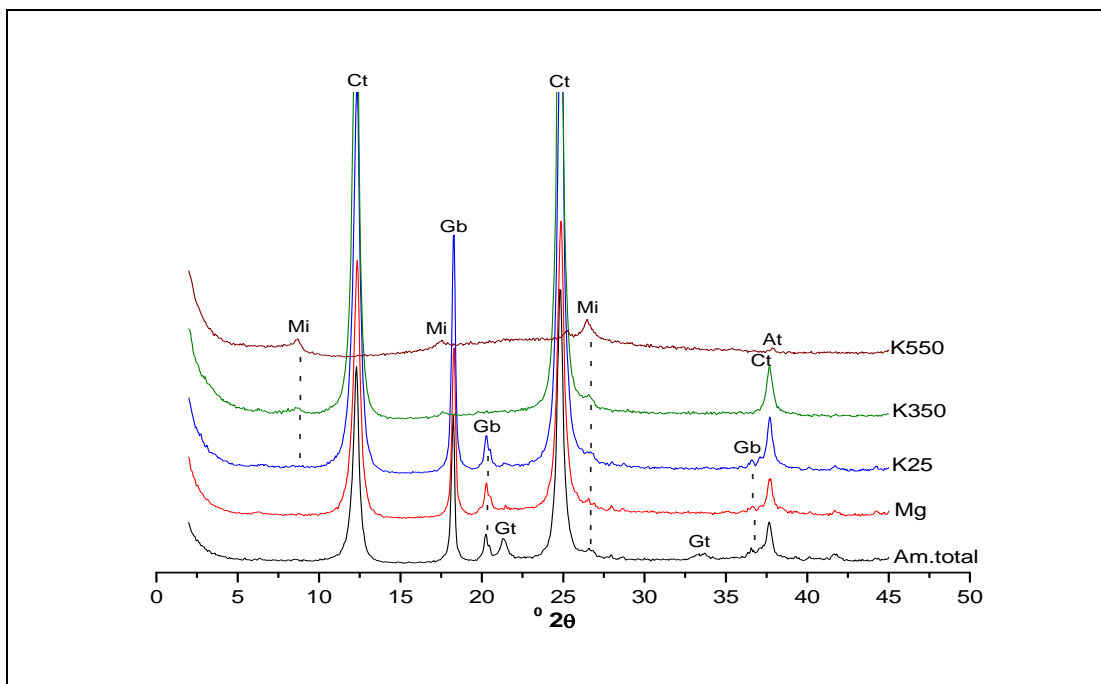


Figura 45b - Perfil 10– **Latossolo Vermelho Distrófico típico**. Horizonte Bw2. Amostra constituída por caulinita; gibbsita e goethita, com indícios de mica.



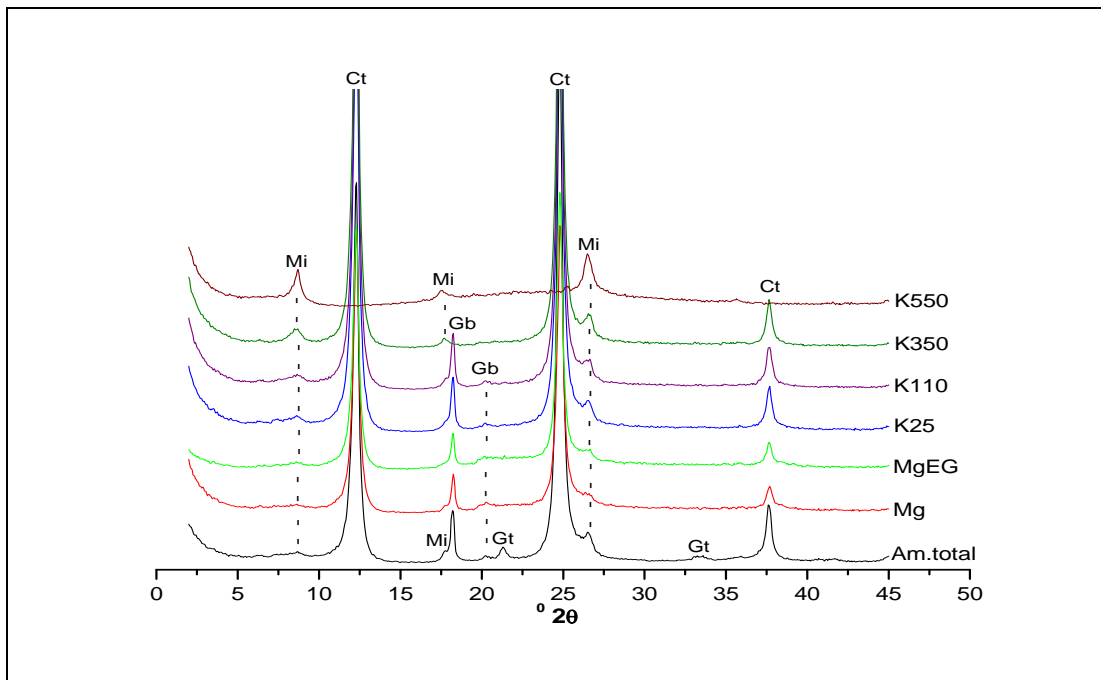
Difratograma de raios-X do horizonte Bw2 do perfil BJ-11. Mi-Vm - interestratificado mica-vermiculita; Mi - mica; Ct - caulinita; Gb – gibbsita; Gt – goethita. Montagem orientada.

Figura 46a - Perfil 11- Latossolo VermelhoAmarelo Distrófico típico. Horizonte Bw1. Amostra constituída por caulinita; gibbsita, goethita, mica, com indícios de interestratificado mica-vermiculita.



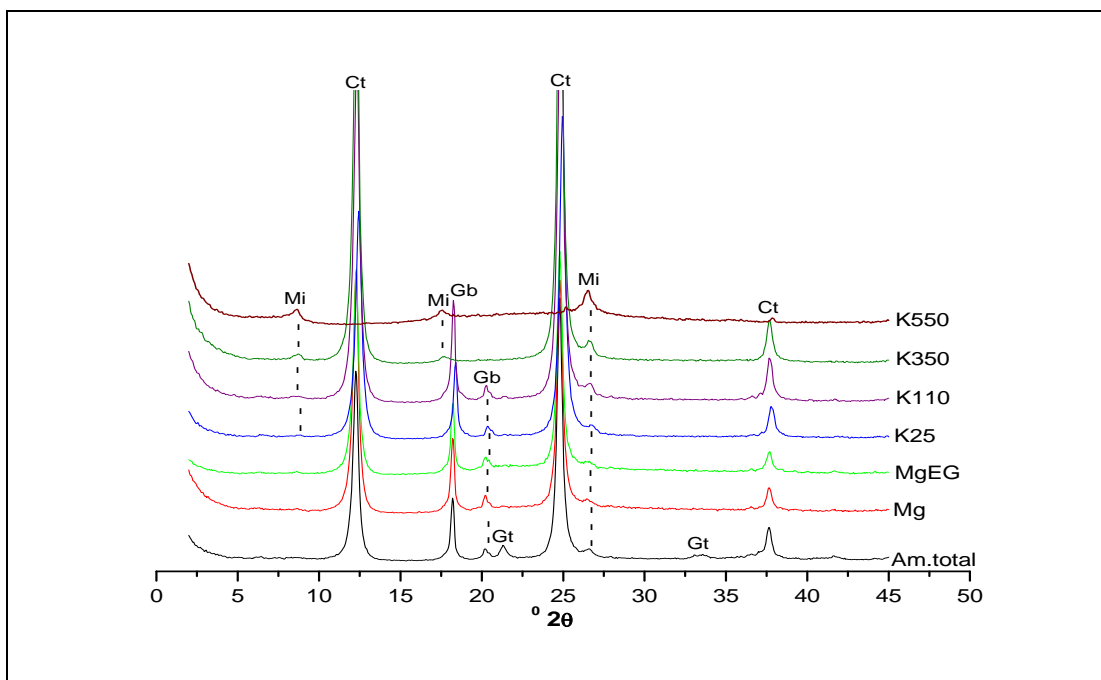
Difratograma de raios-X do horizonte Bw3 do perfil BJ-22. Mi - mica; Ct - caulinita; Gb – gibbsita; Gt – goethita; At – Anatásio. Montagem orientada.

Figura 46b - Perfil 22 - Latossolo Amarelo Distrófico típico. Horizonte Bw3. Amostra constituída por caulinita; gibbsita e goethita, com indícios de mica e de anatásio.



Difratograma de raios-X do horizonte Bt2 do perfil BJ-28. Mi - mica; Ct - caulinita; Gb – gibbsita; Gt – goethita. Montagem orientada.

Figura 47a - Perfil 28 - Argissolo Vermelho Distrófico típico. Horizonte Bt2. Amostra constituída por caulinita; gibbsita, goethita, com indícios de mica.



Difratograma de raios-X do horizonte Bw3 do perfil BJ-29. Mi - mica; Ct - caulinita; Gb – gibbsita; Gt – goethita. Montagem orientada.

