UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO PARA
APOIO AO PLANEJAMENTO FÍSICO-TERRITORIAL DO MUNICÍPIO
DE PARIQUERA-AÇU/SP

SÉRGIO VICENTE LIOTTE

Orientador: Prof. Dr. Arlei Benedito Macedo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof. Dr. Arlei Benedito Macedo

Examinadores: Prof^a Dr^a Paulina Setti Riedel

Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida

SÃO PAULO
2000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO PARA APOIO
AO PLANEJAMENTO FÍSICO-TERRITORIAL DO MUNICÍPIO DE
PARIQUERA-AÇU/SP.**

Sérgio Vicente Liotte

Orientador: Prof. Dr. Arlei Benedito Macedo

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005373

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

São Paulo
2000

A meus pais, Salvador e Ediane

Agradecimentos

Este projeto não seria realizado sem o apoio financeiro da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa Científica do Estado de São Paulo) pelos processos nº 97/ 07337-6 e nº 97/ 07550-1.

Com absoluta certeza está aqui uma das partes mais prazerosas de escrever, os agradecimentos. Talvez esqueça de alguém e já peço minhas desculpas antecipadamente, mas redigindo essas palavras todas as fases do trabalho voltam em mim e sensações passadas anteriormente parecem que estão sendo vivenciadas agora.

Agradeço ao professor Arlei Benedito Macedo pela amizade, orientação, estímulo e apoio nas diversas etapas do trabalho.

Agradeço ao Instituto de Geociências da USP pelo apoio institucional.

Agradeço Centro de Estudos Agroambientais do Instituto Agrônomo de Campinas, em especial ao Agrônomo Pedro Luís Donzeli, pela cessão dos mapas temáticos de Lepsch *et al.* (1990) (aptidão agrícola das terras e capacidade de uso das terras).

Agradeço ao DEPRN (Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais), a equipe técnica de Registro no auxílio ao levantamento das reservas florestais obrigatórias, e as principais restrições ambientais que ocorrem no município de Pariquera-Açu.

Agradeço ao geólogo Mário Pararé, diretor do Parque da Campina do Encantado (Parque Estadual criado pela lei nº 10.316 de 26 de maio de 1999), pela atenção e cessão dos limites do parque em meio digital e das fotos aéreas sobre o Parque.

Agradeço ao professor Cláudio Riccomini pelas discussões e grande auxílio na análise de uso recomendado do solo na introdução do fator geologia.

Agradeço ao professor Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida sempre pronto a dar sugestões e conselhos, especialmente em relação a utilização dos dados de Sensoriamento Remoto.

Agradeço aos colegas Sérgio Luís Fabris de Matos, George de Barros e Sérgio Nobuo Godoy Saito que estiveram acompanhando as diversas fases do trabalho e sempre tinham uma palavra amiga que dava grande incentivo.

Agradeço ao grande amigo Rey Gaspar Carral Chao do Instituto de Paleontologia e Geologia de Cuba, pelo grande incentivo, apoio e sugestões, especialmente na fase inicial do trabalho.

Agradeço ao grande amigo Alexandre Carnier Nunes da Silva pela colaboração durante todo o trabalho, pelo incentivo, pelas participações nas etapas de campo e pelas inúmeras discussões sobre Sensoriamento Remoto.

Agradeço ao grande amigo, na época do trabalho bolsista de iniciação científica, hoje geólogo, Marcelo Ferreira Pedro, acompanhando todas as fases do trabalho, companheiro nas diversas etapas de campo, pelo auxílio nas discussões das análises em geoprocessamento e suas interpretações, e ainda pela ajuda na preparação das figuras e mapas.

Agradeço ao geólogo Hans Herbert Rudolf Schulz, da base do DEPRN (Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais) de Pariquera-Açu pelos auxílios nas diversas etapas de campo, pelas discussões e sugestões nas diversas fases do trabalho. Vale aqui ressaltar minha admiração ao exemplo que é, como excelente profissional e figura humana magnífica.

Agradeço ao grande amigo Marcelo Monteiro da Rocha pela colaboração em todas as fases do trabalho, sua constante ajuda, seu incentivo e principalmente sua grande amizade foram fundamentais para a realização desse trabalho.

Agradeço ao grande amigo e parceiro de tantos anos Carlos César de Araújo, sempre não medindo esforço para me ajudar nas várias etapas do trabalho, nas discussões das técnicas de análise em geoprocessamento, na revisão minuciosa do texto, estando em todos os momentos dando sugestões e incentivando, sendo fundamental na realização desse trabalho.

Índice

1. Introdução	1
1.1 Considerações Iniciais	1
1.2 Objetivos gerais	1
1.3 Localização	2
2. Histórico (adaptado de Petrone 1966) e estruturação territorial do Vale do Ribeira	4
2.1 Chegada dos Imigrantes	5
2.2 Possibilidades de Expansão Futura	8
2.3 Pariquera-Açu	9
3. Metodologia da montagem do Sistema de Informação Geográfica (SIG)	11
3.1 Definição	11
3.2 Entrada de Dados	13
3.2.1 Dados Vetoriais	13
3.2.2 Objetivo da Digitalização	14
3.2.3 Fontes dos Dados	14
3.2.4 Configuração das Variáveis de Sistema	15
3.2.5 Orientação do Mapa na Mesa Digitalizadora	15
3.2.6 Digitalização	17
3.3 Geração do Modelo Numérico de Terreno (MNT)	22
3.3.1 Inverso da Potência da Distância	22
3.3.2 Curvatura Mínima	23
3.3.3 Krigagem	23
3.3.4 Triangulação com Interpolação Linear	23
3.3.5 Vizinhos mais Próximos	23
3.4 Carta de Declividade	28
4. Processamento de dados de Sensoriamento Remoto	30

4.1 Definição	30
4.2 Composição RGB	30
4.3 Características do <i>TM/LANDSAT 5</i>	30
4.4 Características do Sensor <i>Spot 4</i>	31
4.5 OIF ("Optimum Index Factor")	32
4.5.1 Cálculo do OIF para o Sensor <i>TM/Landsat</i>	33
4.5.2 Cálculo do OIF para o sensor <i>Spot</i>	37
4.6 Pré-processamento	40
4.6.1 Correção atmosférica	40
4.6.2 Correção geométrica	40
4.6.3 Correção Radiométrica	42
4.7 Técnicas de Realce	43
4.7.1 Ampliação de contraste	43
4.7.2 Realce por decorrelação	44
4.7.3 Divisão de bandas	44
4.7.4 Índice de Vegetação Normalizado	45
4.7.5 Componentes Principais	48
4.7.5.1 Resumo Estatístico da Imagem <i>TM/Lansat</i>	50
4.7.5.2 Resumo Estatístico da Imagem <i>Spot</i>	52
4.7.6 IHS (Intensity-Hue-Saturation)	54
4.8 Classificação	55
4.8.1 Classificação Supervisionada	59
4.8.1.1 Classificador - Mínima Distância	60
4.8.1.2 Classificador - Paralelepípedo	60
4.8.1.3 Classificador - Máxima Verossimilhança (MaxVer)	61
4.8.1.4 Matriz de Classificação (Matriz de Confusão)	63
4.8.2 Classificação Não-Supervisionada	63
4.8.3. Uso do Solo Atual	64
5. Dados do Meio Físico	71

5.1 Geologia	71
5.1.1 Coberturas Sedimentares Quaternárias (Qa) (Quaternário)	71
5.1.2 Sedimentos Indiferenciados (Qi) (Quaternário)	71
5.1.3 Depósitos de Terraços de Nível Intermediário (Tqci) (Terciário-Quaternário)	71
5.1.4 Formação Pariquera-Açu (Terciário)	72
5.1.4.1 Fácies Fanconglomerática	72
5.1.4.2 Fácies de Planície de Inundação de Sistema Fluvial Meandrante	73
5.1.4.3 Fácies Lacustre	74
5.1.5 Seqüência Turvo-Cajati (Proterozóico)	75
5.1.5.1 Migmatito	75
5.1.5.2 Rochas Metapelíticas e Semi-Pelíticas	75
5.2 Dados sobre a Pedologia e a Carta Pedológica de Pariquera-Açu	77
5.2.1 Fatores que influenciam a formação do solo	78
5.2.1.1 Material de origem	78
5.2.1.2 Clima	79
5.2.1.3 Matéria orgânica	79
5.2.1.4 Precipitação Pluviométrica	80
5.2.1.5 Relevo	81
5.2.2 Perfil de solo	82
5.2.3 Solos do Município de Pariquera-Açu: classes de solos e características geotécnicas	84
5.2.3.1 Solos Minerais Não-hidromórficos	84
5.2.3.1.1 Latossolo Amarelo (LA)	84
5.2.3.1.2 PVL _{a1} e PVL _{a2} (Solos com Horizonte B Textural)	85
5.2.3.1.3 PVA (Solos com Horizonte B Textural)	86
5.2.3.1.4 PV (Solos com Horizonte B Textural)	86
5.2.3.1.5 Cambissolos (Solos com horizonte B câmbico ou incipiente)	88
5.2.3.2 Solos Hidromórficos Minerais	89
5.2.3.3 Gleizados	89
5.2.3.4 Solos Orgânicos (O)	90
5.3 Aptidão Agrícola das Terras	93

5.3.1 Nível de manejo A	93
5.3.2 Nível de manejo B	93
5.3.3 Nível de manejo C	94
5.4 Riscos de Inundação	96
5.5 Capacidade de Uso das Terras	96
5.6 Geomorfologia	99
5.6.1 Depressão do Baixo Ribeira	101
5.6.2 Planalto do Ribeira/Turvo	101
5.6.3 Planície Litorânea Iguape-Cananéia	102
5.6.4 Planícies Fluviais	102
5.7 Processos de Dinâmica Superficial	104
5.7.1 Tempo, espaço e velocidade	104
5.7.2 Risco Geológico	106
5.7.3 Movimentos de massa	107
5.7.4 Erosão	110
5.7.4.1 Erosão pela água	111
5.7.4.2 Erosão Urbana	112
5.7.5 Formas Mitigadoras aos Riscos Naturais	112
6. Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)	118
6.1 Fator erosividade da chuva (R)	120
6.2 Fator erodibilidade do solo (K)	125
6.3 Fator Tolerância à perda (T)	126
6.4 Fator Topográfico (LS)	126
6.5 Fator práticas conservacionistas (P)	128
6.6 Fator uso e manejo (C)	128
6.7 Resultado da EUPS	129
7. Restrições Ambientais Legais	131

8. Cartografia Geotécnica	138
9. Técnicas de Análise em Geoprocessamento	140
9.1 Avaliação por Critérios Múltiplos	140
9.1.2 Análise Booleana	140
9.1.3 Análise <i>booleana</i> visando as áreas com aptidão ao desenvolvimento urbano	141
9.1.3.1 Fator Uso do Solo	141
9.1.3.2 Declividade	142
9.1.3.3 Fator Risco de Inundação	142
9.1.3.4 Fator Restrição Ambiental	142
9.1.3.5 Resultado do emprego da técnica de análise <i>Booleana</i>	143
9.1.4 Análise por Combinação Linear Ponderada	145
9.1.5 Técnica <i>Fuzzy</i>	146
9.1.6 Análise por Combinação Linear Ponderada visando a aptidão ao desenvolvimento urbano	147
9.1.6.1 Fator Uso do Solo	148
9.1.6.2 Fator Distância do centro da cidade	148
9.1.6.3 Fator Risco de Inundação	149
9.1.6.4 Fator Distância das Principais Vias	150
9.1.6.5 Fator Declividade	150
9.1.6.6 Fator Restrições Ambientais	150
9.1.7 Análise por Combinação Linear Ponderada visando o Uso Recomendado do Solo	153
9.1.7.1 Fator: Áreas de Inundação	153
9.1.7.2 Fator Declividade	153
9.1.7.3 Fator Uso do Solo	153
9.1.7.4 Fator Geologia	155
9.1.8 Independência Condicional – Uso dos Dados Geológicos	159
10. Considerações Finais	162
11. Bibliografia	165

Índice de Figuras

Figura 1: Localização da área de estudo	3
Figura 2: Curvas de nível - Pariquera-Açu	19
Figura 3: Drenagens - Pariquera-Açu	20
Figura 4: Principais vias - Pariquera-Açu	21
Figura 5: MNT Pariquera-Açu - curvatura mínima	25
Figura 6: MNT Pariquera-Açu - krigagem	26
Figura 7: MNT Pariquera-Açu - triangulação	27
Figura 8: Carta de declividade	29
Figura 9: Composição <i>TM/Landsat</i> 7/4/3	35
Figura 10: Composição <i>TM/Landsat</i> 4/3/1	36
Figura 11: Composição <i>Spot</i> 3/2/4	38
Figura 12: Composição <i>Spot</i> 3/2/1	39
Figura 13: Índice de Vegetação Normalizado - <i>TM/Landsat</i> (1986)	46
Figura 14: Índice de Vegetação Normalizado - <i>Spot</i> (1998)	47
Figura 15: Eixos - Componentes Principais	48
Figura 16: Principais Componentes - <i>TM/Landsat</i>	51
Figura 17: Principais Componentes - <i>Spot</i>	53
Figura 18: Frequências de distribuição de intensidades de duas bandas de uma imagem multiespectral	56
Figura 19: Classificador Mínima Distância	60
Figura 20: Classificador Paralelepípedo	61
Figura 21: Classificador Máxima Verossimilhança	62
Figura 22: Uso do solo -Classif. Sup.- <i>TM/Landsat</i> (set./1986)	65
Figura 23: Uso do solo -Classif. Sup.- <i>Spot</i> (jul./1998)	66
Figura 24: Cultivo de banana	67
Figura 25: Cultivo de chá	68
Figura 26: Áreas de pastagens e cultivo de tangerina	69
Figura 27: Área urbana de Pariquera-Açu	70
Figura 28: Mapa Geológico - Pariquera-Açu	76
Figura 29: Perfis esquemáticos de diferentes solos em substrato de arenito, com nomenclatura pedológica e geotécnica (Salomão & Antunes, 1998)	83
Figura 30: Mapa Pedológico - Pariquera-Açu	92
Figura 31: Aptidão Agrícola das Terras - Pariquera-Açu	95
Figura 32: Capacidade de Uso das Terras - Pariquera-Açu	98
Figura 33: IHS-componente principal 1 <i>TM/Landsat</i> com comp. 4/2/1 <i>SPOT</i>	100
Figura 34: Mapa Geomorfológico - Pariquera-Açu	103
Figura 35: Padrões de mudança (Mayer, 1990 <i>apud</i> Infanti Jr. <i>et al.</i> 1998)	105
Figura 36: Sulcos erosivos	114
Figura 37: Escada hidráulica para a dissipação da energia das águas pluviais (IPT, 1991)	115
Figura 38: Canaleta e escada hidráulica - visão geral (IPT, 1991)	116
Figura 39: Corte transversal típico de uma via local (IPT, 1991)	117
Figura 40: Mapa de isoerodentes do Estado de São Paulo (Lombardi Neto <i>et al.</i> 1976)	123
Figura 41: Dados de precipitação - Pariquera-Açu (série temporal de 23 anos)	124
Figura 42: Potencial natural de erosão	130
Figura 43: Análise <i>Booleana</i> visando a aptidão ao desenvolvimento urbano	144
Figura 44: Análise por Combinação Linear Ponderada (CLP) visando a aptidão ao desenvolvimento urbano	152

Figura 45: Análise por Combinação Linear Ponderada (CLP) visando o uso recomendado do solo _____ 158

Índice de Tabelas

Tabela 1: sugestão de valores máximos de rms, Guimarães Filho (1994)	16
Tabela 2: Valores de espaçamentos para cada escala, utilizados no comando SKETCH, Guimarães Filho (1994)	18
Tabela 3: Características do satélite <i>TM/Landsat 5</i>	31
Tabela 4: Características do satélite <i>Spot 4</i>	32
Tabela 5: Cálculo do OIF - <i>TM/Landsat 5</i>	33
Tabela 6: Cálculo do OIF - <i>Spot 4</i>	37
Tabela 8: Métodos de Classificação de Imagens	58
Tabela 9: Características das vias locais (IPT, 1991)	117
Tabela 10: Erosividade	124
Tabela 11: Fator K	126
Tabela 12: Fator T	126
Tabela 13: Comprimento de Rampa	127
Tabela 14: Valores de P para a equação de perda de solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990)	128
Tabela 15: Fator C	129
Tabela 16: Classes de Potencial Natural de Erosão escolhidas a partir do Histograma de Distribuição de Frequência. (ton/ha/ano)	131
Tabela 17: Potencial Natural de Erosão	131
Tabela 18: áreas aptas e áreas inaptas	142
Tabela 19: Exemplo de análise pareada	146
Tabela 20: Valores atribuídos as áreas aptas no fator uso do solo	148
Tabela 21: Análise ponderada visando à aptidão ao desenvolvimento urbano	151
Tabela 22: Análise ponderada visando o uso recomendado do solo	156
Tabela 23: Tabulação Cruzada entre Geologia e Geomorfologia	160
Tabela 24: Tabulação Cruzada entre Geologia e Pedologia	161

Resumo

Neste trabalho é descrita a utilização de técnicas de geoprocessamento para apoio ao Planejamento Físico-Territorial do município de Pariquera-Açu, Vale do Ribeira (SP).

Foi montado um banco de dados digitais, composto por dados topográficos, geológicos, pedológicos, geomorfológicos, de sensoriamento remoto, de capacidade do uso das terras, de aptidão agrícola, compilados e verificados por trabalhos de campo.

Imagens de sensoriamento remoto (TM Landsat e SPOT) foram usadas na verificação dos dados secundários e para elaboração de mapas de uso do solo, em combinação com dados de campo.

Foi efetuada a análise por geoprocessamento do tipo avaliação por multicritérios. Os fatores foram agregados com a utilização de dois métodos: booleano e combinação linear ponderada. Alguns fatores, na combinação linear ponderada, foram reescalados utilizando a técnica *fuzzy*.

As imagens de satélite, principalmente as do SPOT, foram de grande importância para o estudo do uso do solo, no qual também foram complementadas por trabalho de campo. Além disso o sensoriamento remoto auxiliou na compilação dos mapas geológico e pedológico, e para a determinação da compartimentação morfológica da área, elemento básico para a obtenção do mapa geomorfológico.

Uma vez que os fatores de geologia, geomorfologia e pedologia apresentavam alta correlação, revelada por tabulação cruzada, estes fatores com alta dependência espacial foram representados nas análises pelos dados geológicos, escolhidos por serem os que tiveram melhor conferência de campo.

O fator que mais influenciou na análise para o uso recomendado do solo foi a geologia, pois nesta análise apenas estão considerados os dados do meio físico, com exceção do uso do solo. A importância do fator geológico é devida a que os fatores de inundação e declividade são condicionados pela geologia da área.

Com o resultado da análise de uso recomendado, pode-se perceber que a parte Sul do município apresenta áreas com baixa aptidão ao uso. Áreas com aptidão elevada e uma grande continuidade, com baixa fragmentação, foram identificadas nas partes central e Norte do município, sendo assim estas a mais recomendadas para ocupação por atividades produtivas ou expansão urbana.

Esta análise de uso recomendado deve ser considerada em linhas gerais, pois não determina o uso que deverá ser dado ao solo e sim, considerando os dados do meio físico, indica as melhores áreas para os diversos usos, observando as limitações impostas por fatores físicos adversos.

Conclui-se que a utilização de técnicas de geoprocessamento para subsidiar o município e auxiliá-lo no planejamento físico-territorial é de fundamental importância, pois tem a capacidade de agregar vários fatores e dizer o seu grau de importância de acordo com a finalidade do estudo.

Os resultados deste estudo devem ser considerados como contribuições para o planejamento do uso do solo do município, que deverá ser expresso no Plano Diretor, quando, combinados com os fatores sociais, serão utilizados pelos legisladores para a determinação do zoneamento de uso do solo, de acordo com os princípios do desenvolvimento sustentável.

Abstract

In this work the use of GIS techniques is described to support the physical-territorial planning of the of Pariquera-Açu municipality, in the Ribeira River Valley, State of São Paulo, Brazil.

A digital database was set up, composed by topographical, geologic, pedologic, geomorphologic data, and agricultural and general land use aptitude maps, verified by field work.

Remote sensing images (TM Landsat and SPOT) were used for verification of the secondary data and for elaboration of land use maps, in combination with field data.

GIS analysis was made of the multicriteria evaluation type. The factors were combined using two methods: boolean and weighted linear combination. Some factors, in the weighted linear combination, were standardized using fuzzy techniques.

The satellite images, mainly the SPOT ones, were of great importance for the land use study, in which they were complemented by field work. Besides the remote sensing aided in the compilation of geologic and pedologic maps, and for making the geomorphologic map.

Once the geology, geomorphology and pedology factors presented high correlation, revealed by cross tabulation, these factors with high spatial dependence were represented in the analyses by the geologic data, chosen for being the ones with better field conference.

The factor that most influenced in the analysis for the recommended land use was geology, because in this analysis only the data of the physical environment are considered, besides the present land use. The importance of the geologic factor is because the flood and slope factors are conditioned by the geology of the area.

With the result of the analysis of recommended use, it can be noticed that the southern part of the municipal area presents portions with low land use capacity. Areas with high capacity and continuity, with low fragmentation, were

identified in the central and northern parts of the municipality, being the most recommended for occupation by productive activities or urban expansion.

This analysis of recommended use should be considered in general lines, because it does not determine the use that should be given to the land, but, considering the physical environment, it indicates the best areas for the several uses, observing the limitations imposed by adverse physical factors.

It is concluded that the use of GIS techniques to subsidize the municipality and aid it in the physical-territorial planning is of fundamental importance, because it has the capacity to combine several factors and to determine their degree of importance according the purpose of the study.

The results of this study should be considered as contributions for the municipal land use planning that will be expressed in the Master Plan, when, combined with the social factors, it will be used by the legislators for the determination of the land use zoning, in agreement with the principles of sustainable development.

1. Introdução

1.1 Considerações Iniciais

O município de Pariquera-Açu, situado no Vale do Ribeira (Estado de São Paulo), com aproximadamente com 17.000 habitantes em 2000 e uma área de 360 km², poderá ter um grande incremento em sua economia devido à duplicação da Rodovia Régis Bittencourt (BR-116) e também com a consolidação do Mercosul; desta forma é de suma importância efetuar um planejamento de expansão adequado às características do meio físico. Possui temperatura média anual de 22°C, tendo altitude média de 25m. É um local de relevo suave com pequenos morros e morrotes em toda a parte Sul do município pertencendo à zona fisiográfica do litoral de Iguape.

Atualmente discute-se muito a respeito de planejamento físico-territorial. Nesta área de atuação, devem-se utilizar os diversos dados pertinentes ao município, que unidos, permitam definir áreas propícias aos diversos usos do solo. Baseando-se nisso, optou-se pela utilização de técnicas de geoprocessamento, usando-se como área-alvo o município de Pariquera-Açu, em um trabalho abrangente que auxiliará a cidade em sua expansão e ocupação futura.

1.2 Objetivos gerais

Esta dissertação visa montar um Sistema de Informações Geográficas para auxiliar o Município de Pariquera-Açu no planejamento do uso e ocupação do solo.

Organizar os dados referentes à área pesquisada num Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Aplicar técnicas de geoprocessamento para análise do uso e ocupação do meio ambiente na área do município de Pariquera-Açu, no que se refere a:

- abordagem integrada do meio ambiente;
- previsão e avaliação de alterações e impactos no meio ambiente, decorrentes da ocupação humana;

- avaliação de riscos decorrentes de alterações e impactos no meio ambiente;
- confecção de cartas de compilação das condições ambientais e de intervenção humana (geológica, geomorfológica, pedológica, de declividades, modelo numérico de terreno, cobertura vegetal, estruturação territorial, uso e ocupação do solo) e cartas derivadas (aptidão ao desenvolvimento e de uso recomendado do solo).

1.3 Localização

O município de Pariquera-Açu localiza-se, como pode ser visto na Figura 1, no sul do Estado de São Paulo, no Vale do Rio Ribeira de Iguape, próximo aos municípios de Jacupiranga, Cananéia e Iguape. Pariquera-Açu dista 212 km da capital paulista, próximo às cidades de Registro e Jacupiranga; sendo acessado pela Rodovia Régis Bittencourt (BR 116). O município é limítrofe com as cidades de Registro (N), Cananéia (S), Iguape (E) e Jacupiranga (W).

Localização da Área

3

LIMITES DE MUNICÍPIO:

Jacupiranga
Registro
Iguape
Cananéia

ACESSO:

212 km da capital pela
Rodovia Régis
Bittencourt (BR-116)

POPULAÇÃO:

Aproximadamente 16.833 hab.
(Estimativa IBGE, 1998)

Figura 1: Localização da área de estudo

2. Histórico (adaptado de Petrone, 1966) e estruturação territorial do Vale do Ribeira

Inicialmente foram fundados pelos colonizadores europeus (principalmente portugueses e espanhóis) dois pequenos núcleos Iguape e Cananéia. Ambos possuíam posição geográfica privilegiada: Cananéia controlava a navegação do Mar Pequeno e Iguape, junto ao mar e ao rio Ribeira de Iguape, dominava a navegação para o interior.

Neste início de exploração o povoamento permaneceu ligado ao mar existindo apenas uma lavoura de subsistência.

A conformação do Vale do Ribeira era propícia à ocupação e povoamento para o interior, uma vez que o rio Ribeira de Iguape serpenteia toda a região até Iguape. Nessa época o rio e seus afluentes eram perfeitamente navegáveis, facilitando as entradas para o interior do continente.

Estas incursões tornaram-se cada vez mais freqüentes a partir de meados do século XVII devido à descoberta de ouro na Serra de Paranapiacaba. A exploração e a descoberta de novas jazidas criaram as primeiras condições para algum desenvolvimento e prosperidade comercial. De um lado a atividade minerária, predominante no dois séculos seguintes após a descoberta, trouxe um certo desenvolvimento e prosperidade econômica, e de outro a administração pública dificultava de propósito o acesso ao Vale do Ribeira para que não ocorresse prejuízo na cobrança dos direitos (impostos) dos minérios, pois era mais fácil controlar apenas a passagem pelo rio.

As atividades agrícolas nesse período limitavam-se a culturas de subsistência, dentro de um sistema de roças. Iguape começou a definir sua posição de “cabeça” regional, definição que só seria possível em virtude da valorização da retro-terra (terras de cultivo) servidas pelo rio Ribeira de Iguape, e além disso ali se instalou uma casa de fundição, onde era beneficiado o ouro bateado do Rio Ribeira a montante.

A partir da segunda metade do século XVIII, a lavoura sofreu incrementos relativamente grandes, tendo condições até de exportar o excedente de produção.

Nesta época verifica-se a passagem da liderança para Cananéia, uma vez que os excedentes da produção de farinha de mandioca e arroz eram embarcados no porto de Cananéia para alimentar as principais praças (Santos, São Paulo, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro). Nesta época a mineração estava em franco declínio, devido à escassez de minérios, à falta de tecnologias de mineração e à falta de incentivos.

No início do século XIX incrementou-se uma atividade que já existira esporadicamente; a construção de barcos, especialmente em Cananéia. Multiplicaram-se os estaleiros e parte dos habitantes dedicou-se à extração de madeira necessária, inclusive com o abandono das atividades agrícolas por parte destes moradores. Tal abandono deve-se em parte às diversas super-produções ocorridas na região, que não encontrava mercados consumidores, o que causou o crescimento do número de posseiros e pequenos sitiantes pobres. Estes sitiantes pautam sua produção em bases familiares e deixam de garantir a produção regionalizada, voltando à agricultura de subsistência.

Com o declínio da mandioca e do arroz, foi tentada a cultura da café pelos grandes fazendeiros, que tentaram implantar a produção de cafés finos, com grande investimento com máquinas de beneficiar e despolar café lavado, tulhas cobertas com telhas cerâmicas, entre outras coisas.

A produção de café não durou mais de 50 anos por dois motivos: o deslocamento do café para a região do Vale do Paraíba, e a quebra da bolsa de valores de Nova Iorque (1929), desorganizando todo o comércio internacional.

