GISELE RIBEIRO DE BARROS YAMANOUTH

AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS E DAS TÉCNICAS DE
CONTROLE E REABILITAÇÃO - BACIA DO CÓRREGO DO
ESPRAIADO (SÃO PEDRO - SP)

VOLUME I

Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade
de São Paulo, como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Mestre em Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Lázaro Valentin Zuquette

São Carlos/ 2003

DEDALUS - Acervo - EESC

31100052279

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Geólogo **GISELE RIBEIRO DE BARROS YAMANOUTH**

Dissertação defendida e julgada em 31-10-2003 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Assoc. **LÁZARO VALENTIN ZUQUETTE** (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovada

Prof. Assoc. **OSNI JOSÉ PEJON**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovada

Prof. Dr. **REINALDO LORANDI**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado

Prof. Assoc. **LAZARO VALENTIN ZUQUETTE**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia

Profa. Assoc. **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Dedico este trabalho as pessoas mais importantes de minha vida: aos meus pais, Antônio e Glória, a Geisiana e ao Myrko.

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre iluminar o meu caminho, principalmente nos momentos mais difíceis da minha vida.

Ao professor Dr. Lázaro Valentin Zuquette pela grande amizade, dedicação, estímulo, paciência e a rica orientação oferecida.

Ao Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos- USP, por toda infra- estrutura oferecida pelo programa de pós-graduação, principalmente aos funcionários Maristela, Álvaro, Neiva, Herivelto, e aos técnicos Zé Luiz, Oscar, Dércio e Seu Antônio, pela dedicação, amizade e auxílio para desenvolvimento deste mestrado.

Aos professores do Departamento: Aoki, Osni, e Zé Eduardo, pela amizade e contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao CNPq pelo apoio financeiro para realização desse mestrado.

Aos meus amigos da Geotecnia: Kleber, Helano, Cláudio, Érika Motta, Érika Sá, Cristina, Márcio, Luiz Fernando, Fernanda, Débora, Sandra, Paulo Maurício, Nívea, Danieli, Leonardo, Rogério e Janaína.

As minhas amigas Aristotelina, Fernanda, Marcilene, e Gilvana, pela grande amizade, paciência, dedicação, estímulo, e por todas as valiosas discussões e contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

As minha amigas Nicole Borchardt e Adriana Brunetti, pela grande amizade, dedicação, paciência, estímulo e apoio nos momentos mais difíceis.

Aos meus “pais” (sogros), Alexandre e Esther Yamanouth, por sempre me considerarem como uma filha.

Aos meus pais, Antônio e Glória Barros, por todo o amor, carinho, incentivo, apoio e dedicação que sempre me deram nesta vida.

A minha irmã Geisiana por todo o seu amor e compreensão da minha ausência por está tão longe de casa.

Aos meus irmãos, Gilberto e Gabriela, por todo amor, carinho e incentivo ao longo da vida.

Ao Myrko Yamanouth por seu amor, dedicação, pelo incentivo, apoio nos momentos difíceis, e por sua compreensão em meus momentos de ausência.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Tipos de erosão segundo Lal, 1990 (modificado).....	5
FIGURA 2.2	Os três processos ambientais primordiais para se trabalhar em áreas degradadas.....	8
FIGURA 2.3	Fluxograma mostrando a relação tipo de escoamento, tipo de fluxo e feições resultantes.....	12
FIGURA 2.4	Os fatores que condicionam a formação de erosão.....	13
FIGURA 2.5	Declividades em encostas convexas e côncavas (RODRIGUES, 1982).....	18
FIGURA 2.6	Classificação das formas de encostas segundo TROEH (1965), modificado por Rodrigues (1982).....	19
FIGURA 2.7	Formas de encostas segundo de RUHE (1975), modificada por Souza (2001).....	20
FIGURA 2.8	Mostra duas situações de transporte de partículas por <i>splash</i> : uma sobre uma superfície plana, o transporte ocorre de maneira simétrica, e outra quando sobre uma superfície inclinada, verifica-se um salto a jusante (CLOWES & COMFORT, 1983 <i>apud</i> NISHIYAMA, 1998).....	22
FIGURA 2.9	Diagrama esquemático do mecanismo de <i>splash</i> : a) solo com alta resistência ao cisalhamento; b) solo com baixa resistência ao cisalhamento (AL- DURRAH & BRADFORD, 1982 <i>apud</i> NISHIYAMA, 1998).....	23
FIGURA 2.10	Componentes do balanço hidrológico próximo à superfície, modificado de Carson & Kirby (1975).....	25
FIGURA 2.11	Nomograma para obtenção do valor K da erodibilidade do solo para usar na equação universal de perda de solo , modificado de Morgan (1986).....	29
FIGURA 2.12	Ábaco de erodibilidade para solos tropicais proposto por Vertamatti & Araújo.....	30
FIGURA 2.13	Formas em U e V de uma voçoroca (Fonte: FENDRICH, 1997)..	44
FIGURA 2.14	Culturas em faixa: A- as faixas são irregulares; B- as faixas são regulares; C- as faixas tem pouca irregularidade(BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).....	52
FIGURA 2.15	Representação em bloco diagrama do terraço tipo Magnum.....	56
FIGURA 2.16	Representação em bloco diagrama do terraço tipo Nichols.....	57
FIGURA 2.17	Representação em bloco diagrama do terraço tipo base larga.....	57
FIGURA 2.18	Representação em bloco diagrama do terraço tipo base estreitas..	58
FIGURA 2.19	Representação em bloco diagrama do terraço tipo patamar.....	59
FIGURA 2.20	Representação em bloco diagrama do terraço tipo individual.....	59
FIGURA 2.21	Seções típicas de canais escoadouros: A- Parabolóide; B- Trapezoidal; C- Triangular, modificada de Bertoni & Lombardi Neto (1999).....	61
FIGURA 2.22	Representação em planta das principais obras de microdrenagem, segundo Bidone & Tucci (1995), sendo: BL- boca- de- lobo; PV- poço de visita; CL- caixa de ligação.....	65
FIGURA 2.23	Drenos empregados em obras de macrodrenagem, sendo A- Dreno cego; B- Dreno de bambu (DAAE, 1989).....	73

FIGURA 2.24	Drenos de geotextil empregados em obras de macrodrenagem (DAAE, 1989).....	73
FIGURA 3.1	Fluxograma das atividades e documentos elaborados.....	79
FIGURA 3.2	Fotografia do equipamento desenvolvido por Pejon (1992) para realização do ensaio de absorção de água.....	88
FIGURA 3.3	Articulações das folhas topográficas utilizadas neste estudo.....	89
FIGURA 4.1	Localização da bacia do córrego do Espraiado e principais vias de acesso.....	94
FIGURA 5.1	Aplicação da técnica de avaliação do terreno, modificada de Lollo (1996).....	100
FIGURA 5.2	Mapa de <i>landforms</i> (elementos) com as fotografias aéreas de 1995.....	106
FIGURA 5.3	Fotografia aérea de 1972 mostrando os principais uso e ocupação, e a presença das feições erosivas.....	110
FIGURA 5.4	Fotografia aérea de 1978 mostrando os principais uso e ocupação, e a presença das feições erosivas.....	111
FIGURA 5.5	Fotografia aérea de 1995 mostrando os principais uso e ocupação, e a presença das feições erosivas.....	112
FIGURA 5.6	Fotografia aérea de 2000 mostrando os principais uso e ocupação, e a presença das feições erosivas.....	112
FIGURA 5.8	Diagrama de índice de absorção de água (S) <i>versus</i> percentagem de perda por imersão (P) dos materiais inconsolidados residuais com a identificação das amostras de cada unidade.....	122
FIGURA 5.9	Diagrama de índice de absorção de água (S) <i>versus</i> percentagem de perda por imersão (P) dos materiais inconsolidados retrabalhados com a identificação das amostras de cada unidade.....	128
FIGURA 5.9	Mapa das feições erosivas do ano de 1972 sobreposto as fotografias aéreas utilizadas para a sua elaboração.....	132
FIGURA 5.10	Mapa das feições erosivas do ano de 1978 sobreposto as fotografias aéreas utilizadas para a sua elaboração.....	134
FIGURA 5.11	Mapa das feições erosivas do ano de 1995 sobreposto as fotografias aéreas utilizadas para a sua elaboração.....	135
FIGURA 5.13	Feição βV localizada na Ar Rb4.....	136
FIGURA 5.14	Feição γV localizada na Ar Rb 5-2.....	136
FIGURA 5.15	Feição αV localizada na fazenda Santa Alice.....	137
FIGURA 5.16	Feição erosiva na estrada vicinal no material retrabalhado Rt02...	137
FIGURA 5.17	Feição erosiva na estrada vicinal em rocha pouco alterada.....	138
FIGURA 5.18	Erosão marginal do córrego do Espraiado e seu assoreamento.....	138
FIGURA 5.19	Mapa das áreas reabilitadas do ano de 1995 sobreposto as fotografias aéreas utilizadas para a sua elaboração.....	140
FIGURA 5.20	Áreas reabilitadas Ar Rb1 e Ar Rb2, ambas por reflorestamento..	139
FIGURA 5.21	Terraceamento do tipo Nichols da área Ar Rb 3-1, fotografia aérea tirada por Zuquette no ano de 2001.....	141
FIGURA 5.22	Reabilitação da área Ar Rb 3-1, fotografia aérea tirada por	142

	Zuquette no ano de 2001.....	
FIGURA 5.23	Áreas reabilitadas Ar Rb 3-1, Ar Rb 3-2 e Ar Rb 3-3, fotografia aérea do ano de 2000 (sem escala).....	143
FIGURA 5.24	Canalização da drenagem superficial e das águas servidas, através de tubos de concreto e caixas de distribuição.....	144
FIGURA 5.25	Canalização foi feita até a porção intermediária da encosta sem nenhum tipo de bacia de dissipação no seu final.....	144
FIGURA 5.26	Barragens de aterro construídas ao longo da drenagem.....	145
FIGURA 5.27	Técnica de terraceamento e plantação em nível nas áreas Ar Rb 5-2 e Ar Rb 5-3, e desenvolvimento de feições erosivas na Ar Rb 5-2 (fotografia aérea de 2000, figura sem escala).....	146
FIGURA 6.1	Desenvolvimento das feições erosivas na cabeceira do córrego do Espraiado nos anos de 1972, 1978, 1995 e 2000 (fotografias aéreas de 1972, 1978, 1995 e 2000).....	149
FIGURA 6.2	Feições erosivas da cabeceira do córrego do Espraiado, foto tirada por Gisele Yamanouth no ano de 2002.....	150
FIGURA 6.3	Fotografias aéreas de 1972, sem escala, mostrando as áreas com as principais feições erosivas.....	150
FIGURA 6.4	Fotografias aéreas de 1978, sem escala, mostrando as áreas com as principais feições erosivas.....	151
FIGURA 6.5	Fotografias aéreas de 1995, sem escala, mostrando as áreas com as principais feições erosivas.....	151
FIGURA 6.6	Fotografias aéreas de 2000, sem escala, mostrando as áreas com as principais feições erosivas.....	153
FIGURA 6.7	Erosão marginal e assoreamento do córrego do Espraiado.....	154
FIGURA 6.8	Primeira extração de areia, local de deposição da areia extraída do leito do córrego.....	155
FIGURA 6.9	Segunda extração de areia, local de deposição da areia extraída do leito do córrego.....	155
FIGURA 7.1	Áreas reabilitadas Ar Rb 1 e Ar Rb 2, fotografia aérea de 2000 (sem escala).....	156
FIGURA 7.2	Áreas reabilitadas Ar Rb 3-1, 3-2 e 3-3 nas fotografias aéreas, sem escala, dos anos de 1995 e 2000.....	157
FIGURA 7.3	Área reabilitada Ar Rb 4, as fotografias aéreas de 1995 e 2000 (sem escala), mostram a implementação das obras e utilização da área para loteamentos residenciais.....	158
FIGURA 7.4	Retomada dos processos erosivos na área reabilitada Ar Rb 4.....	158
FIGURA 7.5	Áreas reabilitadas Ar Rb 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-5 e 5-6, nas fotografias aéreas de 1995 (sem escala).....	159
FIGURA 7.6	Aparecimento de novas feições erosivas na área Ar Rb 5-2, fotografia aérea de 2000 (sem escala).....	160
FIGURA 7.7	Área Ar Rb 5-6, antes da reabilitação, em 1978 (fotografia aérea), e reabilitada em 2000 (fotografia aérea).....	160

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	Fatores que influem na erodibilidade do solo, modificado de Lal (1990).....	14
TABELA 2.2	Classificação quanto à profundidade de uma voçoroca (FONTE: FENDRICH, 1997).....	44
TABELA 2.3	Propostas de práticas de controle de processos erosivos em áreas rurais, modificado de Souza (2001).....	49
TABELA 2.4	Propostas de práticas de controle de processos erosivos em áreas urbanas, modificado de Souza (2001).....	50
TABELA 2.5	Sistemas de marcação de ruas de contorno, modificado de Souza (2001).....	55
TABELA 3.1	Ensaio laboratoriais realizados.....	82
TABELA 3.2	Cadastro das feições erosivas da bacia do córrego do Espraiado...	92
TABELA 3.3	Cadastro das áreas reabilitadas da bacia do córrego do Espraiado.....	92
TABELA 3.4	Cadastro do uso e ocupação de cada elemento de terreno para os anos de 1972, 1978, 1995 e 2000.....	92
TABELA 5.1	Critérios de descrição das escarpas.....	100
TABELA 5.2	Critérios de descrição das encostas.....	101
TABELA 5.3	Caracterização dos elementos de terreno em termos de suas declividades.....	102
TABELA 5.4	Categorias de formas de uso e ocupação do solo e problemas/ processos do meio físico segundo Almeida & Freitas (1996).....	108
TABELA 5.5	Descrição do perfil de alteração adotado neste trabalho.....	114
TABELA 5.6	Unidades de materiais inconsolidados e as áreas correlacionadas.	115
TABELA 5.7	Resultados dos ensaios de caracterização geotécnica básica dos materiais inconsolidados residuais.....	119
TABELA 5.8	Resultados dos ensaios das análises físico- químicas dos materiais inconsolidados residuais.....	120
TABELA 5.9	Resultados dos ensaios de erodibilidade dos materiais inconsolidados residuais.....	121
TABELA 5.10	Resultados dos ensaios de caracterização geotécnica básica dos materiais inconsolidados retrabalhados.....	125
TABELA 5.11	Resultados dos ensaios das análises físico- químicas dos materiais inconsolidados retrabalhados.....	126
TABELA 5.12	Resultados dos ensaios de erodibilidade dos materiais inconsolidados retrabalhados.....	127
TABELA 5.13	Resultados dos ensaios de caracterização geotécnica básica dos materiais inconsolidados de aterro.....	129
TABELA 5.14	Resultados dos ensaios das análises físico- químicas dos materiais inconsolidados de aterro.....	129
TABELA 5.15	Resultados dos ensaios de erodibilidade dos materiais inconsolidados de aterro.....	129
TABELA 5.16	Resultado geral do cadastro das feições erosivas.....	130

RESUMO

YAMANOUTH, G. R. de B. (2003). *Avaliação dos processos erosivos e das técnicas de controle e reabilitação- Bacia do Córrego do Espraiado (São Pedro- SP)*. Dissertação (Mestrado)- Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

A região de São Pedro (Estado de São Paulo) apresenta muitos problemas ambientais relacionados aos processos erosivos, sendo que uma das áreas mais afetadas é a bacia do córrego do Espraiado, alvo deste estudo. Este trabalho buscou a caracterização e identificação: dos elementos do terreno; dos materiais inconsolidados; da evolução espacial e temporal das feições erosivas, cadastradas a partir de fotografias aéreas nos anos de 1972, 1978, 1995, e em trabalhos de campo para as feições de 2002; das técnicas de controle e reabilitação empregadas em algumas áreas; e das condições geométricas atuais da drenagem. A partir destas informações foram elaborados os seus respectivos mapas em escala de detalhe (1:10 000), para servirem de suporte ao final para uma análise dos processos erosivos atuantes, e das técnicas de controle e reabilitação utilizadas, pois algumas delas não tiveram eficiência, tendo como consequência o aparecimento de novas feições nas áreas reabilitadas.