Figura 47b - Perfil 29 - Latossolo Vermelho Distrófico típico. Horizonte Bw3. Amostra constituída por caulinita; gibbsita e goethita, com indícios de mica e de anatósio.

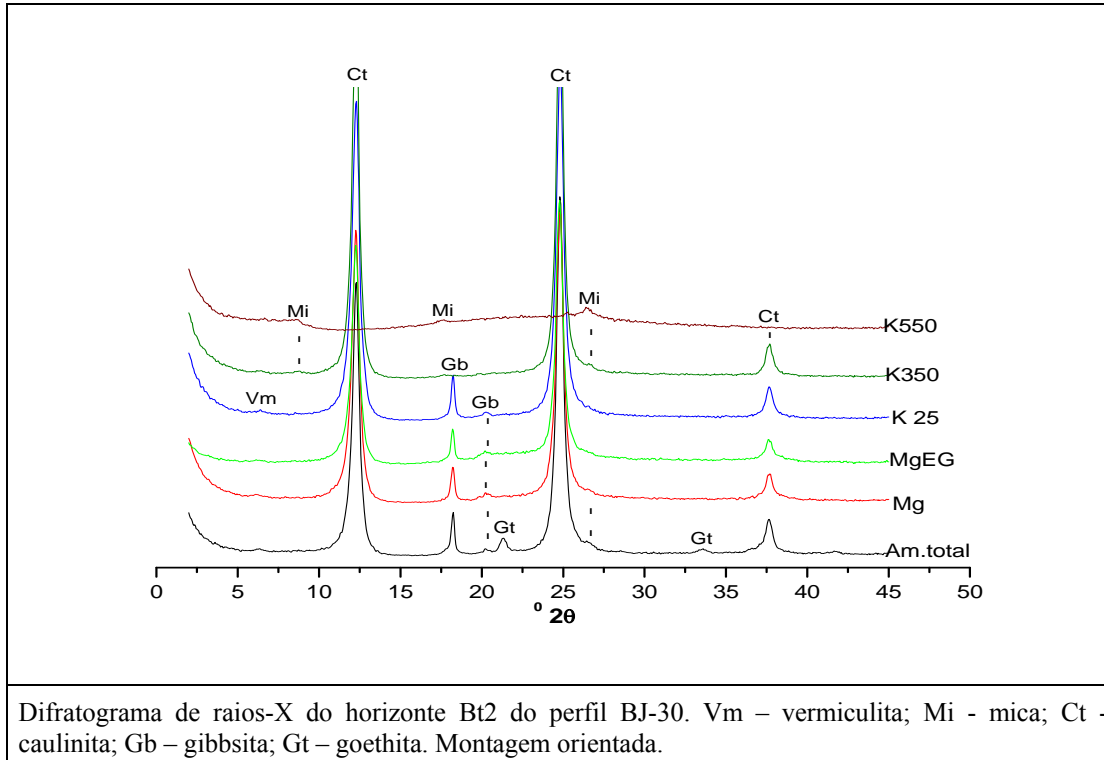


Figura 48a – Perfil P30 - Argissolo Amarelo Distrófico abruptico. Horizonte Bt2. Amostra constituída por caulinita; gibbsita e goethita, com indícios de mica e de vermiculita.

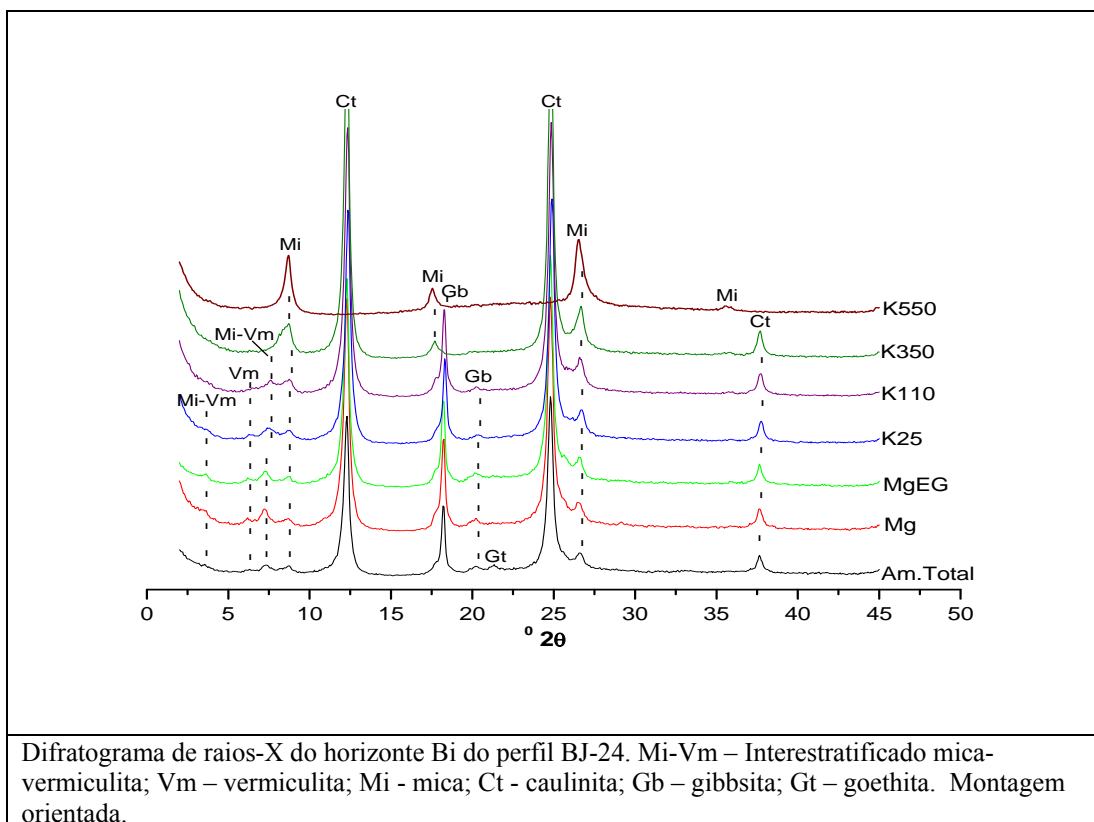


Figura 48b – Perfil BJ-24 - Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico. Horizonte Bi. Amostra constituída por caulinita; gibbsita; Interestratificado mica-vermiculita; mica; com indícios de vermiculita e de goethita.

ANEXO 3 - Resultados das Redes Neurais treinadas: Tabelas por conjunto de treinamento

Tabela 40 - Redes Neurais simples e duplas conjunto 9G (treinadas com o grid de geologia)

Redes simples do conjunto 9G*			Redes duplas do conjunto 9G-dp*		
Rds	Mse	Cln	Rds	Mse	Cln
Rd1-9G	0,5903	32,2	Rd11-9G	0,7411	32,9
Rd2-9G	0,5802	43,6	Rd22-9G	0,6374	38,2
Rd3-9G	0,4169	50,8	Rd33-9G	0,5891	44,7
Rd4-9G	0,4173	62,7	Rd44-9G	0,4723	50,0
Rd5-9G	0,3129	65,6	Rd55-9G	0,08834	37,1
Rd6-9G	0,2812	64,6	Rd66-9G	0,04968	66,2
Rd7-9G	0,2644	68,4	Rd77-9G	0,06512	64,8
Rd8-9G	0,1782	64,0	Rd88-9G	0,03028	64,9
Rd9-9G	0,1492	70,8	Rd99-9G	0,02412	75,5
Rd10-9G	0,1274	73,5	Rd1010-9G	0,08752	68,0
Rd11-9G	0,1287	71,8	Rd1111-9G	0,07649	69,7
Rd12-9G	0,1000	69,3	Rd1212-9G	0,08234	69,9
Rd13-9G	0,09390	73,7	Rd1313-9G	0,04968	76,3
Rd14-9G	0,09358	69,3	Rd1414-9G	0,06512	71,7
Rd15-9G	0,1025	72,3	Rd1515-9G	0,03028	76,6
Rd16-9G	0,09529	72,4	Rd1616-9G	0,02442	76,1
Rd17-9G	0,09875	70,4	Rd1717-9G	0,07499	75,5
Rd18-9G	0,06770	74,6	Rd1818-9G	0,04099	75,2
Rd19-9G	0,08097	71,0	Rd1919-9G	0,06066	76,2
Rd20-9G	0,09219	72,8	Rd2020-9G	0,04433	77,8
Rd21-9G	0,07607	71,7	Rd2121-9G	0,04001	75,4
Rd22-9G	0,06990	72,3	Rd2222-9G	0,06933	78,4
Rd23-9G	0,06688	76,5	Rd2323-9G	0,05336	74,6
Rd24-9G	0,05145	71,2	Rd2424-9G	0,05555	77,3
Rd25-9G	0,08348	74,0	Rd2525-9G	0,07366	78,1
Rd26-9G	0,08344	71,2	Rd2626-9G	0,06660	78,2
Rd27-9G	0,05787	74,7	Rd2727-9G	0,03766	80,2
Rd28-9G	0,05787	75,6	Rd2828-9G	0,04499	75,2
Rd29-9G	0,04137	73,1	Rd2929-9G	0,05166	80,7
Rd30-9G	0,04991	73,4	Rd3030-9G	0,04133	75,3
Rd31-9G	0,06045	74,9	Rd3131-9G	0,03233	81,3
Rd32-9G	0,07222	77,8	Rd3232-9G	0,05833	82,5
Rd33-9G	0,04776	74,7	Rd3333-9G	0,05833	80,1
Rd34-9G	0,05989	74,0	Rd3434-9G	0,04433	78,6
Rd35-9G	0,08367	75,0	Rd3535-9G	0,03271	79,6
Rd36-9G	0,04484	74,5	Rd3636-9G	0,04400	80,8
Rd37-9G	0,07402	75,2	Rd3737-9G	0,02799	80,7
Rd38-9G	0,06602	75,3	Rd3838-9G	0,03533	82,8
Rd39-9G	0,04083	77,4	Rd3939-9G	0,04333	82,3
Rd40-9G	0,06767	79,1	Rd4040-9G	0,02466	80,7
Rd41-9G	0,06214	73,8	Rd4141-9G	0,05333	82,1
Rd42-9G	0,05556	74,2	Rd4242-9G	0,02799	79,4
Rd43-9G	0,04733	76,3	Rd4343-9G	0,02966	78,5
Rd44-9G	0,06854	76,3	Rd4444-9G	0,03468	82,9
Rd45-9G	0,07160	74,0	Rd4545-9G	0,04533	82,0
Rd39A-9G	0,04333	82,3	-	-	-