Ainda no início do século XX existia uma grande precariedade das vias de comunicação e transporte. A região permaneceu completamente a parte do sistema ferroviário, e os fluxos ainda eram feitos apenas pelo sistema fluvial do Ribeira de Iguape que não podia servir a toda a área povoada.

Apenas em 1914 foi construída a ferrovia Santos-Juquiá, que embora incipiente, auxiliou no deslocamento do eixo econômico da região para o centro e o norte, passando então a região a intercambiar com Santos e São Paulo. Foi também nessa época que surgiram as primeiras e rústicas rodovias ligando os

principais núcleos da região, e a estrada de ligação com o ramal ferroviário (Registro-Juquiá).

2.1 Chegada dos Imigrantes

A partir de 1861 foram criadas as primeiras colônias, tentando atrair imigrantes estrangeiros e nacionais para a área, com poucos resultados práticos, como veremos à frente em relação a Pariquera-Açu.

A partir de 1920 é que a imigração passa a ter maior importância na região, com as colônias japonesas. Os primeiros assentamentos ocorreram nas regiões de Iguape, Registro e Sete Barras, e se diferenciavam dos anteriores pelo decidido apoio aos colonos, proporcionado por companhias japonesas.

Os imigrantes japoneses que se fixaram na região, embora pequenos proprietários, conseguiram registro de propriedade, e deste modo paralelamente aos dois grupos sociais existentes até então na região (o caipira e o latifundiário) surge o pequeno proprietário japonês que gradativamente vai comprando a terra do caipira endividado, ao mesmo tempo que passa a empregá-lo. Estes imigrantes tornaram-se agricultores de médio porte e uma grande parte sobreviveu à crise que se instalava na região.

A partir de 1940 surge um segundo período de investimentos com uma nova fase de colonização auxiliada pela expansão econômica da banana e pela produção de chá.

No fim da década de 50 surgem as empresas de beneficiamento de chá controladas pelo capital nipônico, e as grandes fazendas começam a investir pesadamente em máquinas agrícolas, desenvolvimento de mudas, e mão-de-obra especializada.

Desde a primeira metade do século foi instalada a mineração organizada na região, lavrando ouro (Morro do Ouro), chumbo e metais associados (Furnas, Pannels, Rocha, Canoas, Perau), fluorita, calcário e materiais de construção e chegando a construir complexos industriais em Apiaí (cimento) e Cajati (fertilizantes fosfatados).

Com a construção da Rodovia BR-116 (Régis Bittencourt) na década de 60, o processo de incorporação do Vale do Ribeira ao desenvolvimento econômico nacional se completa. Embora a rodovia não tenha sido construída visando a evolução do Vale do Ribeira (visava a melhoria da ligação do sul do país com o restante do país, principalmente São Paulo e Rio de Janeiro), apenas pelo fato de passar pelo Vale exerceu forte influência na ocupação. Bastou correr a notícia de que o governo federal pretendia abrir a rodovia para que o interesse pelas terras da região fosse rapidamente despertado. A especulação imobiliária intensificou-se quando surgiram nos jornais de São Paulo os anúncios de venda de terras localizadas ao longo da rodovia. As terras passaram a ser rapidamente adquiridas, para valorização, ou para nelas se implementarem lavouras e invernadas, o que trouxe modificações nos quadros agrícolas tradicionais. Este processo gerou vários problemas, uma vez que populações foram desalojadas de suas terras e acabaram estabelecendo-se nos manguezais ou se favelaram na periferia das grandes cidades.

Na década de 70, o processo de integração dos municípios se intensifica, com abertura de rodovias ligando todos os núcleos e a instalação do sistema energético em quase toda a região, o que viabiliza ainda mais o processo de tecnificação da produção.

A instalação de monoculturas, como a banana e o chá, trouxe graves problemas de esgotamento dos solos. Além disso, a proliferação cada vez maior das pragas levou à utilização maciça de agrotóxicos que acabou por prejudicar não só os solos, como contaminou os mananciais, responsáveis pelo abastecimento das populações. Ainda com o desmatamento descontrolado ocorreu a erosão do solo e o assoreamento dos rios.

Nas décadas de 80 e início da década de 90 os principais fatores que dificultaram o desenvolvimento do Vale são:

- _ Falta de boas estradas principais e vicinais para escoamento da produção agrícola;
- _ Falta de assistência médica e sanitária à população;
- _ Falta de técnicas adequadas ao meio e de assistência à agricultura;

- _ Falta de documentos para legalizar a posse das terras;
- _ Enchentes do Rio Ribeira de Iguape, agravadas pelo assoreamento provocado pela erosão.
- _ A falta de incentivos e a desnacionalização da economia causaram uma forte diminuição da atividade mineradora.

Com a entrada no processo de industrialização da forma mais desordenada possível, o Vale enfrenta hoje, com uma população de 250.000 habitantes, problemas mais graves do que aqueles que enfrentou em todo o processo de ocupação, aliado a uma política imobiliária predatória, autorizada pelos prefeitos da região, que, ao lado dos malefícios ecológicos, dificulta a implantação do Ecoturismo, que poderia ser um dos principais fatores de progresso da região.

2.2 Possibilidades de Expansão Futura

Com o advento do terceiro edital na história para a duplicação da Rodovia Régis Bittencourt (São Paulo-Curitiba) no governo Fernando Henrique Cardoso - os outros dois foram nos governos Sarney e Itamar - mais uma vez a especulação imobiliária está presente, aumentando à medida em que as obras são finalmente implantadas.

Com a confirmação do Tratado do Mercosul (Brasil, Argentina, Uruguai, Paraguai e a entrada do Chile) a Rodovia BR-116 é a principal via de comunicação para a sua concretização.

Várias empresas de médio e grande porte estudam a possibilidade de se instalar no Vale do Ribeira por este se situar numa posição estratégica de ligação (meio do fluxo do Mercosul) facilitando deste modo a comercialização e a redução de distâncias para as suas mercadorias.

A partir de 1995 com a Emenda Constitucional que pôs fim à determinação de que somente empresas de capital nacional podiam minerar no território brasileiro, vários grupos internacionais de mineração reiniciaram suas pesquisas geológicas a fim de viabilizar jazidas de metais básicos (Cu, Pb, Zn) e de metais nobres (Au, Ag) que ocorrem na região, sem resultados práticos até o momento.

O grande potencial ecoturístico, representado por mais de uma dezena de parques e reservas ecológicas, vem se destacando como uma das alternativas econômicas viáveis para a região, até agora com pequenos benefícios para a população.

Com tudo isto que foi discutido pode-se notar que apesar do descaso dos governo Federal, Estadual, e também da grande maioria das Prefeituras Municipais, além dos poucos atrativos que a região oferece para o empresariado, o Vale do Ribeira vive um período de transformações tanto dos elementos físicos quanto dos elementos não físicos

2.3 Pariquera-Açu

Os primeiros passos para a sua criação não são muito antigos, datando de meados do século passado. Em 1861 foi fundada a Colônia por determinação do Governo Imperial.

Localizada a noroeste de Iguape e a sudeste de Jacupiranga, a área escolhida para a localização da Colônia foi correspondente ao alto curso e cabeceiras do rio Pariquera-Açu, como também o alto curso do rio Pariquera-Mirim. De terrenos com altitudes modestas, situados imediatamente para o interior da zona de restingas consolidadas, possui topografia em que predomina a suavidade de formas, com a presença de vales amplos e abertos.

Só no final da década de 80 do século XIX é que surgiram as primeiras estradas, bem como o primeiro fluxo importante de colonos. A divisão de terras se fez pelo processo clássico das linhas coloniais que, quando possível, se orientaram pelos fundos de vales, mas em geral o que se observa é que foram seguidos critérios apenas geométricos e não eram respeitados os requisitos básicos que adequassem os lotes às condições de topografia e drenagem.

As principais linhas foram a do Braço Preto a nordeste, ao longo do curso da Pariquera-Açu; Bom Retiro, a leste, em zona da cabeceiras de afluentes da margem direita do Pariquera-Açu; Nova Itália, a sudeste, na Bacia do Turvo.

Os lotes demarcados, embora na maioria obedecessem a forma regular, tiveram superfície diversificadas. Os primeiros lotes foram maiores, e em seguida foram delimitados os menores. Estes lotes rurais foram vendidos conforme as determinações válidas para todas as colônias estaduais.

Dois aspectos devem ser considerados para a análise em termos da estruturação:

_Os lotes eram pequenos quando comparados às outras regiões de colonização (em Pariquera-Açu o lote media entre 25 e 30 hectares, enquanto nas demais variavam entre 50 e 80), extensão pequena para aproveitamento, em área tropical, por uma unidade familiar com tecnologia primitiva ;

_O preço dos lotes eram relativamente baixos quando comparados com as outras colônias do planalto; talvez esta seja a razão que fez com que alguns colonos fossem atraídos para Pariquera-Açu.

A Colônia de Pariquera-Açu não foi homogênea. Para a sua formação concorreram grupos etnicamente diferentes, ora sucedendo uns aos outros, ora chegados na mesma época. A predominância entre os estrangeiros foi de italianos, eslavos e germânicos. Os eslavos foram representados por poloneses e, secundariamente por russos; os germânicos foram representados por alemães e austríacos. Ao lado destes, mais visíveis pelo tipo físico e edificações diferenciadas, houve grande participação de colonos nacionais, geralmente oriundos do próprio Vale do Ribeira.

Um aspecto de grande relevância que deve ser analisado, pois os lotes foram rapidamente ocupados, é a posição da Colônia no contexto regional do Vale do Ribeira. Possuía limites com Jacupiranga, e distava apenas 14 km da então freguesia de Jacupiranga (mercado consumidor); estava a 21 km do mar (ancoradouro de Subaúma), e praticamente equidistante das duas principais portas do Vale (46 km de Iguape, e 39km de Cananéia).

As possibilidades de maior desenvolvimento econômico nessa época (anos 10 do século XX) ficaram em grande parte cortadas pelas dificuldades das vias de transporte. A circulação de mercadorias e pessoas era apenas possível por poucas e pequenas picadas e pela navegação no pequeno rio Pariquera-Açu. As

principais atividades estavam confinadas à zona rural com o cultivo de arroz e café, mas devido ao tamanho reduzido dos lotes e ao aumento gradual das famílias os excedentes da produção começaram a ficar cada vez menores.

Com a melhoria das vias de comunicação a Colônia de Pariquera-Açu voltou a mostrar algum desenvolvimento, e paradoxalmente acelerou-se o processo da decadência agrícola que vinha sendo observado. Com esta melhoria das vias de comunicação Pariquera começou a ter papel de destaque regionalmente como centro de comercialização de mercadorias, eis que surge na colônia o papel do comerciante.

Os principais comerciantes eram os italianos que se bandearam para a zona urbana da cidade, deixando a zona rural para os poloneses e outros colonos. Este fato é de grande importância na estruturação do município de Pariquera-Açu pois hoje mesmo é verificado que no núcleo urbano da cidade as ruas são largas, e existia uma grande preocupação de deixar um grande espaçamento entre uma atividade e outra, e com as casas sempre com floreiras na janela, cobertas por telhas sempre caiadas de branco.

Como os lotes eram de tamanho muito pequeno para uma agricultura primitiva de corte e queima, estes foram rapidamente esgotados, e a Colônia de Pariquera-Açu, que destoava das outras em termos de desenvolvimento, começou a mostrar resultados pouco satisfatórios e nem mais nas mãos dos comerciantes existiam as mercadorias provenientes do excedente da produção do colono, e nem a posição geográfica privilegiada nem as vias de comunicação, consideradas para a época muito boas (anos 30-40) conseguiram segurar a decadência da área.

A partir de então a cidade de Pariquera-Açu começou a viver numa fase de esquecimento tanto por parte do governo, quanto por parte dos possíveis investidores. Uma nova fase de esperança para a região surgiu com a rodovia Régis Bittencourt (São Paulo-Curitiba) mas Pariquera-Açu dista 11km desta, sendo que esta ligação é feita por uma estrada precária. Mesmo assim já tem aumentado a atividade econômica na parte do município próxima à rodovia.

Com o aumento da presença do estado na região na década de 70, em parte conseqüência dos movimentos guerrilheiros de oposição ao governo

militar, várias agências públicas de instalaram na área, sendo algumas sedes em Pariqueira-Açu, que já era um centro administrativo desde a época da instalação da colônia. Assim instalaram-se escritórios da SUDELPA, DER, ITESP e foi reforçado o Hospital Regional, já existente desde 1962. Isto marcou a população da cidade, desde então contando grande proporção de funcionários públicos e seus dependentes.

Com a melhoria das estradas, alguns lotes se tornaram sítios de recreio, para residência temporária ou de aposentadoria de habitantes de grandes cidades. Esta tendência de acentua agora, com a duplicação da BR-116.

Assim sendo, a maioria da população, estimada em 16.833 habitantes em 1998 (SEPSP, 2000) reside em área urbana (65,5% segundo a mesma fonte), com atividades ligadas à administração pública, ao setor de comércio e serviços e ao pequeno parque industrial e parte menor depende de atividades agrícolas, como o cultivo de banana, maracujá, plantas ornamentais, chás e pinus. O turismo tende a crescer, associado à presença de um parque estadual e às estradas, atualmente melhoradas em com tráfego crescente.

3. Metodologia da montagem do Sistema de Informação Geográfica (SIG)

3.1 Definição

Burroughs (1987) define um SIG como um poderoso conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e apresentar dados espaciais do mundo real.

Segundo CALKINS & TOMLINSON *apud* STAR & ESTES (1990), o termo sistema de informação refere-se a uma cadeia de operações que consistem na observação e coleta de dados, armazenagem e análise desses dados e a utilização da informação derivada em processos de tomada de decisão. Dentro desse contexto, o Sistema de Informação Geográfica - SIG (*Geographic Information System -GIS*) aparece como um sistema de informação designado

para trabalhar com dados referenciados por coordenadas espaciais ou geográficas, de forma manual ou automatizada. Atualmente, no entanto, é difícil desvincular o conceito de SIG de um sistema de informação que trabalha com dados espaciais de forma automatizada. O conceito de JACKSON *apud* WEBER (1995) sinaliza justamente nessa direção: “Um SIG pode ser considerado um sistema computacional projetado para a entrada, armazenamento, manipulação, análise, representação e recuperação eficientes de todas as formas de dados geograficamente indexados e descritivos a eles relatados”.

Para Bonham-Carter (1994), um sistema de informação geográfica é um sistema computadorizado para manipular dados espaciais, e as principais atividades relacionadas a aplicação de um SIG são a organização, a visualização, a indagação, a combinação, a análise e a predição.

O termo geoprocessamento, segundo Celestino & Diniz (1998) tem por objetivo integrar informações espaciais de dados cartográficos, censitários e de cadastramento, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno numa única base. Um SIG é projetado para apoiar a captura, gerenciamento, manipulação, análise e apresentação de dados, referenciados espacialmente, para solucionar os problemas de planejamento e gerenciamento.

3.2 Entrada de Dados

3.2.1 Dados Vetoriais

Como mecanismo de entrada de dados espaciais, em formato vetorial, foi utilizado o programa Autocad R14. Este programa, pertencente à família dos CADD (*Computer Aided Drafting and Design*), foi escolhido pela sua ótima performance como ferramenta de desenho digital e precisão, e ainda, por possuir funções que facilitam a representação de pontos, linhas e polígonos, que nos permitem a conversão, edição e impressão de mapas em formato digital.

Segundo a proposta metodológica de Guimarães Filho (1994), é necessário seguir algumas etapas importantes para que o trabalho final não apresente

eventuais erros. A seguir, serão descritas detalhadamente as etapas necessárias para a digitalização desses mapas com programas de CADD e mesa digitalizadora.

3.2.2 Objetivo da Digitalização

Deve-se inicialmente estabelecer quais os objetivos a serem alcançados pela digitalização e a partir disso, definir o grau de precisão que o produto final deve alcançar.

De acordo com Guimarães Filho (1994), o programa de CADD não deve ser usado apenas como um auxílio ao desenhista, mas principalmente como uma poderosa ferramenta de entrada de dados para suprir e ser suprido por programas mais especializados. Dentre eles, Guimarães Filho (1994) cita os seguintes:

- Sistemas de Informações Georreferenciadas (SIG);
- Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD);
- Sistemas de Modelos Digitais de Terreno (SDTM);
- Processamento Digital de Imagens (PDI);
- Programas de Geração de Mapas de Isovalores;
- Programas de Análise Estrutural;
- Pacotes Estatísticos, Geoquímicos, Geofísicos.

Uma vez convertidos os mapas analógicos para o formato digital, os dados podem ser intercambiados entre os sistemas acima mencionados, desde que estejam em algum formato compatível para a utilização.

3.2.3 Fontes dos Dados

Guimarães Filho (1994) discute sobre as informações provenientes de diferentes fontes, pois isso é de vital importância para que não ocorram erros significativos nas análises posteriores. Isto pode ser explicado pelas diferenças nas bases cartográficas em que cada informação está contida. Este processo é muito comum quando se tem informações contidas em imagens de satélite, imagens de radar, fotografias aéreas, bases cartográficas e mapas geológicos, e se deseja uni-las em um mesmo arquivo de CADD. As distorções são inerentes a cada fonte e divergem entre si. Nesse caso, deve-se selecionar um base de dados

considerada a mais correta, para assim relacionar os outros dados a esta base, fazendo as eventuais correções através de processos matemáticos.

3.2.4 Configuração das Variáveis de Sistema

O Autocad R14 possui inúmeras variáveis que são utilizadas para facilitar o uso do programa. Neste caso, uma das variáveis que devem ser alteradas para o trabalho de digitalização é a *SKPOLY*, utilizando o comando de mesmo nome, deve-se alterar o valor 0 (*default*) para 1, isso faz com que os segmentos digitalizados pelo comando *SKETCH*, fiquem unidos formando uma polilinha contínua.

3.2.5 Orientação do Mapa na Mesa Digitalizadora

Para este processo é utilizado o comando *TABLET*. Na calibração da mesa, devem-se utilizar pelo menos quatro pontos próximos aos limites do mapa; digitalizam-se os pontos e posteriormente digitam-se as suas respectivas coordenadas UTM. Caso o erro de orientação seja grande para a escala e aplicação utilizada é necessário que se faça uma reorientação.

Este erro é descrito em uma tabela que é apresentada pelo programa após a digitalização dos quatro pontos. Guimarães Filho (1994) sugere os valores máximos de erros médios quadráticos que podem ser obtidos durante a orientação do mapa na mesa. Esses valores são mostrados na tabela 1.

Tabela 1: Sugestão de valores máximos de RMS, Guimarães Filho (1994)

ESCALA	Erro Máximo (m)
1:500	0.127
1:1.000	0.254
1:5.000	1.27
1:10.000	2.54
1:25.000	6.35
1:40.000	10.16
1:50.000	12.7
1:100.000	25.4
1:250.000	63.5

Guimarães Filho (1994) diz que pode-se quantificar matematicamente o erro médio quadrático (*RMS*) destas duas polilinhas, usando-se a fórmula apresentada, com as coordenadas dos vértices dos polígonos.

$$RMS_{(x)} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(x_i - x_i')}{N}} \quad RMS_{(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(y_i - y_i')}{N}}$$

Fórmula para calcular o RMS dos eixos x e y das polilinhas digitalizadas através da mesa e numericamente (Guimarães Filhos, 1994)

Caso o erro não seja significativo, deve-se escolher a opção *ORTHOGONAL* como tipo de transformação. Após esses comandos, utiliza-se a função *LIMITS* para delimitar a área do mapa a ser digitalizada.

3.2.6 Digitalização

Digitalizar é o processo de conversão dos dados analógicos para dados digitais. Esta conversão pode ser feita de dois modos:

Um primeiro seria a vetorização das linhas de uma imagem raster, obtida por um *scanner*. Porém esta prática tornou-se inviável neste trabalho devido ao grande tamanho dos arquivos gerados, o que dificultaria o manuseio dos mesmos.

O segundo modo, aqui escolhido, é o método da conversão utilizando-se uma mesa digitalizadora. Para se dar início à conversão, após ter acompanhado o item *Orientação da Mesa Digitalizadora*, deve-se utilizar o comando *ELEV*. Este comando faz com que as polilinhas digitalizadas tenham uma elevação compatível com sua cota original, por exemplo, ao digitalizar a curva de nível de 100 m, utiliza-se o comando *ELEV* dando-se o valor 100. Assim, todas as polilinhas digitalizadas após esse comando terão elevação de 100 m. Neste mesmo comando, o programa lhe perguntará sobre o valor da espessura (*THICKNESS*) da polilinha, no caso da digitalização de curvas de nível, estradas, drenagens, etc., este valor deve ser zero (*default*).

Para se dar início ao uso da mesa digitalizadora, deve-se utilizar o comando *SKETCH*. Em seguida, o programa lhe perguntará qual o tamanho do segmento a ser utilizado, isto é, qual a distância a ser utilizada entre dois nós. Estes nós são pontos que são registrados de acordo com a digitalização do mapa, constituindo assim uma polilinha. Esses valores de segmentos podem ser calculados de acordo com a escala utilizada, no caso da digitalização das cartas topográficas IGC 1:10.000, utilizamos um valor acima do calculado para a escala pois posteriormente será criada uma carta registrada na escala 1:25.000. A fórmula para se calcular o tamanho dos segmentos é demonstrada a seguir:

$$Espaceamento = \frac{(escala.0,508)}{1000}$$

Cálculo para o tamanho dos segmentos

São descritos na tabela 2, alguns valores de espaçamento para cada escala utilizada.

Tabela 2: Valores de espaçamentos para cada escala, utilizados no comando SKETCH, Guimarães Filho (1994)

ESCALA	Espaçamento (m)
1:500	0,254
1:1.000	0,508
1:5.000	2,54
1:10.000	5,08
1:25.000	12,7
1:40.000	20,32
1:50.000	25,4
1:100.000	50,8
1:250.000	127

A digitalização das Cartas Topográficas IGC 1:10.000 da área que compreende o município de Pariqueira-Açu (totalizando 23 cartas), foi realizado deste modo. Além das curvas de nível (Figura 2) foram digitalizados os principais elementos estruturadores como drenagens (Figura 3), estradas pavimentadas, estradas não pavimentadas (Figura 4), ferrovias, linhas de força, entre outros.

Figura 2 : Curvas de Nível - Parquera-Açu/SP
"Utilização de Técnicas de Geoprocessamento para apoio
ao planejamento Físico-Territorial de Parquera-Açu/SP"
Autor: Sérgio Vicente Liotte
Orientador: Prof. Dr. Arlei Benedito Macedo

Figura 3 : Drenagens - Pariquera-Açu/SP
"Utilização de Técnicas de Geoprocessamento para apoio
ao planejamento Físico-Territorial de Pariquera-Açu/SP"
Autor: Sérgio Vicente Liotte
Orientador: Prof. Dr. Arlei Benedito Macedo

3.3 Geração do Modelo Numérico de Terreno (MNT)

Nesta parte da pesquisa utilizou-se o programa Surfer 6.0 para a interpolação dos dados de topografia. A escolha do programa Surfer 6.0 é devido à possibilidade de escolha por parte do operador de vários tipos de interpoladores diferentes.

A partir da análise das recomendações que o programa oferece para a escolha do método de interpolação mais apropriado aos dados do usuário, e pela experiência conseguida anteriormente, foram selecionados os seguintes interpoladores:

- inverso da potência da distância (*inverse distance to a power*)
- curvatura mínima (*minimum curvature*)
- krigagem (*kriging*)
- triangulação com interpolação linear (*triangulation w/ linear interpolation*)
- vizinhos mais próximos (*nearest neighbor*)

Cada um desses métodos de interpolação apresenta vantagens e desvantagens na sua aplicação dependendo dos tipos de dados a serem utilizados, daí a importância do conhecimento dos princípios básicos de funcionamento de cada interpolador que serão apresentados segundo instruções do próprio programa SURFER 6.0.

3.3.1 Inverso da Potência da Distância

Este método faz interpolação por médias ponderadas. O parâmetro de potência controla como os fatores de ponderação diminuem conforme as distâncias da malha aumentam. Quando as potências são grandes, aos dados mais próximos são atribuídas frações de ponderação maiores. Para potências menores, os pesos estarão mais uniformemente distribuídos entre os pontos. A primeira providência a ser tomada está na escolha de uma potência adequada. Potências baixas tendem a suavizar os valores extremos, enquanto potências elevadas tendem a realçá-los. Pode ser um interpolador tanto exato como

aproximado. Este método é rápido mas tende a generalizar padrões de contornos concêntricos ao redor dos dados pontuais, chamados olhos de boi (*bull's-eye*).

3.3.2 Curvatura Mínima

É muito usado nas ciências da terra. A superfície interpolada gerada é análoga a uma placa delgada passando através de cada um dos valores dos dados com a mínima curvatura possível. No entanto não é um interpolador exato. Este método gera superfícies suaves tentando ser o mais fiel possível aos dados e tem a vantagem de ser rápido para arquivos que contêm muitos dados.

3.3.3 Krigagem

A krigagem gera superfícies e contornos visualmente bem definidos a partir de um conjunto de dados espaçados irregularmente. A krigagem permite mostrar tendências sugeridas nos dados. Pode ser um interpolador exato ou aproximado, dependendo dos parâmetros especificados pelo usuário. Geralmente os dados são ajustados através de um modelo de variograma apropriado. É um método muito flexível utilizado para a interpolação de quaisquer tipos de dados.

3.3.4 Triangulação com Interpolação Linear

É um interpolador exato cujo princípio é o de criar triângulos através de linhas que interligam pontos. Esses pontos são conectados de tal forma que nenhum triângulo é interceptado por outro triângulo. O resultado é uma superfície formada por faces triangulares distribuídas por toda a malha. A triangulação funciona melhor quando os pontos dos dados estão distribuídos regularmente na malha. O conjunto de dados que contém áreas esparsas resulta em faces triangulares distintas nas superfícies.

3.3.5 Vizinhos mais Próximos

Este método liga o valor do dado do ponto mais próximo a cada nó da malha. É útil quando os dados estão numa malha e necessitam ser convertidos para um arquivo de malha do SURFER. Pode ser utilizado, também, no caso dos

dados estarem próximos a uma malha onde faltam poucos valores. Este método é eficiente no preenchimento de vazios (áreas sem informação) no conjunto de dados.

A utilização de vários interpoladores teve como objetivo a seleção do melhor método de interpolação, de acordo com os dados da área de estudo, para a obtenção do resultado mais compatível com a realidade do terreno. A partir do modelo selecionado gerou-se o mapa de declividade, que foi confeccionado no IDRISI.

Os resultados obtidos pelos interpoladores "Inverso da Potência da Distância" e "Vizinhos mais Próximos", apresentam um alto grau de generalização, não sendo observadas as pequenas variações de relevo. Estes métodos delimitam muito bem as grandes unidades do relevo, sendo os interpoladores menos indicados para a geração da Carta de Declividade.

Os melhores resultados obtidos para a área de estudo foram fornecidos pelos métodos da Curvatura Mínima (Figura 5), Krigagem (Figura 6) e da Triangulação (Figura 7). No caso da Triangulação, devido ao método da interpolação trabalhar com os dados existentes (diferente dos outros tipos de interpoladores que geram polígonos regulares como resultado da interpolação, "fabricando" dados nas regiões que provavelmente estes não existem) resultou um modelo que reflete com clareza pequenas diferenças, sem distorcer (formando segmentos de reta, como no caso do IDRISI) o contorno da isolinha. Pequenas áreas com mudanças significativas no relevo são bem delimitadas neste interpolador, sendo um dos principais motivos que levaram a decisão de utilizar este modelo para gerar o mapa de declividade.

Também foram geradas Cartas de Declividades a partir dos métodos da Krigagem e da Curvatura Mínima. Para uma melhor visualização os Modelos Numéricos de Terreno foram reclassificados em 4 classes (intervalos de 10 em 10 metros).