Palavras-chave: processos erosivos, técnicas de controle, reabilitação, erosão, bacia do córrego do Espraiado, São Pedro.

ABSTRACT

YAMANOUTH, G. R. de B. (2003). *Assessment of erosive processes and in the control techniques and rehabilitation - Espiraiado creek watershed (São Pedro- SP)*. M. Sc. Dissertation- Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

The São Pedro region (São Paulo state) presents many environments problems related to erosive process. The Espiraiado creek watershed, is goal of this study is very affected. This work was developed according to several steps: the characterization and identification of terrain elements and unconsolidated materials; temporal and spatial evolution analyses of the erosive features, by aerial photographs of dates 1972, 1978 and 1995, and field works in 2002; assessment of the control and rehabilitation techniques used in the area; and present-day geometric condition of drainage channel. From the results, were elaborated maps, at a scale 1:10 000, that were used to support final analyses about erosive processes, control and rehabilitation techniques in the area.

Key- words: erosive process, control erosion, rehabilitation, erosion, Espiraiado creek watershed, São Pedro city.

SUMÁRIO

VOLUME I

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Aspectos Conceituais	3
2.1.1. Solo x Materiais Inconsolidados	3
2.1.2. Erosão	4
2.1.3. Meio ambiente	6
2.2. Processos Erosivos	9
2.2.1. Ocorrência dos Processos Erosivos	9
2.2.2. Tipos de processos erosivos	12
2.2.3. Aspectos do meio ambiente condicionante	13
2.2.3.1. Atributos Predisponentes	14
2.2.3.2. Atributos Deflagadores	20
2.2.3.3. Atributos Modificadores	26
2.3. Parâmetros	28
2.4. Modelamento	34
2.5. Elaboração de mapeamentos voltados a processos erosivos	35
2.5.1. Eventos e riscos	35
2.5.2. Vulnerabilidade	38
2.5.3. Predisposição	38
2.5.4. Inventário	39
2.6. Degradações Decorrentes aos Processos Erosivos	41
2.6.1. Sulcos	41
2.6.2. Ravinas	41
2.6.3. Permanentes: Voçorocas	42
2.6.4. <i>Piping</i>	46
2.6.5. Erosão Marginal	46
2.7. Formas de Controle e Reabilitação de Áreas Erodidas	47
2.7.1. Técnicas de Controle	47

2.7.1.1. Em Áreas Rurais	47
2.7.1.2. Em Áreas Urbanas	64
2.7.2. Reabilitação/ Recuperação de Áreas Erodidas	76
3. METODOLOGIA	77
3.1. Fundamentos	77
3.2. Materiais e Métodos	82
3.2.1. Descrição dos ensaios laboratoriais	82
3.2.1.1 Caracterização geotécnica básica	82
3.2.1.2. Análises físico-químicas	83
3.2.1.3. Ensaio de erodibilidade	87
3.2.2. Elaboração dos documentos cartográficos	89
3.2.3. Cadastramento das informações	91
4. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	93
4.1. Localização e Acesso da Área	93
4.2. Águas Superficiais	93
4.3. Clima	95
4.4. Vegetação	95
4.5. Geologia	95
4.6. Geomorfologia	96
4.7. Problemas Ambientais	96
5. DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS ELABORADOS E INFORMAÇÕES OBTIDAS	98
5.1. Mapa de Documentação	98
5.2. Mapa de <i>Landforms</i>	98
5.2.1. Considerações sobre a sistemática adotada	98
5.2.2. Elementos de terreno	101
5.2.3. Elementos de terreno x Uso e Ocupação do Solo	107
5.2.3.1. Classificação do uso e ocupação e suas relações com o meio físico	107
5.2.3.2. Resultados e análise	109
5.3. Mapa de Materiais Inconsolidados	113
5.3.1. Considerações gerais	113
5.3.2. Unidades de materiais inconsolidados	114
5.3.2.1. Materiais inconsolidados residuais	115

5.3.2.2. Materiais inconsolidados retrabalhados	122
5.3.2.3. Materiais utilizados para aterro	128
5.4. Mapa de feições erosivas (Inventário)	130
5.4.1. Considerações Gerais	130
5.4.2. Mapa de feições erosivas do ano de 1972	131
5.4.2. Mapa de feições erosivas do ano de 1978	131
5.4.3. Mapa de feições erosivas do ano de 1995	133
5.4.4. Mapa de feições erosivas do ano de 2002	136
5.5. Mapa das Áreas Reabilitadas	138
5.6. Mapa das Condições Geométricas das Condições de Drenagem	146
5.6.1. Obtenção	146
5.6.2. Resultados	147
6. ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA DO CÓRREGO DO ESPRAIADO	148
7. ANÁLISE DAS TÉCNICAS DE CONTROLE E REABILITAÇÃO	156
8. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	161
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	164

VOLUME II

ANEXO A- Mapa de Documentação

ANEXO B- Mapa de *Landforms* (Elementos)

ANEXO C- Elementos de Terreno x Uso e Ocupação do Solo

ANEXO D- Mapa de Materiais Inconsolidados

ANEXO E- Mapas das Feições Erosivas do Ano de 1972

ANEXO F- Cadastro das Feições do Ano de 1972

ANEXO G- Mapa das Feições Erosivas do Ano 1978

ANEXO H- Cadastro das Feições Erosivas do Ano de 1978

ANEXO I- Mapa das Feições Erosivas do Ano 1995

ANEXO J- Cadastro das Feições Erosivas do Ano de 1995

ANEXO L- Mapa das Feições Erosivas do Ano 2002

ANEXO M- Cadastro das Feições Erosivas do Ano de 2002

ANEXO N- Mapa das Áreas Reabilitadas

ANEXO O- Mapa das Condições Geométricas dos Canais de Drenagem

I . INTRODUÇÃO

A erosão é um processo geológico responsável pelo modelamento do relevo realizado pelos agentes erosivos, como água, vento e gelo, originando os vários tipos de erosão como a pluvial, ocasionada pelas águas da chuva, a fluvial pelos rios, a marinha pelas águas do oceano, e a eólica, ocasionada pela ação dos ventos.

Neste trabalho estudou-se a erosão pluvial, na qual os fatores que influenciam o desencadeamento dos processos erosivos são a erosividade da chuva, escoamento superficial e subsuperficial, erodibilidade do solo, configuração do relevo, cobertura vegetal e as atividades antrópicas.

A erosão pluvial pode ocorrer de forma natural, quando a atuação dos processos erosivos se faz num ambiente onde a mesma é controlada somente pelo equilíbrio dos fatores naturais. Esta pode sofrer modificações devido à mudanças climáticas ou geológicas, alterando a velocidade e a intensidade do processo, podendo se tornar mais rápida a remoção do material inconsolidado do que sua reposição pelos processos de intemperismo, sendo, portanto, um tipo de erosão acelerada.

No Brasil há muitas regiões com problemas de erosão, na grande maioria das vezes, a presença e a magnitude desta é ocasionada pela ocupação desordenada do meio físico, devido ao não conhecimento das limitações do meio ambiente, gerando com isso desequilíbrios ambientais, como a degradação do solo. Uma das maiores consequências da degradação é o desenvolvimento de feições erosivas do tipo voçorocas, decorrentes da associação entre materiais inconsolidados e a interferência antrópica através do desmatamento, uso de técnicas impróprias de manejo do solo e obras civis, tendo como consequências sócio-econômicas, por exemplo, a perda da fertilidade do solo, desvalorização de áreas agrícolas e/ ou de áreas residenciais.

A região de São Pedro, no Estado de São Paulo, possui várias feições erosivas, devido às características de erodibilidade elevada dos solos, da intensidade da erosividade das águas pluviais, da configuração do relevo, retirada da cobertura vegetal.

Alguns estudos foram realizados referentes aos processos erosivos na região de São Pedro como de Santoro (1991), que estudou os fenômenos erosivos acelerados como os que ocorrem no córrego Tucum; IPT (1991 e 1993) que identificou e cadastrou as principais feições erosivas da região; Pejon (1992) elaborou o mapeamento geotécnico voltado para os processos erosivos na folha de Piracicaba; e Francicani (1995) que estudou a influência da estruturas tectônicas no desenvolvimento de voçorocas e sugeriu propostas para reabilitação dessas áreas degradadas, assim como levantou aspectos jurídicos institucionais correlatos para este problema ambiental.

Devido à ocorrência de processos erosivos no município de São Pedro, um dos mais graves problemas ambientais desta região, este trabalho teve como objetivo estudar os processos erosivos, e avaliar as técnicas de reabilitação utilizadas das áreas degradadas por erosão, tendo como área de estudo a bacia do córrego do Espraiado, localizado na região nordeste de São Pedro. Visando à caracterização e identificação dos materiais inconsolidados, das feições erosivas e das técnicas adotadas em algumas feições, utilizando a proposta metodológica do Departamento de Geotecnia da EESC/USP (metodologia ZUQUETTE, 1987).

Os documentos cartográficos foram elaborados em escala 1:10 000, abrangendo mapas de *landforms*, de materiais inconsolidados, de feições erosivas dos anos de 1972, 1978, 1995 e 2002, das áreas reabilitadas, e das condições geométricas dos canais de drenagem atuais da bacia.

Em posse destes documentos cartográficos, de informações obtidas nas campanhas de campo e dos ensaios laboratoriais, ao final foi desenvolvida uma avaliação geológico-geotécnica da evolução espacial e temporal das feições cadastradas e da problemática dos processos erosivos da bacia do córrego do Espraiado (São Pedro-SP), assim como fazer uma análise das técnicas utilizadas na reabilitação, pois algumas delas não tiveram eficiência, tendo como consequência o desencadeamento de novas feições erosivas nas áreas reabilitadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos Conceituais

2.1.1. Solo x Material inconsolidado

O solo, dependendo dos objetivos e enfoques científicos, pode ser definido de diversas maneiras.

No ponto de vista da pedologia o solo é o definido como o material natural consistindo de camadas ou horizontes de compostos minerais e/ou orgânicos com variadas espessuras, diferindo do material original por propriedades morfológica, física, química, e mineralógica, e por características biológica. Os horizontes do solo são inconsolidados, mas alguns contêm suficientes porções de sílica, carbonatos ou óxidos de ferro para cimentá-los, esta é a definição de solos para Birkeland (1974 *apud* SALOMÃO & ANTUNES, 1998).

Segundo a conceituação da geologia, o solo é um produto do intemperismo físico e químico das rochas. Enquanto que para a engenharia civil, o solo é todo material escavável, que perde resistência quando entra em contato com a água. E do ponto de vista da agronomia, o solo é uma camada superficial de terra arável, possuidora de vida microbiana (SALOMÃO & ANTUNES *op cit*).

Segundo Souza (1992), os trabalhos de mapeamento geotécnico têm demonstrado a necessidade de abordagem dos materiais inconsolidados, sendo o principal objeto de levantamentos, de investigação e representação cartográfica em estudos deste caráter. Segundo Zuquette (1987), o termo material inconsolidado é utilizado para todo o perfil de alteração inclui-se colúvio, solo residual maduro, solo residual jovem e saprolito. Por ser um termo mais abrangente, por considerar todo o perfil de alteração, o termo material inconsolidado será adotado neste estudo.

Os fatores de formação do perfil de alteração do substrato rochoso, responsáveis por sua origem e evolução, são clima e organismos (fatores ativos - são aqueles que contribuem com matéria ou energia para o sistema), tempo e material de origem (fatores passivos – são aqueles que não adicionam e nem exportam matéria), e relevo (fator controlador – é o fator que controla o fluxo de material na superfície e em profundidade, além de controlar a intensidade da radiação solar recebida, ângulo e orientação da encosta), como descrito por Abrahão & Mello (1998).

Os materiais podem ser classificados quanto a sua origem, dito como residual ou *in situ*, quando são formados a partir da decomposição do substrato rochoso pela ação do intemperismo e que permanecem no local onde foram formados. Os materiais inconsolidados podem ser ditos como retrabalhado ou transportado, quando foram transportados por algum agente geológico do local de onde se originou.

Os materiais inconsolidados são também classificados quanto a sua textura de acordo com o tamanho de suas partículas, obtidas através do ensaio de granulometria conjunta, nas seguintes frações argila, silte, areia (fina, média e grossa) e pedregulho.

2.1.2. Erosão

De acordo com Zachar (1982), a palavra erosão vem do latim, derivada do verbo *erodere*, que quer dizer comer, escavar, e foi utilizado pela primeira vez por Penck em 1894.

Ellison (1947 *apud* NISHIYAMA, 1998) define erosão do solo como um processo de desagregação e transporte de materiais do solo pelos agentes erosivos, implicando em dois principais eventos sequenciais, primeiramente as partículas de solo tornam-se soltas (evento de desagregação) de sua estrutura e, assim, disponíveis para o transporte, e no segundo evento, os materiais desagregados (partículas) do solo são transportados.

Para Holý (1980) a erosão pode ser classificada de acordo com o agente causador da ocorrência do processo erosivo, assim tem a erosão por água, gelo, neve, e vento, sendo que podem ocorrer separadamente ou combinadas causando variação na intensidade da erosão. O autor ainda considera a erosão hídrica (por água) e eólica (por vento), como as que causam maiores prejuízos sócio - econômico para a sociedade, e quando combinadas com as atividades antropogênicas, ocorre com maior intensidade.

Segundo Lal (1990), os diferentes tipos de erosão podem ser causados por três grande grupos de agentes, pelo vento, pelos fluídos e pela gravidade (**Figura 2.1**).

FIGURA 2.1- Tipos de erosão segundo Lal, 1990 (modificado).

Neste trabalho focaliza-se a erosão pluvial, pois é de interesse específico do trabalho, por ser o tipo de erosão que ocorre na área de estudo.

Para Pejon (1992) a erosão pode ser classificada como natural quando a atuação dos processos erosivos se faz num ambiente onde a mesma é controlada somente pelo equilíbrio dos fatores naturais. Esta pode sofrer modificações devido a mudanças climáticas ou geológicas, alterando a velocidade e a intensidade do processo, podendo se tornar mais rápida a remoção do material inconsolidado do que sua reposição pelos processos de intemperismo, sendo, portanto, um tipo de erosão acelerada.

A erosão pode ser classificada quanto ao tipo de fluxo de água como erosão laminar e linear. A laminar ocorre quando o fluxo é difuso na superfície do solo como todo e o escoamento da água não se concentra em canais definidos. A erosão linear o

fluxo é concentrado formando incisões no solo em forma de filetes ou canais carregando material inconsolidado, dando origem às feições erosivas como ravinas e voçorocas.

Segundo Holý (1980), a erosão pode ser classificada como erosão pela água superficial, pela subsuperficial e erosão por vento. A erosão pela água superficial engloba a erosão laminar, erosão por sulcos (*rill erosion*) e por ravinas e voçorocas (*gully erosion*), e erosão marginal (*stream erosion*). Beasley (1972), classificou a erosão semelhante com a das citadas por Holý, e considerou ainda a erosão pela gota da chuva.

Os processos erosivos estão relacionados a fatores intervenientes, e são classificados como predisponentes, deflagradores e modificadores (SOUZA, 2001). Os atributos predisponentes referem-se a um conjunto de características naturais intrínsecas dos terrenos, nos quais os processos vão ocorrer (FILHO & VIRGILI, 1998), neste caso são as características e a erodibilidade do solo, e a configuração do relevo. Os atributos deflagradores são responsáveis por tornar o meio físico susceptível a erosão, como a erosividade da chuva, escoamento superficial, escoamento subsuperficial, infiltração e armazenamento da água. Os atributos modificadores são aqueles capazes de modificar as condições naturais do meio físico, neste caso é a ação antrópica.