* Com o grid de geologia a exatidão global elevou de 57,3% para 71,8% na Rd11, e o maior acerto foi de 82,9% no conjunto 9G.

Tabela 41 - Redes Neurais simples do conjunto 9G1

Redes simples do conjunto 9G1*			Redes duplas do conjunto 9G1-dp*		
Rds	Mse	Cln	Rds	Mse	Cln
Rd1-9G1	0,73920	31,4	Rd11-9G1	0,7445	30,6
Rd2-9G1	0,65670	40,9	Rd22-9G1	0,6542	38,9
Rd3-9G1	0,56880	57,0	Rd33-9G1	0,5886	44,9
Rd4-9G1	0,47780	56,9	Rd44-9G1	0,4825	58,8
Rd5-9G1	0,42100	61,5	Rd55-9G1	0,3068	68,2
Rd6-9G1	0,31990	61,2	Rd66-9G1	0,2527	65,1
Rd7-9G1	0,22250	68,6	Rd77-9G1	0,1825	68,6
Rd8-9G1	0,18330	74,7	Rd88-9G1	0,1256	68,1
Rd9-9G1	0,17680	77,9	Rd99-9G1	0,09604	71,9
Rd10-9G1	0,15010	72,2	Rd1010-9G1	0,06603	72,2
Rd11-9G1	0,14030	70,1	Rd1111-9G1	0,04266	73,3
Rd12-9G1	0,11690	69,9	Rd1212-9G1	0,05540	76,6
Rd13-9G1	0,09920	73,2	Rd1313-9G1	0,02599	74,0
Rd14-9G1	0,07870	75,4	Rd1414-9G1	0,03733	77,2
Rd15-9G1	0,07560	75,4	Rd1515-9G1	0,04199	75,0
Rd16-9G1	0,07430	74,1	Rd1616-9G1	0,02666	78,2
Rd17-9G1	0,07170	75,5	Rd1717-9G1	0,02833	80,2
Rd18-9G	0,08880	74,4	Rd1818-9G1	0,03599	77,0
Rd19-9G1	0,06466	75,7	Rd1919-9G1	0,04633	78,9
Rd20-9G1	0,05612	76,5	Rd2020-9G1	0,04966	79,1
Rd21-9G1	0,06567	76,3	Rd2121-9G1	0,03399	76,4
Rd22-9G1	0,06059	76,6	Rd2222-9G1	0,03833	81,0
Rd23-9G1	0,06869	78,9	Rd2323-9G1	0,02399	80,8
Rd24-9G1	0,05688	77,5	Rd2424-9G1	0,01766	81,5
Rd25-9G1	0,03223	78,4	Rd2525-9G1	0,04733	82,4
Rd26-9G1	0,07514	79,2	Rd2626-9G1	0,06035	81,6
Rd27-9G1	0,06653	78,7	Rd2727-9G1	0,02833	80,4
Rd28-9G1	0,06266	78,4	Rd2828-9G1	0,02333	79,9
Rd29-9G1	0,05942	78,6	Rd2929-9G1	0,02104	79,0
Rd30-9G1	0,04835	78,6	Rd3030-9G1	0,03966	79,9
Rd31-9G1	0,05247	78,1	Rd3131-9G1	0,01399	81,2
Rd32-9G1	0,08182	79,3	Rd3232-9G1	0,04099	77,9
Rd33-9G1	0,04453	80,8	Rd3333-9G1	0,04466	82,3
Rd34-9G1	0,06370	79,8	Rd3434-9G1	0,04066	80,2
Rd35-9G1	0,05333	77,5	Rd3535-9G1	0,04233	82,8
Rd36-9G1	0,08000	78,6	Rd3636-9G1	0,04333	81,6
Rd37-9G1	0,05400	77,3	Rd3737-9G1	0,04166	81,6
Rd38-9G1	0,05425	81,0	Rd3838-9G1	0,06138	77,9
Rd39-9G1	0,05388	78,0	Rd3939-9G1	0,02399	85,9
Rd40-9G1	0,03566	78,6	Rd4040-9G1	0,04966	83,0
Rd41-9G1	0,03882	80,4	Rd4141-9G1	0,02703	86,5
Rd42-9G1	0,06060	77,8	Rd4242-9G1	0,04333	82,7
Rd43-9G1	0,03599	81,3	Rd4343-9G1	0,04133	81,8
Rd44-9G1	0,04717	82,0	Rd4444-9G1	0,05200	84,8
Rd45-9G1	0,06403	79,6	Rd4545-9G1	0,03466	82,3

* Variável fator LS foi substituída pela variável Rad.Solar

Tabela 42 - Redes Neurais simples do conjunto 11P

Redes simples do conjunto 11P*			Redes simples do conjunto 11P*		
Rds	Mse	Cln	Rds	Mse	Cln
Rd1-P	0,7316	33,9	Rd46-P	0,02000	83,2
Rd2-P	0,6477	38,9	Rd47-P	0,02366	80,5
Rd3-P	0,5394	52,9	Rd48-P	0,02272	81,0
Rd4-P	0,5052	57,3	Rd49-P	0,03789	79,8
Rd5-P	0,3510	66,5	Rd50-P	0,05740	80,5
Rd6-P	0,2811	66,3	Rd51-P	0,05539	81,7
Rd7-P	0,2150	67,7	Rd52-P	0,01966	80,2
Rd8-P	0,2387	63,3	Rd53-P	0,06470	79,7
Rd9-P	0,1857	69,4	Rd54-P	0,04170	78,0
Rd10-P	0,1498	69,5	Rd55-P	0,04166	78,7
Rd11-P	0,1447	70,3	-	-	-
Rd12-P	0,09885	75,6	-	-	-
Rd13-P	0,01039	73,8	-	-	-
Rd14-P	0,01247	74,3	-	-	-
Rd15-P	0,06208	77,1	-	-	-
Rd16-P	0,08043	77,0	-	-	-
Rd17-P	0,04812	77,9	-	-	-
Rd18-P	0,06433	78,4	-	-	-
Rd19-P	0,09204	76,7	-	-	-
Rd20-P	0,06738	77,2	-	-	-
Rd21-P	0,07427	78,2	-	-	-
Rd22-P	0,06233	78,3	-	-	-
Rd23-P	0,06062	77,2	-	-	-
Rd24-P	0,03839	78,7	-	-	-
Rd25-P	0,05246	77,1	-	-	-
Rd26-P	0,03204	80,2	-	-	-
Rd27-P	0,06402	79,3	-	-	-
Rd28-P	0,06336	79,4	-	-	-
Rd29-P	0,04570	77,4	-	-	-
Rd30-P	0,04866	79,4	-	-	-
Rd31-P	0,09400	77,6	-	-	-
Rd32-P	0,039	80,1	-	-	-
Rd33-P	0,030	78,8	-	-	-
Rd34-P	0,04737	82,6	-	-	-
Rd35-P	0,01971	81,4	-	-	-
Rd36-P	0,03104	82,5	-	-	-
Rd37-P	0,03234	81,0	-	-	-
Rd38-P	0,04500	80,5	-	-	-
Rd39-P	0,02811	79,9	-	-	-
Rd40-P	0,01898	80,6	-	-	-
Rd41-P	0,03066	81,2	-	-	-
Rd42-P	0,02733	79,4	-	-	-
Rd43-P	0,04302	80,6	-	-	-
Rd44-P	0,02734	81,0	-	-	-
Rd45-P	0,02033	79,3	-	-	-