Figura 5: MNT Pariquera-Açu - curvatura mínima

Figura 6: MNT Paríquera-Açu - krigagem

3.4 Carta de Declividade

Dentro das opções que o módulo *SURFACE* do IDRISI oferece estão a determinação da declividade e do aspecto (orientação da vertente). A primeira é determinada calculando-se o máximo de declividade ao redor de cada pixel no eixo X e Y, podendo os dados ser apresentados em graus ou porcentagem. A declividade em porcentagem representa a tangente do ângulo vezes 100, sendo um ângulo de 45 graus igual a 100%. O aspecto é determinado pela orientação da vertente em cada pixel. Em suma o módulo Surface do Idrisi calcula a declividade, direção de declividade e sombreamento de relevo de imagens a partir de um modelo digital de terreno.

Neste estudo, foram obtidas através deste módulo e tendo como dados de entrada os diferentes modelos obtidos no SURFER, três cartas de declividade expressas em porcentagem (%). O detalhe que esses mapas fornecem (as declividades são dadas em intervalos décimos de porcentagem) não permite delimitar visualmente as áreas com diferentes inclinações. Com o intuito de conseguir uma melhor visualização das áreas com diferentes inclinações, além de obter intervalos que representem diferentes graus de susceptibilidade a movimentos de escorregamentos (Figura 8).

A declividade dos terrenos, segundo Cottas (1983), é importante para uma série de estudos posteriores de geologia de planejamento. A declividade controla diretamente a erodibilidade, a estabilidade de taludes, a instalação de sistema de saneamento (controlando o escoamento e a infiltração de água, baixa declividade dificulta o escoamento).

Figura 8: carta de declividade

4. Processamento de dados de Sensoriamento Remoto

4.1 Definição

Sensoriamento Remoto é definido como a técnica de obtenção de informação a respeito de objetos através da análise de dados coletados por instrumentos especiais que não estão em contato direto com o objeto investigado (Avery & Berlin, 1992).

O Sensoriamento Remoto trata da medição e registro de energia eletromagnética refletida ou emitida pela superfície do planeta e da atmosfera, além do relacionamento de tais medidas com a natureza, com a distribuição dos materiais na superfície e com as condições atmosféricas (Paradella, nota de aula, 1998).

4.2 Composição RGB

Um sistema convencional RGB relaciona uma banda espectral a cada uma das cores primárias (vermelho, verde, azul). Se as proporções de vermelho, verde e azul são iguais em cada ponto haverá um tom de cinza. Uma cena colorida é obtida quando as quantidades de vermelho, verde e azul em cada ponto são distintas. As composições coloridas são de grande eficácia na visualização de feições e detalhes em uma imagem, pela maior capacidade do olho humano em distinguir cores (10^6) que níveis de cinza (≈ 30).

4.3 Características do TM/LANDSAT 5

O satélite Landsat 5 conta com o sensor *TM* (*Thematic Mapper*), operando em 7 faixas espectrais. Apresenta resolução espacial de 30 X 30 m.

O imageador *TM* (*Thematic Mapper*) é um sistema de varredura multiespectral concebido para obter melhor resolução espacial, melhor discriminação espectral entre objetos da superfície terrestre, maior fidelidade

geométrica e melhor precisão radiométrica. A energia proveniente da cena atinge o espelho de varredura que oscila perpendicularmente à direção de deslocamento do satélite em sentido leste-oeste e oeste-leste. O sinal atravessa um telescópio e um conjunto de espelhos, cuja função principal é corrigir o sinal coletado pelo espelho de varredura. Dessa maneira, o sinal detectado em cada matriz de detetores de cada canal é transferido para um amplificador e convertido em sinal digital através de um sistema A/D (analógico/digital). A saída de dados é, então transmitida via telemetria. A tabela 3 mostra as características desse satélite.

Tabela 3: Características do satélite *TM/Landsat 5*

	<i>TM/Landsat</i>
aquisição de imagens	16 dias
Resolução espacial	30 m
Resolução radiométrica	8 bits
Resolução espectral	(micrômetros)
Bandas espectrais	Banda1 - 0.45-0.52
	Banda2 - 0.52-0.60
	Banda3 - 0.63-0.69
	Banda4 - 0.76-0.90
	Banda5 - 1.55-1.75
	Banda6 - 10.74-12.5
	Banda7 - 2.08-2.35

4.4 Características do Sensor *Spot 4*

Foram também utilizadas imagens geradas pelo satélite francês SPOT (*Système Pour la Observation de la Terre*), que obtém imagens de resolução espacial melhor que as do Landsat. A tabela 4 ilustra as características desse satélite.

Tabela 4: Características do satélite *Spot 4*

	<i>Spot</i>
aquisição de imagens	26 dias
Resolução espacial	20 m
Resolução radiométrica	8 bits
Resolução espectral	(micrômetros)
Bandas espectrais	Banda1 - 0.50-0.59
	Banda2 - 0.61-0.68
	Banda3 - 0.79-0.89
	Banda4 – 1.58-1.75

4.5 OIF ("Optimum Index Factor")

Em português é conhecido como Fator de Índice Ótimo.

O OIF é uma técnica quantitativa empregada em casos onde existem vários alvos, e não se sabe quais os canais que contêm as melhores informações. Neste técnica os dados dos desvios padrões de cada banda são divididos pelos coeficientes de correlação banda a banda como pode ser visto na fórmula a seguir:

$$\text{OIF} = \frac{\sum dp \text{ (por banda)}}{\sum \text{coef. Correlação (banda a banda)}}$$

$$\text{coef. Correlação} = \frac{\text{Covariância (banda 1, banda 2)}}{\sqrt{\text{variância banda 1} \times \text{variância da banda 2}}}$$

O maior o valor de OIF corresponderá às três melhores bandas a serem utilizadas, ou seja as que contêm maior quantidade de informações.

4.5.1 Cálculo do OIF para o Sensor TM/Landsat

A tabela 5 ilustra o cálculo do OIF

Tabela 5: Cálculo do OIF - TM/Landsat 5

Desvio-Padrão		Coeficiente de Correlação			O I F	
1 =	56.9707	1 - 2 =	9.3120E-01	1/2/3 =		6.5290E+01
2 =	56.4292	1 - 3 =	8.8180E-01	1/2/4 =		8.8264E+01
3 =	65.8928	1 - 4 =	5.7620E-01	1/2/5 =		7.5937E+01
4 =	76.5702	1 - 5 =	7.9080E-01	1/2/7 =		6.8574E+01
5 =	82.5322	1 - 7 =	8.7120E-01	1/3/4 =		1.0057E+02
7 =	70.1242	2 - 3 =	9.3310E-01	1/3/5 =		8.1374E+01
		2 - 4 =	6.4490E-01	1/3/7 =		4.6819E+01
		2 - 5 =	8.5820E-01	1/4/5 =		9.3941E+01
		2 - 7 =	8.7390E-01	1/4/7 =		9.7340E+01
		3 - 4 =	5.2510E-01	1/5/7 =		8.3179E+01
		3 - 5 =	8.5150E-01	2/3/4 =		9.4571E+01
		3 - 7 =	9.0270E-01	2/3/5 =		7.7514E+01
		4 - 5 =	7.3030E-01	2/3/7 =		7.1857E+01
		4 - 7 =	5.8650E-01	2/4/5 =		8.8470E+01
		5 - 7 =	1.0008E+00	2/4/7 =		9.3878E+01
				2/5/7 =		5.3647E+01
				3/4/5 =		9.7413E+01
				3/4/7 =		1.0415E+02
				3/5/7 =		8.4679E+01
				4/5/7 =		9.4092E+01

Com o cálculo do Fator de Índice Ótimo (OIF) realizou-se a composição RGB com o resultado dos três maiores índices, e estes resultados foram: composição 7/4/3 (1°), 4/3/1 (2°), 4/5/3 (3°). Para a definição de qual banda será colocada em r (*red*) ou em g (*green*) ou em b (*blue*) existe uma "regra" segundo Paradella¹(1998) em comunicação pessoal de colocar a banda que apresenta a maior reflectância média (a mais clara) como componente R, a banda que apresenta a menor reflectância (a mais escura) como componente B, e a banda que apresenta reflectância intermediárias entre estas como componente como componente G.

A Figura 9 mostra o resultado da composição *TM/Landsat 7/4/3* e a Figura 10 apresenta o resultado da composição *TM/Landsat 4/3/1*.

¹ PARADELLA, W. (INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Comunicação Pessoal, 1998.

Figura 9: Composição TM/Landsat 7/4/3

Figura 10: Composição TM/Landsat 4/3/1

4.5.2 Cálculo do OIF para o sensor Spot

A tabela 6 ilustra o cálculo do OIF.

Tabela 6: Cálculo do OIF - Spot 4

Desvio-Padrão		Coeficiente de Correlação		O I F		
1 =	33.3262	1 - 2 =	9.6318E-01	1/2/03	=	9.0879E+01
2 =	39.9852	1 - 3 =	2.1186E-01	1/2/04	=	4.4139E+01
3 =	39.7966	1 - 4 =	8.3490E-01	2/3/04	=	1.1052E+02
4 =	42.4461	2 - 3 =	6.9554E-02			
		2 - 4 =	8.2449E-01			
		3 - 4 =	3.5322E-01			

Com o cálculo do Fator de Índice Ótimo (OIF) realizou-se a composição RGB com o resultado dos três maiores índices, e estes resultados foram: composição 3/2/4 (1°) (Figura 11), 3/2/1 (2°) (Figura 12), 4/2/1 (3°).

Meters
5000.00

Figura 11: Composição Colorida - SPOT - 3/2/4

Meters
5000.00

Figura 12: Composição Colorida - SPOT- 3/2/1

4.6 Pré-processamento

O pré-processamento é a fase que antecede o processamento digital visando a correção preliminar de algumas irregularidades do original. É composto pela correção atmosférica, correção geométrica e correção radiométrica.

4.6.1 Correção atmosférica

A atmosfera modifica o fluxo de energia que alcança o sensor orbital de duas formas: adicionando brilho devido ao espalhamento atmosférico e subtraindo os valores de brilho que causa atenuação destes.

O espalhamento atmosférico pode ocorrer de três maneiras distintas:

Espalhamento de *Rayleigh*: espalhamento devido à presença de partículas, menores que o comprimento de onda, em suspensão na atmosfera, adicionando valores de brilho.

Espalhamento de *Mie*: espalhamento devido à presença de água e poeira na atmosfera ou partículas de dimensão igual ao comprimento de onda, subtraindo valores de brilho.

Espalhamento não seletivo: ocorre nas camadas mais baixas da atmosfera. Este tipo de espalhamento é caracterizado pela não correspondência entre o comprimento de onda e as dimensões das partículas.

Além do espalhamento, a atmosfera pode causar refração da energia causando degradação das respostas espectrais especialmente nos dias quentes e úmido. Também devido a atmosfera pode haver absorção de parte da energia causada principalmente por três gases: O_3 , CO_2 e vapor d'água.

4.6.2 Correção geométrica

Segundo Lillesand & Kiefer (1994), imagens de sensoriamento remoto contêm distorções geométricas tão significativas que impedem sua utilização como mapas. As fontes destas distorções vão desde variações na altitude, atitude e velocidade da plataforma do sensor, a fatores tais como distorção panorâmica, curvatura da Terra, refração atmosférica, disposição do relevo, e irregularidades

na varredura do IFOV do sensor. A pretensão da correção geométrica é a de compensar as distorções introduzidas por estes fatores de modo que a imagem corrigida terá a integridade geométrica de um mapa.

A correção geométrica de imagens de sensoriamento remoto é importante devido a diversos fatores; entre eles destacam-se:

- Eliminação de distorções sistemáticas das imagens.
- Necessidade de aplicação das imagens em estudos multitemporais.
- Aplicação de imagens de sensoriamento remoto na integração de dados em sistemas de informação geográfica.
- Integração de dados de sensoriamento remoto oriundos de diferentes plataformas.

A correção geométrica pode ser feita através de diferentes modelos matemáticos. Entre eles destacam-se o modelo polinomial, o qual é baseado no mapeamento entre uma imagem e um conjunto de pontos de controle através de transformações polinomiais. Estes pontos de controle podem ser obtidos a partir de uma imagem e um mapa ou ainda imagem versus imagem (registro). Este método requer um número mínimo de pontos de controle bem distribuídos em função do grau do polinômio que fará a aproximação entre a imagem bruta e os pontos coletados gerando assim a imagem corrigida.

A partir da nova grade corrigida é necessário preencher o novo espaço geométrico; isto é feito através de procedimentos de reamostragem e interpolação.

Segundo notas de aula Paradella (1998), entre as técnicas de reamostragem destacam-se as de interpolação do vizinho mais próximo, interpolação bilinear e convolução cúbica.

A interpolação do vizinho mais próximo determina o valor do pixel da imagem de entrada que tem seu centro mais próximo do ponto localizado na imagem de saída. O valor do pixel permanece inalterado, sendo que apenas sua posição foi remanejada.

A interpolação bilinear designa valores de brilho para pixels da imagem de saída pela interpolação de duas direções ortogonais, o que envolve cada um dos quatro pixels que circundam o ponto encontrado na imagem correspondente à

grade de localização. O valor do pixel para a imagem corrigida (de saída) é ponderado, usando a distância linear entre os centros dos pixels de entrada e o centro do pixel de saída. O valor médio dos quatro valores ponderados do brilho dos pixels de entrada será então o valor do pixel de saída.

A convolução cúbica designa o valor de brilho da imagem de saída pelo mesmo procedimento de interpolação bilinear, mas leva em conta os valores ponderados de 16 pixels que circundam o ponto encontrado na imagem correspondente à grade de localização do pixel.

Para interpretação visual é aconselhável utilizar as imagens geradas por convolução cúbica ou interpolação bilinear, já as imagens geradas por interpolação do vizinho mais próximo são mais adequadas para a aplicação de técnicas de classificação.

4.6.3 Correção Radiométrica

A correção radiométrica aborda os seguintes tópicos:

- calibração do sensor
- eliminação de ruídos

Neste trabalho são abordadas as correções para eliminação de ruídos.

A ausência de linhas de informação (*dropped lines*) consiste na ausência de valores registrados ao longo de toda uma linha de varredura, devido a problemas de saturação do detector, pane no sistema de registro ou na transmissão ou mesmo na gravação de dados em Terra. O método mais simples de correção deste ruído envolve a substituição do valor do pixel na linha precedente. Uma alternativa mais elaborada requer que o dado ausente seja substituído pela média dos pixels correspondentes nas linhas acima e abaixo da defeituosa.

Os ruídos de varredura (*striping*) são aqueles ruídos sistemáticos horizontais freqüentemente observados em imagens produzidas por varredores eletromecânicos como os do MSS e do TM-Landsat. Estes padrões são mais aparentes quando vistos contra alvos de baixa radiância, tais como áreas de água, sombreamento, etc.

A correção consiste na equalização dos histogramas de resposta dos detectores, isto é, na equalização das médias e dos desvios padrões dos detectores.

4.7 Técnicas de Realce

4.7.1 Ampliação de contraste

A ampliação de contraste consiste na aplicação de uma função matemática que expande o intervalo original de informação para toda a escala de 256 níveis (8 bits). Segundo o manual do programa Spring na Internet (<http://sputnik.dpi.inpe.br/spring/teoria/realce/realce.htm#realce>), a técnica de realce de contraste tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano. É normalmente utilizada como uma etapa de pré-processamento para sistemas de reconhecimento de padrões.

O contraste entre dois objetos pode ser definido como a razão entre os seus níveis de cinza médios. A manipulação do contraste consiste numa transferência radiométrica em cada "pixel", com o objetivo de aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem. Realiza-se a operação ponto a ponto, independentemente da vizinhança.

A escolha do mapeamento direto adequado é, em geral, essencialmente empírica. Entretanto, um exame prévio do histograma da imagem pode ser útil. O histograma de uma imagem descreve a distribuição estatística dos níveis de cinza em termos do número de amostras ("pixels") com cada nível. A distribuição pode também ser dada em termos da percentagem do número total de "pixels" na imagem. Pode ser estabelecida uma analogia entre o histograma de uma imagem e a função densidade de probabilidade, que é um modelo matemático da distribuição de tons de cinza de uma classe de imagens.

A cada histograma está associado o contraste da imagem. Pode-se fazer um realce de contraste utilizando-se uma função matemática denominada transformação radiométrica. Esta função consiste em mapear as variações dentro do intervalo original de tons de cinza, para um outro intervalo desejado e é

utilizado para aumentar o contraste de uma imagem, expandindo o intervalo original de níveis de cinza da imagem original.

4.7.2 Realce por decorrelação

O realce por decorrelação é uma derivação da técnica de componentes principais. Esquemáticamente acontece a seguinte seqüência:

Componentes principais → transformação linear → rotação para a posição original

Segundo Lillesand & Kiefer (1992) o realce por decorrelação é uma forma de manipulação de dados multi-imagem particularmente útil quando se visualiza dados multiespectrais que são altamente correlacionados.

O realce por decorrelação é uma técnica de alteração de contraste num espaço de imagem transformado cujos resultados são transformados de volta para o RGB. Procede-se o cálculo dos principais componentes e aplica-se sucessivamente a cada um destes uma ampliação de contraste nos eixos dos componentes principais. Por definição estes eixos são estatisticamente independentes, então o efeito é o de enfatizar as informações de baixa correlação dos dados originais. Quando os dados que sofreram ampliação de contraste são transformados de volta para o espaço RGB, o resultado é uma visualização com aumento de saturação das cores.

4.7.3 Divisão de bandas

A divisão de bandas é o processo de dividir pixels de uma imagem pelos pixels de outra imagem, captada por um sensor regulado para uma faixa comprimento de onda diferente do alcançado pela primeira.

A divisão de bandas cancela o valor de $\cos \alpha$ (efeito da topografia) das duas imagens envolvidas; contudo é necessário eliminar o componente somativo da equação (radiância) que é o fator atmosférico; deve-se então proceder obrigatoriamente à correção atmosférica prévia.

Logo define-se que a divisão de bandas minimiza o efeito do $\cos \alpha$, gerando imagens que têm a influência do sol na topografia minimizada. É utilizada para realçar as diferenças espectrais de um par de bandas, caracterizando determinadas feições da curva de assinatura espectral de alguns alvos.

Pode apresentar resultados incorretos devido a:

- Bandas que apresentam ruídos, pois estes serão realçados.
- Presença do espalhamento atmosférico, seletivo em relação às bandas espectrais, gerando valores de nível de cinza que não representam a diferença de reflectância entre os alvos.
- Presença de objetos distintos nas bandas originais com características espectrais semelhantes, porém de diferentes intensidades. Na imagem resultante, estes objetos não serão distintos.

4.7.4 Índice de Vegetação Normalizado

Este é obtido a partir da divisão da subtração das bandas 4 e 3, no caso do sensor Landsat (Figura 13), em relação ao sensor *Spot* são as bandas 3 e 2 ao invés de 4 e 3 (Figura 14), pela soma das mesmas ($B4 - B3 / B4 + B3$), resultando numa imagem em tons que variam de preto a verde, indicando nas porções com pouca ou sem vegetação tons negros a avermelhados e tons amarelados a esverdeados nas áreas que apresentam uma cobertura vegetal mais densa.

Figura 13: Índice de Vegetação Normalizado - TM/Landsat (1986)

Figura 14: Índice de Vegetação Normalizado - Spot (1998)

4.7.5 Componentes Principais

Geralmente nas imagens multi-espectrais existe uma correlação entre as bandas devido às faixas que estas ocupam no espectro e ao alvo atingido, ocasionando desta forma uma redundância de informação.

Figura 15: Eixos – Componentes Principais

Se as variáveis X e Y não são perfeitamente correlacionáveis haverá uma dimensão preferencial de variabilidade (neste caso AB). Ortogonalmente a AB é a direção CD , ou seja, uma segunda direção de variabilidade. Deste modo uma plotagem usando os eixos AB e CD ao invés de apenas X e Y revelará características intrínsecas antes não observadas quando analisadas apenas em X e Y (Figura 15). Os principais objetivos da Transformação por Componentes Principais são definir o número de dimensões e os coeficientes que especificam as posições de conjuntos de eixos dispostos na direção de maior variabilidade nos dados e recalculas as imagens em relação a estes componentes, ou seja, há concentração de informações e diminuição de ruídos.

Quando se utilizam sensores multi-espectrais com mais de três bandas a compressão dos dados é extremamente útil, pois serão mostradas muito mais informações em três componentes principais do que em três bandas. Num sistema multi-variado a forma da elipse que envolve o espalhamento de pontos num espaço num espaço γ dimensional é definida pela matriz de variância-covariância, computada de γ variáveis ou bandas espectrais. Se existirem p bandas cada uma destas matrizes simétricas terá p linhas e p colunas.

$$\text{Variância} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$\text{Covariância} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{n - 1}$$

Tabela 7: Matrizes de Variância/Covariância:

1	[	S11	Cov21	Cov31	Cov41	]
2		Cov12	S22	Cov32	Cov42	
3		Cov13	Cov23	S33	Cov43	
4		Cov14	Cov24	Cov34	S44	

Na tabela 7 é descrita a matriz de variância/covariância

Autovalores: fornecem o comprimento dos novos eixos do elipsóide e são definidos pela matriz de Variância e Covariância.

Autovetor: é a posição do eixo no espaço multi-dimensional, fornecendo a informação de qual vetor contribui mais e como é a distribuição entre eles. Juntamente com os valores dos pixels originais os autovetores fornecem dados para gerar as imagens transformadas.

4.7.5.1 Resumo Estatístico da Imagem TM/Lansat

Descritivo da Análise dos Principais Componentes:

PCA Análise de Principais Componentes V6.2 EASI/PACE

Bandas: 1 2 3 4 5 7

Bandas	Média	Desvio-padrão
1	77.2517	56.9707
2	72.8165	56.4292
3	74.3284	65.8928
4	97.0556	76.5702
5	97.7825	82.5322
7	78.9255	70.1942

Matriz de Covariância

	1	2	3	4	5	7
1	3245.67					
2	2909.80	3184.26				
3	3310.13	3469.38	4341.86			
4	2513.43	2786.68	2649.37	5863.00		
5	3718.45	3996.98	4630.69	4615.24	6811.56	
7	3264.77	3461.43	4175.36	3152.08	5433.24	4927.23

Bandas	Autor valor	Desvio Padrão	%Variância
1	0.2328615E+05	0.1525980E+03	82.07%
2	0.3175090E+04	0.5634794E+02	11.19%
3	0.1144702E+04	0.3383344E+02	4.03%
4	0.3681855E+03	0.1918816E+02	1.30%
5	0.2208683E+03	0.1486164E+02	0.78%
6	0.1785762E+03	0.1336324E+02	0.63%

Autos vetores da matriz de covariância (organizado por colunas):

```

0.33237 0.34883 0.39910 0.38167 0.52247 0.43579
-0.19174 -0.13677 -0.35267 0.87262 0.04395 -0.23824
0.56449 0.35250 0.22038 0.18292 -0.55068 -0.41450
-0.71232 0.29475 0.57542 0.12353 -0.24040 -0.03960
0.04839 -0.17688 -0.08889 0.18199 -0.60293 0.74955
-0.15611 0.78562 -0.57338 -0.10500 -0.02280 0.13462

```

A Figura 16 apresenta a visualização desta análise.

Figura 16: Principais Componentes TM/Landsat

4.7.5.2 Resumo Estatístico da Imagem *Spot*

Descritivo da Análise dos Principais Componentes:

PCA Análise de Principais Componentes V6.2 EASI/PACE

Bandas: 1 2 3 4

Bandas	Média	Desvio-padrão
1	56.8500	33.3262
2	68.9263	39.9852
3	121.9774	39.7966
4	70.3322	42.4461

Matriz de Covariância

	1	2	3	4
1	1110.64			
2	1283.49	1598.81		
3	280.99	110.68	1583.77	
4	1181.02	1399.34	596.67	1801.67

Bandas	Autor valor	Desvio Padrão	%Variância
1	4239.5327	65.1117	69.56%
2	1545.1858	39.3089	25.35%
3	277.1726	16.6485	4.55%
4	33.0008	5.7446	0.54%

Autos vetores da matriz de covariância (organizado por colunas):

0.48907 0.57506 0.21492 0.61962
 0.13019 0.30237 -0.94257 -0.05645
 0.43328 0.38660 0.23062 -0.78078
 -0.74574 0.65454 0.11039 -0.05714

A Figura 17 é a visualização desta análise.

Figura 17: Principais Componentes Spot

4.7.6 IHS (Intensity-Hue-Saturation)

A técnica de realce IHS baseia-se na transformação da imagem colorida representada no espaço RGB para o espaço IHS de variáveis independentes do ponto de vista de percepção visual.

Imagens de Sensoriamento Remoto são mostradas através de composições coloridas representada pelas intensidades das componentes vermelho R, verde G e azul B, no sistema de cores RGB, ou pela intensidade I, pela cor ou matiz H e pela saturação S espaço IHS.

Segundo o manual do programa Spring na Internet (<http://sputnik.dpi.inpe.br/spring/teoria/rgbihs/rgbihs.htm>), intensidade, matiz e saturação são definidos assim:

“Intensidade ou brilho é a medida de energia total envolvida em todos os comprimentos de onda, sendo responsável pela sensação de brilho da energia incidente sobre o olho.

Matiz ou cor de um objeto é a medida do comprimento de onda médio da luz que se reflete ou se emite, definindo, a cor do objeto.

Saturação ou pureza expressa o intervalo de comprimento de onda ao redor do comprimento de onda médio, no qual a energia é refletida ou transmitida. Um alto valor de saturação resulta em uma cor espectralmente pura, ao passo que um baixo valor indica uma mistura de comprimentos de onda produzindo tons pastéis (apagados).

Por serem independentes, os três parâmetros podem ser analisados e modificados separadamente, para um melhor ajuste das cores às características do sistema visual.”

No espaço IHS existem várias possibilidades de realces espectrais, espaciais e de integração de dados de fontes diversas antes do retorno para o espaço original RGB.

Na transformação RGB para IHS, escolhem-se três bandas de uma imagem e associa-se cada banda a um dos componentes RGB. Assim, cada pixel na imagem de saída possuirá uma correspondência a um ponto no espaço IHS. O resultado é um conjunto de três novas imagens: uma de intensidade, uma de matiz e outra de saturação. Estas imagens podem ser realçadas, expandindo o

intervalo de intensidade e saturação através de contraste, e, quando convertidas de IHS para RGB, permitem melhor separação das cores e das feições que se deseja observar.

É importante ressaltar que a técnica IHS é importante para a integração de dados de multifontes (imagens de sensoriamento remoto com Modelo Numérico de Terreno, imagens de sensoriamento remoto com dados geofísicos, com dados geoquímicos, etc.).

4.8 Classificação

Dentre os vários objetivos que o Sensoriamento Remoto possui, Crósta (1992) define como um dos principais “a identificação e a distinção das composições dos diferentes materiais superficiais, sejam eles tipos de vegetação, padrões de uso do solo, rochas e outros”. Essa distinção e identificação torna-se possível devido ao fato dos materiais superficiais terem comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético, comportamentos estes que podem portanto ser usados para identificá-los.

A classificação, como define Crósta (1992), “é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos, ou seja, é a associação da cada pixel da imagem a um rótulo”.

O objetivo da classificação é a substituição da análise visual do dado de imagem por técnicas avançadas de identificação automática de feições da cena. Com isto os valores de reflectância de cada pixel são agrupados dentro de várias classes ou temas de cobertura do solo. Este agrupamento, em classes de padrões de respostas similares, envolve a análise de dados multiespectrais e a aplicação de regras de decisão, baseadas em estatísticas, para a determinação da identidade da cobertura do solo em cada pixel da imagem.

Cada classe ou tema será representada por um único nível de cinza e o resultado é um mapa temático onde cada nível de cinza estará associado a um tema ou uma classe (área urbana, tipos de vegetação, tipos de solo, etc).

Crósta (1992) cita que "uma imagem de sensoriamento remoto classificada é uma forma de mapa digital temático, e quando esta imagem é ajustada à uma dada projeção cartográfica, torna-se um importante elemento para ser incorporado a um Sistema Geográfico de Informações".

No processo de classificação as técnicas de reconhecimento de padrões estão baseadas no fato de que os elementos de imagem pertencentes a um mesmo objeto (classe ou tema) aparecem plotados como uma nuvem de pontos (cluster) (Figura 18).