2.1.3. Meio Ambiente

Segundo KOPEZINSKI (1998), a palavra ambiente tem sua origem no verbo latim *Ambio*, que significa dar voltas, ir de uma parte a outra. De acordo com a norma da ABNT - NBR (1989) o meio ambiente é um determinado espaço onde ocorre a interação dos componentes bióticos (fauna e flora), abióticos (água, rochas e ar) e bióticos- abióticos (solo), em decorrência da ação humana, caracteriza-se também o componente cultural.

A palavra degradação pode ser indicada como o conjunto de processos resultantes de danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais (Decreto Federal 97.632/89).

Uma área é dada como degradada quando as condições edáficas e/ou riqueza biótica foram reduzidas por atividade humana a um nível em que houve um declínio de

suas habilidades em atender um uso específico, conceito dado por Brown & Lugo (1994 *apud* DIAS, 2001).

Segundo ABNT-NBR 10 703 (1989), área degradada é toda área cujo solo sofreu processo de degradação, e solo degradado é definido como a alteração adversa das características do solo em relação aos seus diversos usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento quanto os potenciais.

De acordo com Oliveira *et al* (1987), a erosão envolve importantes processos de degradação do meio físico provocando a perda de solos agricultáveis, de equipamentos urbanos, a deterioração de obras civis e o assoreamento de reservatórios e cursos d'água. O fenômeno vem acarretando através da degradação dos solos e, por consequência, das águas, um pesado ônus à sociedade como um todo, não só pela perda desses recursos naturais, como dos investimentos do poder público em obras de infraestrutura, além de envolver importantes gastos em medidas corretivas que nem sempre alcançam resultados técnico-econômicos desejados.

Segundo Blum (1997), o termo degradação do solo (*soil degradation*) é usado para descrever a deteriorização do solo causada por diferentes formas de uso. Para LAL (1997) significa é a perda de produtividade atual ou potencial e a utilidade. Quanto Johnson *et al* (1997 *apud* DIAS, 2001), considera que seja qualquer alteração ou distúrbio ao solo detectado como deletério ou indesejável.

Fornasari Filho & Amarante elaboraram uma relação entre os conceitos de degradação, restauração, recuperação e reabilitação (**Figura 2.2**) propostos pela ABNT-NBR 10 703 (1989), onde área degradada é a área cujo solo sofreu processo de degradação. A recuperação é o processo de manejo no qual são criadas condições para que uma área perturbada ou mesmo natural, seja adequadas para novos usos. A restauração é a recomposição de um solo em que são reproduzidas as condições exatas existentes antes da perturbação. A reabilitação do solo é uma forma de recuperação em que uma área perturbada é adequada a um uso determinado e novo ou aquele de antes da perturbação, segundo um projeto prévio.

FIGURA 2.2- Os três processos ambientais primordiais para se trabalhar em áreas degradadas.

A recuperação de áreas degradadas é um conjunto de ações, idealizadas e executadas por especialistas das mais diferentes áreas do conhecimento humano, que visam proporcionar o restabelecimento de condições de equilíbrio e sustentabilidade existentes anteriormente em um sistema natural (DIAS & GRIFFITH, 1998).

Para Harris *et al* (1996 *apud* DIAS, 2001), a degradação é a combinação de processos que torna a terra em consideração inapta a uma grande variedade de usos, desde um sistema natural até áreas de construções. Isto pode ser na forma de uma instabilidade geotécnica resultando na subsidência, movimentos de massa ou erosão pelo vento ou pela água. Qualquer uso atribuído a essa área resultará num sistema não-sustentado, exigindo uma ação de remediação, como a recuperação de área degradada. A recuperação de uma área degradada, segundo este autor, é um processo pelo qual a área sem uso definida o uso prévio retorna a uma condição que permita qualquer tipo de uso futuro.

Brown & Lugo (1994 *apud* DIAS, 2001) apresentam uma interessante discussão a respeito dos conceitos de recuperação, reabilitação e restauração ambiental em regiões tropicais. Recuperação é o processo pelo qual áreas abandonadas ou degradadas retornam a produção e pelo qual algumas de suas funções bióticas e de produtividades são restauradas. Reabilitação é o retorno de qualquer ambiente, danificado ou degradado, a um ecossistema plenamente funcional, independentemente do estado

original ou desejado. E a restauração para estes autores, é o termo utilizado quando um ecossistema alterado retorna a seu estado original.

A compreensão de todos os conceitos colocada anteriormente é de grande importância, pois estes são largamente utilizados nos trabalhos de medidas de controle, prevenção e recuperação de erosão em áreas urbana e rural.

2.2. Processo Erosivo

2.2.1. Ocorrência dos processos erosivos

→ **Erosão em áreas urbanas**

De acordo com Iwasa & Prandini (1980), a urbanização interpõe estruturas pouco permeáveis entre o solo e a chuva, fazendo com que o escoamento seja incrementado com a diminuição da infiltração, tendo como consequência a mudança do regime hidrológico, também provocada pelo desmatamento. As cidades instaladas em terrenos de baixa resistência à erosão, que quando não há calçadas, tem ravinamento iniciando nas próprias ruas, que são as principais adutoras das águas captadas pelos telhados das casas, somadas ao *runoff* local; estas ravinas logo se transformam em boçorocas ao interceptar o lençol freático. O alargamento e a própria evolução do fenômeno destrói casas e obras públicas. Os problemas devido à erosão urbana são enfrentados por várias cidades no noroeste do Estado do Paraná, e nas regiões Sul e Sudeste.

Almeida Filho (1998) enfatiza o intenso processo de urbanização, o acelerado crescimento industrial e a expansão da atividade de mineração, provocam, em seu conjunto, um grande número de intervenções humanas no ambiente, dos mais variados portes que, freqüentemente, resultam na alteração profunda sem maiores critérios ou medidas de controle e prevenção da erosão, causando sérios danos ao ambiente e à comunidade. A expansão urbana propicia a concentração das águas pluviais em cabeceiras de drenagens desencadeando a formação de processos erosivos nas próprias vias, que constituem os principais condutos das águas captadas pelos telhados das edificações, somadas ao escoamento superficial local.

Segundo Almeida Filho *op. cit.*, as altas frequências de ocorrências dos processos erosivos resultam das precárias condições de infra-estrutura, por projetos mal concebidos de drenagem, ou mesmo, pela escolha de áreas naturalmente adversas. A erosão urbana se expressa mais frequentemente nas formas de erosão laminar e de sulcos nas vias públicas e áreas periféricas, e mais intensamente na forma de boçorocas que, de forma acelerada, destroem edificações e equipamentos urbanos. Dentre as principais causas do desencadeamento e a evolução dos processos erosivos nas áreas urbanas podem ser destacados:

- A maioria dos loteamentos populares e conjuntos habitacionais não conta com sistemas de drenagem de água pluviais servidas, ou, quando os tem são deficientes;
- Sistema viário, de maneira geral, tem implantação inadequada, com ruas perpendiculares às curvas de nível, ausência de pavimentação, guias e sarjetas;
- Expansão urbana descontrolada, com a implantação de loteamentos e conjuntos habitacionais em locais não apropriados, sob o ponto de vista geotécnico e agravado pela deficiência de infra-estrutura.

Para Loret Ramos (1995) a erosão em áreas urbanas é decorrente da concentração de fluxo, devido principalmente às deficiências do sistema de drenagem. Uma outra característica das áreas urbana é a ocupação urbano-industrial, que demanda uma intensa movimentação de terra nas áreas ocupadas, devido ao nível dos assentamentos de lotes residenciais até implantação de grandes obras públicas ou privadas, como conjuntos habitacionais, loteamentos industriais, etc. Estas intervenções antrópicas caracterizam-se por partirem de concepções que envolvem alterações significativas da topografia, por causa dos assentamentos e da necessidade de cortes profundos e aterros de compensação. Estes cortes podem deixar expostas às ações erosivas substratos frágeis, o mesmo ocorrendo nas áreas de aterro.

→ **Erosão em Área Rural**

Para Barros (1956), a falta de harmonia entre o homem e o solo, através do mau uso do solo na agricultura, levando ao desgaste total do solo fértil pelo mau manejo do solo. O autor ainda enfatiza a importância da vegetação no combate a erosão e para a conservação do solo.

Beasley (1972) enfatizou que a erosão laminar remove as partículas leves do solo, a matéria orgânica, e solubilizar os nutrientes da terra, afetando seriamente na fertilidade e produtividade do solo. Alguns dos efeitos da perda de solo pela erosão são a perda no potencial de produção, perda de nutrientes necessários para a produção do cultivo, redução na qualidade da produção do cultivo, redução da taxa de infiltração e da capacidade de retenção de água do solo, a deposição do material erodido sobre o solo fértil, a deterioração do *top soil*, perda de solo pela formação de sulcos, ravinas e voçorocas, além da redução de renda no campo.

✕ De acordo com Iwasa & Prandini (1980), as voçorocas em áreas rurais se desenvolvem geralmente em pastagens e em solos de culturas com má cobertura, sujeitas a manejo inadequado, e que na maioria das vezes o ravinamento é iniciado ao longo de valas de demarcação, trilhas de linhas de plantio, e quando a ravina intercepta o lençol freático, e se transforma em uma voçoroca típica. Segundo esses autores a mudança do regime de escoamento, devido ao desmatamento, permite uma maior velocidade do escoamento da água pluvial, já que diminuem os obstáculos e estruturas retentoras de água.

Segundo Aswathanarayana (1995), a erosão do solo diminui a profundidade do solo através da perda física da fertilidade do *top soil*, reduzindo as profundidades das raízes, pela remoção dos nutrientes das plantas e perda de água. São necessário centenas de anos para que 5cm de um solo fértil se desenvolva, mas 1cm de *top soil* seria levado embora por uma única chuva. Tem sido estimado que atualmente 2 milhões de ha de terra arável tornam-se improdutivos devido à erosão e a degradação do solo.

✕ Silva (1999) enfatizou que nas regiões rurais o bom uso do solo é algo que está sempre em jogo para o sucesso de uma propriedade rural, cuja finalidade é a produção de produto (s) agropecuário (s). Nos processos de “ruralização” de uma região, onde ocorre uma transformação de um local anteriormente com vegetação natural em área de pastagem ou alguma cultura agrícola. Se houver um mau uso e manejo do solo nestas áreas, o solo poderá ficar exposto a atuação dos agentes erosivos.

De acordo com Silva (*op. Cit.*), as terras utilizadas para fins agrícolas, com as práticas como cultivo intensivo de apenas um tipo de cultura por anos sucessivos, levam o solo a um esgotamento nutricional por um lado ou intoxicação por outro. A utilização quase que exclusiva de fertilizantes minerais e o uso excessivo de máquinas agrícolas, também levam à destruição das propriedades físicas do solo, esta última trazendo ainda conseqüências como a compactação, o que diminui a infiltração e favorece o

escoamento superficial, e conseqüentemente aumenta a susceptibilidade à erosão do solo.

2.2.2. Tipos de processos erosivos

A chuva é responsável pelo desenvolvimento de dois tipos de processos erosivos, como a ação do impacto das gotas de chuva que ocasiona o deslocamento e o lançamento de partículas do solo, e quando há a saturação de água no solo, inicia-se o processo de escoamento superficial, que é responsável pelo transporte das partículas do solo. Esse escoamento pode gerar diferentes tipos de fluxo e estes resultarem em feições erosivas distintas (**Figura 2.3**).

Figura 2.3- Fluxograma mostrando a relação tipo de escoamento, tipo de fluxo e feições resultantes.

2.2.2. Aspectos do meio ambiente condicionante

A erosão é resultado da combinação da erosividade do agente deflagrador/transportador no caso a chuva, e da erodibilidade do material geológico predisponente, no caso o solo, e como a combinação destes fatores com as características do solo, do relevo, da água, da cobertura vegetal, e das atividades antrópicas (Figura 2.4).

FIGURA 2.4- Os fatores que condicionam a formação de erosão.

Os processos erosivos estão relacionados aos fatores intervenientes do meio físico, e estes são classificados como predisponentes, deflagradores e modificadores.

Os atributos predisponentes referem-se a um conjunto de características naturais intrínsecas dos terrenos, nos quais os processos vão ocorrer (FILHO & VIRGILI, 1998), neste caso são as características físicas, químicas e a erodibilidade do solo, e as configurações do relevo. Os atributos deflagradores são responsáveis por tornar o meio físico mais susceptível a erosão, como a erosividade da chuva, escoamento superficial, escoamento subsuperficial, infiltração e armazenamento da água. Os atributos modificadores são aqueles capazes de modificar as condições naturais do meio físico, neste caso é a ação antrópica.

2.2.3.1 Atributos Predisponentes

→ Características e erodibilidade do solo

Segundo Freire *et al* (1992 *apud* RODRIGUEZ, 1998), a erodibilidade é a propriedade intrínseca do solo que reflete a sua maior ou menor predisponibilidade ao destacamento das partículas, podendo defini-la como a quantidade de material geológico que é removido por unidade de área, quando os demais fatores determinantes da erosão são mantidos sob condições padrão essa propriedade depende da relação entre diferentes atributos, tais como: permeabilidade; textura; grau de agregação e teor de matéria orgânica e outras de menor importância.

A susceptibilidade do solo à erosão é influenciada pelas suas propriedades físicas/hidrológicas, químicas/mineralógicas e biológicas/bioquímicas, além das características do perfil. As propriedades físicas que afetam a resistência ao cisalhamento (LAL, 1990 *apud* NISHIYAMA, 1995), de acordo com a **Tabela 2.1**.

TABELA 2.1- Fatores que influem na erodibilidade do solo (modificado de LAL, 1990)

FATORES QUE INFLUEM NA ERODIBILIDADE		
PROPRIEDADES	FATORES	CARACTERÍSTICAS
Mecânicas	Textura	<ul style="list-style-type: none"> • influi no destacamento e carregamento de partículas do solo. • determina a facilidade com que o solo é disperso • determina a força limite necessária para o destacamento
	Estrutura	<ul style="list-style-type: none"> • formação de agregados que resistem à dispersão, aos efeitos abrasivos da água de escoamento e ao destacamento. • grau de agregação e distribuição de agregados estáveis. • tamanho dos agregados
	Tamanho dos torrões e cultivos do solo	<ul style="list-style-type: none"> • superfície rugosa e cheia de torrões possuem elevada capacidade de retenção. • resistência à desagregação pela chuva e erosão pelo vento
	Formação	<ul style="list-style-type: none"> • responsável pela alta taxa de escoamento superficial. • desenvolve-se em solos com baixa porcentagem de matéria orgânica.
Resistência	Resistência ao cisalhamento	<ul style="list-style-type: none"> • importante no destacamento de partículas de solo (impacto e escoamento superficial) • rolamento e deslizamento de grãos

Hidrológicas	Retenção de água	<ul style="list-style-type: none"> o estado de energia da água do solo ou pressão neutra influencia a resistência ao cisalhamento do solo. Resistência do solo ao arrastamento pela água é influenciada pela umidade inicial ou antecedente. solos secos são mais susceptíveis à erosão pelo vento e pela água do que os úmidos. a umidade fornece coesão entre as partículas.
	Transmissão de água no solo-infiltração	<ul style="list-style-type: none"> taxa de infiltração determina o maior ou menor volume de escoamento superficial.
	Permeabilidade	<ul style="list-style-type: none"> solos com permeabilidade extremamente baixa a moderada geram mais escoamento superficial
Reológicas	Sistema solo/água	<ul style="list-style-type: none"> a umidade do solo influi na susceptibilidade à erosão por afetar a coesão, a resistência ao cisalhamento, consistência e plasticidade.
Químicas e mineralógicas	Matéria orgânica	<ul style="list-style-type: none"> influencia a distribuição granulométrica propriedades de retenção e transmissão de água fortalece as ligações que estabilizam as unidades estruturais e mantém um balanço favorável entre retenção e transmissão nos poros. diminui o efeito compactação concentração de matéria orgânica nos microagregados aumenta a sua resistência à desagregação e à dispersão elevadas concentrações da matéria orgânica em alguns solos são responsáveis pelas características hidrofóbicas.
	Argilo-minerais	<ul style="list-style-type: none"> a estrutura do solo e a sua resistência são influenciadas pela quantidade e natureza dos argilominerais. a fração fina do solo interage com a matéria orgânica para formar agregados estáveis que resistem ao impacto das gotas da chuva.
Características do perfil	Diretos e indiretos	<ul style="list-style-type: none"> influencia a erosão direta e indiretamente. influência sobre o escoamento subsuperficial de água em decorrência de mudanças nas propriedades hidrológicas de diferentes horizontes. influência sobre o crescimento vegetal

Para Stein *et al* (1987), a erodibilidade pode ser conceituada como o índice relativo às propriedades inerentes ao solo, e que reflete a sua sustentabilidade à erosão. Bertoni & Lombardi Neto (1985 *apud* STEIN *et al*, 1987) consideram a erodibilidade do solo como sendo a recíproca de sua resistência à erosão. Os autores destacam entre as propriedades do solo que influenciam na erosão, aquelas que controlam a velocidade de infiltração da água, a permeabilidade e a capacidade de absorção, e aquelas de ordem

coesiva, que resistem à dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e enxurrada.