Tabela 43 - Redes Neurais duplas do conjunto 11P Redes Neurais simples do conjunto P1

Redes duplas do conjunto 11P-dp*			Redes simples do conjunto P1		
Rds	Mse	Cln	Rds	Mse	Cln
Rd11-Pd	0,7390	33,4	Rd1-P1	0,7346	34,0
Rd22-Pd	0,6483	29,5	Rd2-P1	0,6418	44,1
Rd33-Pd	0,5805	44,5	Rd3-P1	0,5526	53,3
Rd44-Pd	0,4474	53,4	Rd4-P1	0,5201	55,2
Rd55-Pd	0,3920	58,4	Rd5-P1	0,4225	62,2
Rd66-Pd	0,2621	55,4	Rd6-P1	0,3695	62,9
Rd77-Pd	0,1759	71,4	Rd7-P1	0,2620	65,1
Rd88-Pd	0,2475	58,8	Rd8-P1	0,2385	66,1
Rd99-Pd	0,09946	69,6	Rd9-P1	0,2086	66,0
Rd1010-Pd	0,05678	71,2	Rd10-P1	0,1859	69,2
Rd1111-Pd	0,05502	71,4	Rd11-P1	0,1565	71,6
Rd1212-Pd	0,01966	75,4	Rd12-P1	0,1162	74,2
Rd1313-Pd	0,04199	77,4	Rd13-P1	0,1179	69,2
Rd1414-Pd	0,04133	76,9	Rd14-P1	0,1098	71,4
Rd1515-Pd	0,03534	76,2	Rd15-P1	0,05695	76,6
Rd1616-Pd	0,04633	75,7	Rd16-P1	0,07546	76,2
Rd1717-Pd	0,031	77,6	Rd17-P1	0,08372	74,8
Rd1818-Pd	0,02007	80,7	Rd18-P1	0,06111	75,4
Rd1919-Pd	0,01366	80,8	Rd19-P1	0,09502	76,8
Rd2020-Pd	0,04833	80,6	Rd20-P1	0,0990	76,6
Rd2121-Pd	0,03236	78,6	Rd21-P1	0,07440	78,6
Rd2222-Pd	0,04866	79,6	Rd22-P1	0,08053	75,1
Rd2323-Pd	0,01199	80,1	Rd23-P1	0,07063	80,6
Rd2424-Pd	0,02220	81,6	Rd24-P1	0,06551	78,4
Rd2525-Pd	0,02733	82,7	Rd25-P1	0,04699	80,5
Rd2626-Pd	0,01733	80,6	Rd26-P1	0,06867	77,0
Rd2727-Pd	0,03433	84,8	Rd27-P1	0,05873	77,2
Rd2828-Pd	0,02133	82,7	Rd28-P1	0,05870	82,3
Rd2929-Pd	0,01799	80,5	Rd29-P1	0,03453	76,9
Rd3030-Pd	0,00799	80,5	Rd30-P1	0,07134	75,7
Rd3131-Pd	0,00466	82,6	Rd31-P1	0,09001	75,3
Rd3232-Pd	0,02433	81,4	Rd32-P1	0,03599	82,0
Rd3333-Pd	0,00400	84,0	Rd33-P1	0,07538	76,9
Rd3434-Pd	0,01499	81,9	Rd34-P1	0,03933	80,6
Rd3535-Pd	0,03066	83,4	Rd35-P1	0,05308	77,7
Rd3636-Pd	0,02199	84,1	Rd36-P1	0,04334	81,9
Rd3737-Pd	0,02	85,0	Rd37-P1	0,02437	81,0
Rd3838-Pd	0,01166	83,2	Rd38-P1	0,07574	79,7
Rd3939-Pd	0,00433	86,1	Rd39-P1	0,03003	80,3
Rd4040-Pd	0,02350	85,6	Rd40-P1	0,05602	80,5
Rd4141-Pd	0,01299	83,9	Rd41-P1	0,04999	83,7
Rd4242-Pd	0,06666	85,8	Rd42-P1	0,03399	82,7
Rd4343-Pd	0,02599	82,4	Rd43-P1	0,01599	82,0
Rd4444-Pd	0,02333	81,8	Rd44-P1	0,03838	81,6
Rd4545-Pd	0,01933	88,1	Rd45-P1	0,03502	80,5
-	-	-	-	-	-

Tabela 44 - Redes Neurais duplas do conjunto P1

Redes duplas do conjunto P1-dp			Redes duplas do conjunto P1dp-t2 *		
Rds	Mse	Cln	Rds	Mse	Cln
Rd11-P1d	0,7424	34,1	Rd3737-t2P1d	0,01266	90,7
Rd22-P1d	0,6534	34,6	Rd3838t2-P1d	0,01633	88,0
Rd33-P1d	0,5974	44,2	Rd3939-t2P1d	0,04033	88,8
Rd44-P1d	0,4950	51,1	Rd4040-t2P1d	0,02	90,6
Rd55-P1d	0,3133	70,6	Rd4141t2-P1d	0,03	86,4
Rd66-P1d	0,3049	68,7	Rd4242-t2P1d	3266	84,7
Rd77-P1d	0,2795	62,8	Rd4343-t2P1d	0,01133	84,8
Rd88-P1d	0,1696	71,7	Rd4444-t2P1d	0,01856	84,0
Rd99-P1d	0,08118	71,3	Rd4545-t2P1d	0,01866	85,0
Rd1010-P1d	0,06499	71,3	-	-	-
Rd1111-P1d	0,02833	74,7	-	-	-
Rd1212-P1d	0,04702	74,5	-	-	-
Rd1313-P1d	0,07933	76,0	-	-	-
Rd1414-P1d	0,03260	75,4	-	-	-
Rd1515-P1d	0,03770	77,6	-	-	-
Rd1616-P1d	0,04102	76,8	-	-	-
Rd1717-P1d	0,05766	77,4	-	-	-
Rd1818-P1d	0,0076	80,3	-	-	-
Rd1919-P1d	0,02333	79,4	-	-	-
Rd2020-P1d	0,02773	78,6	-	-	-
Rd2121-P1d	0,04799	78,8	-	-	-
Rd2222-P1d	0,04033	80,5	-	-	-
Rd2323-P1d	0,04833	79,5	-	-	-
Rd2424-P1d	0,0047	80,8	-	-	-
Rd2525-P1d	0,01166	84,0	-	-	-
Rd2626-P1d	0,01333	79,0	-	-	-
Rd2727-P1d	0,02066	81,3	-	-	-
Rd2828-P1d	0,03199	82,0	-	-	-
Rd2929-P1d	0,02333	81,8	-	-	-
Rd3030-P1d	0,02833	84,4	-	-	-
Rd3131-P1d	0,0040	82,9	-	-	-
Rd3232-P1d	0,05566	79,8	-	-	-
Rd3333-P1d	0,05999	82,6	-	-	-
Rd3434-P1d	0,01867	84,5	-	-	-
Rd3535-P1d	0,024	83,2	-	-	-
Rd3636-P1d	0,01066	83,8	-	-	-
Rd3737-P1d	0,01266	83,1	-	-	-
Rd3838-P1d	0,07334	77,3	-	-	-
Rd3939-P1d	0,03999	82,0	-	-	-
Rd4040-P1d	0,01299	83,8	-	-	-
Rd4141-P1d	0,031	84,7	-	-	-
Rd4242-P1d	0,02474	84,1	-	-	-
Rd4343-P1d	0,01099	87,2	-	-	-
Rd4444-P1d	0,03402	82,7	-	-	-
Rd4545-P1d	0,01933	80,9	-	-	-