Figura 18: Frequências de distribuição de intensidades de duas bandas de uma imagem multiespectral

Este gráfico, que contém as frequências de distribuição de intensidades de duas bandas de uma imagem multiespectral define o espaço de atributos (*feature space*). O conceito de espaço de atributos é fundamental para entender como funciona a Classificação de Imagens.

Ao analisar separadamente as bandas a distinção de classes (temas) fica prejudicada. Quando analisada separadamente a banda 1 a distinção entre as classes 1 e 2 não pode ser feita, e ao analisar somente a banda 2 torna-se impossível a distinção das classes 1 e 3.

Por outro lado quando analisadas em conjunto, as bandas 1 e 2, torna-se possível a distinção entre as classes, mas em diversos pontos existe uma superposição de classes e deste modo nas áreas destas superposições não ocorrerá a distinção sobre a qual classe pertence estes valores. Para evitar as áreas de superposição pode-se utilizar uma terceira banda, de tal forma que estas classes estariam separadas no espaço de atributos.

Crósta (1992) define como regra geral que “quanto maior o número de bandas espectrais, maior será a precisão da classificação”. Entretanto o simples fato de usar o maior número de bandas possível não trará necessariamente melhores resultados. É necessário avaliar se as novas bandas realmente fornecerão novas informações ou não, e desta forma o “classificador” deve ser cuidadoso ao usar bandas espectrais que sejam muito próximas em comprimento de onda.

Além deste existe uma série de problemas relacionados com a Classificação de Imagens. Crósta (1992) destaca o fato de que “o maior problema da classificação é que ela representa uma simplificação bastante grande em relação à enorme complexidade existente em uma cena de satélite”. Outro problema sério também apontado por Crósta (1992) “é que a maioria das técnicas disponíveis se baseia apenas no agrupamento de valores de intensidade espectral representadas pelos *DNs* presentes na imagem. É sabido o fato que o conteúdo de informação representado por uma imagem de Sensoriamento Remoto está baseado tanto na intensidade (nível de cinza) quanto no arranjo espacial dos pixels (textura e forma)”. Deste modo Crósta (1992) diz que “a classificação de imagens apresenta resultados satisfatórios na indicação de cobertura caracterizada apenas por variações de intensidade (reconhecimento de cobertura vegetal e uso do solo)”.

A Classificação Automática de Imagens é basicamente dividida em dois tipos de abordagens: procedimentos Supervisionados e Não-Supervisionados.

Na classificação supervisionada o usuário geralmente possui alguns dados de verificação e com isto o “classificador” identifica alguns dos pixels na imagem pertencentes a determinada classe e passa ao programa o trabalho de identificar

todos os pixels da imagem pertencentes a determinada classe. Já na classificação não-supervisionada o usuário utiliza algoritmos para reconhecer as classes pertencentes a imagem e o programa decide quais as classes a serem separadas e quais os pixels pertencentes a cada uma delas.

Antes de mostrar a base teórica destas diferentes abordagens de Classificação de Imagens, serão brevemente comentadas os tipos de classificadores.

Os classificadores podem ser divididos em dois tipos: "pixel a pixel" e por regiões.

No tipo "pixel a pixel" é utilizada apenas a informação espectral isoladamente de cada pixel para localizar regiões homogêneas, e podem ser separados em métodos estatísticos e determinísticos. Já os classificadores por regiões além de utilizarem a informação espectral de cada pixel utilizam a informação espectral que envolve a relação entre os pixels e seus vizinhos. Segundo Crósta (1992) "este tipo de classificador procura simular o comportamento de um foto-intérprete ao reconhecer áreas homogêneas da imagem baseados nas propriedades espectrais e espaciais de imagens". A tabela 8 exibe os métodos de classificação.

Tabela 8: Métodos de Classificação de Imagens

Métodos de Classificação de Imagens			
Supervisionados		Não-Supervisionados	
Por pixel	Mínima Distância Euclidiana Máxima Verossimilhança Fatiamento Paralelepípedo K-mm Métodos Contextuais Redes Neurais	Por Pixel	K-médias ISODATA Agregamento Hierárquico Agregamento por Seleção de máximos
Por Regiões	Distância Bhattacharyya	Por Regiões	ISOSEG

4.8.1 Classificação Supervisionada

Neste tipo de classificação o objetivo é utilizar o conhecimento do usuário (classificador) para “treinar” o programa a reconhecer as diferentes classes também escolhidas pelo usuário. Qualquer tipo de conhecimento da área imageada é importante para dar suporte à definição das áreas de treinamento (áreas que o usuário identifica como representante de uma das classes). Este conhecimento da área imageada pelo usuário é conhecido como “Verdade Terrestre” (*Ground Truthing*).

Na etapa de treinamento o usuário traça, no vídeo, as áreas identificadas por ele para cada classe desejada. Podem ser definidas várias áreas de treinamento para uma mesma classe, com o intuito de assegurar que os pixels pertencentes a esta área sejam representativos para a classe discriminada. O conjunto de treinamento abrange todos os pixels dentro das várias áreas de treinamento para uma determinada classe.

Deste modo o programa irá gerar assinaturas espectrais baseadas nestas áreas de treinamento. Em seguida serão comparados todos os pixels da imagem com as assinaturas geradas a partir das áreas de treinamento e cada pixel receberá o valor de uma determinada classe.

Conforme Fonseca (1996) “é importante que a área de treinamento seja uma amostra homogênea da respectiva classe, mas ao mesmo tempo deve-se incluir toda a variabilidade, presente nesta área, dos níveis de cinza. Para a obtenção de classes estatisticamente confiáveis são necessários de 10 a 100 pixels de treinamento por classe. O número de pixels de treinamento necessário para a precisão do reconhecimento de uma classe aumenta com o aumento da variabilidade entre as classes.”

Na tabela 8 foram listados os métodos de classificação de imagens existentes. A partir de agora serão introduzidos sucintamente os conceitos adotados pelos métodos Mínima Distância Euclidiana e Paralelepípedo, e o Método Máxima Verossimilhança será discutido mais detalhadamente em virtude da sua maior acuidade em termos de classificação, e além disto este foi utilizado nas classificações supervisionadas realizadas, no programa PCI.

4.8.1.1 Classificador - Mínima Distância

Neste tipo de classificador cada classe é definida calculando-se a média estatística para cada classe em cada banda espectral. Classifica cada pixel desconhecido para a categoria mais próxima conhecida, ou seja, atribui cada pixel desconhecido à classe cuja média é mais próxima à de seu valor (Figura 19).

Figura 19: Classificador Mínima Distância

O ponto X seria classificado como pertencente a classe 3. Neste tipo de classificador a regra de decisão não leva em conta variabilidade ou dispersão.

4.8.1.2 Classificador - Paralelepípedo

Este tipo de classificador cria áreas, com o formato de quadrados ou retângulos, em torno dos valores de reflectância mínimos e máximos para cada área de treinamento, e os pixels são classificados de acordo com a região que eles estiverem.

O Método do Paralelepípedo (Figura 20) é muito conhecido por suas classificações incorretas. Devido à correlação da informação nas bandas espectrais, os pixels tendem a agrupar-se em nuvens na forma de zepelim (distribuição alongada ao longo do eixo de 45°) e como sendo os limites de decisão definidos por retângulos ou quadrados irão sempre abranger pixels não pertencentes a determinada classe.

Figura 20: Classificador Paralelepípedo

O ponto X provavelmente pertence à classe 2 e foi classificado como pertencente à classe 1.

4.8.1.3 Classificador - Máxima Verossimilhança (MaxVer)

É o método de classificação pixel a pixel mais comum, considerando a ponderação das distâncias entre as médias dos níveis digitais das classes, utilizando para isto uma base estatística relativamente complexa.

Crósta (1992) cita "para que a classificação por Máxima Verossimilhança seja precisa o suficiente, é necessário um número razoavelmente elevado de

pixels para cada conjunto de treinamento, número esse preferencialmente acima de uma centena”.

Neste método os conjuntos de treinamento (determinados pelo classificador) definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade Gaussiana para cada conjunto de treinamento. A Figura 21 exemplifica este método.

Figura 21: Classificador Máxima Verossimilhança

Os contornos ao redor de cada classe, segundo Crósta (1992) “podem ser entendidos como a probabilidade de existir um pixel naquele conjunto de treinamento com uma determinada combinação de DN's”.

Em suma, o Método da Máxima Verossimilhança (MaxVer) calcula a variância e a correlação dos padrões de resposta espectral para classificar um pixel desconhecido. Os contornos eqüiprobabilísticos são baseados em valores limites e, no caso de áreas sobrepostas, utilizam probabilidades “a priori” ou fatores de ponderação.

Para diminuir a confusão entre as classes, ou seja, reduzir a sobreposição entre as distribuições de probabilidades das classes, aconselha-se a aquisição de amostras significativas de alvos distintos e a avaliação da matriz de classificação das amostras.

4.8.1.4 Matriz de Classificação (Matriz de Confusão)

Esta matriz apresenta a distribuição de porcentagem de pixels classificados correta e erroneamente. Uma matriz de Classificação ideal deve apresentar os valores da diagonal principal próximos a 100%, indicando que não houve confusão entre as classes. Entretanto esta é uma situação difícil em imagens com alvos de características espectrais semelhantes.

Toda a parte de PDI (processamento digital de imagens) da pesquisa para esta dissertação foi executada no programa Easi/PCI, cujas ferramentas de classificação geram três relatórios de precisão da classificação. O primeiro é a listagem de amostra randômica, que mostra o valor classificado e de referência para cada ponto. O segundo mostra a matriz de classificação (matriz de confusão), exibindo quantos pixels de cada classe, nas áreas de treinamento, foram classificados em outras classes. O último relatório mostra estatísticas e o nível de confiança para a classificação, baseado nos dados de referência e na amostra randômica. Também está incluída a estatística KAPPA, que descreve a "diferença entre a precisão observada e a chance teórica".

4.8.2 Classificação Não-Supervisionada

Este tipo de classificação baseia-se no princípio de que o programa que está sendo utilizado no Processamento Digital das Imagens é capaz de identificar por si só as classes dentro de um conjunto de dados, não requerendo desta forma áreas de treinamento fornecidas pelo usuário. O método parte do princípio que os pixels de um determinado tipo de cobertura devem possuir níveis de cinza similares e que desta forma as classes poderão ser separadas, e os valores de saída das classes são baseados no número da classe.

4.8.3. Uso do Solo Atual

Foram realizadas classificações supervisionadas utilizando o Método da Máxima Verossimilhança para as imagens TM/Landsat (setembro de 1986) (Figura 22) e SPOT (julho de 1998) (Figura 23) com o objetivo da geração de mapas temáticos que mostrem as diferentes classes de uso do solo para as duas datas, e com as diversas etapas de campo realizadas foram sendo aperfeiçoadas as áreas de treinamento, de acordo com o conhecimento da área de estudo.

Os dados de verificação são as áreas de treinamento, e com o melhor conhecimento destas áreas e com posteriores verificações das diversas classificações que foram realizadas o resultado obtido foi bem próximo da verdade do terreno.

Para efeito ilustrativo são apresentados algumas classes que foram definidas dentro da classificação (figuras 24 a 27)

Figura 23: Uso do solo - Classif. Sup. - Spot (jul./1998)

Figura 24: Cultivo de Banana

Figura 25: Cultivo de Chá

Figura 26: áreas de pastagem e cultivo de tangerina

Figura 27:Área Urbana de Paríquera-Açu

5. Dados do Meio Físico

5.1 Geologia

A compilação do mapa geológico da região de Pariquera-Açu, Figura 28, teve como base principal Melo (1990), também foi utilizado o mapa de Silva *et al.* (1981), e também as imagens *TM-Landsat* e *Spot* e conferências de campo.

5.1.1 Coberturas Sedimentares Quaternárias (Qa) (Quaternário)

São compostas por aluviões em várzeas e baixos terraços. Apresenta constituição variada incluindo cascalhos areias e argilas. Dispõem ao longo dos terraços elevados do leito atual dos rios Jacupiranga, Pariquera-Açu, Pariquera-Mirim e Córrego Braço Preto.

5.1.2 Sedimentos Indiferenciados (Qi) (Quaternário)

Os sedimentos indiferenciados de deposição mista (flúvio-marinha-lacustre) e de fundo de baía apresentam frações argilosas, arenosas e siltosas, predominando as argilas em superfície com cobertura de solo orgânico com muita matéria orgânica.

5.1.3 Depósitos de Terraços de Nível Intermediário (Tqci) (Terciário-Quaternário)

Estes terraços ocorrem ao longo dos rios Ribeira de Iguaçu e Jacupiranga, e estão embutidos acima do nível dos baixos terraços e abaixo do nível superior. No município de Pariquera-Açu não ocorrem os níveis inferior e superior de terraços definidos por Melo (1990), portanto esta discussão se restringirá aos níveis intermediários.

Litologicamente os depósitos do nível intermediário de terraços, segundo Melo (1990), são representados por cascalhos oligomíticos com matriz arenosa e clastos constituídos de quartzo e quartzito arredondados, observando-se imbricação e orientação de seixos, e intercalações de areias e areias conglomeráticas com estratificação cruzada. As espessuras máximas de cascalho

observáveis em afloramento (segundo Melo, 1990) não atingem uma dezena de metros.

5.1.4 Formação Pariquera-Açu (Terciário)

Diversos trabalhos foram realizados sobre a Fm. Pariquera-Açu: constituída de depósitos continentais textural e mineralogicamente imaturos.

Coube a Melo (1990) realizar a revisão dos modelos propostos e com base nas características litológicas e relações estratigráficas os depósitos Cenozóicos anteriormente atribuídos à Fm. Pariquera-Açu foram separados em cinco unidades principais distintas:

- Fm. Sete Barras
- Fm. Pariquera-Açu, onde esta foi dividida em três fácies:
 - Fácies Fanconglomerática de leques aluviais coalescentes (*Tpaf*);
 - Fácies de planície fluvial meandrante (*Tpam*);
 - Fácies lacustre (*Tpd*).
- Depósitos de cascalho em nível superior de terraços (situados em posição topográfica mais elevada (*TQcs*));
- Depósitos de cascalho em nível intermediário de terraços (rebaixados em relação aos depósitos anteriores (*TQci*));
- Depósitos colúvio-aluviais (*TQco*);

5.1.4.1 Fácies Fanconglomerática

A fácies fanconglomerática ou leques aluviais proximais (*Tpaf*) é formada por depósitos rudáceos (brechas sedimentares, paraconglomerados) e lamitos, intercalados por conglomerados e areias de depósitos de lençol em transbordamento. Esta fácies é formada junto às bordas tectonicamente ativas da bacia deposicional; deste modo, condiz com os modelos propostos por Bull (1972), Collison (1978) e outros.

Melo (1990) adotou a proposta de Rust (1983) para os sedimentos rudáceos, ou seja, apresentam 50% ou mais de clastos maiores que 2 mm. Para

os paraconglomerados, Melo (1990) designou os clastos maiores arredondados e angulosos dispersos aleatoriamente na matriz fina (superior a 15%), depositados a partir do transporte de massa (corridas de lama, turbiditos, “*creeping*” e outras formas de fluxo de alta viscosidade ou fluxo denso).

As brechas sedimentares assemelham-se muito aos paraconglomerados tanto no processo formador, quanto na constituição, sendo que a única distinção é que estas apresentam clastos mais angulosos.

Já para os lamitos, Melo (1990) assim denominou aqueles sedimentos que apresentam abundante matriz fina (superior a 50% de silte e argila), mas sempre contendo uma proporção considerável (mais de 15%) de areias e partículas maiores, dispersas aleatoriamente na matriz. Também possuem o mesmo processo de formação dos paraconglomerados, diferindo somente no fato de serem mais distais de corrida de lama.

Ainda nesta fácies da Fm. Pariquera-Açu, Fácies Fanconglomerática, ocorrem conglomerados com clastos angulosos e areia com estratificação cruzada, na qual Melo (1990) atribuiu a barras de canais fluviais entrelaçados, que podem estar já marcando situações de leques distais, com sobrecarga de sedimentos.

5.1.4.2 Fácies de Planície de Inundação de Sistema Fluvial Meandrante

A Fácies de Planície de Inundação de Sistema Fluvial Meandrante (*Tpam*) é formada por depósitos com granodecrescência ascendente, variando desde ortoconglomerados até areias, areias e argilas laminadas e argilas sem estratificação.

Segundo a proposta de Rust (1983) e a classificação de Melo (1990), os ortoconglomerados são depositados a partir da ação d'água com alta energia, resultando em depósitos grossos com marcante arranjo interno dos clastos (predominantemente arredondados); matriz fina (silte e argila) subordinada (menos de 15%).

5.1.4.3 Fácies Lacustre

A Fácies Lacustre da Fm. Pariquera-Açu é formada por depósitos predominantemente argilosos e argilas cinza-esverdeadas sem estratificação. Melo (1990) interpretou estes depósitos como que, possivelmente, os fluxos densos dos leques fluviais marginais poderiam ter alcançado um paleo-lago desenvolvido na área mais deprimida do embaciamento Pariquera-Açu, ou seja, estes depósitos são atribuídos a porções distais de leques aluviais subaquosos. Após esta breve exposição da fácies que compõe a Fm. Pariquera-Açu pode-se perceber que esta foi resultado de um sistema deposicional complexo, conforme Melo (1990), variando lateralmente de leques aluviais proximais rudáceos (com depósitos de fluxos densos assoreados), para leques distais (com canais anastomosados), planície fluvial meandrante, deltas lacustres, leques deltáicos (com intercalações de areias, siltes, argilas e bancos gradacionais) e lago (com argilas sem estratificações evidente).

Melo (1990) reforça a hipótese de que a deposição da Fm. Pariquera-Açu foi fortemente condicionada pela atividade tectônica e criação de relevo de falhas (direção WNW-ESE). Ainda segundo o autor, tem-se que a principal área de afloramento da Formação (entre as cidades de Registro e Pariquera-Açu), possui uma estrita relação com a zona de fraqueza estrutural Mesozóica de direção WNW-ESE, representada pelo alinhamento de Guapiara. Além disso as distribuições de fácies da Formação Pariquera-Açu, com leques aluviais a SW do alinhamento de Guapiara, passando a planície de inundação e lago a NE e E, reforçam a idéia do controle sedimentar pela atividade tectônica.

Sondagens elétricas realizadas por Melo (1990) indicam que a Fm. Pariquera-Açu pode localmente atingir espessuras superiores a 30 m, mas em geral varia de 10 a 20 m.

Os depósitos atribuídos à Fm. Pariquera-Açu apresentam um controle topográfico relativamente bem definido. A sua base configura uma paleosuperfície suavizada, que converge em direção ao Rio Ribeira do Iguape a jusante de Registro e o topo da Formação configura uma outra paleosuperfície suavizada subparalela à da base. Segundo Melo (1990) este controle topográfico deve ser

atribuído a um aplainamento pré-deposicional relativamente extenso e a um nivelamento erosivo dos topos pós-deposicional.

Através de correlações possíveis Melo (1990) admitiu que a idade mais provável para a Fm. Pariquera-Açu seja Mesomiocênica.

5.1.5 Sequência Turvo-Cajati (Proterozóico)

Segundo Silva *et al.* (1981) a sequência Proterozóico Turvo-Cajati é constituída litologicamente por metassedimentos, mas exhibe localmente rochas metaultramáficas-máficas, sendo que este fato confere caráter vulcano sedimentar. Ainda que restrito a esta sequência, Silva *et al.* (1981) admitiu que poderiam tratar-se de rochas pré-brasileiras, devido principalmente à sua estruturação.

5.1.5.1 Migmatito

As rochas migmatíticas ocorrem na porção oeste e sudeste do município, sendo consideradas, segundo Silva *et al.* (1981), pertencente a sequência Turvo-Cajati. Ainda segundo este mesmo autor ocorre a predominância dos migmatitos de estrutura estromatítica e paleossoma ectinítico do tipo mica-quartzo-xisto. Estas rochas originaram-se por migmatização pouco intensa das rochas ectiníticas do Complexo Turvo-Cajati, quase sempre preservando o acamamento e/ou foliação.

5.1.5.2 Rochas Metapelíticas e Semi-Pelíticas

Esta subunidade é predominantemente metapelítica e subordinadamente meta-semi-pelítica.

Os metapelitos predominantes alternam-se ritmicamente com freqüentes níveis de metaargilitos, metassiltitos, metarenitos, filitos, metagrauvacas e ardósias, e subordinadamente ocorrem quartzitos, gnaisses, e mármore dolomíticos.

Na parte sul do município de Pariquera-Açu destacam-se xistos e metassiltitos, e subordinadamente mármore dolomíticos.

5.2 Dados sobre a Pedologia e a Carta Pedológica de Pariquera-Açu

Pedologia ou Edafologia é a ciência que estuda o solo – fundamentada inicialmente na Rússia por Dokuchaiev, em 1880 – a partir daí o solo passou a ser entendido como uma camada viva que recobre a superfície da Terra, em evolução permanente, por meio da alteração das rochas e de processos pedogenéticos, comandados por agentes físicos, químicos e biológicos. Uma das melhores e mais completa definição de solo foi proposta por Birkeland (1974) *apud* Salomão & Antunes (1998): *"material natural consistindo de camadas ou horizontes de compostos minerais e/ou orgânicos com variadas espessuras, diferindo do material original por propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, e por características biológicas. Os horizontes do solo são inconsolidados, mas alguns contêm suficientes porções de sílica, carbonatos ou óxidos de ferro para cimentá-los"*.

A diferenciação vertical entre os horizontes, que definem o perfil de solo, tem sido utilizada como principal critério de classificação e mapeamento do solo. Esta diferenciação também se verifica lateralmente, ao longo das vertentes, sendo fundamental considerá-la nos estudos das relações genéticas entre o solo e os demais elementos que constituem o meio natural: o substrato geológico, o relevo, a vegetação, o comportamento hídrico e, conseqüentemente, interpretar os processos da dinâmica superficial (erosão, escorregamento, colapso) e os fenômenos e comportamentos do meio físico relacionados com as diferentes formas de interferência da ação humana. Portanto, os solos ocorrem na paisagem compondo unidades ou compartimentos delimitáveis por meio da distinção de características morfológicas (cor, textura, estrutura, consistência, cerosidade, nódulos, concreções, etc.) dos horizontes pedológicos, observáveis no campo, e características físicas e químicas, determinadas por meio de ensaios laboratoriais e *in situ*. A espessura dos horizontes e a transição vertical e lateral entre estes são atributos igualmente importantes, utilizados na caracterização, classificação e mapeamento dos solos. Estas características são de grande importância na maneira de alargar as perspectivas das abordagens da Geologia de Engenharia

sobre esta unidade do meio físico, tão importante para as obras de engenharia e o uso do território em geral.

5.2.1 Fatores que influenciam a formação do solo

- Os principais agentes atuantes sobre os solos são:
- materiais de origem, condicionando a circulação interna da água e a composição e conteúdo mineral;
- clima, condicionando principalmente a ação da água da chuva e da temperatura;
- organismos, vegetais e animais, interferindo no microclima, formando elementos orgânicos e minerais, e modificando as características físicas e químicas;
- relevo, interferindo na dinâmica da água, no microclima e nos processos de erosão e sedimentação;
- tempo, transcorrido sob a ação dos demais fatores.

5.2.1.1 Material de origem

Pode-se afirmar que o desenvolvimento do solo inicia-se com o intemperismo, representado pelos fenômenos físicos e químicos que, agindo sobre a rocha, conduzem à formação de resíduos não consolidados comumente conhecidos como regolitos saprolíticos que constituem o substrato pedogenético, material originário do solo, do ponto de vista pedológico. Este material, proveniente da desagregação da rocha, poderá permanecer no local em que se desenvolveu, ou ser transportado para outro. Do ponto de vista pedológico, este material - residual ou transportado - sendo submetido a processos pedogenéticos por um tempo relativamente longo, passa a desenvolver um verdadeiro solo.

Para efeito de análise em engenharia, este substrato pedogenético é considerado como solo, se tiver um comportamento como citado acima (Vargas, 1978 *apud* Salomão e Antunes, 1998). Outros autores se referem a este material como sendo materiais inconsolidados (Souza e Zuquette, 1991 *apud* Salomão e Antunes, 1998).

Portanto, pode-se dividir o substrato pedogenético em dois tipos de acordo com sua origem:

- **residual** ou **autóctone**: formado no local, diretamente da desagregação da rocha subjacente ao perfil do solo;
- **transportado** ou **alóctone**: que dependendo do agente responsável pelo transporte dos materiais resultantes do intemperismo, pode receber as seguintes denominações, como substrato pedogenético:
 - *coluvionar*: ação da gravidade;
 - *aluvionar*: ação das águas correntes;
 - *glacial*: ação das geleiras;
 - *eólico*: ação do vento.

5.2.1.2 Clima

O clima é um fator que atua diretamente na formação do solo por meio da alteração dos minerais do substrato, ou indiretamente, por meio da vegetação. Os principais aspectos climáticos que agem no desenvolvimento pedogenético são a temperatura e a precipitação pluviométrica.

A influência da temperatura mostra-se bastante evidente quando se aplica a Lei de Vant'Hoff, segunda a qual, para cada aumento de 10°C na temperatura, a velocidade de uma reação química aumenta de duas a três vezes. Assim, com o aumento da temperatura, torna-se maior a profundidade do terreno submetido à alteração física e química. Isto quer dizer que se mantidas constantes as condições pluviométricas, regiões temperadas apresentarão solos muito mais superficiais que os encontrados em regiões de clima tropical, onde são comuns os locais que possuem solos com vários metros de profundidade.

5.2.1.3 Matéria orgânica

A quantidade de matéria orgânica encontrada em um solo também é função do clima, sendo assim, em climas tropicais e intertropicais a quantidade de matéria orgânica encontrada nos solos é muito menor que a observada em regiões de clima temperado a frio. A temperatura do meio ambiente interfere

diretamente na proliferação de microrganismos responsáveis pela destruição da matéria orgânica. Portanto, em regiões de clima quente, observam-se condições favoráveis à vida microbiana no solo, que não permitem a acumulação de matéria orgânica em solos tropicais. Para que exista concentração de matéria orgânica em solos tropicais, há necessidade de aporte muito grande de restos vegetais, como o observado em regiões de florestas, ou em terrenos varzeanos, onde é grande o acúmulo de matéria orgânica.

5.2.1.4 Precipitação Pluviométrica

A precipitação pluviométrica desempenha um importante papel nesta evolução do substrato pedogenético, pois além de agir nos processos de alteração química dos minerais, ela também promove os movimentos de soluções e o processo de lixiviação do solo (aspecto esse muito importante no desenvolvimento de depósitos minerais eluviais). Assim sendo, pode-se dizer que a maturação (o clímax do solo) é mais facilmente atingida em regiões de elevada pluviosidade onde se observa:

- elevada concentração hidrogeniônica no solo, com conseqüente aumento da alteração química por hidrólise;
- condições facilitadas de transporte de soluções no interior do solo;
- possibilidade de remoção de elementos solúveis e de acumulação dos elementos insolúveis em determinadas posições do perfil.

Entretanto, em regiões onde a precipitação pluviométrica é escassa, a lixiviação se reduz consideravelmente, promovendo um enriquecimento em sais solúveis como carbonatos, sulfatos e cloretos, dificultando o aprofundamento da alteração. Observa-se, assim, maior tendência para solos salinos e pouco profundos.

Seguindo este raciocínio, existem certas tendências de evolução pedológica condicionadas, especialmente, pelo clima regional e local, destacando-se as seguintes:

- **podzolização:** fenômeno característico de regiões de clima temperado, condicionado por acúmulo de matéria orgânica, produção de ácidos húmicos,

dispersão de sesquióxidos de ferro e alumínio e enriquecimento em sílica que, em certos casos, constitui mais de 80% da fração mineral dos horizontes superiores;

- **laterização:** fenômeno característico de regiões de clima tropical e intertropical (quente e úmido), condicionado pela lixiviação de bases e sílica produzidos por hidrólise, acumulação de sesquióxidos de ferro e alumínio e produção de argilominerais do grupo caolinítico;
- **salinização:** fenômeno característico de regiões de clima árido ou semi-árido, condicionado pela concentração de bases na forma de sais, que se precipitam nos horizontes superiores;
- **gleização:** fenômeno também conhecido por *hidromorfia*, característico de locais saturados em água (microclima úmido e/ou terrenos mal drenados), onde cátions metálicos, especialmente o ferro, se mantêm na forma reduzida, favorecendo sua lixiviação, normalmente acompanhada pela remoção de argilo-minerais.