Para Alcântara & Vilar (1998), do ponto de vista da mecânica dos solos, a erodibilidade dos solos são reduzidas às proposições e modelos que tratam da medida dessa propriedade, que é em função de sua resistência ao cisalhamento.

A erodibilidade dos materiais inconsolidados está relacionada a dois fatores principais, que são a destacabilidade e a transportabilidade das partículas. Para solos finos a destacabilidade das partículas é mais difícil, devido às forças de atração entre elas, mas uma vez destacadas, mantêm - se em suspensão e são transportadas com facilidade. No caso dos solos grossos, normalmente não existem forças de coesão, assim as partículas destacam-se mais facilmente, mas a medida que a granulometria aumenta, diminui a sua transportabilidade (PEJON, 1992).

Pejon *op.cit.* relatou que as propriedades “*in situ*” como umidade e condições de infiltração de água, também exercem influência no potencial de erodibilidade. Desta maneira, notou que há uma complexibilidade na análise da erodibilidade dos materiais inconsolidados, envolvendo as naturezas químicas, físicas e as condições “*in situ*”. Os ensaios físicos, como a granulometria, a plasticidade, a massa específica dos sólidos e a umidade, vem sendo utilizados na tentativa de caracterizar a erodibilidade dos materiais. Mas outros ensaios como a densidade, as taxas de infiltração, a agregabilidade, a permeabilidade, a expansão e a profundidade dos diversos horizontes dos solos, vem buscando determinar ou estimar as condições dos materiais “*in situ*”.

Angulo *et al* (1984 *apud* RODRIGUES, 1998), ao relacionar a erodibilidade e as características físicas e químicas do solo, na tentativa de estabelecer características que poderiam ser utilizadas como índice de erodibilidade, concluíram que a agregação do solo, determinada como estabilidade de agregados em água e resistência ao impacto da gota de chuva, foi a característica que melhor correlacionou com a erodibilidade do solo.

→ Relevo

Iwasa & Prandini (1980) destacam os processos de formação de feições de relevo, refletem na atuação da atual dinâmica superficial nas várias formas de erosão.

Segundo Fontes (1999) o relevo também é um fator natural que determina a velocidade dos processos erosivos. Em relevos mais acidentados proporcionam maior velocidade de erosão, como em morros, do que em relevos suaves, como colinas amplas, pois declividades mais acentuadas favorecem a concentração e maiores velocidades de escoamento das águas, aumentando a sua capacidade erosiva.

Para Rodrigues (1982) a declividade é indiscutivelmente o fator topográfico mais relevante no condicionamento da gênese e evolução das feições erosivas, como as voçorocas. Quanto maior for a inclinação da encosta, mais acentuado e volumoso será o escoamento superficial, o que acelera os fenômenos erosivos. De acordo com Rodrigues *op. Cit.*; Fontes (1999); Silva (1999); Santoro (1991); Guerra (1998) e outros, destacam três parâmetros de um declive que devem ser considerados, como o grau de declividade, a forma e a extensão (comprimento) das encostas.

A rugosidade da encosta é também um fator muito importante, pois é responsável pela diminuição da velocidade do escoamento superficial, diminuindo assim o poder de erosão do escoamento. A rugosidade forma microrelevos na superfície da encosta, funcionando como degraus de escadas que são capazes de quebrar a energia do escoamento superficial.

1. Declividade

A declividade é o fator topográfico mais relevante no desenvolvimento dos fenômenos erosivos acelerados, quanto maior a inclinação da encosta, mais acentuado e volumoso será o escoamento superficial, o que resulta na aceleração dos processos erosivos (FONTES, 1999).

Para Rodrigues (1982) a análise da declividade de uma encosta pode ser expressa simplificada por um único valor em graus. Para isso deve-se tomar a diferença de nível entre dois pontos com as cotas mais elevada e mais baixa da encosta, e relacionarmos com a distância horizontal entre eles.

Rodrigues (*op cit*) descreveu que para uma análise mais realista considera-se pelo menos três valores de declividade, sendo uma na parte baixa, outra no trecho médio e o último no topo da encosta. Assim nas encostas em que o perfil longitudinal é convexo (FIGURA 2.5a), verifica-se que nos trechos baixos apresentam uma declividade mais acentuada e essa é uma das regiões na qual o escoamento superficial

inicia o processo erosivo. Nos trechos médios apresentam valores mais baixos e no topo da encosta a declividade é quase nula. Nas encostas de perfil longitudinal côncavo ocorre o inverso, o trecho com maior declividade é o topo, e o de menor é o trecho baixo (FIGURA 2.5b).

FIGURA 2.5- Declividades em encostas convexas e côncavas (RODRIGUES, 1982).

2. Comprimento da rampa

Segundo Smith & Wischmeier (1957 *apud* NISHIYAMA, 1998) o comprimento da encosta é definido como a distância que vai do ponto de origem do escoamento superficial até o ponto onde a inclinação diminui a deposição de sedimentos, ou até o ponto onde o escoamento atinge um canal bem definido, integrante de uma rede de drenagem.

De acordo com Nishiyama *op. cit* o aumento no comprimento de uma encosta leva a um aumento no volume de escoamento superficial. Conseqüentemente produz um aumento na intensidade de erosão, principalmente sob a forma de sulcos.

3. Forma da encosta

Rodrigues (1982) associou a ocorrência dos diferentes tipos de erosão à forma de encostas, utilizando os modelos de forma de encostas propostas por Troeh (1965), como mostrado na Figura 2.6.

FIGURA 2.6- Classificação das formas de encostas segundo TROEH (1965), modificado por Rodrigues (1982).

As voçorocas ocorrem principalmente em encostas convexas coletoras e secundariamente em encostas côncavas dispersoras, as encostas côncavas são menos propensas à erosão acelerada.

Xujiongxin (1996) pesquisou sobre os fatores do meio físico que influenciam na ocorrência dos processos erosivos em áreas tropicais e subtropicais, e propôs a adoção das formas de encostas com tipo de feição erosiva a classificação proposta por Ruhe (1975). Esta proposta se baseia na análise tridimensional da encosta, considerando-se os aspectos longitudinais e laterais, o comprimento e largura. Assim as encostas são classificadas em tipo linear (L), convexa (V) e côncava (C). A combinação dos três tipos resulta em nove tipos de formas geométricas de encostas agrupadas em três grupos, I, II e III, como mostra a **Figura 2.7**.

FIGURA 2.7- Formas de encostas, segundo de RUHE (1975), modificada por Souza (2001).

O grupo I é composto pela forma simples do tipo co-linear (LL). O grupo II é composto pelas formas lineares em uma dimensão e curvas na outra dimensão, e são do tipo convexo-linear (VL), côncavo-linear (CL), linear-convexo (LV) e linear-côncavo (LC). O grupo III engloba as formas mais complexas, que apresentam dupla curvatura, e são os tipos: convexo-convexo (VV), convexo-côncavo (VC), côncavo-convexo (CV) e côncavo-côncavo (CC).

Xujiongxin *op. Cit.*, ressalta a necessidade de considerar outros fatores intrínsecos relacionados com a ocorrência das feições erosivas, como o grau de inclinação, a posição em relação a direção do sol, chuva e vento nas encostas, os tipos de solos e da cobertura vegetal.

2.2.3.2. Atributos Deflagradores

→ Características e Erosividade da chuva

Segundo Morgan (1996) a erosão está relacionada com dois tipos de eventos pluviais, um curto evento com alta intensidade de chuva, onde a capacidade de infiltração do solo é dito excedente, e outro é a chuva de maior duração de baixa intensidade capaz de saturar o solo.

Para Fendrich (1997), as chuvas intensas causam maiores danos ao solo do que as chuvas moderadas, devido a sua ampla variabilidade espacial, proporcionando

condições que influenciam principalmente as taxas de infiltração, o escoamento superficial e os processos erosivos.

Para Lal (1988 *apud* RODRIGUES, 1998), parte da erosividade da chuva é devida ao impacto da gota da chuva, e parte ao escoamento superficial. A capacidade da chuva em causar erosão do solo é atribuída à sua intensidade e ao tamanho das gotas, os quais determinam a energia da chuva.

Stein *et al* (1987) definiu o conceito de erosividade como às perdas por erosão devidas às chuvas, em um solo perfeitamente uniforme, com comprimento de rampa e declividade padronizadas, totalmente homogêneo, com cobertura vegetal, quanto que a erosividade das chuvas seria a influência do fator chuva sobre as perdas de solo, desde que todas as variáveis permanecem constantes, ou seja, a erosividade é a capacidade potencial da chuva em causar erosão ao solo.

De acordo com Morgan (1996) a mais adequada expressão da erosividade da chuva é um índice baseado na energia cinética da chuva. Assim a erosividade de uma chuva é em função da sua intensidade e duração, e da massa, diâmetro e velocidade da gota de chuva.

→ Impacto da gota da chuva

A gota da chuva ao atingir a superfície do solo, provoca um impacto, que desloca as partículas do solo através do *splash*, que é a erosão por salpicamento, durante o deslocamento o solo é lançando ao ar. Segundo Ellison (194 e 1947, *apud* NISHIYAMA, 1998), as partículas lançadas atingem alturas variáveis, podendo até chegar aos 60cm ou mais e se deslocam horizontalmente por mais de 150cm. A incidência de gotas de chuva sobre taludes com mais de 10% de inclinação, sem influência de vento, onde cerca de $\frac{3}{4}$ das partículas lançadas pelo impacto movem-se em direção a jusante do ponto de colisão e $\frac{1}{4}$ a montante, como mostra a **Figura 2.8**.

FIGURA 2.8- Mostra duas situações de transporte de partículas por *splash*: uma sobre uma superfície plana, o transporte ocorre de maneira simétrica, e outra quando sobre uma superfície inclinada, verifica-se um saldo a jusante (Clowes & Comfort, 1983 *apud* NISHIYAMA, 1998).

Para Ellison (1947 *apud* NISHIYAMA *op. Cit*) a gota da chuva influencia na erosão do solo de três maneiras, no rompimento de torrões e agregados do solo em partículas individuais ou em agregados menores (destacamento); no deslocamento de partículas (lançamento) para fora do local de impacto (transporte); e na formação de turbulência quando atinge uma lâmina de escoamento superficial, aumentando o seu poder erosivo.

Al-Durrah & Bradford (1982 *apud* ALCÂNTARA, 1997) utilizaram câmeras de alta velocidade para obter fotografia do lançamento de partículas de gota, tendo como variável o potencial da água, volume e valores de resistência ao cisalhamento, assim os autores puderam constatar a configuração da trajetória das partículas lançadas é influenciada pela resistência ao cisalhamento da superfície do solo. (**FIGURA 2.9**).

FIGURA 2.9- Diagrama esquemático do mecanismo de *splash*: a) solo com alta resistência ao cisalhamento; b) solo com baixa resistência ao cisalhamento (AL-DURRAH & BRADFORD, 1982 *apud* ALCÂNTARA, 1997).

De acordo com Fontes (1999) existem vários fatores que devem ser levados em consideração decorrente da ação do impacto da gota da chuva durante o processo erosivo como a intensidade da chuva, o grau de coesão do solo, e a vegetação.

Segundo Rodrigues (1982), o impacto da gota da chuva em terrenos arenosos gera o aparecimento de pequenas depressões que deixam as partículas progressivamente mais soltas, tornando-se facilmente deslocáveis pelos processos erosivos posteriores.

Para Fontes *op. cit.* a vegetação é um fator importante, tanto rasteira quanto de maior porte funciona como elemento interceptador das gotas, diminuindo assim o seu poder erosivo. Se a vegetação for escassa, a ação erosiva da gota de chuva aumenta, pois solo se encontra desnudo facilitando o seu destacamento e transporte.

→ Escoamento superficial

A água do escoamento superficial é a mais importante agente de transporte, quando a erosão é causada pela chuva. O escoamento pode se mover sobre o terreno, de diversas maneiras, como em amplas superfícies, sem apresentar canais perceptíveis, como uma lâmina delgada de água denominando escoamento laminar, ou então a água se movimenta concentrada em micro-canais temporários, canais definitivos ou canais profundos, denominando escoamento concentrado (PEJON & ZUQUETTE, 2001).

Segundo Bigarella & Mazuchowisk (1985), a intensidade do escoamento superficial do fenômeno erosivo depende da velocidade de escoamento, e nas vertentes mais íngremes, a ação da gravidade pode aumentar o processo. A capacidade de transporte das partículas depende diretamente da velocidade das águas. O material mais fino se move por suspensão, enquanto que o material mais grosseiro movimenta-se por saltação ou rolamento, e este deslocamento das partículas depende da turbulência do fluxo e da velocidade de precipitação da partícula.

O escoamento superficial pode ser do tipo difuso, concentrado ou marginal. O escoamento difuso ou laminar é responsável pela erosão laminar dos solos, o concentrado pela formação das feições lineares, como sulcos, ravinas e voçorocas. O escoamento marginal é responsável pela erosão das margens dos rios.

O volume do escoamento sobre uma superfície de solo é basicamente determinado pela quantidade de chuva, pela capacidade de infiltração e de retenção superficial (DUNE & LEOPOLD 1978 *apud* NISHIYAMA, 1998).

→ Escoamento subsuperficial

A água da chuva ao atingir o solo se infiltra no solo, a parcela de água, com exceção da água que é retida pela umidade do solo, que se movimenta em direção à jusante do ponto de infiltração, é a que compõem o escoamento subsuperficial (NISHIYAMA, 1998).

Segundo Thornes (1980) a movimentação da água em subsuperfície ocorre como resultado da diferença de potenciais de migração de líquidos, e essa água se movimenta a través de poros existentes no solo. O potencial é dado pelos desníveis altimétricos

entre as zonas de saturação, e a resistência ao movimento da água é dada pela estrutura porosa.

De acordo com Anderson & Burt (1988 *apud* NISHIYAMA, 1998), a movimentação do escoamento subsuperficial pode ser de três maneiras distintas, através dos macroporos, através dos condutos (*pipes*), ou através da matriz do solo.

Quando o escoamento subsuperficial movimenta-se através de condutos, ocorre o processo erosivo interno no substrato rochoso e/ou no perfil de alteração chamado de *piping*, que é a formação de canais subsuperficiais de drenagem com configuração tubular, desenvolvendo a feição erosiva denominada de entubamento ou *piping*.

→ Armazenagem e infiltração da água no solo

De acordo com Guerra (1998), o ciclo hidrológico (**Figura 2.10**) é o ponto de partida dos processos erosivos, pois em uma chuva parte da água cai diretamente no solo, nas áreas onde não existe vegetação ou passa pelos espaços existentes entre a cobertura vegetal, outra parte é interceptada pelas copas das árvores, onde uma parte volta para atmosfera e outra chega ao solo através de gotejamento e escoando pelo tronco. A água que chega ao solo pode ser armazenada em pequenas depressões e como umidade do solo, infiltrada aumentando a umidade do solo e abastecendo o lençol freático, e quando o solo não consegue mais absorver a água, o excesso começa a se mover em superfície e subsuperfície.