Tabela 45 - Redes Neurais simples do conjunto P2

Redes simples do conjunto P2			Redes duplas do conjunto P2-dp		
Rds	Mse	Cln	Rds	Mse	Cln
Rd1-P2	0,7369	34,6	Rd11-P2d	0,7467	34,5
Rd2-P2	0,6810	39,2	Rd22-P2d	0,6623	34,7
Rd3-P2	0,5837	49,2	Rd33-P2d	0,5863	43,7
Rd4-P2	0,4992	52,8	Rd44-P2d	0,5019	51,6
Rd5-P2	0,4240	59,0	Rd55-P2d	0,3988	57,3
Rd6-P2	0,3080	63,4	Rd66-P2d	0,2531	64,4
Rd7-P2	0,3119	62,1	Rd77-P2d	0,4637	49,6
Rd8-P2	0,2425	65,8	Rd88-P2d	0,2441	65,8
Rd9-P2	0,2096	68,3	Rd99-P2d	0,08610	66,7
Rd10-P2	0,1828	66,1	Rd1010-P2d	0,1413	69,5
Rd11-P2	0,1261	74,2	Rd1111-P2d	0,03770	72,6
Rd12-P2	0,09883	75,2	Rd1212-P2d	0,06156	72,2
Rd13-P2	0,08087	73,9	Rd1313-P2d	0,03532	77,3
Rd14-P2	0,09989	76,9	Rd1414-P2d	0,04133	76,9
Rd15-P2	0,08726	76,5	Rd1515-P2d	0,05468	76,1
Rd16-P2	0,08584	75,3	Rd1616-P2d	0,07166	77,2
Rd17-P2	0,01020	73,2	Rd1717-P2d	0,05266	79,5
Rd18-P2	0,05785	76,6	Rd1818-P2d	0,01966	81,2
Rd19-P2	0,07183	77,0	Rd1919-P2d	0,03999	77,7
Rd20-P2	0,05374	77,1	Rd2020-P2d	0,01799	78,7
Rd21-P2	0,03311	78,3	Rd2121-P2d	0,03	79,8
Rd22-P2	0,06437	78,2	Rd2222-P2d	0,04899	80,6
Rd23-P2	0,04236	79,6	Rd2323-P2d	0,03778	77,0
Rd24-P2	0,05561	77,2	Rd2424-P2d	0,02266	83,2
Rd25-P2	0,02702	81,6	Rd2525-P2d	0,02433	81,0
Rd26-P2	0,03842	79,5	Rd2626-P2d	0,02999	84,5
Rd27-P2	0,04833	80,1	Rd2727-P2d	0,01866	83,1
Rd28-P2	0,05918	79,4	Rd2828-P2d	0,01499	83,1
Rd29-P2	0,00851	78,8	Rd2929-P2d	0,01133	80,8
Rd30-P2	0,06254	77,1	Rd3030-P2d	0,078	80,2
Rd31-P2	0,04799	78,9	Rd3131-P2d	0,00666	84,8
Rd32-P2	0,06566	82,6	Rd3232-P2d	0,01599	83,6
Rd33-P2	0,06577	79,0	Rd3333-P2d	0,02699	80,5
Rd34-P2	0,03967	79,9	Rd3434-P2d	0,02799	84,7
Rd35-P2	0,03534	80,8	Rd3535-P2d	0,03933	81,9
Rd36-P2	0,02566	79,4	Rd3636-P2d	0,00899	85,3
Rd37-P2	0,06401	80,4	Rd3737-P2d	0,03866	83,8
Rd38-P2	0,05400	78,8	Rd3838-P2d	0,02066	83,8
Rd39-P2	0,02769	81,2	Rd3939-P2d	0,04366	82,2
Rd40-P2	0,05233	79,0	Rd4040-P2d	0,02399	82,4
Rd41-P2	0,03833	84,0	Rd4141-P2d	0,03099	85,1
Rd42-P2	0,03940	80,8	Rd4242-P2d	0,032	85,4
Rd43-P2	0,03633	80,9	Rd4343-P2d	0,02666	84,0
Rd44-P2	0,05666	81,2	Rd4444-P2d	0,01599	86,1
Rd45-P2	0,05580	78,7	Rd4545-P2d	0,03066	83,6
-	-	-	Rd4242A-P2d	0,03799	84,9

Tabela 46 - Redes Neurais simples e duplas do conjunto P3

Redes simples do conjunto P3			Redes duplas do conjunto P3-dp		
Rds	Mse	Cln	Rds	Mse	Cln
Rd1-P3	0,7384	33,8	Rd11-P3d	0,7466	31,0
Rd2-P3	0,6613	40,5	Rd22-P3d	0,6617	36,8
Rd3-P3	0,5903	51,8	Rd33-P3d	0,5990	42,0
Rd4-P3	0,4983	59,3	Rd44-P3d	0,4999	47,0
Rd5-P3	0,4281	63,3	Rd55-P3d	0,4162	60,8
Rd6-P3	0,3647	65,2	Rd66-P3d	0,4235	58,0
Rd7-P3	0,2968	64,6	Rd77-P3d	0,2282	65,1
Rd8-P3	0,1894	72,1	Rd88-P3d	0,1303	69,3
Rd9-P3	0,2370	63,6	Rd99-P3d	0,1374	68,4
Rd10-P3	0,1758	69,5	Rd1010-P3d	0,0794	69,0
Rd11-P3	0,1529	70,2	Rd1111-P3d	0,04499	75,9
Rd12-P3	0,1581	69,9	Rd1212-P3d	0,04066	74,3
Rd13-P3	0,1319	74,2	Rd1313-P3d	0,04299	76,6
Rd14-P3	0,1223	72,1	Rd1414-P3d	0,05666	75,6
Rd15-P3	0,1085	69,9	Rd1515-P3d	0,06733	77,4
Rd16-P3	0,1173	74,8	Rd1616-P3d	0,06999	80,4
Rd17-P3	0,1258	77,4	Rd1717-P3d	0,09418	72,6
Rd18-P3	0,03347	73,2	Rd1818-P3d	0,02366	80,0
Rd19-P3	0,08101	77,0	Rd1919-P3d	0,06590	75,1
Rd20-P3	0,08404	79,2	Rd2020-P3d	0,022	81,7
Rd21-P3	0,07880	75,2	Rd2121-P3d	0,02866	82,6
Rd22-P3	0,06970	75,6	Rd2222-P3d	0,03466	81,1
Rd23-P3	0,1084	77,4	Rd2323-P3d	0,03966	80,4
Rd24-P3	0,09844	78,4	Rd2424-P3d	0,03433	80,9
Rd25-P3	0,09499	76,6	Rd2525-P3d	0,0596	82,4
Rd26-P3	0,04072	76,2	Rd2626-P3d	0,04033	82,0
Rd27-P3	0,02932	82,6	Rd2727-P3d	0,03166	80,2
Rd28-P3	0,07899	77,2	Rd2828-P3d	0,02399	82,4
Rd29-P3	0,08002	77,8	Rd2929-P3d	0,03299	80,7
Rd30-P3	0,06033	78,6	Rd3030-P3d	0,03533	82,1
Rd31-P3	0,03433	81,6	Rd3131-P3d	0,05199	83,4
Rd32-P3	0,04966	77,2	Rd3232-P3d	0,008669	80,7
Rd33-P3	0,06999	79,3	Rd3333-P3d	0,02666	84,3
Rd34-P3	0,05503	82,1	Rd3434-P3d	0,03593	84,0
Rd35-P3	0,05334	78,8	Rd3535-P3d	0,008999	82,6
Rd36-P3	0,052	81,0	Rd3636-P3d	0,01566	81,5
Rd37-P3	0,03333	79,6	Rd3737-P3d	0,02833	82,8
Rd38-P3	0,04229	79,6	Rd3838-P3d	0,06066	80,5
Rd39-P3	0,03169	78,4	Rd3939-P3d	0,02	84,9
Rd40-P3	0,04633	76,0	Rd4040-P3d	0,0239	84,5
Rd41-P3	0,03342	81,3	Rd4141-P3d	0,03533	85,1
Rd42-P3	0,04206	77,7	Rd4242-P3d	0,02766	84,0
Rd43-P3	0,03702	78,3	Rd4343-P3d	0,03766	85,6
Rd44-P3	0,07433	78,4	Rd4444-P3d	0,01569	83,0
Rd45-P3	0,05337	80,6	Rd4545-P3d	0,03066	82,3
Rd34A-P3	0,05509	90,4	Rd4343A-P3d	0,02666	82,4
-	-	-	Rd3333A-P3d	0,02399	82,4