5.2.1.5 Relevo

O relevo age principalmente na interferência da dinâmica da água e nos processos erosivos e de sedimentação. Deve-se, entretanto, nestes casos, considerar também as características dos terrenos relacionadas à percolação das águas superficiais e subsuperficiais.

Deste modo, regiões com relevo pouco acentuado (topografia suave) e com materiais (solos e/ou rochas) permeáveis, facilitam a infiltração das águas pluviais, superando as taxas de escoamento superficial e subsuperficial. Neste caso, os processos pedogenéticos atuam com maior vigor em profundidade, alterando as rochas e removendo, com relativa facilidade, os elementos químicos solúveis. As perdas do solo por erosão são menos significativas. Os solos tendem a ser profundos e muito lixiviados.

Se o terreno for de baixa permeabilidade, apenas um pequeno volume das águas pluviais se infiltrará, causando a saturação do solo em água nas épocas chuvosas. Dependendo dos elementos em solução, fenômenos químicos podem

ocorrer, tais como a redução de cátions metálicos reproduzindo solos conhecidos por hidromórficos, ou solos com altas concentrações de sais, se houver o aporte de elementos solúveis provenientes de montante das vertentes.

Já em regiões com relevo movimentado (topografia declivosa), um grande volume das águas pluviais é perdido em escoamentos laterais, favorecendo os processos erosivos e retardando o aprofundamento da pedogênese. Neste caso, os solos formados são pouco desenvolvidos e normalmente rasos.

Solos do tipo laterítico não-concrecionários, como os latossolos e os podzólicos encontram-se em grande parte do território brasileiro como, por exemplo, no Estado de São Paulo, em associações e, neste caso, apresentam nítida relação com o relevo. Os latossolos ocorrem em superfícies aplainadas ou ligeiramente onduladas e bem drenadas, tendo em vista a necessária homogeneização textural entre os horizontes superiores (A e B) e a lixiviação do horizonte B. Por outro lado, os podzólicos ocorrem em posições topográficas mais declivosas, onde é favorecida a acumulação de argila migrada no horizonte B, resultando em contraste textural com o horizonte A superior. Vale ainda ressaltar que podem ocorrer latossolos em locais de relevos mais acidentados, desenvolvidos a partir de depósitos coluviais, e podem existir podzólicos em locais de relevo suave, desde que este seja mal drenado, dificultando a remoção das argilas.

5.2.2 Perfil de solo

O perfil de um solo é uma seção vertical de um terreno constituída por uma seqüência de horizontes ou camadas, bem definidas por suas características morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas e biológicas.

Em Geotecnia, a parte que interessa é a camada superficial desse perfil, onde são encontrados principalmente minerais secundários ou transformados, como os argilo-minerais, óxidos e hidróxidos de ferro, manganês, titânio e em alguns casos de alumínio; esta parte do perfil é denominada **solo maduro**. A camada subsuperficial, que ainda preserva algumas características da rocha de origem, é chamada de **solo residual jovem**, **solo saprolítico** ou **saprólito**, abaixo do qual está a **rocha alterada**, onde os minerais exibem sinais evidentes

de alteração com as perdas de brilho e cor. Na conceituação geotécnica, esta parte do perfil é denominada **perfil de intemperismo**.

Os perfis de solo são compostos por horizontes que refletem a ação da pedogênese, portanto estes horizontes são denominados **horizontes pedogenéticos**. Porém, quando não refletem esta ação, são denominados de camadas. Existe uma distinção para os horizontes e as camadas em Pedologia, estes são diferenciados através de letras maiúsculas: O, H, A, E, B, C, F e R. Os primeiros horizontes a se formarem são: O, H e A, bastando a presença de apenas um deles para a caracterização de um perfil de solo. A Figura 29 diferentes perfis esquemáticos e o primeiro perfil mostra um perfil de solo muito comum encontrado em substrato de arenito, como em várias partes do município de Pariqueira-Açu.

Figura 29: Perfis esquemáticos de diferentes solos em substrato de arenito, com nomenclatura pedológica e geotécnica (Salomão & Antunes, 1998)

5.2.3 Solos do Município de Pariquera-Açu: classes de solos e características geotécnicas

A carta pedológica da Região de Pariquera-Açu (Figura 30) foi baseada na de Sakai *et al.* (1983), e na parte sul do município de Pariquera-Açu, devido à ausência de informações que esta apresentava, a carta foi completada a partir da interpretação de imagens de sensoriamento remoto (TM-Landsat e SPOT) e trabalho de campo. A seguir são descritos os tipos pedológicos encontrados em Pariquera-Açu separados em três grupos: solos minerais não-hidromórficos, solos hidromórficos minerais e outros solos, descrevendo os principais parâmetros geotécnicos mais facilmente dedutíveis, entre eles, a capacidade de suporte, susceptibilidade a inundação, erodibilidade, etc.

5.2.3.1 Solos Minerais Não-hidromórficos

Compreende os solos que são formados na zona de oxidação em ótimas condições de drenagem, não sendo afetados pelo aquífero freático. Sua origem dá-se de qualquer tipo de rocha (ígneas, metamórficas ou sedimentares), ou ainda, de coberturas aluvionares e coluvionares. Incluem-se neste grupo os solos: latossolo amarelo, podzólico vermelho-amarelo e cambissolos.

5.2.3.1.1 Latossolo Amarelo (LA)

Latossolo amarelo álico A moderado apresentando textura argilosa. Apresentam horizonte A moderado com transição gradual para o horizonte B latossólico de coloração amarela e muito teores de ácidos de ferro (menos de 6%). São ácidos e pobres em nutrientes.

São os solos mais profundos, ocorrendo em áreas de relevo suave ondulado, correspondentes aos sedimentos da Formação Pariquera-Açu.

Lepsch *et al.* (1990), descrevem estes solos como sendo de baixa fertilidade natural e propriedades físicas regulares a boas, em áreas de relevo ondulado e fortemente ondulado.

Latossolo amarelo álico A moderado textura argilosa, fase floresta tropical/perenifólia relevo suave ondulado.

Algumas características geotécnicas deste tipo de solo:

- horizonte A geotecnicamente desprezível pela reduzida espessura, em relação ao B;
- textura dos horizontes B e C varia com a natureza mineralógica das rochas, fontes do material de origem;
- horizonte B é geotecnicamente conhecido por solo maduro;
- horizonte B pode constituir fonte natural de materiais para aterro e núcleos argilosos impermeáveis;
- horizonte B apresenta alta porosidade;
- fração argila do horizonte B é constituída por misturas de argilo-minerais do grupo da caolinita e óxidos/hidróxidos de ferro e alumínio;
- aquífero freático profundo, localizado abaixo do horizonte B, normalmente próximo ao contato do horizonte C com a rocha subjacente;
- horizonte C é geotecnicamente denominado solo residual jovem ou solo saprolítico, exceto quando originado por coberturas sedimentares diversas (colúvios, capeamentos, etc.);
- horizonte C, quando formado pela alteração de rochas quartzo-feldspáticas, ocasiona a ocorrência de saibro;
- no conjunto, os latossolos apresentam baixa erodibilidade, porém, quando submetidos à concentração d'água proveniente da ocupação antrópica, podem desenvolver ravinas profundas ou até boçorocas, se o aquífero freático for interceptado.

5.2.3.1.2 PVLa1 e PVLa2 (Solos com Horizonte B Textural)

Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico Álico A moderado textura argilosa fase floresta tropical perenifólia relevo suave ondulado.

São solos vermelho-amarelados com características intermediárias para o Latossolo Amarelo, e ocorrem em relevo suave ondulado, restrito a algumas áreas

da Formação Pariquera-Açu. São de fertilidade natural muito baixa, com problemas de acidez pronunciada, mas apresentam a vantagem de situarem-se predominantemente em áreas de relevo mais suave, com boas possibilidades de mecanização e menor risco de erosão quando intensivamente cultivados.

5.2.3.1.3 PVA (Solos com Horizonte B Textural)

Podzólico Vermelho Amarelo Tb álico A moderado, textura média/argilosa fase floresta tropical perenifólia relevo ondulado.

Ocorrem predominantemente em áreas de relevo fortemente ondulado ou montanhoso, freqüentemente associados a cambissolos, e substrato migmatito, filito-xisto ou gnaiss. São também, em sua maior parte, pobres em nutrientes, com problemas de acidez e limitações para agricultura decorrentes de declives acentuados.

5.2.3.1.4 PV (Solos com Horizonte B Textural)

Podzólico Vermelho-Amarelo Ta álico a moderado textura arenosa com lamelas de textura média.

São solos que aparecem em pequenas áreas correspondentes a antigos altos terraços marinhos, caracterizando-se pelo relevo suave e textura arenosa. O horizonte B, freqüentemente, apresenta-se na forma de acúmulos de argila, em camadas sucessivas de pequena espessura (3 a 5 cm), denominadas lamelas.

Estes tipos de solos apresentam seqüência de horizontes A-B-C, com diferenciação muito evidente entre eles, sendo melhor observada na diferença do horizonte A e B, onde o A apresenta textura mais arenosa e o B mais argilosa. Já o horizonte C apresenta textura parecida a ao material de origem.

Neste tipo de solo, são observadas normalmente duas feições geomorfológicas distintas no Brasil, são elas:

⇒ relevos movimentados de serras, morros e colinas com topos estreitos, desenvolvidos sobretudo por processos de iluviação da argila no horizonte B, proveniente do horizonte superior (eluvial), e/ou pela deposição de material provindo de montante das vertentes. Neste caso, são comuns as associações

com latossolos, principalmente em relevo colinosos, onde os latossolos desenvolvem-se no topo das colinas e os podzólicos em porções mais declivosas da vertente;

⇒ relevos aplainados, constituindo superfícies tabulares ou superfícies deprimidas, são constituídos principalmente por rochas cristalinas e em áreas que possuem drenagem ruim, o que dificulta a remoção de elementos solúveis e facilita a concentração de argila em subsuperfície.

Grande parte dos solos com horizonte B textural apresenta forte controle litológico, sendo principalmente rochas ricas em bases, como os carbonatos e certas rochas alcalinas e ferromagnesianas.

A seguir são descritas algumas características de caráter geotécnico, encontradas nos solos com horizonte B textural.

- horizonte A relativamente espesso, em geral, essencialmente arenoso;
- textura do horizonte B, em geral, argilosa, e do horizonte C, variável em função da composição mineral e textural da rocha subjacente;
- horizonte B denominado geotecnicaamente como solo maduro e o horizonte C, solo residual jovem ou solo saprolítico;
- horizonte B apresenta: moderada a baixa permeabilidade, baixa compressibilidade, expansividade nula a moderada, fácil a moderada escavabilidade, moderada a alta erodibilidade, moderada resistência ao desmoronamento, dependendo da quantidade e disposição de fendas abertas por contração;
- presença comum de aquífero suspenso temporário, situado nos limites dos horizontes A e B e aquífero inferior ao horizonte B, normalmente próximo ao contato do horizonte C com a rocha;
- horizonte C apresenta comportamento geotécnico variável, em função da composição mineralógico-estrutural das rochas de origem, apresentando geralmente alta erodibilidade, baixa resistência a desmoronamentos em taludes artificiais, fácil escavação, principalmente quando proveniente de rochas ricas em minerais micáceos;

- solos com horizonte B textural apresentam alta susceptibilidade a erosão por ravinas e boçorocas, a partir de pequenas concentrações de águas pluviais e/ou servidas.

5.2.3.1.5 Cambissolos (Solos com horizonte B câmbico ou incipiente)

São solos minerais, não-hidromórficos, que apresentam seqüência de horizontes A-B-C, sendo o horizonte B pouco evoluído ou incipiente, onde suas principais características são os minerais herdados da rocha original.

Sua evolução pedológica é pouco desenvolvida, pois o tempo de atuação dos fatores de deformação de solos foi relativamente curto, mas suficiente, em muitos casos, para dar origem a um horizonte B, dito incipiente, e que ainda não se desenvolveu o bastante para ser enquadrado como textural, latossólico ou espódico.

O teor de silte é relativamente alto e a transição do horizonte A para o B é abrupta e plana.

Os cambissolos ocorrem em duas situações:

- Em regiões montanhosas, associados a solos litólicos, desenvolvendo-se em vários tipos de substratos: migmatito, granito, granulito, filito-xisto, calcário e metassedimentos;
- Em várzeas, principalmente nos diques marginais (ou “lombas” dos rios), desenvolvendo-se em substrato de sedimentos aluviais, podendo ser eutróficos ou distróficos;

Nas regiões montanhosas, o potencial agrícola é pequeno, em vista das limitações impostas pelos declives acentuados, além da baixa fertilidade. Os cambissolos situados nas várzeas costumam ser bastante produtivos quando cultivados, mas essas áreas podem estar sujeitas a inundações, sendo este risco ocasional e normalmente de breve duração.

A respeito das características de interesse geotécnico, é difícil descrever uma característica marcante para este tipo de solo, pois suas interações estão

intimamente ligadas à composição mineralógica e textural da rocha original, e ainda, dos tipos de relevo em que ocorrem.

5.2.3.2 Solos Hidromórficos Minerais

São solos formados por capeamentos ou coberturas detríticas sobre rochas cristalinas, ou de depósitos sedimentares de naturezas texturais e mineralógicas diversas, referidas ao Quaternário. Ocupam terrenos baixos (áreas de agradação) ou pequenos anfiteatros elevados que se constituem em cabeceiras de drenagem.

Estes solos são desenvolvidos próximos a regiões saturadas ou na própria região saturada, ou seja, locais de excessiva umidade, onde o aquífero freático está bem próximo a superfície do terreno. Estes terrenos são susceptíveis a inundações e favoráveis à transformação do ferro III em ferro II (ambiente redutor).

5.2.3.3 Gleizados

Solos gleizados pouco húmico Tb álico textura argilosa fase campo tropical hidrófilo de várzea.

São solos hidromórficos minerais que apresentam seqüências de horizonte A-C, com horizonte A concentrado em matéria orgânica, e o horizonte C com hidromorfismo acentuado, com coloração cinzenta característica – horizonte glei – (ferro reduzido) e, por vezes, misturada com materiais de coloração vermelho e amarelada (ferro oxidado). Quando seco, o horizonte C apresenta-se muito fendilhado.

Ocorrem em áreas mal drenadas, onde o aquífero fica elevado durante a maior parte do ano, sujeitas a enchentes periódicas decorrentes dos cursos de água. Distribuem-se em várzeas, planícies fluviais e flúvio-lacustres. Podem ocorrer também solos argilosos em áreas de interação marinha, porém não serão abordados, pois não são encontrados no município de Pariqueira-Açu.

O potencial agrícola desses solos está principalmente condicionado aos riscos de inundação ou à possibilidade de drenagem. Sua fertilidade natural é bastante variável, tendo sido verificada presença mais freqüente de solos álicos, e em algumas várzeas podem ocorrer os solos distróficos ou eutróficos.

As principais características de interesse geotécnico relacionados aos solos hidromórficos de materiais argilosos são:

- aquífero freático próximo à superfície;
- textura argilosa dos horizontes A e C;
- impróprios como materiais de aterro compactado;
- condições precárias de fundação, principalmente em áreas ocupadas por Gleis Salinos e Gleis Tiomórficos, considerados como solos moles;
- ocorrem em áreas inundáveis nos períodos chuvosos ou são afetados pelas marés;
- má qualidade de água subterrânea, em geral concentrada em sais;
- condições inadequadas para instalação de fossas de infiltração;
- baixa drenabilidade;
- áreas de agradação.

5.2.3.4 Solos Orgânicos (O)

São solos hidromórficos que aparecem em condições de extremo encharcamento, onde a taxa de acúmulo de restos vegetais é maior que a sua decomposição, havendo deste modo a formação de turfas. Deste modo, são solos constituídos essencialmente de materiais orgânicos formados em decorrência das acumulações de resíduos vegetais e depositados superficialmente sob condições de excesso d'água.

Estas condições de permanente encharcamento retardam os processos de decomposição bioquímica destes detritos, propiciando o seu acúmulo. Apresenta um horizonte turfoso de cor preta, resultante da transformação da matéria orgânica acumulada. Esta camada possui teor de carbono maior que $12 + 0,1 \times (\% \text{ argila})$, ocupando mais de 50% dos primeiros 80 cm.

Estes solos ocorrem nas posições mais baixas e mal drenadas das várzeas, sujeitas a inundações, geralmente associados a solos hidromórficos minerais (Glei Húmico e Gleis Pouco Húmicos).

Possui pequena importância agrícola pois são solos difíceis de drenar e cultivar, e sujeitos a inundações pela posição baixa que ocupam e pelo formato de depressão alongada, característico das cicatrizes de meandro (*oxbow lakes*).

Algumas das características de interesse geotécnico dos solos orgânicos são as seguintes:

- aquífero freático praticamente aflorante;
- alta compressibilidade e baixa resistência;
- impróprios para instalação de fossas de infiltração.

Figura 30 : Mapa Pedológico - Parquera-Açu/SP
"Utilização de Técnicas de Geoprocessamento para apoio
ao planejamento Físico-Territorial de Parquera-Açu/SP"
 Autor: Sérgio Vicente Liotte
 Orientador: Prof. Dr. Arlei Benedito Macedo

5.3 Aptidão Agrícola das Terras

Segundo Lepsch *et al.*(1990) “o solo ideal é imaginado como aquele que não apresenta problemas de fertilidade, deficiência de água ou oxigênio, não é suscetível à erosão nem oferece impedimentos à mecanização, apresentando potencialidade para obtenção de boa colheita”.

Ramalho Filho *et al.* (1978) propôs a classificação da aptidão agrícola das terras levando em consideração as qualidades das terras em relação a um conjunto de lavouras “climaticamente adaptadas” à região em pauta.

Na definição das classes de aptidão agrícola, considera-se que muitas qualidades da terra podem variar não somente em função das características da sua unidade de mapeamento, mas também pelo seu tipo de utilização prevista.

Na classificação de Ramalho Filho *et al.*(1978) a variação que existe em virtude da unidade de mapeamento de solo e o seu tipo de utilização prevista é contornado pois este considera três combinações do contexto do contexto social e econômico, assim definidas:

5.3.1 Nível de manejo A

Pressupõe práticas que refletem baixo nível tecnológico. É caracterizado por pouca aplicação de capital para melhorar as condições naturais de terra e práticas agrícolas que dependem primordialmente do trabalho manual, ou de tração animal e implementos agrícolas simples;

5.3.2 Nível de manejo B

Pressupõe médio nível tecnológico, caracterizado por modesta aplicação de capital e de resultados de pesquisas para manejo, melhoramento e conservação das condições naturais das terras, e práticas agrícolas baseadas principalmente na tração animal;

5.3.3 Nível de manejo C

Pressupõe alto nível tecnológico, caracterizado pela aplicação intensiva de capital e de resultados de pesquisa para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras. A mecanização está presente em todas as fases das operações agrícolas;

Neste sistema as classes de aptidão agrícola são:

_Classe Boa: Terras sem limitações significativas para produção sustentada de determinado tipo de utilização agrícola, nas condições do nível de manejo considerado. Podem ocorrer restrições que não reduzam a produtividade ou os benefícios de maneira expressiva nem aumentem os insumos necessários acima do aceitável.

_Classe Regular: Terras que apresentam limitações moderadas para produção sustentada de determinado tipo de utilização agrícola, nas condições do manejo considerado. As limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, elevando a necessidade de insumos, a fim de aumentar as vantagens globais a serem obtidas com o uso da terra.

_Classe Restrita: Terras que apresentam limitações fortes para produção sustentada de determinado tipo de utilização agrícola, nas condições do manejo considerado. Essas limitações reduzem a produtividade ou os benefícios ou, então, aumentam a necessidade de insumos de tal maneira que os custos só se justificam marginalmente.

_Classe Inapta: Terras apresentando condições desfavoráveis, de modo a excluir a produção sustentada do tipo de utilização agrícola considerado.

Além de todo o exposto Lepsch *et al.* (1990) tomou como base para delimitação das classes de aptidão o agrupamento pedológico, as classes declividade e o risco de inundação.

A Figura 31 classifica a aptidão agrícola da terras no município de Pariquer-Açu.

Figura 31: Aptidão Agrícola - Pariquera-Açu/SP
"Utilização de Técnicas de Geoprocessamento para apoio ao planejamento Físico-Territorial de Pariquera-Açu/SP"
 Autor: Sérgio Vicente Liotte (fonte: Lepsch 1990)
 Orientador: Prof. Dr. Arlei Benedito Macedo

5.4 Riscos de Inundação

As várzeas do Ribeira de Iguape, em sua maioria, e de seus afluentes estão sujeitas a inundações periódicas, e quando estas são freqüentes e duradouras são um fator limitante à agricultura, principalmente lavouras anuais.

Lepsch *et al.* (1990) definiu as principais classes de risco de inundação como as seguintes:

_Inundações freqüentes e curtas: São as que ocorrem nas várzeas menores, próximo a nascentes, com recorrência entre um e cinco anos, mas durando menos de dois dias. Muitas vezes, podem ser controladas pela limpeza e retificação dos córregos, dando uma maior velocidade às águas.

_Inundações muito freqüentes e curtas: São as que afluem nas várzeas menores ou médias, a cerca de 1.000 - 3.000 m da nascente; ocorrem sistematicamente quase todos os anos e, em certas ocasiões, mais de uma vez por ano, mas com duração de menos de dois dias. Normalmente os danos são maiores nas lavouras anuais, mas as perenes (com banana) podem resistir a essas inundações sem grandes danos ou perda total.

_Inundações muito freqüentes e de média duração: São as que ocorrem nas várzeas maiores, principalmente no baixo curso do Ribeira e seus afluentes; elas sobrevêm sistematicamente quase todos os anos e duram de dois a trinta dias, podendo, portanto, ocasionar danos totais a cultivos anuais quanto perenes.

5.5 Capacidade de Uso das Terras

Lepsch *et al.* (1990) define capacidade de uso das terras "como um sistema de classificação qualitativo, de propósito geral e voltado para as limitações das terras, sobretudo no que diz respeito à suscetibilidade à erosão. Baseia-se, primordialmente, nas combinações de efeito do clima e características permanentes do solo (inclusive declividade) que limitam o uso agrícola da terra e/ou impõem riscos de degradação pela erosão acelerada. O nível de manejo

presumido é “alto” ou “moderadamente alto”, dentro das possibilidades dos agricultores mais esclarecidos da região. Existe uma série de outras pressuposições básicas do sistema, dentre as quais, uma das mais importantes é a de que as terras são classificadas supondo-se que os melhoramentos já estão estabelecidos”.

Os critérios para a classificação adotados por Lepsch *et al.* (1990) para as classes de capacidade de uso das terras foram determinados com base nas informações existentes sobre solos, classes de declividade e observações sobre riscos de inundação.

Foram determinados três grandes grupos de capacidade de uso das terras e estes foram subdivididos em classes. Os três grupos são os seguintes:

_Terras próprias para lavouras, pastagens e/ou reflorestamento, silvicultura e vida silvestre;

_Terras impróprias para lavouras mas adaptáveis para pastagens, silvicultura e refúgio da vida silvestre;

_Terras impróprias para lavouras, pastagens ou reflorestamento, podendo servir apenas com abrigo da flora e fauna silvestre.

A Figura 32 mostra a distribuição da capacidade de uso das terras no Município de Pariquera-Açu.

5.6 Geomorfologia

A carta Geomorfológica da região de Pariquera-Açu (Figura 34) foi obtida através da Técnica IHS, com a integração da componente principal 1 da imagem TM/Landsat com as bandas 4/2/1 do sensor *SPOT*.

_Calcular os componentes IHS a partir de três bandas selecionadas do *SPOT* (bandas 4/2/1);

_Aplicar o contraste nos componentes H e S;

_Substituir o componente I pelo Componente Principal 1;

_Aplica-se a transformação inversa IHS para RGB.

Com o resultado da integração do primeiro componente principal as características geomorfológicas da região foram ressaltadas, e a partir de então forma delimitadas as unidades geomorfológicas em conformidade com as unidades de Ross *et al.*(1997), que foram as seguintes (Figura 33):

Figura 33: IHS - PC1 TM/Landsat com comp. 4/2/1 Spot

5.6.1 Depressão do Baixo Ribeira

A morfoescultura Depressão do Baixo Ribeira pertence à Bacia Sedimentar do Baixo Ribeira (Bacia Sedimentar Cenozóica - Formação Pariquera-Açu). Localiza-se entre o Planalto do Ribeira/Turvo, a Escarpa/Serra do Mar e a Planície Litorânea de Iguape-Cananéia.

Predominam formas de relevo denudacionais cujo modelado constitui-se basicamente por colinas e patamares aplanados, com entalhamento dos vales variando de 20 a 40 m.

Constituída basicamente de metassedimentos e migmatitos, apresenta altimetria variando de 12 a 47 m e declividade entre 15 a 60 %.

A drenagem, nesta unidade de relevo, apresenta um padrão dendrítico, e tendo setores retilíneos indicando a forte influência de direções de fraturamentos importantes. A rede de drenagens em grande parte corre sobre planícies fluviais formadas em vales fluviais afogados.

5.6.2 Planalto do Ribeira/Turvo

Localiza-se na porção sul do Estado de São Paulo, limitando-se a sudeste com a Serra do Mar, a sudoeste com o Estado do Paraná e a norte com o Planalto de Guapiara. Nesta unidade predominam formas de relevo denudacionais cujo modelo constitui-se basicamente em morros altos com topos agudos e topos convexos.

A litologia dessa área é constituída de migmatitos, metassedimentos, e intrusões graníticas e os solos são do tipo cambissolos, podzólico vermelho-amarelo e afloramentos rochosos.

As altimetrias variam de 200 a 800 m e a declividade de 15% a 38% .

O padrão de drenagem nesta unidade é dendrítico com densidade de drenagem variando de média a alta. Por ser uma unidade de relevo com formas muito dissecadas, os vales são bem entalhados, apresentando um nível de fragilidade potencial alto, e desse modo sujeito a processos erosivos lineares e com a possibilidade de movimentos de massa.

Na região do município de Pariquera-Açu subdividiu-se a Planalto do

Ribeira/Turvo em duas regiões distintas: a primeira apresentando um nível de dissecação alto e alta densidade de drenagem e a segunda com um nível de dissecação muito alto com média densidade de drenagem.

5.6.3 Planície Litorânea Iguape-Cananéia

São terrenos planos, de natureza sedimentar marinha e fluvial quaternária, onde ocorrem processos de aggradação. Apresentam altimetrias entre 0 e 15m e declividades inferiores a 2%. São formadas por sedimentos marinhos inconsolidados e sedimentos fluviais arenosos/argilosos também inconsolidados e cascalhos e os solos são orgânicos. Apresentam baixa densidade de drenagem.

O potencial de fragilidade é muito alto por serem áreas sujeitas as inundações periódicas, com lençol freático pouco profundo e sedimentos inconsolidados sujeitos às acomodações constantes.

5.6.4 Planícies Fluviais

São terrenos planos, de natureza sedimentar fluvial quaternária, geradas por processo de aggradação. Encontram-se dispostas em áreas junto às margens dos rios e por serem áreas baixas e planas são sujeitas às inundações periódicas.

Apresentam declividades inferiores a 2%, e são formadas por sedimentos fluviais arenosos e argilosos inconsolidados e os solos são do tipo GLEI Húmico e pouco Húmico.

Possuem nível de fragilidade muito alto por serem áreas sujeitas às inundações periódicas, com lençol freático pouco profundo e sedimentos inconsolidados sujeito à acomodações constantes.

Figura 34 : Mapa Geomoprfológico - Parquera-Açu/SP
"Utilização de Técnicas de Geoprocessamento para apoio
ao planejamento Físico-Territorial de Parquera-Açu/SP"
Autor: Sérgio Vicente Liotte
Orientador: Prof. Dr. Arlei Benedito Macedo

5.7 Processos de Dinâmica Superficial

Os processos de dinâmica superficial ocorrem regidos principalmente pela energia solar e gravitacional, que modificam a superfície da Terra e que agem na interface entre a hidrosfera, a atmosfera e a litosfera. Portanto, pode-se dizer que a dinâmica superficial é a responsável pela modelagem da superfície da Terra. O resultado destas interações é a paisagem, objeto de estudos da Geomorfologia.