FIGURAS 2.10- Componentes do balanço hidrológico próximo à superfície, modificado de Carson & Kirkby (1975).

Segundo Nishiyama (1998) o volume da água infiltrada ou escoada superficialmente que influenciam no desenvolvimento dos processos erosivos dependem de alguns fatores básicos, tais como: intensidade e duração das chuvas, temperatura, cobertura vegetal e declividades (fatores extrínsecos), e tipo e natureza dos solos e profundidade do substrato rochoso (fatores intrínsecos). Segundo o autor durante as chuvas, dependendo da intensidade, pode ocorrer de toda a água precipitada infiltrar-se no solo; outras vezes, uma parcela infiltra e a outra escoada superficialmente. A água que escoar, seja sob forma de lâmina d'água que cobre extensões razoáveis do terreno, seja na forma concentrada em canais, corresponde ao excesso de água que não conseguiu infiltrar através da superfície do solo.

De acordo com Libardi (1995) a infiltração é um processo que separa quanto da precipitação (chuva e/ou irrigação) flui sobre a superfície do solo e quanto flui abaixo desta. Segundo o autor, o termo taxa de infiltração refere-se a quantidade de água que atravessa a unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo, isto é, a taxa de infiltração é um índice que mede a velocidade com que a água da chuva se infiltra no solo (MORGAN, 1986).

Segundo Guerra (1998), a taxa de infiltração varia ao longo do evento chuvoso e também de acordo com as características do solo, como as diferentes texturas dos solos e as diferentes estruturas ao longo do perfil. Quando os solos são arenosos há maior probabilidade da taxa de infiltração ser alta, e em solos argilosos ocorre o inverso. As diferenças de estruturas ao longo do perfil de alteração podem influenciar na taxa de infiltração, através dos diferentes graus de compactação, de teor de umidade, espessura do solo, da formação de crosta no *topsoil*, e da presença de camadas menos permeáveis em subsuperfície.

Para a obtenção da taxa de infiltração de solo existem métodos *in situ*, como o método do anel duplo de Libardi (1995), e infiltrômetros.

2.2.3.3. Atributos modificadores

→ Ação antrópica

Segundo Fontes (1999); Holý (1980); Silva (1999), a ocupação e a utilização do meio físico pelo homem estão relacionados a uma série de aspectos destrutivos. Esses

aspectos são associados principalmente ao uso de técnicas impróprias e a um total desconhecimento de processos interdependentes, que são responsáveis pela existência equilibrada do meio físico.

Para Iwasa & Prandini (1980); Zathar (1982); Santoro (1991); Fendrich (1997), a principal agressão causada pelo homem decorre da retirada da cobertura vegetal, por meio de desmatamento, seguido pelas queimadas e pelas capinas; agricultura praticada irracionalmente com manuseio impróprio, tais como, culturas esgotantes, plantio morro abaixo e outras; formação de pastos com alta densidade de animais, proporcionando o excessivo pisoteio em determinadas direções, formando assim trilhas pela passagem dos animais; abertura de valetas, com a finalidade de dividir e separar áreas, proteger culturas e propriedades em geral, porém, perpendicularmente às curvas de nível; abertura de estradas, sem o devido cuidado na execução das necessárias obras de drenagem para coletar, transportar e restituir as águas captadas e acumuladas; execução de loteamentos, sem os cuidados anteriores e com inobservância das práticas e normas racionais de conservação do solo e de controle da erosão.

Segundo Stein (1995 *apud* Stein 1999), o impacto inicial, causado pelo desmatamento e outras formas de desestruturação do meio, ocorrendo um desequilíbrio natural do meio físico e biótico. A erosão normal, própria da evolução da paisagem, cede lugar para a erosão acelerada. O autor considera dois conjuntos básicos de fatores condicionantes dos processos erosivos, o natural, e o antrópico, extremamente variado ante as muitas possibilidades de ocupação das terras, obrigatoriamente abordando segundo os objetivos e o tipo de uso do solo.

Segundo Fontes (1999) a ocupação do meio físico pelo homem está relacionada a uma série de aspectos destrutivos. Esses foram associados principalmente ao uso de técnicas impróprias e a um total desconhecimento de processos interdependentes, que são responsáveis pela existência equilibrada do meio físico. Desta forma o homem é um agente modificador do meio físico mais atuante nos processos erosivos, devido a sua atuação a erosão natural torna-se acelerada, degradando o meio físico desencadeando o desequilíbrio do meio, ocasionando problemas sócio-econômicos da área afetada por processos erosivos acelerados.

2.2.3.4. Parâmetros

Os principais parâmetros considerados no estudo da erosão dos solos é o índice de erodibilidade dos solos e índice de erosividade da chuva.

Para Bastos *et al* (2001) a erodibilidade é uma das propriedades de comportamento dos solos de maior complexidade e tem no meio geotécnico a maior lacuna na quantificação e entendimento dos mecanismos envolvidos.

O índice de erosividade da chuva é o fator R da equação universal de perdas de solo (USLE) de Wischmeier & Smith (1958), sendo o principal elemento na determinação da quantidade de solos perdidos na erosão laminar.

– Métodos de obtenção do índice de erodibilidade do solo

Para a obtenção do índice de erodibilidade dos solos existem vários métodos, e estes podem ser métodos indiretos e métodos diretos.

Dos métodos indiretos existentes podemos destacar o método de Wischmeier *et al* (1971), de Vertamatti & Araújo (1995), e o índice de Bauyoucos (1935). Os métodos diretos, os mais utilizados são o ensaio de Inderbitzen, de absorção de água e perda de peso por imersão (Nogami & Villibor, 1979), o pinhole (furo de agulha), e o cilindro rotatório (SOUZA, 2001).

Métodos Indiretos

1) Wischmeier *et al* (1971)

O método de Wischmeier *et al* (1971) é um dos métodos mais utilizados na determinação da erodibilidade, e é obtido através de um nomograma (**Figura 2.11**), conhecendo-se as seguintes propriedades dos solos:

- Porcentagem de matéria orgânica
- Porcentagem de silte mais areia muito fina, entre um intervalo de granulometria de 0,002-0,10 mm
- Porcentagem de área (0,002-0,10 mm)
- Classe de permeabilidade
- Tipo de estrutura

FIGURA 2.11- Nomograma para obtenção do valor K da erodibilidade do solo para usar na equação universal de perda de solo de MORGAN (1986) modificada por SOUZA (2001).

Segundo Morgan os valores obtidos do índice de erodibilidade do solo (K) têm sido satisfatórios para muitos solos agrícolas nos Estados Unidos, mas em países de solos tropicais, o valor esperado está abaixo, assim às predições de perda de solos obtidas tem a necessidade de ter valores do nomograma extrapolados.

2) Vertamatti & Araújo (1995)

Vertamatti & Araújo (1995) fizeram uma nova abordagem para a previsão do grau de erodibilidade nos solos tropicais do ponto de vista geotécnico, empregadas à metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) e a sucção para prever e avaliar o fenômeno da erodibilidade de solos tropicais, o mesmo vale para os ensaios de Mini-MCT e de sucção, para a obtenção do Índice Geral de Erodibilidade de Solos Tropicais (E).

Os dados foram obtidos a partir dos ensaios de *mini-moisture conditions value* (MCV) e de sucção realizados em amostras deformadas e indeformadas de 36 tipos diferentes de solos provenientes de taludes dos aeroportos de Santarém (PA) e Manaus (AM), de rodovias da região de Marília (SP) e de outras rodovias do estado de São Paulo.

A obtenção dos parâmetros relativos às metodologias MCT e de sucção, para cada solo estudado, permite que eles sejam num mesmo ábaco, com seus respectivos graus de erosão associados. A distribuição dos pontos obtida permite o traçado de faixas de erodibilidade de acordo com o Grau de erosão associado, conforme a **Figura 2.12**.

Após a análise sobre a percentagem de ocorrência dos tipos de solos e dos graus de erosão por cada faixa, o Índice Geral de Erodibilidade de Solos Tropicais é obtido.

FIGURA 2.12- Ábaco de erodibilidade para solos tropicais proposto por Vertamatti & Araújo (1995).

3) Índice de Bouyoucos (1935)

O índice de Bouyoucos (1935) é obtido através de testes estáticos de laboratórios (MORGAN, 1986), ensaio de granulometria dos solos, as percentagens de granulometria são consideradas, obtendo a seguinte equação:

$$\text{Índice de Bouyoucos} = \% \text{ de areia} + \% \text{ silte} / \% \text{ argila}$$

Métodos Diretos

1) Ensaio de Inderbitzen

O ensaio de Inderbitzen utiliza um aparelho cujo princípio de funcionamento baseia-se no escoamento de uma lâmina d'água sobre uma rampa, de maneira que uma amostra de solo indeformada, posicionada tangencialmente ao plano da rampa em sua extremidade inferior, seja atingida uniformemente por esta lâmina d'água, ocasionando erosão superficial no solo por um tempo determinado (SANTOS & MERSCHMANN, 2001).

Os resultados obtidos no ensaio são apresentados em forma de gráficos tempo (min) x Erodibilidade (g/cm^2), tempo (min) x Velocidade de erosão ($\text{g}/\text{cm}^2/\text{h}$), e vazão (l/min) x Erodibilidade (g/cm^2).

De acordo com Bastos *et al* (1998), o ensaio Inderbitzen permite simular diferentes vazões e declividades, visando caracterizar o grau de erosão em cada horizonte. Vale ressaltar que nesse ensaio não é possível supor a influência do impacto das gotas de chuvas no terreno, que por sua vez ocasionam a desagregação de partículas da superfície do solo, denotando um escoamento superficial com teor de sedimentos maior do que o representado (SANTOS & MERSCHMANN *op. cit.*).

2) Absorção de água e perda de peso por imersão (Nogami & Villibor, 1979)

Segundo Alcântara & Vilar (1998) o método está baseado em dois ensaios simples, absorção de água e perda de massa por imersão, que utilizam amostras indeformadas com dimensões de 40 mm de diâmetro e 20 mm de altura. Este método apresenta as seguintes características: utilização de amostras indeformadas, consideração do efeito de secagem, possibilidade de inferir propriedades de desagregabilidade e infiltração, facilidade e rapidez de execução dos ensaios, bem como a não necessidade de utilização de equipamentos sofisticados.

O índice de absorção (S) é estabelecido com o auxílio de um gráfico que representa volume de água absorvido por unidade de área da base do corpo de prova (q) em função da raiz ^(quadrada) do tempo ($\sqrt{t}$), sendo o índice de absorção (S) o coeficiente angular do trecho inicial retilíneo. Encerrado o ensaio de absorção, realiza-se o ensaio de perda por um período de 24 horas, determina-se assim a perda de massa seca (P) em percentagem em relação à massa seca inicial da amostra (ALCÂNTARA & VILAR *op. cit.*)

O índice de erodibilidade proposto por Nogami & Villibor (1979) é calculado através da seguinte expressão:

$$E = 52 S/P$$

O valor de E igual a 1, separa os materiais erodíveis dos não erodíveis, valores menores que 1 indicam solos com alta erodibilidade.

Para PEJON (1992), o método empírico proposto por Nogami & Villibor (1979) para caracterizar a erodibilidade apresenta uma série de vantagens como a utilização de amostras indeformadas, considera o efeito da secagem, permite inferir as propriedades de desagregabilidade e infiltração, facilidade e rapidez de execução, e não necessita de equipamentos sofisticados. Mas apesar das vantagens, permite apenas a identificação de 80% dos materiais com problemas de erosão. Devido às vantagens que o método oferece é útil na identificação dos materiais que tendem a apresentar problemas de erosão e ser utilizado nos mapeamentos geotécnicos, o autor realizou este método para a determinação do índice de erodibilidade dos materiais inconsolidados em sua tese, e obteve resultados satisfatórios, pois o método permitiu a identificação de 90% dos materiais erodíveis, mas acrescentou que o índice de erodibilidade não é uma medida quantitativa do potencial à erosão, e sim como um índice qualitativo para estimar a erodibilidade dos materiais inconsolidados em mapeamentos geotécnicos, não devendo ser usado diretamente em obras.

3) Pinhole (furo de agulha)

De acordo com Silva & Lacerda (2001), o ensaio de Pinhole ou furo da agulha é conhecido como o mais indicado para identificar e classificar os solos argilosos no que diz respeito a dispersibilidade em água (*piping* por dispersão). O ensaio consiste em se fazer percolar água sob um gradiente hidráulico, definido através de um furo de 1mm em amostra cilíndrica obtida por cravação de cilindro metálico biselado em amostra indeformada. Verifica-se a coloração do efluente e a medida da vazão de saída durante os estágios de carga hidráulica (50mm, 180mm, 380mm e 1020mm), porém tanto o tempo de duração de cada estágio quanto os critérios para finalização do ensaio dependem dos resultados encontrados no decorrer do ensaio.

4) Cilindro rotatório

O cilindro rotatório é mais empregado para a determinação da resistência à erosão de solos coesivos e estabilizados quimicamente, é limitado para solos parcialmente saturados.

→ Métodos de obtenção do Índice de Erosividade

A determinação do potencial erosivo da chuva é complexa, pois depende dos parâmetros de erosividade, como o total pluviométrico, a intensidade da chuva, o momento e energia cinética das gotas de chuva, e também das características da gota da chuva, que variam no tempo e no espaço.

Baseado no trabalho de Laws & Parsons (1943), Wischmeier & Smith (1958) obtiveram uma equação relacionando a energia cinética com a intensidade de chuva (MORGAN, 1996), como é demonstrada na equação abaixo:

$$KE = 11,87 + 8,73 \log I$$

Sendo: KE= energia cinética (J/m².mm)

I= intensidade de chuva (mm/h)

O índice EI₃₀ foi proposto por Wischmeier & Smith (1958), demonstraram que o tamanho da gota de chuva não aumentava quando sua intensidade excedia 76 mm/h, deste modo esse valor pode ser considerado como a definição da variável I, assim o valor da energia cinética é 0,283 MJ/ha.mm (SOUZA, 2001).

Segundo Wischmeier (1972 *apud* RODRIGUES, 1998), o fator erosividade da chuva é a média anual da somatória do produto da energia total da chuva pela intensidade máxima em 30 minutos, para cada chuva com intensidade superior a 12 milímetros, separada uma da outra por um período de 6 horas ou mais.

Outros autores chegaram ao índice de erosividade da chuva, através dos valores de intensidade máxima em 30 minutos, obtidos dos diagramas dos pluviógrafos, para episódios com total de chuvas superiores a 10 mm, em um período anual (SOUZA *op. cit*). O índice EI₃₀ é obtido a partir da seguinte equação:

$$EI_{30} = Ec \times I_{30}$$

Sendo: EI₃₀ = Índice de erosão em MJ/ha mm x mm/h

Ec = energia cinética da chuva

I₃₀ = intensidade máxima da chuva em 30 minutos

Para Lombardi Neto (1979 *apud* RODRIGUES, 1998), o índice de erosividade (EI₃₀) é calculado inteiramente a partir das características da chuva, não refletindo a variabilidade do escoamento superficial, o qual é afetado pelas condições prevaletentes no momento da chuva, tais como: umidade antecedente; compactação do solo;

selamento superficial, temperatura, direção e velocidade do vento, e outros fatores associados à chuva.

Segundo Larios (2000), o índice de erosividade EI_{30} foi calculado em diversas regiões do Brasil, como mostraram os trabalhos de Carvalho (1998) que calculou para o município de Mococa-SP, Lombardi Neto (1977) para o município de Campinas-SP, Bertol (1993) para o município de Lages e Campos-Novos no Estado de Santa Catarina.