Tabela 47 - Redes Neurais simples e duplas do conjunto P4

Redes simples do conjunto P4			Redes duplas do conjunto P4-dp		
Rds	Mse	Cln	Rds	Mse	Cln
Rd1-P4	0,7437		Rd11-P4d	0,7487	31,8
Rd2-P4	0,6731	40,4	Rd22-P4d	0,6607	38,5
Rd3-P4	0,5958	43,6	Rd33-P4d	0,6066	45,1
Rd4-P4	0,4931	56,0	Rd44-P4d	0,4668	45,7
Rd5-P4	0,4237	57,2	Rd55-P4d	0,4981	50,9
Rd6-P4	0,4077	60,0	Rd66-P4d	0,2419	65,3
Rd7-P4	0,3524	61,8	Rd77-P4d	0,2245	63,2
Rd8-P4	0,2746	66,2	Rd88-P4d	0,1212	71,4
Rd9-P4	0,2359	71,0	Rd99-P4d	0,1206	74,4
Rd10-P4	0,1976	70,9	Rd1010-P4d	0,1085	70,5
Rd11-P4	0,1819	66,8	Rd1111-P4d	0,08537	73,4
Rd12-P4	0,1380	72,8	Rd1212-P4d	0,08876	69,8
Rd13-P4	0,1827	68,0	Rd1313-P4d	0,07349	69,4
Rd14-P4	0,1279	71,1	Rd1414-P4d	0,06505	71,2
Rd15-P4	0,1357	72,0	Rd1515-P4d	0,03399	75,5
Rd16-P4	0,1242	71,3	Rd1616-P4d	0,05745	71,6
Rd17-P4	0,1090	70,8	Rd1717-P4d	0,06840	73,8
Rd18-P4	0,1052	69,8	Rd1818-P4d	0,0496	71,8
Rd19-P4	0,08926	75,6	Rd1919-P4d	0,03533	72,8
Rd20-P4	0,09731	69,1	Rd2020-P4d	0,05842	74,1
Rd21-P4	0,08173	70,9	Rd2121-P4d	0,06066	73,8
Rd22-P4	0,09531	73,3	Rd2222-P4d	0,03900	72,6
Rd23-P4	0,1026	73,2	Rd2323-P4d	0,03166	72,4
Rd24-P4	0,08697	73,1	Rd2424-P4d	0,04766	75,4
Rd25-P4	0,09445	73,1	Rd2525-P4d	0,05433	76,5
Rd26-P4	0,07859	73,5	Rd2626-P4d	0,059	76,4
Rd27-P4	0,01046	74,1	Rd2727-P4d	0,06866	75,4
Rd28-P4	0,0750	75,0	Rd2828-P4d	0,03345	76,0
Rd29-P4	0,0962	72,0	Rd2929-P4d	0,04833	76,7
Rd30-P4	0,1037	74,0	Rd3030-P4d	0,02966	78,6
Rd31-P4	0,0731	75,6	Rd3131-P4d	0,02133	77,6
Rd32-P4	0,07758	75,0	Rd3232-P4d	0,04366	77,4
Rd33-P4	0,0879	73,8	Rd3333-P4d	0,03333	80,3
Rd34-P4	0,09978	70,6	Rd3434-P4d	0,04033	78,8
Rd35-P4	0,08192	72,6	Rd3535-P4d	0,02899	80,6
Rd36-P4	0,07512	74,5	Rd3636-P4d	0,04933	77,9
Rd37-P4	0,09683	74,3	Rd3737-P4d	0,05199	78,7
Rd38-P4	0,09711	71,0	Rd3838-P4d	0,03499	81,0
Rd39-P4	0,07617	74,7	Rd3939-P4d	0,04933	76,9
Rd40-P4	0,01004	73,6	Rd4040-P4d	0,053	79,2
Rd41-P4	0,0822	73,9	Rd4141-P4d	0,05866	80,9
Rd42-P4	0,08651	75,0	Rd4242-P4d	0,07766	77,1
Rd43-P4	0,08676	75,7	Rd4343-P4d	0,04066	77,9
Rd44-P4	0,08341	75,4	Rd4444-P4d	0,03033	82,7
Rd45-P4	0,07147	76,8	Rd4545-P4d	0,04099	79,3
Rd21A-P4	0,1216	73,6	Rd2929A-P4d	----	79,0
Rd24A-P4	0,09265	73,8	-	-	-

Tabela 48 - Redes Neurais simple e duplas do conjunto P5

Redes simples do conjunto P5			Redes duplas do conjunto P5-dp		
Rds	Mse	Cln	Rds	Mse	Cln
Rd1-P5	0,7429	30,4	Rd11-P5d	0,7496	33,7
Rd2-P5	0,6690		Rd22-P5d	0,6692	39,4
Rd3-P5	0,6011	46,8	Rd33-P5d	0,5965	45,9
Rd4-P5	0,5561	48,7	Rd44-P5d	0,4916	52,2
Rd5-P5	0,4544	57,4	Rd55-P5d	0,4713	53,7
Rd6-P5	0,4238	61,1	Rd66-P5d	0,6040	46,8
Rd7-P5	0,3836	57,5	Rd77-P5d	0,2615	62,6
Rd8-P5	0,3507	62,9	Rd88-P5d	0,2834	56,5
Rd9-P5	0,2945	57,7	Rd99-P5d	0,2141	59,6
Rd10-P5	0,2484	63,5	Rd1010-P5d	0,1500	62,0
Rd11-P5	0,2403	61,9	Rd1111-P5d	0,1785	59,2
Rd12-P5	0,2163	63,7	Rd1212-P5d	0,1333	60,7
Rd13-P5	0,2059	60,0	Rd1313-P5d	0,08420	62,0
Rd14-P5	0,1866	64,1	Rd1414-P5d	0,1167	67,6
Rd15-P5	0,1641	60,6	Rd1515-P5d	0,07894	64,7
Rd16-P5	0,1666	67,2	Rd1616-P5d	0,07341	68,8
Rd17-P5	0,1299	64,9	Rd1717-P5d	0,04900	64,4
Rd18-P5	0,1155	66,2	Rd1818-P5d	0,08799	61,5
Rd19-P5	0,1382	68,9	Rd1919-P5d	0,07736	62,9
Rd20-P5	0,1225	63,8	Rd2020-P5d	0,04067	71,4
Rd21-P5	0,1223	64,9	Rd2121-P5d	0,07168	69,3
Rd22-P5	0,1126	64,3	Rd2222-P5d	0,05099	67,6
Rd23-P5	0,08443	63,8	Rd2323-P5d	0,03996	69,0
Rd24-P5	0,08440	64,3	Rd2424-P5d	0,06367	67,5
Rd25-P5	0,08932	63,8	Rd2525-P5d	0,05133	67,7
Rd26-P5	0,1063	69,4	Rd2626-P5d	0,06433	65,3
Rd27-P5	0,09097	67,2	Rd2727-P5d	0,06165	68,9
Rd28-P5	0,09399	65,7	Rd2828-P5d	0,05933	71,0
Rd29-P5	0,1040	67,2	Rd2929-P5d	0,06133	71,2
Rd30-P5	0,08428	67,8	Rd3030-P5d	0,04699	71,2
Rd31-P5	0,08823	67,6	Rd3131-P5d	0,05133	70,0
Rd32-P5	0,08028	67,6	Rd3232-P5d	0,04372	71,2
Rd33-P5	0,06727	69,4	Rd3333-P5d	0,04033	70,0
Rd34-P5	0,08828	67,1	Rd3434-P5d	0,04633	72,4
Rd35-P5	0,07944	65,5	Rd3535-P5d	0,04833	73,6
Rd36-P5	0,09472	68,0	Rd3636-P5d	0,04899	71,4
Rd37-P5	0,08970	61,7	Rd3737-P5d	0,04699	71,3
Rd38-P5	0,07489	70,3	Rd3838-P5d	0,05633	72,9
Rd39-P5	0,07913	66,9	Rd3939-P5d	0,04706	72,2
Rd40-P5	0,08019	68,5	Rd4040-P5d	0,03103	70,4
Rd41-P5	0,1083	64,9	Rd4141-P5d	0,05333	72,4
Rd42-P5	0,08540	64,9	Rd4242-P5d	0,05733	73,5
Rd43-P5	0,07686	67,4	Rd4343-P5d	0,04133	71,3
Rd44-P5	0,09397	67,4	Rd4444-P5d	0,03535	71,7
Rd45-P5	0,09316	68,7	Rd4545-P5d	0,04466	74,7
-	-	-	-	-	-