Do ponto de vista da Geologia de Engenharia, o objeto de estudo se resume a solucionar os problemas de uso do meio geológico, que devem ser adequadamente equacionados, ou seja, fazendo-se uma análise quantitativa do processo a fim de se obter formas mitigadoras e corretivas ao processo.

De acordo com Embleton & Thornes (1979) *Apud* Infanti Jr. *et al.* (1998), processo em Geomorfologia, define as ações dinâmicas ou eventos que envolvem a aplicação de forças sob certos gradientes. Essas ações são provocadas por agentes como chuva, vento, ondas, marés, rios, gelo, etc.

Quando ocorre a superação das forças em relação às resistências dos sistemas naturais, dá-se início aos processos de modificação do meio físico, onde podem ocorrer mudanças por deformações de terreno, de posição ou em sua estrutura química. Dependendo da velocidade em que ocorram os processos ou da interação das forças, estas modificações do meio físico podem ser perceptíveis ou não à capacidade de observação do ser humano.

Deve-se salientar a complexidade dos processos geomorfológicos, que geralmente refletem não apenas a interação das variáveis causais (clima, geologia, morfologia, etc.), mas também a sua evolução temporal. Deve-se atentar ao fato do dinamismo dos processos exógenos, já que estes ocorrem em uma escala temporal de difícil percepção humana, e ainda, sempre ter em mente a noção espacial do processo.

5.7.1 Tempo, espaço e velocidade

- *Tempo*: é uma seqüência cumulativa de eventos, medida em incrementos iguais, por instrumentos ou manifestação de fenômenos naturais. Portanto,

o tempo move-se somente em uma direção, determinando a irreversibilidade dos eventos.

- *Taxas*: refere-se à velocidade em que ocorre o processo, ou seja, às mudanças de um parâmetro em um certo período de tempo.
- *Espaço*: semelhante ao tempo, é uma seqüência de locações medida em incrementos iguais. Geralmente, assume-se um espaço euclidiano tridimensional (XYZ).
- *Declividade*: é a taxa de variação da altura (Z) ao longo de uma distância X (ou Y). Similar ao tempo, as variáveis espaciais podem ser discretas ou contínuas, ou seja, acompanhando-se o comportamento de uma variável ao longo do tempo, podem-se reconhecer diversos padrões de mudança, na qual apresenta diversas condições de equilíbrio. Na Figura 35 pode-se observar os diversos padrões de mudança.

Figura 35: Padrões de mudança (Mayer, 1990 *apud* Infanti Jr. et al. 1998)

5.7.2 Risco Geológico

Augusto Filho *et al.* (1992) dividem os riscos naturais em riscos atmosféricos e geológicos, considerando a parte da geoesfera em que são gerados, e os subdividem em Endógenos e Exógenos, em função da dinâmica do processo estudado. O risco geológico foi definido por estes autores como “uma circunstância ou situação de perigo, perda ou dano, social e econômico, causada por uma condição geológica ou por uma possibilidade de ocorrência de processo geológico, induzida ou não”.

Em 1979 a Agência de Coordenação das Nações Unidas para o Socorro de Desastres (*Office of United Nations Disaster Relief Coordinator-UNDRO*), conjuntamente com a Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (*United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization-UNESCO*), promoveram uma reunião de especialistas com a finalidade de unificar definições sobre o tema. Entre os conceitos propostos estiveram os seguintes:

Ameaça ou Perigo (H) - a probabilidade de ocorrência de um evento potencialmente desastroso, num dado período de tempo e numa dada área;

Vulnerabilidade (V) - grau de perda de um elemento ou grupo de elementos sob risco, resultado da provável ocorrência de um evento desastroso;

Risco Específico (Rs) - grau de perdas esperadas devido à ocorrência de um evento particular, como função da ameaça e a vulnerabilidade;

Elementos sob risco (E) - população, edificações, atividades econômicas, serviços públicos, infra-estrutura, etc. expostos em um área determinada;

Risco total (Rt) - número de perdas humanas, feridos, danos a propriedades e efeitos sobre a atividade econômica devido à ocorrência de eventos, ou seja o produto do risco específico (Rs) e os elementos sob risco (E), chegando à formulação seguinte:

$$R_t = (E) (R_s)$$

$$R_t = E \times H \times V$$

Para o *U.S. Geological Survey* (1977, *apud* Augusto Filho, 1994), um perigo geológico é uma condição geológica, processo ou ocorrência potencial que supõe uma ameaça para a saúde, segurança ou bem-estar de um grupo de cidadãos ou para as funções ou economia de uma comunidade ou entidade governamental maior. A condição geológica pode ser a planície de inundação habitada de um rio; o processo seria a tormenta; a ocorrência, a inundação. Desse modo, um terremoto, ou escorregamento de uma vertente, em uma área deserta, não é um perigo geológico.

Hermelin (1990) define o termo ameaça como a possibilidade de ocorrência de um fenômeno natural determinado, durante um certo lapso, num local específico". A ameaça *versus* a vulnerabilidade dos elementos expostos é igual ao risco:

$$A \times V = R$$

5.7.3 Movimentos de massa

Augusto Filho (1994), indica que as classificações mais recentes dos movimentos de massa estão baseadas nos seguintes critérios básicos:

- cinemática do movimento: definida pela relação entre a massa em movimentação e o terreno estável (velocidade, direção e seqüência dos deslocamentos);

- tipo de material: solo, rocha, detritos. Destacando a sua estrutura, textura e conteúdo de água.

- geometria: tamanho e forma das massas mobilizadas.

Vários autores definiram de diferentes maneiras as causas e fatores que condicionam a ocorrência de movimentos de massa. Varnes (1978, *apud* Augusto Filho, 1994) os dividem em dois grandes grupos:

- os que aumentam as solicitações;

- os que diminuem a resistência.

O clima predominante numa região impõe condições peculiares que às vezes são determinantes no condicionamento e produção de um movimento de massa.

Um dos elementos que favorecem a ocorrência de movimentos de massa é a umidade dos solos, a qual depende, em primeira instância, dos regimes de precipitações a que estão submetidos.

A chuva é uns dos fatores climáticos mais importantes no deflagramento de um movimento de massa. O volume e a velocidade da precipitação dependem da intensidade, duração e freqüência da chuva. A análise de parâmetros tais como magnitude e freqüência das precipitações, é uma ferramenta na caracterização de aspectos relevantes num processo de instabilidade qualquer (De Ploey *et al.*, 1991).

Estudos realizados por Wolle *et al.* (1989) nos deslizamentos ocorridos na Serra do Mar, no Sudeste do Brasil, demonstraram que a causa principal desses eventos foi a infiltração da água de chuva, a qual provoca uma redução da resistência dos solos (pela eliminação ou drástica redução das pressões de sucção, reduzindo-se a coesão aparente). Neste estudo verificou-se que, tanto as chuvas que provocam a deflagração do evento, como a chuva acumulada no período precedente, são responsáveis pela ocorrência dos escorregamentos analisados.

As altas temperaturas e umidade características de climas tropicais úmidos favorecem o processo de intemperismo. Grandes espessuras de solo e rocha alterada, compõem condições muito favoráveis para a instabilidade.

Entre os condicionantes geológicos que mais incidem na estabilidade de encostas estão o tectonismo e a litologia. Tanto a tectônica como a neotectônica provocam fraturamento nas rochas, originando blocos potencialmente mobilizáveis em episódios de instabilidade, além de mudanças no regime de infiltração das águas e conseqüentemente alterações nos processos físicos e químicos das rochas e solos.

A litologia também pode favorecer ou atenuar a deflagração de movimentos de massa, no caso de apresentar concentrações minerais mais susceptíveis ao intemperismo químico (solos mais argilosos e com menor resistência ao cisalhamento); também a porosidade é um parâmetro litológico importante em estudos deste tipo.

O solo, sua estrutura, porosidade, coesão, entre outros, podem acelerar o processo de escorregamento numa região determinada. Alguns destes parâmetros determinam a quantidade de infiltração, fator importante no estabelecimento da dinâmica hidrológica de uma área qualquer.

A vegetação e o material orgânico, exercem um efeito protetor. A partir de dados compilados por Geiger (1966) *apud* De Ploey (1981), pode-se deduzir o seguinte: um máximo de 40% da água é interceptada pelas copas das árvores, durante dias de fortes precipitações. No entanto um mínimo de 60% chega a atingir com força o solo. Menos de 50% da água interceptada é dispersa até o solo em forma de fluxo pelo tronco das árvores; a atividade da fauna do solo é importante no ambiente de floresta. Todas as espécies de animais aportam materiais à superfície, o qual fica exposto ao impacto das gotas de água e possibilita o fluxo por terra; alguns tipos de camadas orgânicas reduzem a umidade da parte superior do solo, e o fluxo superficial começa mais fácil. Por testes de laboratório fica claro que uma cobertura vegetal escalonada, como fator de resistência, muda a hidráulica do fluxo superficial e pode ativar a declividade pelo desenvolvimento de padrões de fluxo turbulentos, incluindo fluxos de rolamento "*roller flow*".

De Ploey (1981) enfatiza o fato de que, direta ou indiretamente, a vegetação oferece proteção por várias razões:

- parcial absorção da energia cinética das gotas de chuva;
- interceptação da água pelas copas das árvores;
- cobertura da parte superior do solo pelo material disperso;
- desenvolvimento do húmus, estruturando o horizonte A com uma relativa maior capacidade de infiltração.

São muitos os elementos geomorfológicos que têm a ver diretamente com a dinâmica dos movimentos de massa, mas sem dúvida a inclinação das superfícies do terreno é muito importante.

Segundo Augusto Filho (1992), as principais modificações antrópicas que induzem os movimentos de massa são:

- remoção da cobertura vegetal;
- lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas;
- vazamentos na rede de abastecimento, esgoto e presença de fossas;
- execução de cortes com geometria inadequada (altura/inclinação);
- execução deficiente de aterros (compactação, geometria, fundação);
- lançamento de lixo nas encostas;
- vibrações produzidas por tráfego pesado, explosões.

5.7.4 Erosão

Segundo Salomão & Iwasa (1995) *apud* Infanti Jr. *et al.* (1998), define-se por erosão o processo de desagregação e remoção das partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas, pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e organismos (plantas e animais).

Podem-se dividir duas formas de erosão: uma sendo um processo desenvolvido em condições de equilíbrio com a formação do solo, chamada de erosão natural ou geológica; e outra, cuja característica é sua intensidade de evolução superior à formação do solo, não permitindo a sua recuperação natural; a este processo denomina-se erosão acelerada ou antrópica.

A erosão constitui um processo natural no desenvolvimento da paisagem. A atuação lenta e contínua dos processos erosivos modifica, normalmente após longos períodos de tempo, a forma do relevo. Com a interferência antrópica esse processo natural pode ser atenuado no tempo ou, como é mais freqüente, ter aumentada sua intensidade. Este processo que sofre a interferência do homem é denominado de erosão acelerada ou antrópica.

Os processos erosivos são condicionados basicamente por alterações do meio ambiente, provocadas pelo uso do solo nas suas várias formas, desde o

desmatamento e agricultura, até obras urbanas e viárias, que, de alguma forma, propiciam a concentração das águas de escoamento superficial. Esses processos são iniciados pela retirada da cobertura vegetal, seguido pela adução e concentração das águas pluviais na implantação de obras civis (saída de coletores de drenagem em estradas, arruamento urbano, barramento de águas pluviais pela construção de estradas, forçando sua concentração nas linhas de drenagem), estradas vicinais, ferrovias, trilhas de gado, uso e manejo inadequado das áreas agrícolas.

As conseqüências da erosão acelerada são redução do potencial de áreas agricultáveis, danos a equipamentos de infra-estrutura nas áreas urbanas (parceladas e /ou em consolidação) e o assoreamento dos rios, lagos, represas e reservatórios. Além destes efeitos é ainda necessário considerar o papel dos defensivos agrícolas arrastados pela erosão, como poluentes dos recursos hídricos superficiais, alterando a qualidade das águas.

5.7.4.1 Erosão pela água

O principal agente causador das erosões é a água. Todo processo erosivo de solo é deflagrado pelas chuvas e compreende basicamente os seguintes mecanismos: impacto das chuvas, que provoca a desagregação das partículas; remoção e transporte pelo escoamento superficial, e deposição dos sedimentos produzidos, formando depósitos de assoreamento.

Podem-se separar os processos erosivos em três tipos distintos. Dois dependem exclusivamente de como se processa o escoamento das águas superficiais, ao longo de uma encosta, e o outro depende também da influência do aquífero freático para o seu desenvolvimento, pois ocorre a erosão interna (*piping*) do terreno; a este tipo de erosão chama-se de boçoroca. Nas boçorocas ocorrem diversos outros processos superficiais associados, como erosão superficial, erosão interna, solapamentos, desabamentos e escorregamentos, que se conjugam e conferem a esse tipo de erosão característica de rápida evolução e elevado poder destrutivo (Salomão & Iwasa, 1995 *apud* Infanti Jr. *et al.*, 1998).

Voltando às erosões que dependem apenas do escoamento superficial, se este escoamento ocorrer de forma difusa, causando a remoção progressiva e uniforme dos horizontes, chama-se este processo de erosão laminar. Já se o escoamento superficial ocorrer de forma que o fluxo acompanhe linhas preferenciais, gerando pequenas incisões na superfície do terreno em forma de sulcos, que podem evoluir, por aprofundamento, para ravinas, a este processo denomina-se erosão linear.

5.7.4.2 Erosão Urbana

A erosão urbana se expressa mais freqüentemente nas formas de erosão laminar e de sulcos ou ravinas nas vias públicas e áreas periféricas, e mais intensamente na forma de boçorocas que, de forma acelerada, destroem edificações e equipamentos urbanos. A erosão linear profunda, em áreas urbanas, ocorre associada à concentração de escoamento das águas superficiais através das ruas, rede de galerias pluviais e de esgotos que, quando lançados nos talvegues receptores, resultam na abertura de grandes ravinas ou até mesmo de boçorocas.

Os principais fatores que influem na erosão das áreas urbanas, e relacionadas com o escoamento superficial (Pontes, 1980) são:

- vazão da corrente de água;
- declividade do terreno;
- a natureza do terreno.

Para combater de forma efetiva a erosão nas áreas urbanas, deve-se atuar sobre esses fatores, de forma a eliminar ou atenuar a influência dos mesmos.

5.7.5 Formas Mitigadoras aos Riscos Naturais

Observou-se ao longo do trabalho que os principais problemas existentes na região são sulcos erosivos, figura 36, que em alguns casos podem evoluir para ravinas. Porém deve-se salientar que os problemas observados não apresentam risco imediato à população, pois os maiores processos ocorrem em locais desabitados. Deve-se esclarecer que este tipo de processo pode evoluir muito em uma estação chuvosa já que o processo ocorre em local de alta declividade e sem

algum tipo de cobertura vegetal, e se isso ocorrer pode atingir residências localizadas próximas ao local, trazendo prejuízos econômicos aos moradores.

Além disso, são observados inúmeros sulcos erosivos por toda a região, conforme pode ser observado na Figura 36, mas estes problemas podem ser resolvidos facilmente com a adequação geométrica das vias, implantação de canaletas e escadas hidráulicas para o escoamento das águas pluviais.

Ponto 1

Ponto 2

Figura 36: Sulcos erosivos

Pode-se observar estruturas de dissipação de energia nas figuras 37 e 38 segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1991).

Figura 37. Escada hidráulica para a dissipação da energia das águas pluviais (IPT, 1991)

Figura 38. Canaleta e escada hidráulica – visão geral (IPT, 1991)

Notou-se que o principal problema destas localidades é de difícil recuperação, que é a altíssima declividade de algumas vias que chegam a passar de 45° (100%) e que por esse motivo podem ser acessadas apenas a pé. Na tabela 9 são apresentados os padrões para a construção de vias locais.

Tabela 9. Características das vias locais (IPT, 1991)

CARACTERÍSTICAS	VIAS LOCAIS
Número mínimo de faixas de rolamento	2
Largura de cada faixa de rolamento	2,90 m
Soma mínima das larguras dos passeios	2,60 m
Declividade longitudinal máxima	15%
Declividade longitudinal mínima	0,5%
Declividade transversal mínima (do eixo da faixa até o meio-fio)	0,5%
Declividade transversal máxima (do eixo da faixa até o meio-fio)	3%

Pode-se observar na figura 39 um corte transversal típico de uma via local.

Figura 39. Corte transversal típico de uma via local (IPT, 1991)

6. Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)

A ocupação antrópica e todas as suas fases de preparação, desmatamento e seguido pelo cultivo de terra, construção de estradas, criação e expansão de vilas e cidades, sobretudo quando ocorrida de forma desordenada, são fatores determinantes ao início e evolução dos processos erosivos. Posteriormente, estes processos passam a ser regidos por diversos fatores naturais relacionados às características da chuva, do relevo, do solo, e da cobertura vegetal.

A EUPS, desenvolvida por Wischmeier & Smith (1965) exprime a ação conjunta dos fatores naturais (erosividade das chuvas, erodibilidade dos solos, fator topográfico representado pela geometria da encosta afetada) e antrópicos (uso, manejo e práticas conservacionistas) que influenciam a erosão pela chuva. Neste trabalho (op. cit.) os autores apresentaram a perda de solo através de uma equação que relaciona todos os fatores envolvidos proporcionalmente e que influenciam a erosão hídrica dos solos. Esta equação é a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e que é representada da seguinte forma:

$$A = R K L S C P$$

A = perda de solo calculada por unidade de área, t/ha;

R = fator chuva: índice de erosão pela chuva, (MJ/ha.mm/ha);

K = fator erodibilidade do solo: intensidade de erosão por unidade índice de erosão da chuva, para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25m, t/ha/ (MJ/ha.mm/ha);

L = fator comprimento do declive: relação de perda 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 perda de solos entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento

de rampa;

C = fator uso e manejo: relação entre perda de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perda correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado;

P = fator prática conservacionista: relação entre as perda de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perda quando se planta morro abaixo.

A perda de solo é resultado da integração de todos esses fatores, sendo importante destacar, dentre estes, o fator Erosividade da chuva, que representa o potencial que a chuva tem em produzir erosão.

Wischmeier & Smith (1978) mostram que existem diferenças entre os fatores Erodibilidade (K) e Erosão do solo. A taxa de erosão de solo (A), na equação de perda, pode ser mais influenciada pelo declive, chuva e manejo da cobertura e do solo, do que pelas propriedades inerentes do solo. Esta diferença causada pelas propriedades do solo, é chamada de Erodibilidade (K).

Moore & Wilson (1992) citam a dificuldade da utilização dos fatores (L) e (S) na equação universal de perda de solo, devido, principalmente, a aplicação real deste fator no Sistema Geográfico de Informações (SIG).

Lombardi Neto & Bertoni (1975) avaliaram a erodibilidade de solos do Estado de São Paulo, tomando por base a razão entre a relação de dispersão (razão entre teor de argila natural e teor de argila dispersa) e a relação argila dispersa pela umidade equivalente. Denardin (1990) compilou dados relativos ao fator erodibilidade (fator K) a partir de parcelas padrão, propondo equações para a obtenção do fator K em função de propriedades físicas do solo. Rocha *et al.* (1995) relata a dificuldade da obtenção do Fator L da EUPS (comprimento de rampa) e desenvolveu uma metodologia para a determinação do fator através de cruzamentos de planos de informações digitais.

Renard *et al.* (1991) e Moore & Wilson (1992) observaram que a estimativa da perda de solos considerando o fator topográfico (LS) mostra uma sensibilidade

maior ao grau de declive do terreno e menor ao comprimento do declive do terreno.

O fator uso e manejo do solo (C) é a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado. Assim, a cobertura do solo, a chuva, estações do ano, fertilidade do solo e preparo do solo são parâmetros que definem o fator (C), Bertoni & Lombardi Neto (1990).

O fator (P) é a relação que existe entre a intensidade de perdas de solo com uma determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive.

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990), estima-se que no Estado de São Paulo, 80% da área cultivada esteja sofrendo processo erosivo além dos limites da tolerância, representando uma perda anual de aproximadamente 200 milhões de toneladas de terra, com prejuízos econômicos fabuloso, pois além da queda de produtividade e da perda de fertilizantes/sementes, são necessários investimentos na recuperação do solo.

6.1 Fator erosividade da chuva (R)

O fator erosividade é um índice numérico que representa o potencial da chuva e enxurrada em provocar erosão em uma área sem proteção.

Pode-se quantificar a capacidade da chuva provocar erosão, a esse dado designa-se erosividade. Enquanto os outros fatores que provocam a perda de solos por erosão são mantidos constantes, a erosividade é proporcional ao produto da energia cinética total das gotas de chuva e sua intensidade máxima em trinta minutos. Segundo Wischmeier & Smith (1978) *apud* Bertoni & Lombardi Neto (1990), este produto foi obtido experimentalmente e é considerado a melhor relação encontrada para medir a potencialidade erosiva da chuva ou erosividade.

Esse produto representa um termo de interação que mede o efeito de como a erosão por impacto, o salpico e a turbulência se combinam com a enxurrada para transportar as partículas de solo desprendidas. A energia das gotas de chuva

aqui descritas é decorrente do movimento realizado, que é expressa em MJ/ha.mm de chuva e pode ser equacionada da seguinte forma:

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log I$$

onde:

E_c = energia cinética em MJ/ha-mm;

I = Intensidade da chuva em milímetros.

Considerando que as gotas de tamanho médio não continuam a aumentar quando a intensidade de chuva excede de 76mm/ha, esse valor é o limite superior do campo de definição da variável I , sendo a energia cinética igual a 0,283 MJ/ha.mm.

Os valores de intensidade máxima em trinta minutos são calculados pelos diagramas de pluviógrafos. O índice de erosão I_{30} é dado pelo produto:

$$EI_{30} = E_c \cdot I_{30}$$

onde:

EI_{30} = índice de erosão em MJ/ha multiplicado por mm/hora;

E_c = energia cinética da chuva;

I_{30} = intensidade máxima em 30 minutos, em mm/hora.

Somando-se os valores de EI de cada chuva, isoladamente, em certo período, pode-se ter uma avaliação numérica da erosividade da chuva dentro deste período. Para o cálculo de perda de solos anuais em uma dada região, basta-se somar todos os valores de EI , para as chuvas que apresentem apreciável perda de solo (maiores que 10mm), caídas em um ano neste local.

O valor R da equação, para dado local, é a média aritmética dos valores anuais de EI , de dados obtidos em um período de vinte anos ou mais.

Porém a escassez de dados de pluviógrafos ou até mesmo a inexistência deles, e o dificultoso trabalho para as análises de diagramas de pluviógrafos para

o cálculo da energia cinética, fez com que vários autores buscassem alguma outra relação que fosse mais usual e fácil de se trabalhar. Utilizando-se 22 anos de registros de precipitação de Campinas, Lombardi Neto & Moldenhauer (1980) *apud* Bertoni & Lombardi Neto (1990), encontraram alto coeficiente de correlação para a regressão lineares entre o índice médio mensal de erosão e o coeficiente da chuva, modificado do coeficiente original proposto por Fournier. A relação obtida é a seguinte:

$$EI = 89.823(r^2/P)^{0,759}$$

onde:

- EI = média mensal do índice de erosão em MJ/ha-mm;
- r = precipitação média mensal em mm;
- P = precipitação média anual em mm.

Portanto, para o cálculo do índice de erosão médio anual (fator R) para um dado local, deve-se somar os valores mensais dos índices de erosão. Com dados adquiridos por um período superior a vinte anos, essa equação estima com relativa precisão os valores médios de EI para uma certa região, utilizando-se somente os valores totais de chuva, que são disponíveis para muitos lugares.

Na Figura 40 pode-se observar o mapa de isoerodentes realizado por Lombardi Neto *et al.* (1976) *apud* Bertoni & Lobardi Neto (1990), onde os autores utilizaram os dados adquiridos de 115 localidades do Estado de São Paulo. Na figura, as linhas representam os valores médios anuais de erosividade da chuva, e também, o fator chuva na equação de perda de solo; nota-se que os valores localizados entre as isolinhas podem ser adquiridos linearmente.

Figura 40: mapa de isoerodentes do Estado de São Paulo (Lombardi Neto *et al.* 1976)

Utilizou-se valor de $6744.881 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$, calculado a partir da fórmula abaixo, desenvolvida por Lombardi Neto & Moldenhaur (1982) e modificada por Lombardi Neto (1995), que correlaciona o índice mensal de erosão (EI) com a precipitação média mensal em milímetros (p) e a precipitação média anual em milímetros (P). Os dados de precipitação (Figura 41) utilizados neste trabalho referem-se a estação meteorológica localizada no município de Pariquera-Açu, a partir de uma série temporal de 23 anos de precipitação (mínimo recomendado é de 10 anos).

Figura 41: Dados de precipitação de Pariquera-Açu (série temporal de 23 anos)

A tabela 10 exibe os valores obtidos para a erosividade

Tabela 10: Erosividade

Precipitação		Erosividade
Meses	mm	MJ.mm/há.h
Janeiro	209	1167.788
Fevereiro	193	1034.804
Março	184	962.4438
Abril	103	398.9044
Maio	85	298.0162
Junho	72	231.6395
Julho	67	207.6651
Agosto	64	193.7149
Setembro	94	347.2082
Outubro	129	561.3802
Novembro	120	503.0128
Dezembro	168	838.3038
Soma Total	1488	Fator R = 6744.881

6.2 Fator erodibilidade do solo (K)

A erodibilidade do solo é diferente de erosão do solo. A intensidade de erosão de uma área qualquer pode ser influenciada mais pelo declive, características das chuvas, cobertura vegetal e manejo, do que pela propriedades do solo. Entretanto, alguns solos são mais facilmente erodíveis que outros, mesmo quando as condições de erodibilidade (declive, precipitação, etc.) são as mesmas. Essa diferença é atribuída às propriedades inerentes ao solo, que é denominada como erodibilidade do solo.

O fator erodibilidade dimensiona a capacidade de um solo sofrer em maior ou menor grau os processos erosivos. As propriedades do solo que influenciam a erodibilidade são aquelas que afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água, bem como resistências diferenciadas às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento.

Bertoni & Lombardi Neto (1990) definem erodibilidade do solo como sendo à sua vulnerabilidade ou suscetibilidade à erosão, que é recíproca da sua resistência à erosão.

O fator erodibilidade do solo (K) tem seu valor quantitativo determinado experimentalmente em parcelas unitárias, dado pela perda de solo (A), por unidade de índice de erosão da chuva (EI).

Através da reclassificação do mapa pedológico obteve-se um novo tema, que foi a da erodibilidade dos solos (K), com os valores de K para cada solo. Os valores adotados para cada tipo de solo foram retirados de BERTONI & LOMBARDI (1990).

A tabela 11 exhibe os valores do fator K

Tabela 11: Fator K

Tipo de solo	Fator K
Podzólicos Vermelho-Amarelo	0,0396
Latossolo Amarelo	0,0133
Cambissolos	0,0350
Solos Gleizados (pouco húmico)	0,0011
Solos Orgânicos	0,0011

6.3 Fator Tolerância à perda (T)

Bertoni & Lombardi Neto (1990) definem como tolerância de perda de solo como a quantidade de terra que pode ser perdida por erosão, expressa em toneladas por unidade de superfície e por ano, mantendo ainda o solo elevado nível de produtividade por longo período de tempo.

Este fator reflete a perda máxima de solo que se pode admitir. Através da reclassificação do mapa pedológico obteve-se este novo tema, que foi a da tolerância a perda dos solos (T). Os valores adotados para cada tipo de solo (tabela 12) são aqueles indicados por Bertoni & Lombardi Neto (1990).