Hudson (1971) propôs o índice $Ke > 25$ para as regiões de clima tropical e subtropical, pois para o autor o índice EI_{30} não apresentava resultados coerentes para a intensidade igual ou superiores a 25,4 mm/h.

Para Emmett (1970) e Foster&Meyer (1972) a erosividade também está relacionada com o escoamento superficial concentrado, estes autores analisaram que os diferentes comportamentos do escoamento superficial, ou seja, em áreas pequenas e de superfície uniforme apresenta-se na forma de uma película uniforme que cobre a superfície do terreno e desloca-se na direção do maior gradiente, que pode ser para jusante ou para as laterais. E na ocorrência de pequenas variações das inclinações do terreno, as marcas de implementos agrícolas e de cultivo concentram o escoamento superficial podendo gerar canais ou sulcos (SOUZA *op. cit.*).

2.4. Modelamento

Segundo Souza (2001) os processos erosivos vêm sendo estudados em vários países, por meio de modelagem, simplificando assim a realidade e a solução dos problemas relacionados. A maioria dos profissionais busca desenvolver modelos que quantifiquem os processos erosivos e que possam se aplicados em outras regiões.

Existem vários modelos para predizer a erosão de uma área, o que é muito discutido pela literatura é a forma de obtenção dos dados de forma mais próxima da realidade possível. Dentre os modelos mais usados destacamos a *Universal Soil Loss Equation* (USLE), *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE) e *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE), *Water Erosion Prediction Projected* (WEPP), *European Soil Erosion Model* (EUROSEM), *Limburg Soil erosion Model* (LISEM), *Erosion 2D/3D*.

A maioria destes modelos ^{que} é utilizada a predição de erosão laminar, poucos são os modelos ^{que} trabalham com a predição de erosão linear, e são pouco confiáveis. Desta forma nos programas de recuperação de área degradada por processos erosivos e de controle de erosão a modelagem pouco é usada, por não ter um modelo capaz de demonstrar a realidade do problema ambiental neste caso.

2.5. Elaboração de Mapeamentos Voltados a Processos Erosivos

De acordo com Kopezinski (1998), nos anos 90 o mapeamento geotécnico voltou-se para os aspectos ambientais, buscando uma melhor compreensão dos processos geológicos/antrópicos e o relacionamento como o meio físico.

Segundo Zuquette & Nakazawa (1998) as cartas geotécnicas são instrumentos de aplicação que devem expressar os diferentes comportamentos/desempenhos esperados do terreno, diante de usos do solo pré-determinados, através de uma compartimentação em zonas ou unidades geotécnicas, cada qual com orientações técnicas de preventivas e corretivas dos problemas característicos, previamente identificados.

Para Aguiar *et al* (1995), o mapeamento geotécnico tem servido como ferramenta indispensável a diversos campos, dentre os quais e principalmente à avaliação e a resolução de problemas relacionados ao meio físico, dentro os quais a erosão.

Diversos trabalhos envolvendo o mapeamento geotécnico voltado a problemática da erosão já foram realizados.

2.5.1. Eventos e Risco

Para Cerri (1993), evento é o fato já ocorrido, onde não foram registradas consequências sociais e/ou econômicas relacionadas diretamente ao fato. Já Zuquette (1993) definiu evento como um fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo e no espaço.

Cerri (1995) conceituou evento perigoso (*hazard*) como fenômenos naturais ou não, fatos sociais ou assemelhados que provocam algum tipo de perda aos componentes do meio ambiente, sendo caracterizados principalmente pela intensidade. Entende-se intensidade para eventos perigosos do meio físico como o volume de materiais inconsolidados, rochas, águas, ventos e características energéticas (movimentos) associadas.

A erosão e o movimento de massa são alguns dos mais importantes processos naturais que ocorrem no meio físico, devido às suas características geológicas, geomorfológicas e climáticas e muitas vezes associadas a condicionantes antrópicos, impulsionados pela intensa urbanização e contribuindo para o empobrecimento geral da população, que ocupa sem critérios de áreas suscetíveis, gerando situações de risco (ZUQUETTE, 2000).

Um dos eventos perigosos naturais mais estudados é a erosão, por serem freqüentes em quase todas as regiões da Terra e conseqüentemente por colocarem em situação de perigo um número elevado de pessoas, bens materiais e dificultar as condições sociais. Os estudos geológicos - geotécnicos no Brasil são desenvolvidos para evitar perdas econômicas e permitir a adoção de medidas preventivas no planejamento do processo de ocupação, para estas condições são desenvolvidas documentos cartográficos que são as cartas de zoneamento de eventos perigosos e a de potencial de riscos associados para áreas onde ainda não ocorreu nenhum dos tipos de eventos perigosos (ZUQUETTE, 2000).

Para Zuquette (2000) a elaboração e qualquer tipo de carta de eventos perigosos esta diretamente relacionada à adoção de um modelo que represente todas as possibilidades do evento, associado a um limite de intensidade que é denominado de *Safety Threshold*, que define a intensidade do evento acima da qual o nível de risco (perdas) não é tolerável pela sociedade, meio ambiente ou forma de ocupação quando comparado a outros tipos de perdas, o que é denominado de percepção de risco.

Segundo Leroi (1993) risco é a expectativa de perda (vidas, bens materiais, interrupção de atividades econômicas) devido à ocorrência de um "*hazard*". Baseando-se em cálculos matemáticos, risco (R) é o produto de "*hazard*" (H) e vulnerabilidade (V), sendo então $R = H \times V$.

De acordo com Cerri & Amaral (1998) risco geológico corresponde a uma situação de perigo, perda ou dano, ao Homem e às suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência do processo geológico, induzido ou não. As cartas de risco

geológico representam a distribuição, o tipo e o grau dos riscos geológicos, visando à definição de medidas de prevenção de acidentes.

Para Zuquette (2000) a elaboração de qualquer tipo de carta de risco exige a definição de um cenário e a probabilidade de ocorrência do evento perigoso e de uma *Causal Hazard Chain* para uma determinada condição de ocupação. Com base no modelo exploratório proposto deve-se elaborar diversas *Causal Hazard Chain* no sentido de entender todos os mecanismos de erosão na área, e em seguida elaborar a análise das probabilidades de ocorrer os eventos.

Segundo Canil (2001b), a carta de risco à erosão é a representação cartográfica das unidades homogêneas dos terrenos em relação à ocorrência dos processos erosivos e impactos observados, com indicação de aptidões e restrições par o uso do solo urbano.

Canil (2001a) considera que o comportamento dos terrenos frente à erosão resulta das características intrínsecas dos elementos do meio físico, onde a deflagração dos processos é determinada pelo tipo de uso de solo, pode-se dizer que uma área de baixa ou média susceptibilidade à erosão pode vir a desenvolver processos erosivos de grande magnitude se o uso nela estabelecido tiver uma alta capacidade de indução à erosão, tornando-a, assim, uma área de alto risco. As áreas de alta e muito alta susceptibilidade poderão ser consideradas de médio e baixo risco se o tipo de uso do solo oferecer certa proteção, diminuindo a indução aos processos erosivos.

Deste modo, o uso e ocupação, como variável dinâmica, exercem papel importante de determinação das áreas de risco. Na medida que ocorrem transformações na paisagem, ou seja, substituição de áreas com cobertura vegetal natural por atividade agrícola e/ou expansão urbana, e que não há um planejamento adequado, os diferentes tipos de uso podem contribuir em diferentes níveis para o potencial à erosão (CANIL *op.cit.*).

Para Zuquette & Nakazawa (1998) a representação cartográfica da carta de risco de erosão deve ser de boa qualidade em relação ao seu conteúdo e expressão desse conteúdo, pois as informações devem ser claras e objetivas, pois nem sempre o usuário está familiarizado com os termos (tradução da linguagem), facilitando o entendimento; possibilitar atualização das informações que levam em conta a dinâmica dos processos; a investigação de campo é fundamental para o estabelecimento dos limites mais condizentes com a realidade; os dados devem estar associados à banco de dados automatizados e que tenham alta capacidade de interação.

Um exemplo da aplicação de elaboração de carta de risco a erosão do King Talal Watershed no Jordão é apresentado por Al-Sheriadech & Al-Hamdan (1999).

2.5.2. Vulnerabilidade

De acordo com Zuquette (1993) a vulnerabilidade é a característica intrínseca de um “sujeito”, “sistema”, ou elemento (linhas vitais), que estão expostos a um evento perigoso (*hazard*) e que corresponde a sua predisposição de perdas em ser afetado ou estar susceptível a sofrer perdas (danos).

Segundo o autor a vulnerabilidade pode ser classificada como vulnerabilidade física, quando a predisposição de perdas potenciais proporcionais ao seu valor, quando um elemento está susceptível as várias intensidades de um evento; e pode ser funcional que corresponde às perdas devido aos danos físicos de um elemento vital. A análise da vulnerabilidade pode ser técnica e sócio-econômica, e a sua avaliação pode ser empírica ou teórica.

A diferença entre vulnerabilidade e susceptibilidade é que a vulnerabilidade é o grau de perda resultante de um fenômeno potencial perigoso, e a susceptibilidade é a possibilidade de ocorrência de um evento.

2.5.3. Predisposição

Segundo Zuquette (2000) as cartas de predisposição do meio físico buscam avaliar as condições dos componentes do meio físico frente às variações do processo e suas condições das feições.

Guerra & Zuquette (1999) elaboraram uma carta de predisposição à erosão de Suape - PE, e para a confecção desta carta foram analisados, processados e interpretados produtos cartográficos que caracterizassem o meio físico da área estudada, como mapa geológico, mapa pedológico, mapa fitológico e carta de declividade, utilizando-se para tal técnica de geoprocessamento. Segundo estes autores a carta de predisposição à erosão constitui-se num produto que reflete a tendência para instalação de processos erosivos.

Para a elaboração da carta eles adotaram um modelo que considera o princípio do desenvolvimento de um processo erosivo condicionado a determinadas características do meio físico (geologia, pedologia, fitologia e declividade). A elaboração da carta orientativa contou das seguintes atividades:

- Digitalização das cartas temáticas;
- Ponderação das unidades das cartas temáticas;
- Elaboração da matriz de correlação;
- Avaliação por critérios múltiplos;
- Elaboração do produto final;
- Edição do produto final

A carta de predisposição à erosão constitui-se num produto de grande utilidade aos planejadores do uso e ocupação do meio físico da área trabalhada, considerando-se principalmente sua fácil leitura, rapidez na execução e a alta correlação com o mapa das feições morfogénéticas (GUERRA & ZUQUETTE *op. cit.*).

2.5.4. Inventário

Zuquette (1998 *apud* RODRIGUES, 1998) afirma que na maioria dos estudos realizados ou em desenvolvimento no Brasil, são voltados a avaliação de áreas que se mostram susceptíveis à ocorrência de algum evento perigoso (“*hazard*”) ou onde houve ocorrência deste e que tenha provocado perdas econômicas e de vida humanas.

O inventário é um dos pontos mais importantes no estudo de um evento perigoso, pois tem como objetivo principal o levantamento de dados, para que possam ser armazenados em bancos de dados e utilizados para análises dos eventos, para fornecer um melhor entendimento sobre a distribuição espacial e temporal da tipologia e causas dos eventos perigosos, para que se possa ser delimitadas áreas mais ou menos susceptíveis a outras.

Segundo Zuquette (2000) na elaboração de um mapa de inventário deve-se primeiramente preocupar-se com a localização das feições se são variáveis no tempo e o entendimento da distribuição espacial e temporal da tipologia das feições.

Os mapas de inventário são elaborados a partir da interpretação de fotografias aéreas em escalas adequadas (1: 25.000 ou maiores) e de diferentes períodos, associados

a trabalhos de campo e levantamento de dados históricos em trabalhos prévios, onde são relacionados e analisados os fatores litológicos, geomorfológicos, pedológicos, de ocupação, etc (CHACÓN *et al*, 1994; IRIGARAY *et al*, 1994; FERNANDÉZ *et al*, 1994, *apud* RODRIGUES, 1998).

Brabb (1985 *apud* RODRIGUES, 1998) afirma que o inventário pode ser executado de duas formas, como Inventário Simples ou Complexo. O inventário simples consiste em fotointerpretações e trabalhos de campo, onde são individualizadas as feições devido ao evento. No inventário Complexo é representado cada tipo de fatores pertinentes ao evento.

De acordo com Rodrigues (1998) os documentos obtidos neste processo são mapa de processos geomorfológicos, mapa contendo os diferentes tipos de eventos, atividades dos eventos, dos processos e materiais envolvidos, da diferenciação de profundidade, dos processos de erosão laminar e leque de detritos. Para esta autora, um mapa de inventário, para ser efetivo, deve apresentar escala adequada que permita a representação espacial das feições que ocorrem na região em estudo; registro das feições que represente as variações temporais; localização precisa das feições, bem como seus limites; características geométricas das feições; caracterização do material inconsolidado, litologia, relevo, água e descontinuidades; e registro fotográfico que permita a observação das variações ocorridas e das principais características do meio físico.

Nishiyama (1998) elaborou um mapa de inventário das feições erosivas aceleradas no município de Uberlândia, que teve como base a classificação das formas erosivas (ravinas e voçorocas) e a diferenciação e configuração das mesmas. As feições erosivas foram caracterizadas mediante levantamentos de campo e trabalhos de fotointerpretação com o uso de fotografias aéreas da região, com base nisto identificou a evolução das feições erosivas num intervalo de 15 anos. E no caso das voçorocas, o autor procurou determinar características de evolução mediante a observações dos seguintes aspectos: ampliação das áreas atingidas em relação ao recobrimento anterior; presença de vegetação no interior; número de ramificações; morfologia da área onde se desenvolve a erosão; e forma geométrica. Possibilitando assim classificar as voçorocas quanto às categorias de evolução; forma geométrica; e estágio evolutivo.

2.4. Degradações Decorrentes dos Processos Erosivos

2.4.1. Sulcos

De acordo com Canil *et al* (1995) os sulcos correspondem a pequenas incisões em forma de filetes muito rasos. Representam áreas em que a erosão laminar é mais intensa.

Para Ridente Júnior (2000), os sulcos são feições erosivas linear de pequenos portes, formados a partir do escoamento superficial concentrado, este tipo de feição possui profundidade e largura inferiores a cinquenta centímetros, sendo que suas bordas possuem pequena ruptura na superfície do terreno. Ocorre mais comumente associado a trilhas de gado e em locais de solo exposto devido à movimentação de terra. A erosão linear em sulco é considerada de pequeno porte, com largura de 10 a 30 cm, e profundidade de 5 a 15cm, com bordas suaves, sem ruptura significativa na superfície do terreno.

2.4.2. Ravinas

Cavaguti (1994 *apud* CANIL *et al*, 1995) define ravina como uma erosão que não pode ser obliterada por operações normais de preparo do solo. Para Canil *et al* (*op. cit*) as ravinas apresentam profundidades acima de 0,5 m, e são formadas essencialmente pelo escoamento de água superficial, que provoca o desprendimento de partículas do solo e movimentos de massa devido ao abatimento dos taludes. Apresenta forma retilínea, alongada e estreita; raramente se ramifica, não chega a atingir o nível freático e possui perfil transversal em “V”. Ocorre entre eixos de drenagens, muitas vezes associadas a estradas, trilhas de gado e carreadores.

Ridente Júnior (2000) considera as ravinas como produto do escoamento superficial concentrado, que forma as feições erosivas lineares, e ainda considera que os mecanismos de erosão envolvem movimentos de massa, representados pelos pequenos deslizamentos nos seus taludes laterais, causados por solapamento de suas bases devido ao escoamento superficial em seu interior, que provoca seu alargamento. A erosão linear

em ravina é considerada de grande porte com largura superior a 1m, e profundidade superior a 0,5m, a feição das bordas são abruptas, com ruptura instável da superfície do terreno. Há um transporte intenso de sedimentos.