Tabela 49 - Redes Neurais simples e duplas do conjunto P6

Redes simples do conjunto P6			Redes duplas do conjunto P6-dp		
Rds	Mse	Cln	Rds	Mse	Cln
Rd1-P6	0,7332	31,6	Rd11-P6d	0,7433	30,2
Rd2-P6	0,6586	44,0	Rd22-P6d	0,6370	39,3
Rd3-P6	0,5588	47,8	Rd33-P6d	0,5530	48,8
Rd4-P6	0,4626	58,2	Rd44-P6d	0,4791	59,5
Rd5-P6	0,3529	69,1	Rd55-P6d	0,5037	57,7
Rd6-P6	0,3622	61,0	Rd66-P6d	0,2718	61,0
Rd7-P6	0,2360	71,7	Rd77-P6d	0,1682	68,8
Rd8-P6	0,1986	65,9	Rd88-P6d	0,2225	68,1
Rd9-P6	0,1667	70,8	Rd99-P6d	0,1697	70,7
Rd10-P6	0,1375	70,9	Rd1010-P6d	0,03999	77,2
Rd11-P6	0,1386	69,3	Rd1111-P6d	0,0800	71,0
Rd12-P6	0,1016	71,4	Rd1212-P6d	0,06022	74,7
Rd13-P6	0,09167	69,0	Rd1313-P6d	0,03199	75,6
Rd14-P6	0,06419	75,4	Rd1414-P6d	0,03466	71,9
Rd15-P6	0,08310	72,5	Rd1515-P6d	0,06499	75,2
Rd16-P6	0,06633	74,5	Rd1616-P6d	0,04599	75,9
Rd17-P6	0,06256	77,0	Rd1717-P6d	0,02234	78,2
Rd18-P6	0,06562	74,4	Rd1818-P6d	0,08423	76,3
Rd19-P6	0,07108	75,1	Rd1919-P6d	0,04299	77,2
Rd20-P6	0,06260	77,1	Rd2020-P6d	0,02799	76,7
Rd21-P6	0,07838	75,5	Rd2121-P6d	0,06999	78,5
Rd22-P6	0,05792	78,4	Rd2222-P6d	0,03199	79,4
Rd23-P6	0,07803	75,8	Rd2323-P6d	0,03266	80,1
Rd24-P6	0,03180	81,4	Rd2424-P6d	0,02866	81,0
Rd25-P6	0,05741	78,4	Rd2525-P6d	0,03699	83,4
Rd26-P6	0,06333	80,3	Rd2626-P6d	0,03599	77,7
Rd27-P6	0,07196	78,4	Rd2727-P6d	0,03266	80,2
Rd28-P6	0,05237	78,3	Rd2828-P6d	0,02599	81,6
Rd29-P6	0,05599	80,7	Rd2929-P6d	0,01966	81,2
Rd30-P6	0,07867	76,4	Rd3030-P6d	0,02999	83,8
Rd31-P6	0,06104	78,8	Rd3131-P6d	0,01966	80,6
Rd32-P6	0,06935	77,5	Rd3232-P6d	0,03766	82,0
Rd33-P6	0,03833	80,9	Rd3333-P6d	0,01433	84,2
Rd34-P6	0,04133	81,2	Rd3434-P6d	0,02699	83,9
Rd35-P6	0,0733	78,3	Rd3535-P6d	0,04333	83,8
Rd36-P6	0,05166	78,3	Rd3636-P6d	0,03633	80,6
Rd37-P6	0,04535	78,4	Rd3737-P6d	0,03833	83,1
Rd38-P6	0,07534	79,5	Rd3838-P6d	0,04333	83,0
Rd39-P6	0,06583	78,7	Rd3939-P6d	0,02199	81,9
Rd40-P6	0,03375	73,4	Rd4040-P6d	0,01266	83,1
Rd41-P6	0,05110	80,0	Rd4141-P6d	0,054	82,5
Rd42-P6	0,03857	81,4	Rd4242-P6d	0,03533	80,8
Rd43-P6	0,03870	78,7	Rd4343-P6d	0,02133	84,1
Rd44-P6	0,05909	78,9	Rd4444-P6d	0,02400	83,8
Rd45-P6	0,05245	76,3	Rd4545-P6d	0,03066	81,1
Rd18A-P6	0,06336	75,6	Rd1818A-P6d	-----	79,2

Tabela 50 - Redes Neurais simples do conjunto 12 (redes camada simples)

Redes simples do conjunto 12					
Rds	Mse	Cln	Rds	Mse	Cln
Rd1-12	0,7180	34,8	-	-	-
Rd2-12	0,6147	44,6	-	-	-
Rd3-12	0,5190	57,2	-	-	-
Rd4-12	0,4310	61,1	-	-	-
Rd5-12	0,2982	68,4	-	-	-
Rd6-12	0,2551	65,4	-	-	-
Rd7-12	0,1798	72,3	-	-	-
Rd8-12	0,1615	71,1	-	-	-
Rd9-12	0,1243	66,9	-	-	-
Rd10-12	0,1035	74,0	-	-	-
Rd11-12	0,09277	74,7	-	-	-
Rd12-12	0,05422	77,0	-	-	-
Rd13-12	0,06822	77,2	-	-	-
Rd14-12	0,05866	79,3	-	-	-
Rd15-12	0,04379	76,6	-	-	-
Rd16-12	0,02206	82,0	-	-	-
Rd17-12	0,00600	83,6	-	-	-
Rd18-12	0,02833	81,1	-	-	-
Rd19-12	0,08299	78,8	-	-	-
Rd20-12	0,05791	82,1	-	-	-
Rd21-12	0,01266	83,9	-	-	-
Rd22-12	0,05339	80,8	-	-	-
Rd23-12	0,01634	83,9	-	-	-
Rd24-12	0,02737	82,8	-	-	-
Rd25-12	0,00766	84,6	-	-	-
Rd26-12	0,01734	87,2	-	-	-
Rd27-12	0,02199	82,7	-	-	-
Rd28-12	0,01733	84,0	-	-	-
Rd29-12	0,00534	83,8	-	-	-
Rd30-12	0,02541	83,9	-	-	-
Rd31-12	0,00799	83,4	-	-	-
Rd32-12	0,01033	84,8	-	-	-
Rd33-12	0,01266	85,4	-	-	-
Rd34-12	0,03666	85,8	-	-	-
Rd35-12	0,01039	85,5	-	-	-
Rd36-12	0,00737	86,1	-	-	-
Rd37-12	0,0866	88,3	-	-	-
Rd38-12	0,02666	86,4	-	-	-
Rd39-12	0,00499	85,4	-	-	-
Rd40-12	0,00400	86,4	-	-	-
Rd41-12	0,01533	85,9	-	-	-
Rd42-12	0,00399	86,7	-	-	-
Rd43-12	0,01613	86,2	-	-	-
Rd44-12	0,02833	84,4	-	-	-
Rd45-12	0,02633	83,3	-	-	-
Rd30A-12	0,00299	84,1	-	-	-

Tabela 51 - Redes Neurais duplas do conjunto 12

Redes duplas do conjunto 12-dp			Redes duplas do conjunto 12-dp*		
Rds	Mse	Cln	Rds	Mse	Cln
Rd11-12d	0,7478	31,0	Rd4646-12d	0,00133	91,1*
Rd22-12d	0,7373	41,9	Rd4747-12d	0,00266	88,0
Rd33-12d	0,7296	52,1	Rd4848-12d	0,00266	89,7
Rd44-12d	0,7281	51,6	Rd4949-12d	0,00133	89,2
Rd55-12d	0,6052	61,6	Rd5050-12d	0,00499	89,2
Rd66-12d	0,5081	64,9	Rd5151-12d	0,00166	87,8
Rd77-12d	0,5049	66,0	Rd5252-12d	0,00133	88,6
Rd88-12d	0,4965	71,8	Rd5353-12d	0,00133	89,1
Rd99-12d	0,4766	75,8	Rd5454-12d	0,00233	88,2
Rd1010-12d	0,3544	78,8	Rd5555-12d	0,00133	90,1*
Rd1111-12d	0,2566	79,8	-	-	-
Rd1212-12d	0,07333	81,8	Redes duplas do conjunto 12-dp-t2 *		
Rd1313-12d	0,06452	82,3	Rd4343t-12d	0,00167	93,9
Rd1414-12d	0,02633	80,8	Rd4444t-12d	0,00499	94,6
Rd1515-12d	0,00699	83,9	Rd4646t-12d	0,00193	94,0
Rd1616-12d	0,01599	84,4	Rd4848t-12d	0,00366	95,4
Rd1717-12d	0,00133	84,1	Rd5555t-12d	0,00366	94,4
Rd1818-12d	0,00133	87,4	-	-	-
Rd1919-12d	0,05333	85,0	-	-	-
Rd2020-12d	0,00266	87,6	-	-	-
Rd2121-12d	0,00366	87,1	-	-	-
Rd2222-12d	0,00233	85,0	-	-	-
Rd2323-12d	0,00366	86,6	-	-	-
Rd2424-12d	0,00266	88,0	-	-	-
Rd2525-12d	0,00266	85,3	-	-	-
Rd2626-12d	0,00133	87,4	-	-	-
Rd2727-12d	0,00366	86,0	-	-	-
Rd2828-12d	0,0141	87,3	-	-	-
Rd2929-12d	0,0010	86,4	-	-	-
Rd3030-12d	0,01666	87,2	-	-	-
Rd3131-12d	0,0014	88,2	-	-	-
Rd3232-12d	0,00133	87,1	-	-	-
Rd3333-12d	0,02333	86,1	-	-	-
Rd3434-12d	0,00133	89,3	-	-	-
Rd3535-12d	0,00499	88,0	-	-	-
Rd3636-12d	0,00133	89,8	-	-	-
Rd3737-12d	0,00	89,2	-	-	-
Rd3838-12d	0,00366	87,0	-	-	-
Rd3939-12d	0,00233	88,6	-	-	-
Rd4040-12d	0,00266	87,2	-	-	-
Rd4141-12d	0,00633	89,2	-	-	-
Rd4242-12d	0,00233	88,2	-	-	-
Rd4343-12d	0,00366	90,2*	-	-	-
Rd4444-12d	0,00137	89,6	-	-	-
Rd4545-12d	0,00237	88,7	-	-	-

* Seleccionadas para novo ciclo de treinamento no tempo2, em função do resultado superior à 90%.