Tabela 12: Fator T

Tipo de solo	Fator T (ton/hã/ano)
Podzólicos Vermelho-Amarelo	7,0
Latossolo Amarelo	14,2
Cambissolos	6,7
Solos Gleizados (pouco húmico)	1,1
Solos Orgânicos	1,1

6.4 Fator Topográfico (LS)

Este é definido pela integração do comprimento de rampa (C) à declividade (D), calculada pela equação proposta por Bertoni & Lombardi Neto (1985):

$$LS = 0.00984 C^{0.63} D^{1.18}$$

- LS = fator topográfico;
 C = comprimento da rampa em metros;
 D = grau de declive, em porcentagem.

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990), a intensidade de erosão pela água é grandemente afetada tanto pelo comprimento do declive como pelo seu gradiente. Esses dois efeitos, pesquisados separadamente, são representados na equação de perda de solo por L e S respectivamente. Porém para a aplicação da equação são considerados conjuntamente como um fator topográfico LS.

O fator topográfico (LS), ainda para Bertoni & Lombardi Neto (1990) é a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer, em relação às perdas de solo correspondentes a uma parcela unitária de 25 metros de comprimento com 9% de declividade.

A declividade foi calculada a partir do Modelo Numérico de Terreno, mas em relação ao comprimento de rampa, reclassificou-se a imagem de declividade, atribuindo-se variados comprimentos de rampa conforme valores sugeridos por Lombardi Neto em trabalhos anteriores (tabela 13).

Tabela 13: Comprimento de Rampa

Classes de Declividade (%)	Comprimento de Rampa (m)
0 – 3	240
3 – 6	120
6 – 12	60
12 – 18	30
> 18	20

6.5 Fator práticas conservacionistas (P)

O fator P é a relação entre a intensidade de perdas de terra com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo).

As práticas mais comuns para as culturas anuais são: plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capinas.

A tabela 14 mostra alguns valores de P da EUPS, para as práticas conservacionistas mais comuns.

Tabela 14: Valores de P para a equação de perda de solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990)

PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS	VALOR DE P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de campinas + plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

6.6 Fator uso e manejo (C)

O fator C (tabela 15) refere-se ao uso do solo, cobertura vegetal e manejo atual do solo. Para Bertoni & Lombardi Neto (1990) o fator C é a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado. Para a obtenção deste fator realizou-se a classificação da imagem *Spot* (foram realizadas novas classificações e verificações de campo. Este item está exposto na parte de classificação).

Esta classificação foi reclassificada nas seguintes classes. Os valores adotados (tabela 15) seguem os recomendados por Donzeli *et al.* (1992).

Tabela 15: Fator C

Classes	Fator C
Solo exposto e/ou urbanização	0.9
Áreas agrícolas	0.2165
Pastagens	0.010
Vegetação Natural e reflorestamento	0.00004

6.7 Resultado da EUPS

O produto obtido com a aplicação do modelo de perda do solo (Figura 42), utilizando a Equação Universal de Perda de Solo apresentou resultados bem satisfatórios, e a saída final mostrou de maneira clara e precisa as principais áreas que ocorrem perda de solo e risco potencial de erosão. Deve-se apenas fazer uma ressalva nas áreas de solo exposto, onde devido a padronização desta classe no fator C, em alguns pontos da área onde o solo exposto aparecia em virtude de estradas e rodovias o resultado nesta área foi considerado de moderado a alto em relação ao potencial natural de erosão, mas de maneira geral os resultados foram bem promissores na avaliação de impactos ambientais e para o planejamento agrícola sustentado.

Apenas 2,07 % da área esta sendo utilizada de forma inadequada (sobreutilizada), com maior risco de erosão, indicando que existe a necessidade de se tomar os cuidados necessários quanto ao manejo do solo para coibir ou minimizar as perdas de solo identificadas na área.

Figura 42: Potencial natural de erosão

A tabela 16 expressa as classes de potencial de erosão definidas a partir do Histograma de frequência

Tabela 16: Classes de Potencial Natural de Erosão escolhidas a partir do Histograma de Distribuição de Frequência. (ton/ha/ano)

POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO	CLASSES
Baixo	000 - 280
Moderado	280 - 450
Alto	450 - 630
Muito alto	630 - 1750

A tabela 17 mostra o potencial natural de erosão em área

Tabela 17: Potencial Natural de Erosão

Potencial Natural de Erosão (classes)	Área (m ²)
Baixo	351.062,855
Moderado	1303,514
Alto	5563,732
Muito alto	1.900,556
Total	359.830,657

7. Restrições Ambientais Legais

A partir do artigo 225 da Constituição de 1988, o meio ambiente foi elevado à condição de bem público, ao dispor que "todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações." Além do art. 225 há ainda:

Art. 5º, LXXIII, legitima qualquer cidadão para propor ação popular destinada a anular ato lesivo ao meio ambiente e ao patrimônio histórico e cultural;

Art. 23º, VI, estabelece a competência concorrente da União e dos Estados para legislar sobre florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do

solo e dos recursos naturais, proteção ao meio ambiente e controle da poluição;
Art. 23º, VIII, trata da competência legislativa concorrente sobre responsabilidade por dano ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico;

Art. 129º, III, coloca dentre as funções institucionais do Ministério Público promover o inquérito civil e a ação civil pública, para proteção do patrimônio público e social, do ambiente e de outros interesses difusos e coletivos; art. 174, § 3º, que estabelece a necessidade de harmonização da atividade garimpeira com a preservação do ambiente;

Art. 200º, VIII, trata da integração do sistema único de saúde com a proteção do ambiente;

Art. 216º, V, relaciona os conjuntos urbanos e sítios de valor histórico, paisagístico, artístico, arqueológico, paleontológico, ecológico e científico como pertencentes ao patrimônio cultural brasileiro;

Art. 170º, VI, inclui a defesa do meio ambiente como um dos princípios da ordem econômica.

A lei nº 4771 de 15 de setembro de 1965 institui o Novo Código Florestal, sendo que esta foi alterada pelas leis nº 7511/86 e nº 7803/89, e em seu artigo 2º (com redação dada pela lei nº 7803/89) lista as áreas que deverão ser consideradas de preservação permanente:

Art. 2º _Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja:

- 1) de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- 2) de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;

- 3) de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
 - 4) de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
 - 5) de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;
- b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;
 - c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados olhos d'água, qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;
 - d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;
 - e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45 , equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;
 - f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;
 - g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;
 - h) em altitudes superiores a 1800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação;

§ único – No caso de áreas urbanas, assim entendidas as compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal, e nas regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, em todo o território abrangido, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso do solo, respeitados os princípios e limites a que se refere este artigo (observa-se a Lei Lehmann).

A lei nº 6938 de 31 de agosto de 1981 alterada pelas leis nº 7804 de 18/7/89 e nº 8028 de 12/4/90, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6/6/90, dispõe sobre a política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação dando outras providências. A Política Nacional do Meio Ambiente, definida a partir do artigo 225 da Constituição Federal, está discriminada no art. 2º da Lei nº 6.938/81. Tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando a

assegurar condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana.

A Política Ambiental nacional está definida com os seguintes princípios:

- a) ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;
- b) racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;
- c) planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;
- d) proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;
- e) controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;
- f) incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;
- g) acompanhamento do estado da qualidade ambiental;
- h) recuperação das áreas degradadas;
- i) educação ambiental em todos os níveis de ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando a capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente.

No seu artigo 4º são descritos os objetivos da Política Nacional do Meio Ambiente.

Art. 4º – A Política Nacional do Meio Ambiente visará:

- a) a compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico;
- b) definição de áreas prioritárias de ação governamental relativa à qualidade e do equilíbrio ecológico, atendendo aos interesses da União, dos Estados, do Distrito Federal, dos Territórios e dos Municípios;
- c) o estabelecimento de critérios e padrões de qualidade ambiental e de normas relativas ao uso e manejo de recursos ambientais;
- d) o desenvolvimento de pesquisa e tecnologia nacionais orientadas para o uso racional de recursos ambientais;
- e) a difusão de tecnologia de manejo do meio ambiente, a divulgação de dados e informações ambientais e a formação de uma consciência pública sobre a necessidade de preservação da qualidade ambiental e do equilíbrio ecológico;

- f) a preservação e restauração dos recursos ambientais com vistas à utilização racional e disponibilidade permanente, concorrendo para a manutenção do equilíbrio ecológico propício à vida;
- g) a imposição, ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados, e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos.

As resoluções CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) vieram complementar leis já estabelecidas e a Resolução CONAMA nº 04 de 18 de setembro de 1985 lista as Reservas Ecológicas:

Art. 3º - São Reservas Ecológicas:

- a) os pousos das aves de arribação protegidos por Convênios, Acordos ou Tratados assinados pelo Brasil com outras Nações;
- b) as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:
 - I – Ao longo dos rios ou de qualquer outro corpo d'água, em faixa marginal além do leito sazonal, medida horizontalmente, cuja largura mínima será:
 - de 5 (cinco) metros para rios com menos de 10 (dez) metros de largura;
 - igual à metade da largura dos corpos d'água que meçam de 10 (dez) a 200 (duzentos) metros;
 - II – Ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais, desde o seu nível mais alto medido horizontalmente, em faixa marginal cuja largura mínima será:
 - de 30 (trinta) metros para os que estejam situados em áreas urbanas;
 - de 100 (cem) metros para os que estejam em áreas rurais, exceto os corpos d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;
 - de 100 (cem) metros para as represas hidroelétricas;
 - III – nas nascentes permanentes ou temporárias, incluindo os olhos d'água e veredas, seja qual for a sua situação topográfica com uma faixa mínima de 50 (cinquenta) metros e a partir de sua margem, de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia de drenagem contribuinte;

- IV – no topo de morros, montes e montanhas, em áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação em relação à base;
- V – nas linhas de cumeadas, em área delimitada a partir da curva de nível correspondente a (dois terços) da altura em relação à base, do pico mais baixo da cumeada, fixando-se a curva de nível para cada segmento da linha de cumeada equivalente a 1.000 (um mil) metros;
- VI – nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 100% (cem por cento) ou 45° (quarenta e cinco graus) na sua linha de maior declive;
- VII – nas restingas, em faixa mínima de 300 (trezentos) metros a contar da linha de preamar máximo;
- VIII – nos manguezais, em toda a sua extensão;
- IX – nas dunas, com vegetação fixadora;
- X – nas bordas de tabuleiros ou chapadas, em faixa com largura mínima de 100 (cem) metros;
- XI – em altitude superior a 1.800 (um mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a sua vegetação;
- XII – nas áreas metropolitanas definidas em Lei, quando a sua vegetação se encontrar em clímax ou em estágios médios e avançados de regeneração.

Art. 4º - Nas montanhas ou serras, quando ocorrem dois ou mais morros cujos cumes estejam separados entre si por distâncias inferiores a 500 (quinhentos) metros, a área total protegida pela Reserva Ecológica abrangerá o conjunto de morros em tal situação e será delimitada a partir da curva de nível correspondente a (dois terços) da altura, em relação à base do morro mais baixo do conjunto.

Ainda o Código Florestal (Lei n. 4.771/65) estabelece que os proprietários de terras situadas nas regiões Leste Meridional, Sul e Centro-Oeste (esta última na sua parte sul) poderão explorar as florestas de domínio privado, desde que reservem em suas propriedades o limite mínimo de 20% da área total, a critério da autoridade competente. Esta área recebe o nome de Reserva Florestal Legal

(RFL) e está protegida contra o corte raso. Além disso, deve ser averbada à margem da inscrição de matrícula do imóvel sendo vedada a alteração de sua destinação quando houver transmissão ou desmembramento.

Art °. 16 - As florestas de domínio privado, não sujeitas ao regime de utilização limitada e ressalvadas as de preservação permanente, previstas nos artigos 2º e 3º desta Lei, são suscetíveis de exploração, obedecidas as seguintes restrições:

a) nas regiões Leste Meridional, Sul e Centro-Oeste, esta na parte sul, as derrubadas de florestas nativas, primitivas ou regeneradas, só serão permitidas desde que seja, em qualquer caso, respeitado o limite mínimo de 20% da área de cada propriedade com cobertura arbórea localizada, a critério da autoridade competente;...

§1º Nas propriedades rurais, compreendidas na alínea "a" deste artigo, com área entre 20 e 50 hectares, computar-se-ão, para efeito de fixação de limite percentual, além da cobertura florestal de qualquer natureza, os maciços de porte arbóreo, sejam frutíferos, ornamentais ou industriais.

§2º A reserva legal, assim entendida a área de, no mínimo, 20% de cada propriedade, onde não é permitido o corte raso, deverá ser averbada à margem de inscrição de matrícula do imóvel, no registro de imóvel competente, sendo vedada a alteração de sua destinação, nos casos de transmissão, a qualquer título, ou de desmembramento da área...."

A autoridade federal competente é o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e de Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. Entretanto, no Estado de São Paulo é o Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais (DEPRN) a autoridade competente para autorizar a exploração e para especificar qual a área a ser averbada como Reserva Florestal Obrigatória (Reserva Legal).

No capítulo das análises foi utilizado o fator restrição que atuou como uma 'máscara' como poderá ser observado adiante, sendo que neste fator foram representados as restrições ambientais em relação ao Código Florestal, exceto as áreas de reserva legal, e ao Parque da Campina do Encantado (Parque Estadual criado pela lei nº 10.316 de 26 de maio de 1999)

8. Cartografia Geotécnica

A Associação Internacional de Geologia (International Association of Geology - IAEG, 1976 *apud* Zuquette 1987) o mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico que classifica e representa os componentes do ambiente geológico, os quais são de grande valia para as atividades de engenharia, planejamento, construção, exploração e preservação do meio ambiente.

Zuquette (1987) define o mapeamento geotécnico como sendo um "conjunto de ações que pode ser entendido como um processo que tem por finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico (geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, e outros), sendo que a manipulação destas informações sirvam de subsídios para fins de engenharia, planejamento, saneamento, entre outros". Através de processos de seleção, generalização, adição e transformação as informações são manipuladas para serem relacionadas em mapas, cartas e anexos descritivos.

Freitas *et al.* (1990) cita que as "Cartas Geotécnicas tem por finalidade orientar a consolidação das áreas urbanizadas e a ocupação daquelas destinadas à expansão dos municípios, estabelecendo subsídios eficazes ao equacionamento e a resolução dos problemas oriundos entre a urbanização e o meio físico". Segundo o mesmo autor "a Cartografia Geotécnica de áreas urbanas é um conjunto de técnicas que culmina com a representação gráfica, de fácil e ampla compreensão das características do meio físico de maior relevância à urbanização". Tais características são interpretadas, sintetizadas e apresentadas através da compartimentação em unidades geotécnicas da área estudada. Da análise destas unidades, "resultam orientações técnicas e específicas da caráter

corretivo, aplicáveis em áreas com problemas já desencadeados, e as de caráter preventivo, aplicáveis principalmente na implantação e/ou expansão da área urbana".

Nakazawa *et al.* (1991) comenta que as Cartas Geotécnicas "possibilitam prever o desempenho da interação entre a ocupação e o meio físico, bem como os próprios conflitos entre as diversas formas de uso territorial, e orientar medidas preventivas e corretivas no sentido de minimizar deseconomias e riscos nos empreendimentos de uso do solo". Tanto a possibilidade da previsão quanto da orientação é obtido através do conhecimento das características e dos fenômenos de interesse para as formas de uso e suas solicitações permite a busca orientada de dados e feições no espectro da Geologia, Geomorfologia, Hidrogeologia, Geotecnia de modo a se estabelecerem unidades homogêneas quanto a problemas manifestos ou potenciais.

Quanto aos métodos, atualmente os métodos mais difundidos na Cartografia Geotécnica são os Métodos das Unidades Homogêneas, introduzido no Brasil em 1978 pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), e a Metodologia de Zuquette.

No conceito mais amplo de Cartografia Geotécnica, dado pela Associação Internacional de Geologia, (International Association of Geology - IAEG) pode-se falar que os resultados das análises representam Mapas Geotécnicos, principalmente a análise em relação a Uso Recomendado do Solo representam Mapas geotécnicos, mas não pretendem exprimir Unidades Geotécnicas, como nos métodos mais difundidos, e sim, mostrar tendências, ou seja, em virtude dos fatores utilizados e da sua padronização de pesos, dar tendências as áreas de maior recomendação ao uso, e as áreas mais aptas ao desenvolvimento urbano.

Pode-se observar que as ponderações realizadas nos diversos fatores e na padronização de pesos entre os fatores são ponderações subjetivas mas tentando se basear em aspectos quantitativos, sendo que a grande dificuldade é que esse aspecto quantitativo não é um estado estatístico confiável.

9. Técnicas de Análise em Geoprocessamento

9.1 Avaliação por Critérios Múltiplos

Este tipo de avaliação (*MCE - Multi Criteria Evaluation*) é muito difundido para avaliar e agregar vários critérios. Antes de agregar os vários critérios, os valores desses devem ser reescalados para um intervalo numérico comum, ou seja, os valores dos critérios serão padronizados, e este reescalamento é denominado padronização.

Os critérios podem ser reescalados diferentemente, ou seja, pode-se reescalar os valores apenas em zero e um, onde zero são regiões inaptas e um são as regiões aptas (técnica booleana), ou ainda eles podem ser reescalados de acordo com alguma função para um intervalo particular comum, por critérios determinísticos ou probabilísticos, incorporando-se a incerteza nas medições e nos próprios critérios (técnica *Fuzzy*).

A partir de técnicas de geoprocessamento foram realizadas, análises booleanas e por combinação linear ponderada (com vários critérios sendo padronizados pela técnica *fuzzy*) visando a aptidão ao desenvolvimento urbano e para o uso recomendado do solo. Utilizou-se o Sistema de Informações Geográficas *Idrisi 2.0* para estas análises.

9.1.2 Análise Booleana

O método booleano considera que cada mapa temático (critério) pode ser um nível de evidência. Os diferentes níveis são combinados para elaborar uma hipótese ou proposição, sendo que cada componente de um nível é classificado como satisfazendo (1) ou não satisfazendo (0) uma hipótese (ou proposição).

As principais operações booleanas são as operações And e Or. Na operação booleana And, os diferentes níveis são combinados produzindo uma imagem binária (ou booleana) final, onde o valor 1 indica que a área satisfaz todas as condições, e o valor 0, que a área não satisfaz uma ou mais condições.

Na operação booleana OR, os diferentes níveis são combinados e a imagem binária final, onde o valor 1 indica que a área satisfaz pelo menos uma das condições, e o valor 0, que a área não satisfaz nenhuma das condições exigidas.

A simplicidade do método *booleano* é um aspecto positivo, entretanto este método não dá o peso devido à cada critério, portanto exhibe resultados rígidos. Como só apresenta resultados 0 ou 1, na classe 1, não consegue exprimir a variação de aptidão que existe na classe foi determinada como apta

9.1.3 Análise *booleana* visando as áreas com aptidão ao desenvolvimento urbano

Na análise booleana, visando as áreas com aptidão ao desenvolvimento urbano foram considerados os seguintes fatores: uso do solo (1998), declividade, risco de inundação e áreas de restrições ambientais.

9.1.3.1 Fator Uso do Solo

Como pode ser no mapa de Uso do Solo as classes de uso de solo foram divididas em:

- Áreas de Cultivo de chá;
- Áreas de Cultivo (principalmente a bananicultura);
- Áreas de Pastagens;
- Vegetação Estágio Inicial;
- Áreas de Solo Exposto;
- Áreas de Vegetação Arbórea;
- Áreas Alagadiças;
- Áreas de Rio/Represa/lago.

Deste modo as categorias que apresentam restrições ao desenvolvimento urbano são derivadas do mapa de uso do solo.

É importante salientar que separou-se a área urbana nesta análise, em virtude de já ser uma área de ocupação.

A tabela 18 expressa as áreas aptas e as áreas inaptas.

Tabela 18: áreas aptas e áreas inaptas

Áreas aptas	Valor	Áreas inaptas	valor
Solo exposto	1	Rios/represas/lagos	0
Cultivo de chá, outras áreas de cultivo	1	Regiões alagadiças	0
Vegetação est. inicial	1	Área urbana	0
Vegetação arbórea	1		

9.1.3.2 Fator Declividade

O mapa de declividades foi reclassificado de modo que as áreas que apresentam declividades inferiores a 20% foram consideradas aptas (1) e as áreas que apresentam declividades acima de 20% foram consideradas inaptas (0).

9.1.3.3 Fator Risco de Inundação

Foi gerado um fator temático que apresenta as áreas com principais risco de inundações da região. As áreas que apresentam qualquer possibilidade de risco de inundação foram consideradas inaptas (0) e as áreas que não apresentam riscos de inundação foram consideradas aptas (1).

9.1.3.4 Fator Restrição Ambiental

Foi gerado um mapa temático que apresenta as restrições ambientais no município de Pariquera-Açu.

Várias restrições ambientais foram colocadas neste fator, e estas são:

- área do Parque Estadual "Campina do Encantado" ;
- as áreas de topo de morro, conforme restrição estabelecida pelo Código Florestal;
- as áreas ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal.

As áreas com restrições ambientais foram consideradas inaptas (0) e as demais áreas aptas (1).

9.1.3.5 Resultado do emprego da técnica de análise *Booleana*

Com todos os fatores padronizados, ou seja, transformados em imagens *booleanas*, executa-se a operação *and*, onde todos os fatores foram combinados entre si gerando o mapa temático de aptidão (1) e inaptidão (0) ao desenvolvimento urbano, representado pela figura 43

Figura 43: Análise Booleana visando a aptidão ao des. urb.

9.1.4 Análise por Combinação Linear Ponderada

Esta análise utiliza a aptidão de todas as classes dos fatores, e não são mais expressos como na análise Booleana em 0 e 1, mas agora em dados contínuos, e desta forma possibilita a integração de todas as classes, ou seja, as classes com baixa aptidão até as classe de mais alta aptidão.

A grande vantagem da utilização da Combinação Linear Ponderada é a possibilidade de dar diferentes pesos relativos para cada um dos fatores no processo de agregação.

Os pesos dos fatores são atribuídos individualmente a cada fator, indicando a importância relativa de cada fator em relação aos demais, e também controlam como os fatores irão compensar-se, ou seja, fatores com alta aptidão em um determinado local irão compensar outros fatores com baixa aptidão no mesmo local. É justamente o peso de compensação (peso do fator) que determinará o grau que um fator irá compensar o outro.

No SIG *Idrisi 2.0* o módulo *weight* utiliza a técnica de comparação pareada para o desenvolvimento de um conjunto de pesos de fatores.

A partir da análise pareadas dos fatores, ou seja, é comparada entre os fatores a sua importância relativa com os demais, da seguinte forma: O usuário irá definir um peso a cada par de fatores apresentando a sua importância relativa, e este peso definido deverá considerar os dois fatores envolvidos nesse análise pareada.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	fortemente	moderadamente	igualmente	moderadamente	fortemente	extremamente		
Pouco Importante							Muito Importante	

Para melhor compreensão deste tipo de análise pode-se exemplificar da seguinte forma (tabela 19):

Tabela 19: Exemplo de análise pareada

	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
	Extremamente Pouco Importante	fortemente	moderadamente	igualmente		moderadamente		fortemente	extremamente
									Muito Importante
			Geologia	Inundação	Uso do Solo	declividade			
Geologia			1	X	X	X			
Inundação			1,5	1	X	X			
Uso do Solo			2	1,5	1	X			
Declividade			3	2	1,5	1			

No exemplo acima tem-se a análise para o Uso Recomendado do Solo, que mais adiante será discutida, mas pode-se perceber que ao comparar a Inundação com a Geologia, nesta ordem, a primeira tem uma importância relativa 1,5 maior que a Geologia, e assim sucessivamente.

9.1.5 Técnica *Fuzzy*

Segundo Bonham-Carter (1994), enquanto que na técnica booleana para a construção dos fatores estes eram reescalados em 0 e 1, e desta forma cada componente de um nível de informação é classificado como satisfazendo (1) ou não satisfazendo (0) uma condição, no método *fuzzy* pode-se construir os fatores de maneira que cada membro de um nível de informações pode ser classificado numa escala contínua que varia de 0 a 1. O valor 1 indica que o componente satisfaz totalmente as condições exigidas, enquanto que o valor 0 indica que o componente não satisfaz as condições. Valores intermediários indicam que o componente satisfaz parte das condições exigidas.

Na utilização dos fatores *fuzzy* no SIG *Idrisi* estes são padronizados para um intervalo no formato *byte* entre 0 (inaptidão) e 255 (mais elevada aptidão). O módulo *Fuzzy* do *Idrisi* tem três funções de pertinência implementadas: função sigmoidal, linear e em forma de J, sendo que essas funções de pertinência podem ser definidas como crescente, decrescente ou simétrica.

Um exemplo dado por Bonham-Carter (1994) é o do teor de arsênio (As) nos sedimentos de um lago. Valores maiores que 250 ppm de As definem a amostra como anômala, enquanto concentrações iguais ou menores que 50 ppm são consideradas normais (*background*). Ou seja, áreas com concentrações de As maiores que 250 ppm tem seu valor *fuzzy* igual a 1; para áreas com concentração igual ou menor que 50 ppm o valor *fuzzy* dado é 0. Entre estes extremos há uma escala de possíveis valores, dada pela função:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x < 50 \\ \frac{x-50}{200} & 50 < x < 250 \\ 1 & x > 250 \end{cases}$$

onde x é a concentração de As, e $\mu(x)$ é função membro *fuzzy*. Todo valor de x associado com o valor de $\mu(x)$, e os pares ordenados $[x, \mu(x)]$ são conhecidos como conjunto *fuzzy*. O formato da função não precisa ser necessariamente linear, podendo ser desenvolvida analiticamente ou arbitrariamente, de acordo com o problema estudado.

Com dois ou mais mapas classificados de acordo com o método *fuzzy*, pode-se aplicar os operadores *fuzzy* AND e OR, que funcionam de maneira semelhante às operações booleanas AND e OR.

9.1.6 Análise por Combinação Linear Ponderada visando a aptidão ao desenvolvimento urbano

Na análise por Combinação Linear Ponderada visando a aptidão ao desenvolvimento urbano foram considerados os seguintes fatores: uso do solo (1998), distância da área urbana, risco de inundação, declividade, distância das principais rodovias e restrições ambientais. Os fatores serão reescalados de acordo com regras de decisão *fuzzy* onde áreas aptas e inaptas constituem

medidas contínuas.

9.1.6.1 Fator Uso do Solo

As restrições ao desenvolvimento urbano consideradas na análise booleana foram mantidas, ou seja, as regiões alagadiças, rios/represas/lagos e áreas urbanas são inaptas e deste modo representam restrições absolutas (0), conforme exibe a tabela 20

Tabela 20: Valores atribuídos as áreas aptas no fator uso do solo

Áreas aptas	Valor	Áreas inaptas	valor
Solo exposto	255	Rios/represas/lagos	0
Cultivo de chá, tangerina, banana	75	Regiões alagadiças	0
Vegetação est. inicial	200	Área urbana	0
Vegetação arbórea	125		

As regiões que apresentam condições favoráveis para o desenvolvimento urbano (tabela XX) foram consideradas em ordem decrescente de aptidão: solo exposto (255), vegetação rasteira (200), vegetação arbórea (125) e áreas de cultivo (75).

9.1.6.2 Fator Distância do centro da cidade

Com o auxílio do módulo *distance* foram calculadas as distâncias a partir da área urbana de Pariquera-Açu até o limite do município. Essas distâncias foram reescaladas para um índice de aptidão no qual a maior distância (18.127,324m) possua o menor índice de aptidão (0) e a menor distância o maior índice de aptidão (255). A função de decréscimo linear simples é apropriada para este critério, ou seja, à medida que aproxima-se do centro da cidade a aptidão aumenta.

9.1.6.3 Fator Risco de Inundação

Este fator foi derivado de duas linhas de raciocínio. As áreas inundáveis foram derivadas da Imagem de satélite, através da Classificação Supervisionada, utilizando o método da Máxima Verossimilhança.

A imagem do Satélite *Spot* é de julho de 1998, e as áreas classificadas como áreas alagadiças e as áreas inundáveis foram consideradas áreas inundadas, portanto não recomendável ao uso, e considerada com o valor 0. Como a resposta espectral não representa com absoluta certeza que as áreas classificadas como alagadiças são na realidade áreas alagadiças, onde por vezes podem representar o acúmulo de água na copa das árvores, considerou-se que nas áreas com declividade acima de 10% seria improvável o aparecimento de áreas alagadiças. Assim foram eliminadas das áreas alagadiças aquelas com declividade acima de 10%.