Para Guerra (1998) as ravinas são, quase sempre, iniciadas a uma distância crítica do topo da encosta, onde o escoamento superficial se torna canalizado. Elas podem ser formadas próximas à base das encostas, onde uma pequena incisão recua em direção ao topo da encosta. Esta incisão, segundo Morgan (1996), pode estar associada à saturação do escoamento superficial, em vez de estar relacionada ao fluxo hortoniano.

Guerra *op. cit.* descreveu que o desmatamento e o uso agrícola da terra podem acelerar os processos de formação de ravinas, em especial onde as chuvas concentradas ocorrem em períodos em que os solos estão desprotegidos de cobertura vegetal. Nesse caso, um grande volume de material pode ser erodido das encostas.

2.4.3. Permanentes: Voçorocas

As voçorocas, ou também chamada de boçorocas, são consideradas como um processo erosivo semi-superficial de massa, face ao fenômeno global da erosão superficial e ao desmonte de maciços de solo dos taludes, ao longo dos fundos de vale, ou de sulcos realizados no terreno.

As voçorocas são feições erosivas típicas de regiões de clima tropical e subtropical, como o Brasil, são feições lineares formadas a partir de um fluxo de água concentrada, geralmente este tipo de feição ocorrem devido à interferência do homem em erosões do tipo acelerada. No país este tipo de feição é comum, como consequência da degradação do solo, gerando um grande problema ambiental.

As voçorocas são formas de ravinamento ocasionadas pela articulação entre erosão originada por escoamento d'água superficial concentrado. E subsuperficial, com erosão interna (*piping*). Desenvolve-se por deslizamento lateral de paredes (auxiliado por subpressões em trincas de descompressão) e erosão remontante por vezes com abatimentos súbitos de terreno (SANTORO, 1991; PONÇANO & PRANDINI, 1987).

Para Canil *et al* (1995) as voçorocas são produtos da ação combinada das águas do escoamento superficial e subterrâneo, desenvolvendo processos/fenômenos como

piping, liquefação de areias, deslizamentos, corridas de areia, etc, compondo o quadro evolutivo mais complexo da erosão linear. As voçorocas são erosões de grande porte, com formas variadas e de difícil controle. Quando instaladas ao longo dos cursos d'água, principalmente nas suas cabeceiras são denominadas de voçorocas de barragem. As voçorocas também podem formar-se a partir do aprofundamento de ravinas até o nível freático e são denominadas de voçorocas de encosta. Em geral, as voçorocas são ramificadas, de grande profundidade, apresentam paredes irregulares e perfil transversal em "U".

Segundo Ridente Júnior (2000), a erosão em boçoroca (ou voçoroca) ocorre devido ao escoamento superficial concentrado e escoamento subsuperficial concentrado, sendo considerada uma de grande porte com largura superior a 5m, e profundidade superior a 2m, as bordas são abruptas, com ruptura instável da superfície do terreno. Há transporte muito intenso de sedimentos devido ao escoamento superficial e a ocorrência de *piping*.

Para Pichler (1953) a intensidade com que a erosão ocorre depende de três fatores, dos quais são:

1. A resistência que a formação geológica opõe ao seu desagregamento e transporte, em função da estrutura e textura do solo;
2. A força da água, que depende da vazão e do gradiente hidráulico;
3. Das condições topográficas e do nível de base local.

De acordo com Fendrich (1997) o desenvolvimento da voçoroca depende de uma série de fatores e processos que ocorrem simultaneamente ou em períodos diferentes de seu crescimento, que são:

1. Erosão na cabeceira devido ao impacto das gotas de chuva;
2. Erosão no canal (talvegue) causada pelo fluxo d'água concentrado;
3. Perda de coesividade do solo no contorno da voçoroca devido a diferenças no aquecimento e umidade ao longo do tempo;
4. Quedas das paredes laterais devido à ação da água subterrânea.

Para Fendrich *op. cit.* há vários tipos de voçorocas, classificadas de acordo com seus aspectos, tais como: formato da seção transversal, tamanho, profundidade, formato em planta, etc.

Quanto à seção transversal, classifica-se com formato de V ou em U, os quais dependem das condições climáticas e do solo, da idade da voçoroca e do tipo de erosão.

O formato em U é normalmente encontrado em regiões onde o solo e subsolo são mais facilmente erodíveis, não significando necessariamente um perfil mais estabilizado. As paredes são quase verticais e a ampliação lateral é realizada por erosão superficial, ou por descalçamento da base da parede devido à ação da água subterrânea.

O formato em V é relativo a solos mais resistentes à erosão, onde o escoamento superficial concentrado atua preponderantemente à ação da água subterrânea. Este formato é mais comum no início do processo erosivo, muito embora seja freqüente encontrar ambos os formatos numa mesma voçoroca, independentemente de sua idade ou estabilização, os tipos de forma podemos observar na **Figura 2.13**.

FIGURA 2.13- Formas em U e V de uma voçoroca (FONTE: FENDRICH, 1997).

Quanto à profundidade, a classificação também é um tanto arbitrário e estabelece-se da seguinte forma (**Tabela 2.2**):

TABELA 2.2- Classificação quanto à profundidade de um voçoroca (FONTE: FENDRICH, 1998).

TAMANHO	PROFUNDIDADE (m)	ÁREA DRENANTE (ha)
Pequena	< 1	2
Média	1 a 5	2 a 20
Grande	> 5	> 20

Segundo Ivaza & Prandini (1980), as voçorocas podem ser classificadas quanto ao local de ocorrência, sendo tratadas como voçorocas rurais e urbanas.

As voçorocas rurais se desenvolvem nas pastagens, culturas de má cobertura, sujeitas a manejo inadequado, e na maioria das vezes são produtos de ravinamentos iniciado ao longo de valas de demarcação, trilhas ou linhas de plantio. O fenômeno se

manifesta quando uma dada ravina intercepta o lençol freático e se transforma em uma voçoroca típica, com a evolução de sua seção de V para U.

Para os autores, a mudança de regime de escoamento é devido ao desmatamento, prática que permite maior velocidade na movimentação da água pluvial, já que diminuem os obstáculos e estruturas retentoras em detrimento da infiltração, e cresce o volume de descarga d'água em escoamento nas vertentes. Muitos outros fatores derivados do desmatamento, que contribuem com a erosão, são apontados pelos especialistas.

Corroborando com Iwasa & Prandini *op. Cit.*, Guerra (1998) descreveu que a formação de voçorocas em áreas rural desenvolve - se devido ao desmatamento, o uso de agrícola da terra, o superpastejo e as queimadas, quase sempre, são responsáveis diretas pelo surgimento de voçorocas, associadas com o tipo de chuva e as propriedades do solo e podem ter origens variadas. Uma delas se refere ao alargamento e aprofundamento de ravinas, que se formam em determinada encosta.

As voçorocas em áreas urbanas, de acordo com Iwasa & Prandini *op. Cit.*, são decorrentes ao crescimento desordenados das cidades. Como toda obra interpõe estruturas pouco permeáveis entre o solo e a chuva, fazendo com que o escoamento seja incrementado com a diminuição da infiltração, em uma mudança de regime de escoamento, localmente mais drástica, do que aquela provocada pelo desmatamento.

A implantação das cidades brasileiras, que não estejam vinculadas ao mar ou a grandes rios, com raras exceções, se dá em sítio preferencialmente pouco acidentado, com o núcleo fixado no ponto mais alto da maior colina ou “espigão”. Cidades assim situadas em solos de baixa potencialidade a erosão, quando não calçadas, podem têm o ravinamento iniciado nas próprias ruas, que são as principais adutoras das águas captadas pelos telhados, somadas ao *runoff* local; estas ravinas não raro se transformam em voçorocas típicas ao interceptar o lençol freático.

O alargamento, próprio da evolução da voçoroca, destrói casas e obras públicas. Quando as águas são conduzidas por sistemas apropriados, os problemas têm origem no ponto de lançamento das águas captadas. Sendo comumente grande a distância que separa o perímetro urbanizado de uma drenagem estável, isto é, curso d'água com leito resistente a grandes incrementos na vazão, as águas pluviais e servidas são lançadas na drenagem mais próxima da zona urbanizada; assim multiplica-se a vazão do curso d'água, que inicia um processo de entalhamento do leito. Os incrementos brutais das vazões, por ocasião das chuvas, aliando-se as variações do nível freático, conferem ao

processo erosivo remontante uma dinâmica acelerada, com avanços de dimensão e rumo imprevisíveis. Tais características que se desenvolvem em área urbanizada, colocam em risco a segurança e a economia da população local.

O termo voçoroca não possui terminologia específica na língua inglesa, a palavra *gully* significa tanto ravina como voçoroca, o que distingue é do sentido do texto. Em outros lugares do mundo voçoroca pode ter uma denominação regional, por exemplo, no sudoeste dos Estados Unidos é chamada de *Arroyo*, em Madagascar de *lavaka*, e na África do sul é conhecida como *donga* (RODRIGUES, 1982; SHELBY, 1993; NISHIYAMA, 1998).

2.4.4. *Piping*

O *piping* é a erosão interna ou tubular que provoca a remoção das partículas no interior do solo formando canais que se desenvolvem no sentido contrário ao fluxo da água (Souza, 2001).

2.4.5. Erosão Marginal

Outro tipo de processo erosivo é o solapamento de margens fluviais denominada como erosão marginal, este tipo de feição se desenvolve em planícies fluviais e aparece como importante fator no retrabalhamento de sedimentos depositados nos fundos de vale (terraços fluviais e depósitos de assoreamento recentes). Este processo também ocorre, muitas vezes, em linhas de talvegue ou cursos d'água perenes de primeira ordem, por meio do alargamento do canal fluvial (RIDENTE JÚNIOR, 2000).

A erosão marginal (*stream bank*), que é causada pelo escoamento concentrado nos cursos de água, desenvolvendo formas erosivas transversais ao eixo do fluxo (Morgan, 1995).

2.7. Formas de Controle e Reabilitação de Áreas Erodidas

2.7.1. Técnicas de controle

Souza (2001) em seu trabalho de doutorado reuniu as principais propostas de técnicas de controle de vários autores, visando às práticas de conservação do solo e de controle das feições erosivas, tanto em áreas rurais como em áreas urbanas, e classificando as técnicas de controle em medidas corretivas, mitigadoras e preventivas, como apresentado na **Tabela 2.3** e **Tabela 2.4**.

As técnicas de controle corretivas constituem a análise da situação atual da feição erosiva e a concepção de um projeto hidráulico e estrutural. No que se concerne, a medidas preventivas, esta envolve trabalhos de reconhecimento das características físicas de ocupação, uso e direcionamento das formas de ocupação (SOUZA, 2001), isto é, consiste na adoção de um planejamento prévio ligado ao uso do solo (CARVALHO *et al.*, 2001).

2.7.1.1. Em áreas rurais

De acordo com Salomão & Iwasa (1995) o controle de erosão em áreas rurais é muito complexo por envolver questões tanto de ordem técnica como sócio- econômicas, estas devem ser conjuntamente avaliadas visando a adoção de uma política agrícola que contemple a manutenção ou aumento do potencial produtivo da terra. Contudo, tem que haver um conhecimento da capacidade de uso da terra, para que o solo não sofra depauperamento pelos fatores de desgaste e empobrecimento das camadas férteis.

A aplicação das práticas conservacionistas do solo pode minimizar ou controlar os processos erosivos em áreas rurais, que tem como objetivo fundamental garantir a máxima infiltração e menor escoamento superficial das águas pluviais, estas práticas conservacionistas, são defendidas e indicadas por diversos trabalhos como Sobral *et. al.* (1980), Morgan (1986), Galetti (1987), Salomão & Iwasa (1995), Bertoni & Lombardi Neto (1999), entre outros.

Segundo Salomão & Iwasa (1995) e Bertoni & Lombardi Neto (1999), as técnicas de conservação do solo podem ser agrupadas em práticas vegetativas, edáficas e

mecânicas. Este trabalho agrupou as práticas conservacionistas com base nas técnicas consideradas nos trabalhos de Salomão & Iwasa (1995) e de Bertoni & Lombardi Neto (1999), e ainda considerou as técnicas agrupadas como complementares propostas por Souza (2001), estes trabalhos se mostraram mais completos sobre o assunto abordado.

→ Práticas vegetativas

As práticas vegetativas utilizam a cobertura vegetal como critério básico de contenção da erosão, ou seja, usa a densidade de cobertura vegetal como princípio fundamental de toda proteção do solo, preservando - lhe a integridade contra os efeitos danosos da erosão.

Reflorestamento

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1999), a técnica de reflorestamento consiste em plantar vegetações permanentes bastantes densas. Esta técnica é indicada para terras de baixa capacidade de produção, em solos muito inclinados, muito pobres ou muito erodíveis, em regiões de topografia acidentada, para as margens de rios, em cabeceiras e taludes de voçorocas.

Pastagem

De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1999), a pastagem proporciona uma boa proteção ao solo, menos intenso que o reflorestamento. As pastagens necessitam de alguns cuidados para que se possa manter a eficiência de proteção do solo, como compatibilizar o peso do gado com a capacidade das pastagens, evitar atear fogo, realizar o ressemeio periódico com sementes nativas. Há casos de ocorrência de feições erosivas em áreas de pastagem, principalmente por causa de trilhas, que criam caminhos preferenciais de escoamento da água da chuva, e pelo intenso pisoteio feitos pelo gado, que expõem o solo aos agentes erosivos.

Tabela 2.3- Propostas de práticas de controle de processos erosivos em áreas rurais, modificado de Souza (2001).

PRÁTICAS		MEDIDAS		
		<i>CORRETIVAS</i>	<i>MITIGADORAS</i>	<i>PREVENTIVAS</i>
Vegetativa	Reflorestamento	x	x	x
	Pastagem	x	x	x
	Plantas de coberturas			x
	Culturas em faixas		x	x
	Cordões de vegetação permanentes		x	x
	Faixas de bordadura		x	x
	Alternância de capinas			x
	Ceifa do mato			x
	Cobertura morta	x	x	x
Edáfica	Controle do fogo			x
	Adubação (verde, química e orgânica)		x	x
	Plantio direto		x	x
	Rotação de culturas		x	x
	Calagem		x	
Mecânica	Plantio em contorno	x	x	x
	Terraceamento	x	x	x
	Sulcos e camalhões			x
	Canais de escoadouros	x	x	x
	Barragens	x	x	
Complementares	Adequação e conservação de estradas Visinais e carreadores	x	x	x
	Caixas de retenção		x	x
	Construção de abastecedouros comunitários		x	x
	Mapeamento/ Cartografia geotécnica			x
	Aterramento	x	x	

Tabela 2.4- Propostas de práticas de controle de processos erosivos em áreas urbanas, modificado de Souza (2001).

PRÁTICAS		MEDIDAS		
		CORRETIVAS	MITIGADORAS	PREVENTIVAS
Obras de Microdrenagem	Meios fios/ Guias	X	X	X
	Sarjetas	X	X	X
	Sarjetões	X	X	X
	Bocas- de- lobo/ Bocas coletoras	X	X	X
	Galerias	X	X	X
	Poços de visita	X	X	X
	Trecho	X	X	X
	Tubos de ligações	X	X	X
	Caixas- de- ligação	X	X	X
	Estações de bombeamento	X		
	Coletores	X	X	X
Obras de Macrodrenagem	Canais: naturais ou artificiais	X	X	X
	Dissipadores de energias	X	X	X
	Ressalto hidráulico	X	X	
	Barragens	X	X	
	Vertedouros	X	X	
	Bacia de acumulação	X	X	
	Bacias dissipadoras	X	X	
Compleme ntares	Proteção de taludes	X	X	X
	Aterramento	X	X	
	Obras de pavimentação	X	X	X
	Drenos	X	X	
	Mapeamento/ Cartografia geotécnica			X

Plantas de cobertura

As plantas de coberturas têm como objetivo manter o solo, nos espaços entre as culturas, coberto durante o período chuvoso, a fim de reduzir os efeitos da erosão e melhorar as condições físicas e químicas do terreno. Um grande benefício destas plantas é a produção de matéria orgânica para incorporação no solo, que proporciona uma eficiente proteção do solo contra o efeito da ação direta dos raios solares, melhorar a estrutura e a capacidade de retenção da umidade dos solos (LOMBARDI & BERTONI, 1999).