Tabela 52 - Redes Neurais simples do conjunto 13

Redes simples do conjunto 13			Redes simples do conjunto 13		
Rds	Mse	Cln	Rds	Mse	Cln
Rd1-13	0,7301	35,4	Rd47-13	0,01399	85,3
Rd2-13	0,6112	45,2	Rd48-13	0,01466	85,4
Rd3-13	0,5170	49,5	Rd49-13	0,01366	86,4
Rd4-13	0,4196	62,1	Rd50-13	0,01233	87,5
Rd5-13	0,2785	62,9	Rd51-13	0,00666	89,2
Rd6-13	0,7181	62,8	Rd52-13	0,01068	85,2
Rd7-13	0,6040	68,2	Rd53-13	0,00500	86,0
Rd8-13	0,5153	71,1	Rd54-13	0,00566	85,6
Rd9-13	0,4070	72,5	Rd55-13	0,01367	87,5
Rd10-13	0,3123	74,4	-	-	-
Rd11-13	0,2127	74,6	Redes simples do conjunto 13-t2		
Rd12-13	0,1995	75,4	Rd34t-13	0,0700	85,3
Rd13-13	0,1792	75,0	Rd35t-13	0,05501	90,2
Rd14-13	0,1277	74,6	Rd50t-13		88,1
Rd15-13	0,1047	79,6	Rd51t-13	0,00599	93,8
Rd16-13	0,07545	83,9	-	-	-
Rd17-13	0,0788	83,4	-	-	-
Rd18-13	0,02975	80,8	-	-	-
Rd19-13	0,07770	84,1	-	-	-
Rd20-13	0,02752	80,5	-	-	-
Rd21-13	0,07807	81,8	-	-	-
Rd22-13	0,02566	82,1	-	-	-
Rd23-13	0,04369	85,4	-	-	-
Rd24-13	0,01072	86,7	-	-	-
Rd25-13	0,07863	86,1	-	-	-
Rd26-13	0,02414	81,7	-	-	-
Rd27-13	0,02479	84,6	-	-	-
Rd28-13	0,00533	86,9	-	-	-
Rd29-13	0,00966	86,6	-	-	-
Rd30-13	0,00945	87,0	-	-	-
Rd31-13	0,00375	87,2	-	-	-
Rd32-13	0,00999	87,0	-	-	-
Rd33-13	0,00533	84,5	-	-	-
Rd34-13	0,00799	86,8	-	-	-
Rd35-13	0,00533	88,0	-	-	-
Rd36-13	0,00701	87,2	-	-	-
Rd37-13	0,00166	86,8	-	-	-
Rd38-13	0,00633	84,4	-	-	-
Rd39-13	0,00499	85,7	-	-	-
Rd40-13	0,01536	85,7	-	-	-
Rd41-13	0,01399	84,0	-	-	-
Rd42-13	0,00533	85,2	-	-	-
Rd43-13	0,00699	84,2	-	-	-
Rd44-13	0,00676	86,7	-	-	-
Rd45-13	0,01233	86,6	-	-	-
Rd46-13	0,00533	86,1	-	-	-

Tabela 53 - Redes Neurais duplas do conjunto 13

Redes duplas do conjunto 13-dp			Redes duplas do conjunto 13dp*		
Rds	Mse	Cln	Rds	Mse	Cln
Rd11-13d	0,7301	32,4	Rd4646-13d	0,00133	89,4
Rd22-13d	0,6112	46,1	Rd4747-13d	0,01486	90,6*
Rd33-13d	0,5170	53,8	Rd4848-13d	0,00133	86,7
Rd44-13d	0,4196	59,4	Rd4949-13d	0,00133	88,3
Rd55-13d	0,2785	63,4	Rd5050-13d	0,00133	89,8
Rd66-13d	0,04280	56,5	Rd5151-13d	0,00266	88,4
Rd77-13d	0,02542	56,0	Rd5252-13d	0,00133	89,0
Rd88-13d	0,03864	75,1	Rd5353-13d	0,00133	88,1
Rd99-13d	0,03532	76,3	Rd5454-13d	0,00299	90,1*
Rd1010-13d	0,03279	76,4	Rd5555-13d	0,00233	90,2*
Rd1111-13d	0,02266	80,4	-	-	-
Rd1212-13d	0,00799	80,5	-	-	-
Rd1313-13d	0,02433	80,2	-	-	-
Rd1414-13d	0,01833	82,8	Redes duplas do conjunto 13dp-t2		
Rd1515-13d	0,03367	84,2	Rd4343-13d	0,00233	95,6
Rd1616-13d	0,00366	82,0	Rd4545-13d	0,00133	94,0
Rd1717-13d	0,01233	85,0	Rd4747-13d	0,00499	93,2
Rd1818-13d	0,00366	86,2	Rd5454-13d	0,00266	93,7
Rd1919-13d	0,02666	83,4	Rd5555-13d	0,00133	93,4
Rd2020-13d	0,002010	85,1	-	-	-
Rd2121-13d	0,002666	83,1	-	-	-
Rd2222-13d	0,06999	87,3	-	-	-
Rd2323-13d	0,00133	86,4	-	-	-
Rd2424-13d	0,01766	85,4	-	-	-
Rd2525-13d	0,03660	86,8	-	-	-
Rd2626-13d	0,000239	87,3	-	-	-
Rd2727-13d	0,00366	86,6	-	-	-
Rd2828-13d	0,01798	87,4	-	-	-
Rd2929-13d	0,00133	87,3	-	-	-
Rd3030-13d	0,001	85,6	-	-	-
Rd3131-13d	0,00399	87,6	-	-	-
Rd3232-13d	0,00366	84,9	-	-	-
Rd3333-13d	0,00266	85,5	-	-	-
Rd3434-13d	0,00133	88,8	-	-	-
Rd3535-13d	0,00270	88,6	-	-	-
Rd3636-13d	0,00172	88,9	-	-	-
Rd3737-13d	0,00133	89,6	-	-	-
Rd3838-13d	0,00131	89,1	-	-	-
Rd3939-13d	0,00169	88,1	-	-	-
Rd4040-13d	0,00131	87,5	-	-	-
Rd4141-13d	0,00299	88,8	-	-	-
Rd4242-13d	0,00133	87,6	-	-	-
Rd4343-13d	0,00233	90,2*	-	-	-
Rd4444-13d	0,00366	87,5	-	-	-
Rd4545-13d	0,00133	90,1*	-	-	-

Tabela 54 - Redes neurais treinadas sem o grid de geologia.

Redes simples do conjunto B9-2*			Redes duplas do conjunto B9-2dp*		
Rds	Mse	Cln	Rds	Mse	Cln
Rd1-9	0,6953	34,9	Rd11-9d		33,2
Rd2-9	0,1581	50,5	Rd22-9d		36,6
Rd3-9	0,5015	53,0	Rd33-9d		53,6
Rd4-9		49,4	Rd44-9d		55,3
Rd5-9		51,5	Rd55-9d		53,6
Rd6-9		56,5	Rd66-9d		49,3
Rd7-9		53,9	Rd77-9d		53,3
Rd8-9		53,3	Rd88-9d		54,0
Rd9-9		54,1	Rd99-9d		51,0
Rd10-9		51,9	Rd1010-9d		52,9
Rd11-9		57,3	Rd1111-9d		54,7
Rd12-9		60,4	Rd1212-9d		55,6
Rd13-9		58,7	Rd1313-9d		51,9
Rd14-9		55,6	Rd1414-9d		49,8
Rd15-9		57,0	Rd1515-9d		71,5
Rd16-9		55,9	Rd1616-9d		73,7
Rd17-9		57,3	Rd1717-9d		55,2
Rd18-9		58,5	Rd1818-9d		55,6
Rd19-9		59,1	Rd1919-9d		52,7
Rd20-9		59,0	Rd2020-9d		58,6
Rd21-9		56,2	Rd2121-9d		52,2
Rd22-9		60,2	Rd2222-9d		54,8
Rd23-9		55,3	Rd2323-9d		56,6
Rd24-9		56,8	Rd2424-9d		57,6
Rd25-9		57,9	Rd2525-9d		50,4
Rd26-9		54,3	Rd2626-9d		76,3
Rd27-9		57,7	Rd2727-9d		53,0
Rd28-9		59,4	Rd2828-9d		54,7
Rd29-9		59,4	Rd2929-9d		54,8
Rd30-9		58,3	Rd3030-9d		58,2
Rd31-9		58,6	Rd3131-9d		57,2
Rd32-9		56,8	Rd3232-9d		57,9
Rd33-9		57,3	Rd3333-9d		55,6
Rd34-9		61,6	Rd3434-9d		60,8
Rd35-9		56,1	Rd3535-9d		58,8
Rd36-9		58,1	Rd3636-9d		58,7
Rd37-9		55,7	Rd3737-9d		57,6
Rd38-9		59,5	Rd3838-9d		77,3
Rd39-9		57,7	Rd3939-9d		53,0
Rd40-9		56,7	Rd4040-9d		57,7
Rd41-9		54,2	Rd4141-9d		57,9
Rd42-9		58,0	Rd4242-9d		57,9
Rd43-9		56,5	Rd4343-9d		56,5
Rd44-9		56,1	Rd4444-9d		58,5
Rd45-9		57,3	Rd4545-9d		56,4
Rd46-9		59,2	-	-	-
Rd47-9		61,3	-	-	-
Rd48-9		61,3	-	-	-