Na média o mês de julho é o mês com mais baixa pluviosidade (67 mm), o que corresponde à área classificada na imagem e o mês de janeiro como mais alta pluviosidade (cerca de 209 mm).

Para agregar a informação da pluviosidade no fator de risco à inundação, foi considerado um raciocínio linear/proporcional simples, ou seja, mais chuva maior área alagada. Observou-se que as áreas alagadiças correspondem a uma área de 40,9 km², o que representaria uma pluviosidade de 67 mm, e para uma pluviosidade de 209 mm, máxima da área, deve-se ter uma área de 127,7 km², o que corresponde a um *buffer* de 50 m em torno das áreas inundáveis.

Para as áreas classificadas na imagem como áreas inundáveis foi atribuído o valor de 0, ou seja, áreas restritas ao uso, e para as áreas situadas no *buffer* de 50 o valor de 235, nessas áreas que correspondem as áreas de precipitação máxima, foi considerado esse valor em razão da história da região, que mostra que Pariquera sofreu apenas um grande evento de inundação nos últimos 14 anos, para as demais áreas utilizou-se o valor de 255, ou seja, áreas sem a possibilidade de inundação.

É importante salientar que este é apenas o Fator de Risco à Inundação e não tem a pretensão de ser um mapa de Risco à Inundação, onde esse deverá ser

muito melhor elaborado, com uma metodologia respeitando o Ciclo Hidrológico e com informações temporais melhores. Esse fator deve ser observado conjuntamente com os outros fatores no resultado da análise.

9.1.6.4 Fator Distância das Principais Vias

Com o auxílio do módulo *distance* foram calculadas as distâncias que entre as principais vias de Pariquera-Açu e as demais regiões do município. Essas distâncias foram reescaladas para um índice de aptidão na qual a maior distância (7.803,51 m) possui o menor índice de aptidão (0) e a menor distância o maior índice de aptidão (255). A função mais apropriada para este caso, é a função decrescente em forma de J.

9.1.6.5 Fator Declividade

As restrições consideradas na análise *booleana* foram mantidas, ou seja, são inaptas as regiões que apresentam declividades superiores a 20%. As declividades inferiores a 20% foram reescaladas utilizando a função sigmoidal para o intervalo 0 a 255.

9.1.6.6 Fator Restrições Ambientais

Simplesmente este fator foi mantido como na análise *booleana*, e atuará como uma máscara, mantendo seu critério de restrição.

A tabela 21 abaixo representa a análise pareada entre os fatores considerados, como explicado no item 9.1.4.

Tabela 21: Análise ponderada visando à aptidão ao desenvolvimento urbano

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	fortemente	moderadamente	Igualmente	moderadamente	fortemente	extremamente		
Pouco importante			Muito importante					
	fator uso do solo	fator distância do centro urbano	fator risco de inundação	fator declividade	fator distância das principais vias			
fator uso do solo	1							
fator distância do centro urbano	1/5	1						
fator risco de inundação	1/7	3	1					
fator declividade	1	5	3	1				
fator distância das principais vias	1/3	1	1/3	1/5	1			

Autovalores dos pesos :

fator uso do solo : 0.4051

fator distância do centro urbano : 0.0604

fator risco de inundação : 0.1297

fator declividade : 0.3343

fator distância das principais vias : 0.0705

Índice de consistência = 0.07

Consistência é aceitável

O resultado da análise para aptidão ao desenvolvimento urbano utilizando o método por combinação linear ponderada está representado na figura 44.

Figura 44: Análise por CLP visando a aptidão ao desen. urbano

9.1.7 Análise por Combinação Linear Ponderada visando o Uso Recomendado do Solo

Para análise de Uso Recomendado do Solo foram utilizados os seguintes fatores:

- Áreas de Inundação;
- Declividade;
- Geologia;
- Uso do Solo;

E como fator de restrição, atuando como uma máscara, o fator de Restrição Ambiental.

9.1.7.1 Fator: Áreas de Inundação

Este fator é o mesmo obtido para a realização da análise anterior, e mais uma vez deve-se lembrar que os fatores devem ser analisados no conjunto da análise.

9.1.7.2 Fator Declividade

As áreas consideradas inaptas são regiões que apresentam declividades superiores a 20%. As declividades inferiores a 20% foram reescaladas utilizando a função sigmoidal para o intervalo 0 a 255.

9.1.7.3 Fator Uso do Solo

O Fator Uso do Solo foi obtido a partir da Classificação Supervisionada, utilizando o método da Máxima Verossimilhança, na Imagem do Satélite *Spot* de julho de 1998.

Na Classificação do Uso do Solo chegou-se a 7 (sete) classes distintas:

- Áreas de Cultivo de chá;
- Áreas de Cultivo (principalmente a bananicultura);
- Áreas de Pastagens/ Vegetação Estágio Inicial;

- Áreas de Solo Exposto;
- Áreas de Vegetação Arbórea;
- Áreas Alagadiças;
- Áreas de Rio/Represa/lago.

Para facilitar o entendimento e o raciocínio durante a fase de ponderação foi feita uma padronização dos pesos numa escala de 0 (zero) a 10 (dez). Para o processamento estes valores foram convertidos para a escala de 0 a 255 para compatibilização com os demais fatores. Deste modo, atribui-se o valor zero as áreas não recomendadas ao uso, ou seja, as áreas alagadiças e as áreas de Rio/represa/lago.

Nas áreas de solo exposto foi atribuído o peso 5, ou seja, uma área intermediária de recomendação. Em relação as áreas de vegetação arbórea, em virtude das restrições ambientais impostas e por estarem situadas em áreas de alta declividade (em geral acima de 15%) foi atribuído o peso 3, e nas áreas de cultivo de banana atribui-se o peso 4 por não apresentarem as mesmas restrições ambientais que nas áreas de vegetação arbóreas, mas estão situadas em regiões de declividades em geral superiores a 10%. Nas áreas de pastagens e nas áreas de solos exposto foi atribuído o peso 6, onde são áreas mais recomendadas ao uso do que as áreas de solo exposto, mas podem possuir algum tipo de restrição ambiental. As áreas mais recomendadas ao uso foram as áreas de cultivo de tangerina e cultivo de chá. As áreas de cultivo de tangerina recebeu peso 7,5 em virtude de quase não possuir restrições ambientais e de se localizarem em áreas planas, mas não são tão recomendadas quanto as áreas de cultivo de chá em virtude de suas pequenas extensões, não são áreas tão homogêneas quanto as áreas de chá. Nas áreas de cultivo de chá atribui-se peso 9 (nove) para a recomendação de uso, em virtude da sua localização, das baixas declividades, das elevadas extensões em áreas homogêneas e das baixas restrições ambientais que ali se tem.

9.1.7.4 Fator Geologia

O Mapa Geológico de Pariquera-Açu apresenta as principais litologias como sendo:

- Fm. Pariquera-Açu;
- Coberturas Sedimentares Quaternárias;
- Metassedimentos;
- Migmatitos;
- Depósitos de Cascalhos;
- Sedimentos Inconsolidados Continentais;
- Rochas Graníticas.

Em relação às litologias, para a recomendação ao uso do solo, pode-se considerar que as áreas onde ocorrem as rochas graníticas recebem uma recomendação zero (0), em virtude de que esta aflora quase continuamente, o que implica em solos muito rasos e em vários locais há ausência de solo, fato este que impossibilita quase de maneira total o uso do solo nessas regiões.

Os Sedimentos Continentais Inconsolidados apresentam cobertura de solo orgânico com muita matéria orgânica e em geral estão localizados nas áreas constantemente alagadas, e em decorrência desses fatores o uso do solo nessas regiões fica bastante restrito; não há uma restrição total como nas áreas de rochas graníticas, mas existe uma alta restrição, e numa escala de zero (0) a dez (10) foi atribuído o valor de 3,5.

Em relação aos depósitos de cascalhos devido a ser uma litologia formada por cascalhos com matriz arenosa (são representados por cascalhos oligomíticos com matriz arenosa e clastos constituídos de quartzo e quartzito arredondados) apresentam um grau de sustentação para suporte intermediário, e em virtude desse fator atribui-se o valor 5 para recomendação ao uso.

Tanto os metassedimentos quanto os migmatitos (pertencentes a seqüência Proterozóica Turvo Cajati) apresentam-se alterados em diversos locais, principalmente os metassedimentos, mas não foi constatado nenhum evento de deslizamento ou instabilidade nessas áreas, e em geral localizam-se nas áreas de

maior declividade do município, especialmente os metassedimentos (área sul), fator que dificulta em termos o uso do solo, foi atribuído, novamente em uma escala de zero (0) a dez (10) o valor de 6,5 para a recomendação ao uso.

Os sedimentos Aluvionares, compostos por aluviões em várzeas e baixos terraços, apresentam uma boa estabilidade, e em geral não apresentam restrições em relação à inundação como apresentava os sedimentos inconsolidados por estes estarem em regiões constantemente alagadas, mas podem apresentar áreas sujeitas à inundação nos meses de maior pluviosidade. A eles foi atribuído, novamente em uma escala de zero (0) a dez (10) o valor de 7,5 para a recomendação ao uso.

A formação Pariquera-Açu foi considerada a litologia que mais apresentou características adequadas em relação a recomendação ao uso do solo. Em virtude de seu comportamento em relação a suporte de carga, a espessura de solo, a pouca restrição ambiental nas áreas dessa Formação, foi atribuído, novamente em uma escala de zero (0) a dez (10) o valor de 8,5 para a recomendação ao uso.

A tabela XX abaixo representa a análise pareada entre os fatores considerados

Tabela 22: Análise ponderada visando o uso recomendado do solo

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente Pouco Importante			Igualmente Moderadamente			Extremamente Muito Importante		
			Geologia	Inundação	Uso do Solo		declividade	
Geologia			1		X		X	X
Inundação			1,5		1		X	X
Uso do Solo			2		1,5		1	X
Declividade			3		2		1,5	1

O autovetor dos pesos é:

geologia: 0.1330

inundação: 0.1938

uso do solo: 0.2741

declividade: 0.3991

Razão de consistência = 0.00

☐

Consistência aceitável.

☐

A figura 45 apresenta o resultados da análise. A classe 1 representa as restrições impostas pela legislação vigente, ou seja, são áreas que têm o uso do solo limitado. Da classe 2 em diante há possibilidade de uso, mas nesta classe, em virtude dos parâmetros utilizados e dos pesos ponderados, há uma baixa recomendação ao uso. Esta recomendação aumenta até o máximo na classe 10.

9.1.8 Independência Condicional – Uso dos Dados Geológicos

A utilização do fator Geologia na análise de recomendação ao Uso do Solo em detrimento da utilização dos dados pedológicos e dos dados geomorfológicos foi devido a alta correlação que estes apresentam entre si, sendo que nas análises multi-criteriais a independência condicional é importante para o bom resultado da análise, ou seja, considera-se que a informação de cada fator distinto não deve repetir as informações contidas em outro fator.

Existe uma alta correlação espacial entre os dados geológicos, pedológicos e geomorfológicos. Notou-se que em determinadas áreas há repetição da mesma informação, por exemplo os sedimentos aluvionares no mapa geológico, os solos orgânicos e gleizados no mapa pedológico e as planícies fluviais no mapa geomorfológicos são derivados geralmente de fenômenos intimamente ligados. A geologia foi considerada o fator básico do qual foram derivadas a geomorfologia e a pedologia. E também em virtude dos dados geológicos representarem a base mais precisa dos levantamentos, devido à extensa conferência de campo realizada, a compilação dos trabalhos anteriores que foram consultados, e as correções pelos dados de Sensoriamento Remoto.

Para o tipo de análise que está sendo realizado a repetição dessas informações pode causar um desvio do resultado final, pois aumentaria o grau de importância dessas áreas no resultado da análise em detrimento de outras áreas também importantes. Isso poderia ocorrer devido à metodologia empregada.

No texto e tabelas 23 e 24 à frente apresenta-se a análise de correlação entre os mapas temáticos de Geologia, Pedologia e Geomorfologia, que fundamenta a necessidade de utilização de apenas um dos fatores nas análises de favorabilidade e risco.

Tabela23: Tabulação Cruzada entre Geologia e Geomorfologia

	0 (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	7 (%)	8 (%)	9 (%)	10 (%)
0 (%)	99.82	0.2	0	0	0.19	0	0	0.01	0	0	0
1 (%)	0.02	5.04	1.55	91.73	31.73	69.15	1.12	4.25	0	97.67	17.48
2 (%)	0.03	2.23	0	1.02	60.4	3.01	0.54	0	0	0.79	0
3 (%)	0	11.12	0	6.39	6.5	25.93	97.82	91.86	45.59	0	61.18
4 (%)	0.01	5.71	98.03	0	0	0.23	0	0	0	0	21.34
5 (%)	0.12	75.7	0.42	0.86	1.18	1.68	0.52	3.88	54.41	1.54	0
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Na tabela acima é representada nas colunas a Geologia com suas respectivas litologias, que são:

0. Fora da área
1. Sedimentos Aluvionares
2. Sedimentos Continentais Indiferenciados
3. Migmatito
4. Metassedimentos
5. Fm. Pariquera-Açu (F. fanconglomerática)
6. Fm. Pariquera-Açu (F. lacustre)
7. Fm. Pariquera-Açu (F. meandrante)
8. Depósitos de cascalhos
9. Alcalinas
10. Granito

E nas linhas é representada a geomorfologia com suas respectivas classes

0. Fora da área
1. Planalto Ribeira Turva (alta concentração de drenagem)
2. Planalto Ribeira Turva (baixa concentração de drenagem)
3. Depressão do Baixo Ribeira
4. Planície Litorânea Iguape-Cananéia
5. Planície Fluvial

Analisando a tabela pode-se perceber a alta correlação existente entre os dados Geológicos e Geomorfológicos. Por exemplo:

Ao observar apenas os Sedimentos Aluvionares tem-se que 75,7 % da área que estes ocupam no Mapa Geológico correspondem à Planície Fluvial no Mapa de Geomorfologia. Em relação à Fm. Pariquera-Açu, fácies lacustre e meandrante, tem-se que 97,82% e 91,86% respectivamente de sua área no Mapa Geológico correspondem à unidade do depressão do Baixo Ribeira.

Tabela 24: Tabulação Cruzada entre Geologia e Pedologia

	0 (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	7 (%)	8 (%)	9 (%)	10 (%)
0 (%)	99,78	0,28	0,04	0,02	0,2	0	0	0,02	0	0	0
1 (%)	0	5,9	0,08	6,21	4,65	5,69	0	76,41	26,42	0	15,99
2 (%)	0	6,66	0,31	20,29	5,01	50,56	86,11	7,63	7,09	20,96	56,86
3 (%)	0,04	7,58	0	61,44	45,9	17,36	1,21	3,12	0	66,78	0
4 (%)	0	0,03	7,27	0	0	0	0	0	0	0	0
5 (%)	0,08	7,03	0,13	0	0	0	0	0	19,43	0	0
6 (%)	0,04	1,69	0	3,28	38,02	1,35	0	0	0	4,01	0
7 (%)	0,02	14,72	0	3,02	4,91	8,2	4,04	2,42	0	0	0
8 (%)	0,04	54,4	92,17	5,74	1,02	12,65	8,64	10,4	47,06	8,25	24,15
9 (%)	0	1,71	0	0	0,29	4,19	0	0	0	0	0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Na tabela acima é representada nas colunas a Geologia com suas respectivas litologias, que são:

0. Fora da área
1. Sedimentos Aluvionares
2. Sedimentos Continentais Indiferenciados
3. Migmatito
4. Metassedimentos
5. Fm. Pariquera-Açu (F. fanconglomerática)
6. Fm. Pariquera-Açu (F. lacustre)
7. Fm. Pariquera-Açu (F. meandrante)
8. Depósitos de cascalhos

9. Alcalinas

10. Granito

E nas linhas é representada a pedologia com suas respectivas classes:

0. Fora da área

1. LAa - Latossolo Amarelo

2. PVLa-1/2 - Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico Álico

3. PVa - Podzólico Vermelho-Amarelo Tb Álico

4. PV - Podzólico Vermelho-Amarelo Ta Álico

5. Ce - Cambissolo Tb Eutrófico A

6. Ca-2 - Cambissolo Tb Álico A

7. Ga - Glei pouco húmico Tb endotiomórfico epidistrófico A

8. Solo Orgânico

9. Área Urbana

10. Considerações Finais

A utilização de técnicas de análise para apoio à decisão multicritério é uma importante ferramenta para o planejamento físico-territorial, onde uma série de fatores são levados em consideração.

Os resultados obtidos na Equação Universal de Perda de Solo foram muito satisfatórios, pois, apesar da influência do fator C, nas áreas de estradas e rodovias, classificadas como solo exposto, indicou áreas que apresentam potencial erosão e algumas destas apresentam processos erosivos.

As imagens de satélite, principalmente as do SPOT, foram de grande importância para o estudo do uso do solo. Este foi feito a partir de classificações supervisionadas que, a partir de verificações de campo foram sendo aprimoradas, com melhor definição de áreas de treino, e também com determinação direta, por observação no terreno, do uso atual do solo em casos nos quais os resultados de

classificação eram ambíguos, por exemplo, quando pela classificação da imagem era difícil de distinguir áreas de mata densa de outras com bananais.

Além disso o sensoriamento remoto auxiliou na compilação dos mapas geológico e pedológico, tendo também sido realizada a compartimentação morfológica da área, elemento básico para a obtenção do mapa geomorfológico, a partir de técnicas de realce, especialmente análise de componentes principais e conversão para o espaço IHS.

A metodologia para execução do mapa de fator risco de inundação, considerado nas análises, foi considerada adequada aos objetivos do trabalho, por ser aplicável a regiões onde não existem dados temporais. Entretanto, o ideal seria a realização de estudos hidrológicos apropriados, empregando dados temporais.

Na análise para o desenvolvimento urbano, foram utilizados os métodos Booleano e de Combinação Linear Ponderada. No método booleano ocorre a sobreposição de fatores, resultando em resposta rígida de sim ou não, ou seja, determinada área é apta para o desenvolvimento urbano e determinada área é inapta para tal desenvolvimento. Ao utilizar-se o método de análise por Combinação Linear Ponderada, reescalando os diversos fatores pela técnica *Fuzzy*, cada fator pode ser descrito por uma função específica que melhor o descreva. Ao executar as combinações, a atribuição de pesos entre os fatores permite o uso do conceito de variabilidade entre classes, onde não são apenas consideradas decisões rígidas.

Na análise para o uso recomendado do solo, o fator que mais a influenciou foi a geologia, pois nesta análise apenas estão considerados os dados do meio físico, com exceção do uso do solo, de forma diferente da análise de aptidão ao desenvolvimento urbano, onde são considerados fatores não físicos, como proximidade do centro urbano e proximidade das principais vias, além dos usos atuais dos solos, que dificultam uma mudança de uso.

Os dados de pedologia e geomorfologia não foram utilizados para a análise de recomendação de uso do solo, pois uma tabulação cruzada entre estes fatores e o de geologia apontou uma alta correlação entre eles. Na análise por

multicritérios a independência condicional é importante para o bom resultado da análise, ou seja, considera-se que a informação de cada fator distinto não deve repetir as informações contidas em outro fator. Assim sendo, a geologia foi considerada o fator básico do qual foram derivadas a geomorfologia e a pedologia. Esta também foi escolhida em virtude dos dados geológicos representarem a base mais precisa dos levantamentos, devido à extensa conferência de campo realizada, a compilação dos trabalhos anteriores que foram consultados, e as correções pelos dados de Sensoriamento Remoto.

Apesar da consideração inicial, na análise de recomendação ao uso, ponderar a geologia como fator de menor importância, com a combinação destes fatores, observou-se que o resultado da análise aproximou-se muito da distribuição espacial das unidades geológicas. Esta menor importância foi atribuída porque o fator geologia não possui nenhum elemento estrutural ou petrológico importante, que condicione obviamente eventos catastróficos ou restrições à ocupação ou edificação. A importância do fator geológico, revelada pela análise é devida a que os fatores de inundação e declividade estão condicionados à geologia da área, de forma análoga à geomorfologia e à pedologia, já discutidas no item que trata da dependência condicional.

Com o resultado da análise de recomendação de uso, pode-se perceber que a parte Sul do município apresenta áreas com baixa aptidão ao uso. Áreas com aptidão elevada e uma grande continuidade, com baixa fragmentação, foram identificadas nas partes central e Norte do município, sendo assim estas a mais recomendadas para ocupação por atividades produtivas ou expansão urbana.

Esta análise de recomendação ao uso deve ser considerada em linhas gerais, pois não determina o uso que deverá ser dado ao solo e sim, considerando os dados do meio físico, indica as melhores áreas para os diversos usos, observando as limitações impostas por fatores físicos adversos.

Conclui-se que a utilização de técnicas de geoprocessamento para subsidiar o município e auxiliá-lo no planejamento físico-territorial é de fundamental importância, pois tem a capacidade de agregar vários fatores e dizer o seu grau de importância de acordo com a finalidade do estudo.

Os resultados do estudo aqui relatado devem ser considerados como contribuições para o planejamento do uso do solo do município, que deverá ser expresso no Plano Diretor. Eles fornecem um arcabouço físico-ambiental, que, combinado com os objetivos da população, representada por seus legisladores, resultará no zoneamento de uso do solo que orientará a ocupação da região de acordo com os princípios do desenvolvimento sustentável.

11. Bibliografia

AUGUSTO FILHO, O. (1992). Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo, DIGEM/AGAMA. p.77-100.

AUGUSTO FILHO, O. (1994). *Cartas de riscos de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela*. São Paulo, 168p. (Dissertação - Mestrado) - Engenharia Civil, Escola Politecnica, Universidade de São Paulo.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. (1985). *Conservação do Solo*. Piracicaba, Livroceres. 392p.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. (1990) *Conservação do Solo*. São Paulo, Ícone,. 353p

BONHAM-CARTER, G.F. (1994). *Geographic information system for geoscientists: modelling with G.I.S*. Ottawa, Pergamon. 398p.

BURROUGH, P. A. (1986). *Principles of geographical information system for land resources assessment*. Oxford, Clarendon. 191p.

Celestino, T, Diniz, N. (1998)- *Informática - Geologia de Engenharia*_ ABGE, São Paulo,

COSTA, S.M.F.da; SILVA E.A. da. (1993). Urbanização da área metropolitana de Belo Horizonte. O monitoramento do crescimento urbano através do SIG/INPE. IN: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., Curitiba. *Anais*. São José dos Campos, INPE. v.1 p. 41-46.

COTTAS, L.R. (1983). *Estudos Geológico-Geotécnicos aplicados ao planejamento urbano de Rio Claro/SP*. São Paulo, 171P. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Campinas.

CRÓSTA, A. P. (1992). *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. São Paulo, 173P. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Campinas.

DE PLOEY, J. (1981). The ambivalent effects of some factors of erosion. *Memoires de L'Institut Geologique de L'Universite de Louvain*, n.3, p. 171-181.

DONZELI, P. L.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S.A.F.; NOGUEIRA, F.P.; ROTTA, C.L.; LOMBARDI NETO, F. (1992). *Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao diagnóstico básico para o planejamento e monitoramento de micro bacias hidrográficas*. Documentos IAC nº 29, págs. 91-119. Campinas.

GUIMARÃES FILHO, H.A. 1994. *Metodologias para intercâmbio de dados entre programas de CADD, SGBD, PDI e SGI em projetos de exploração mineral*. Campinas - SP, UNICAMP. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, 118p.

- HERMELIN, M. (1990). Geologia y medio ambiente en Colombia: un balance. *Revista EAFIT*, n.80, p. 1-10.
- INFANTI JR, N.; FORNASARI FILHO, N. (1998). *Processos de Dinâmica Superficial*, Capítulo 9, em Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo, SP.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT), 1991. *Manual de Ocupação de Encostas*. São Paulo, SP. 216p.
- LEPSCH, I. F., QUAGGIO, J.A., SAKAI, E., CAMARGO, O.A., VALDARES, J.M.A.S., (1990) - *Caracterização, classificação e manejo agrícola de solos orgânicos do vale do rio Ribeira de Iguape, SP*. Boletim Técnico do Instituto Agrônomo, nº 131, 58 p. Campinas/SP.
- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. (1994). *Remote sensing and image interpretation*. 3.ed. New York, John Wiley & Sons. 733 p.
- LOLLO, J. de (1996). Levantamento das condições do meio físico urbano através do uso da técnica de avaliação do terreno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., Salvador, 1996. *Boletim de Resumos Expandidos*. Salvador, SBG. v.4, p.190-193.
- LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. (1975). *Erodibilidade de solos paulistas*. Campinas, Instituto Agrônomo, 12 p. (Boletim Técnico 27).
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. (1982). *Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP)*. Bragantia, Campinas, v.51, n.2, p. 189-196.
- MELO, M.S. de, 1990 - *A Formação Pariquera-Açu e depósitos relacionados: sedimentação, tectônica e geomorfogênese*. Instituto de Geociências/USP. (Dissertação de Mestrado).

- MOORE, I. D. & WILSON, J. P. *Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: Simplified method of estimation*. J. of Soil and Water Cons. 47(5): 423-428, 1992.
- OGURA, A.T. (1994). Análise de riscos geológicos em planos preventivos de defesa civil. In: __. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS. *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo, ABGE/ IPT. p.203-215.
- OKIDA, R.; VENEZIANI, P. (1994) Caracterização de áreas de riscos associados a escorregamentos e à inundações através de técnicas de Sensoriamento Remoto: uma proposta metodológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Camboriu, 1994. *Boletim de Resumos Expandidos*. Camboriú, SBG. v.1. p. 451-452.
- PARADELLA, W. R. (1998). *Processamento Digital de Imagens de Sensores Ópticos e de Radar aplicados às Geociências*. (curso) Instituto de Geociências/USP.
- PETRONE, Pasquale. (1966). *A baixada do Ribeira*. São Paulo, USP,. (Boletim 283, Cadeira de Geografia, nº14)
- PELOGGIA, A. U. G. (1997). *Delineação e aprofundamento temático da geologia do tecnógeno do município de São Paulo*. São Paulo, 167 p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- PONTES, A.B.; Controle da erosão em áreas urbanas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 1. São Paulo, 1980. *Anais...* São Paulo, ABGE. 1980. P. 35-83.

- RENARD, K.G.; FOSTER, G. R.; WEISSES, G. A. & PORTER, J. P. RUSLE
Revised universal soil loss equation. J. Soil and Water Cons. 46(1): 30-33,
1991.
- ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C., (1997). *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo. Escala 1:500.000. Vol. I.
- SAKAI, E.; LEPSH, I.F.; do AMARAL, A.Z., 1983. Levantamento Pedológico de reconhecimento semi-detalhado da região do Rio Ribeira do Iguape no Estado de São Paulo – Escala 1:100.000.
- SALOMÃO, F.X.T.; ANTUNES, F.S. *Solos*, Capítulo 6, em *Geologia de Engenharia*, ABGE, São Paulo, SP, 1998.
- STAR, J.; ESTES, J.: *Geographic Information Systems: An Introduction*. New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1990. 297 p.
- WEBER, E. J.: *Uso de sistemas de informação geográfica como subsídio ao planejamento em áreas agrícolas: um caso no planalto do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre-RS, 1995. Dissertação (Mestre em Sensoriamento Remoto) Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.
- WEISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. (1965). *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains*. Washington, D. C., USDA,. 47p. (Agriculture Hanbook, number 282).
- WOLLE, C.M.; CARVALHO, C.S. (1989). *Deslizamentos em encostas na Serra do Mar-Brasil*. Solos e Rochas, v.12, n. único, p.27-36.
- ZUQUETTE, L.V. (1987). *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras*. São Carlos: EESC, USP, 2v. Tese

(doutorado em geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ZUQUETTE, L.V. , (1993). *Uso e importância do Mapeamento Geotécnico na avaliação do meio físico*. São Carlos: EESC, USP. 368p. Tese (Livre Docência)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.