Culturas em faixas

De acordo com Salomão e Iwasa (1995), a cultura em faixa consiste no plantio em faixas de exploração contínua ou em rotação, intercalando, geralmente com culturas anuais ou semiperenes, e tem como objetivos interceptar a velocidade das enxurradas e dos ventos, facilitar a infiltração das águas e permitir a contenção do solo parcialmente erodido.

Bertoni & Lombardi Neto (1999), consideram a cultura em faixa uma prática complexa, pois combinam o plantio em contorno, a rotação de culturas, as plantas de cobertura e, em muitos casos, os terraços. Para estes autores, o efeito da cultura em faixa no controle da erosão é baseado em três princípios: nas diferenças em densidades das culturas empregadas, no parcelamento dos lançantes e na disposição em contorno.

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (*op. cit.*), a locação das faixas pode ser feita de três maneiras (**Figura 2.14**): faixas niveladas, onde todos os limites entre as faixas são colocados na linha de contorno do terreno, este sistema é o mais adequado para terrenos de topografia irregular, o controle da erosão ocorre em virtude das fileiras de plantas seguirem com maior aproximação às curvas de nível; faixas paralelas, apenas uma linha mediana da gleba é marcada em contorno, sendo as demais divisórias entre as faixas tiradas paralelamente à mesma, este sistema é recomendado apenas para terrenos com topografia suave e declive uniformes; faixas associadas combinam os dois sistemas anteriores, onde uma faixa paralela alterna com uma nivelada.

FIGURA 2.14- Culturas em faixas: A. as faixas são irregulares; B. As faixas são regulares; C. as faixas tem pouca irregularidade (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

Cordões de vegetação permanentes

De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1999), os cordões de vegetação permanentes são fileiras de plantas perenes e de crescimento denso, dispostas com determinado espaçamento horizontal e sempre em contorno. No controle da erosão estes cordões têm como objetivos quebrar a velocidade de escoamento superficial das águas pluviais, provocando a deposição de sedimentos transportados e facilitar a infiltração de água no solo.

Segundo estes autores, esses cordões possibilitam a formação gradual de terraços com o decorrer dos anos, e com um pequeno trabalho de acabamento estes terraços são terminados, assim esta técnica é bastante eficiente no controle da erosão. Para as

condições brasileiras, estes cordões apresentam grandes vantagens devido a sua simplicidade e facilidade de execução, o que facilita o seu emprego pelos agricultores que disponham de pequenos recursos técnicos.

Alternância de capinas

A alternância de capina consiste na intercalação nas campinas de maneira a manter parceladas da área de cultivo, com mato, imediatamente abaixo de outra recém capinada, seu efeito no controle da erosão é semelhante ao observado na cultura em faixa e cordões de vegetação permanentes (SALOMÃO & IWASA, 1995).

Segundo Bertoni & Lombardi (1999), a alternância de épocas de capina em ruas adjacentes, durante o período chuvoso, é uma maneira, praticamente sem despesa, de reduzir as perdas por erosão tanto em culturas anuais quanto em perenes. A eficiência desse sistema no controle a erosão é maior quando mais próximas às ruas das plantas estiverem a curvas de nível do terreno.

Ceifa do mato

Bertoni & Lombardi Neto (1999) relata que a ceifa do mato no controle das perdas de solo por erosão ocorre quando em comparação com o controle das ervas daninhas por meio de campinas, e é explicado pelo seguinte: não há a desagregação da camada superficial do solo que facilita a erosão; não há a mutilação das raízes superficiais das plantas perenes cultivadas; sem a eliminação total da vegetação de cobertura do solo, não havendo o efeito da energia do impacto da gota da chuva no terreno; o sombreamento do solo que proporciona é de grande auxílio contra a oxidação acelerada da matéria orgânica.

Cobertura morta

A cobertura morta é a cobertura do solo com restos de culturas, onde protege o solo contra o impacto das gotas da chuva, diminui o escoamento superficial, e incorpora ao solo a matéria orgânica. A cobertura morta com palha ou resíduos vegetais contribui para a conservação da água e diminui a temperatura do solo, reduzindo as perdas por evapotranspiração (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999). Galeti (1987), considera que a cobertura morta compreende não só restos vegetais, mas também restos industriais e material artificial.

→ Práticas Edáficas

De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1999), as práticas edáficas são práticas conservacionistas que visam manter ou melhorar a fertilidade do solo, através de modificações no sistema de cultivos, e indiretamente controlam a erosão. Além das práticas de controle da erosão, são necessárias outras práticas que reponham os elementos nutritivos, controlem a combustão de matéria orgânica, diminuam a lixiviação, controlando, em parte, as causas de depauperamento do solo. As práticas edáficas são o controle do fogo, a adubação verde, química e orgânica, o plantio direto, rotação de culturas, e calagem, estas práticas são pesquisadas e empregadas para fins agronômicos, desta forma não iremos trata-las neste trabalho.

→ Práticas Mecânicas

As práticas mecânicas, de acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1999), são aquelas em que se recorre a estruturas artificiais, mediante a disposição adequada de porções de solo, com a finalidade de quebrar a velocidade do escoamento superficial da enxurrada, e de facilitar a infiltração da água no solo.

Plantio em contorno (em nível)

O plantio de contorno consiste em dispor as fileiras de plantas e executar todas as operações de cultivo no sentido transversal à pendentes, em curvas de nível ou linhas de contorno (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999). O plantio em nível é feito acompanhando linhas em nível marcadas no terreno, esta linha é uma linha imaginária (marcada no terreno por estacas), que tem todos os seus pontos numa mesma cota (mesma altura ou altitude), ou seja, obedecendo, geralmente, a curva de nível (GALETI, 1987).

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1999), o plantio em contorno constitui uma medida de controle de erosão, onde ao se cultivar em contorno, cada fileira de planta, assim como os pequenos sulcos e camalhões de solo que as máquinas deixam no solo, constituem um obstáculo, diminuindo assim a velocidade do escoamento superficial, e também diminui a capacidade de arrastamento das partículas. A prática do plantio em contorno proporciona maior facilidade e eficiência no estabelecimento de outras práticas complementares baseadas na orientação do contorno.

Quando o plantio é utilizado sozinho em terrenos de topografia acidentada, ou em regiões de chuva intensas, ou em solos de alta erodibilidade, existe um aumento no risco de formação de feições erosivas, pois as pequenas leiras, rompendo-se, podem soltar a água acumulada, e o volume da enxurrada, aumenta a cada leira sucessiva (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

A execução dessa prática pode ser estabelecida seguindo alguns parâmetros propostos por Souza (2001) na **Tabela 2.4**.

TABELA 2.4- Sistemas de marcação das ruas em contorno, modificado de Souza (2001).

Sistemas de marcação	Procedimentos/ Empregos	Ilustrações
Paralelas para baixo das niveladas	As linhas são tiradas paralelamente à nivelada superior, terminando na linha nivelada inferior, onde também acabarão as ruas mortas. Esse sistema é recomendado para terrenos pouco permeáveis.
Paralelas para cima das niveladas	As fileiras de plantas são tiradas em relação à nivelada inferior, acabando na linha superior, onde também acabarão as ruas mortas
Paralelas tanto para cima como para baixo	As fileiras de plantas são paralelas a partir da nivelada superior e a partir da nivelada inferior até se encontrarem no meio, onde também ficarão as ruas mortas. Tal sistema é recomendado para terrenos de permeabilidade média e topografia acidentada
paralelas ora para baixo ora para cima	As fileiras de plantas são tiradas ora para baixo, ora para cima, entre as duas niveladas, de forma a fazê-las com caimento num único sentido, rumo a canais escoadouros. O sistema é recomendado para terrenos de fraca permeabilidade, onde exista necessidade de prever o escoamento dos excessos do escoamento superficial.

Terraceamento

Terraceamento é o processo de construir terraços, este é formado de um canal e um camalhão feito em nível ou com gradiente, o objetivo principal é de controlar a erosão (GALETI, 1987). O terraceamento da encosta visa interceptar a água da enxurrada e conduzir o excesso pelo canal (SALOMÃO & IWASA, 1995). A principal função do terraço é diminuir o comprimento dos lançantes para reduzir a formação de sulcos em regiões de alta precipitação e retendo mais águas em zonas mais secas (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1999), o terraceamento é uma das práticas mais eficientes para controlar a erosão. Esta técnica em terras cultivadas é sempre combinada com as práticas de plantio de contorno ou com outras práticas simples, como cobertura morta e culturas em faixas. Os autores alertam para as dificuldades e de custos de construção e manutenção que aumentam à medida que cresce a declividade do terreno, pois a declividade determina a praticabilidade do terraceamento, a tal ponto que sua construção pode-se tornar inviável.

Existem vários tipos de terraços, como o Magnum, Nichols, o de base larga, o de base estreita, o patamar, e o individual, a escolha do tipo a ser construído depende das condições da declividade do terreno e do tipo de solo.

O terraço tipo Magnum é construído pelos dois lados do terreno, sendo um terraço de camalhão mais alto (Figura 2.15), este é adaptado para a conservação da água (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

FIGURA 2.15- Representação em bloco diagrama do terraço tipo Magnum.

O tipo Nichols é desenvolvido com a movimentação do solo para o lado de cima do terreno (**Figura 2. 16**), com a desvantagem de não poder ser aproveitada para o cultivo a faixa destinada ao canal (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

FIGURA 2.16- Representação em bloco diagrama do terraço tipo Nichols.

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1999), as características do terraço tipo base larga (**Figura 2.17**) são de ser bastante largos, rasos, de suave inclinação, é o mais comum, e é considerado como uma das formas mais seguras de proteção do solo contra os efeitos da erosão, estes terraços podem ser empregados em culturas anuais, perenes, e até mesmo em pastagens.

FIGURA 2.17- Representação em bloco diagrama do terraço tipo base larga.

A construção do terraço é indicada para terrenos de até 12% de declividade, sendo que para solos de boa permeabilidade pode ser de até 20%, ainda pode ser indicado para terrenos de baixa declividade, como de 0,5%. A construção desses terraços para terrenos de topografia irregular não é indicada (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

O espaçamento entre os terraços é determinado de maneira que a enxurrada não alcance velocidade erosiva, isto significa que a distancia entre eles depende da declividade do terreno e do tipo de solo, quanto maior o espaçamento, menor o custo de construção por unidade de área. O terraço pode ser construído com uma seção na forma de V ou com fundo chato, a seção em V é indicada para solos menos permeáveis, e o de fundo chato para solos mais permeáveis (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

O terraço de base estreita é uma combinação de valetas e leiras de pequenas dimensões (**Figura 2.18**), é bastante utilizado na proteção de culturas perenes, não é indicado para culturas anuais. Ao contrário do de base larga, o de base estreita é recomendado para terrenos de maior declividade. O espaçamento entre os terraços será maior quanto mais permeável e menos erodível for o solo, e menor quanto maior for a declividade do terreno (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

FIGURA 2.18- Representação em bloco diagrama do terraço tipo base estreita.

De acordo com BERTONI & LOMBARDI NETO (1999), o terraço patamar consiste de plataformas construídas em terrenos de grande inclinação, com declividade acima de 20%, formando uma espécie de degraus (**Figura 2.19**). É uma prática muito antiga feita para conservação do solo de regiões montanhosas. A grande desvantagem deste tipo de terraço é o seu elevado custo de construção, a sua utilização se restringe a regiões com grande densidade de população e que não tenham terras planas. No controle

da erosão, os terraços- patamar são eficientes, pois contribuem para melhor conservação das águas da chuva.

Figura 2.19- Representação em bloco diagrama do terraço tipo patamar.

O terraço é dito como tipo individual quando consiste em um patamar, circular ou oval, construído individualmente para cada planta (**Figura 2.20**), é indicado para o controle de erosão nas culturas perenes em terrenos de declividade muito forte. Como vantagem este tipo de terraço aproveita melhor o fertilizante, facilidade de colheita, reduz a velocidade do escoamento superficial da enxurrada, com maior infiltração da água da chuva. A principal desvantagem do terraço individual é o seu alto custo de construção.

FIGURA 2.20- Representação em bloco diagrama do terraço tipo individual.

Sulcos e Camalhões em Contorno (em Pastagem)

Os sulcos e camalhões são uma combinação de um pequeno canal com um pequeno dique de terra executados nas pastagens seguindo uma marcação prévia do terreno em contorno (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1999), os sulcos e camalhões de contorno é uma das práticas mais eficientes na retenção das águas de chuvas em pastagem, são recomendadas para regiões de chuvas escassas. A grande vantagem desta prática é a melhor retenção de águas, em consequência da melhor conservação da água no solo, a vegetação torna-se mais densa e mais vigorosa nas proximidades dos sulcos e camalhões, protegendo assim melhor o solo contra os processos erosivos.

Canais Escoadouros

De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1999), os canais escoadouros são canais de dimensões apropriadas, vegetados, capazes de fazer escoar com segurança a água de escoamento superficial proveniente dos sistemas de terraceamento ou de outras estruturas.

Segundo estes autores, o canal escoadouro vegetado é uma das práticas básicas mais importantes no planejamento conservacionista de uma área agrícola, sua importância ocorre quando a chuva excede a capacidade de infiltração de um solo, um excesso de água passa a escoar pelo terreno, sendo que o sucesso de qualquer programa de conservação do solo depende da remoção desse excesso, sem comprometer o terreno a erosão, desta forma a construção dos canais escoadouros deve ser bem planejada.

A melhor localização do canal escoadouro é uma depressão natural, para onde as águas são forçadas a escorrer, bem como nos espigões, divisas naturais e caminhos. Contudo, estes canais podem ser construídos com seções triangular, parabolóide e trapezoidal (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999). A **Figura 2.21** apresenta as seções típicas dos canais de escoadouros

O de seção trapezoidal é indicado para terrenos de declividade acentuada, cujo fundo chato, espalhando a lâmina de água, diminui a velocidade de escoamento da enxurrada. O de seção triangular é indicado para terrenos de declividades menores, que devido ao fundo ser em forma de V, concentra a água, impedindo a deposição dos sedimentos. O canal de seção parabolóide é indicado para as declividades intermediárias (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

FIGURA 2.21- Seções típicas de canais escoadouros: A- Parabolóide; B- Trapezoidal; C- Triangular, modificada de Bertoni & Lombardi Neto (1999).

→ Técnicas Complementares

De acordo com Souza (2001), as técnicas complementares podem proporcionar a implantação e o funcionamento adequado das técnicas abordadas anteriormente, se utilizados conjuntamente em determinadas situações. As técnicas complementares consideradas aqui neste trabalho, baseado no trabalho de Souza (2001), são as seguintes: construção de abastecedouros comunitários, e aterramento. As técnicas de adequação e conservação de estradas vicinais e carregadores serão tratadas no próximo item.

Construção de Abastecedouros Comunitários

Os abastecedouros comunitários têm a função de diminuir os processos erosivos ocasionados pelas trilhas de gado. Os abastecedouros devem ser construídos em pontos estratégicos que alcancem de preferência várias propriedades vizinhas, geralmente são revestidos de concreto (SOUZA, 2001).

Aterramento

Consiste em preencher, geralmente, as feições erosivas de pequeno porte (ravinas e sulcos) com material de aterro, quando o processo erosivo se encontra num estágio mais avançado, com a presença de voçorocas, esta solução torna - se economicamente inviável.

→ Controle da Erosão Associada a Estradas Vicinais e Carreadores

Segundo Salomão & Iwasa (1995), o desinteresse pelo investimento em obras complementares ao projeto de estradas e a falta de manutenção são as principais causas da grande incidência de erosão por ravinas e voçorocas encontradas em áreas rurais. Cunha & Santos (1985) ainda relatam também como as principais causas de erosões a falta ou deficiência de um sistema de drenagem adequado e as condições de susceptibilidade dos solos a erosão.

As feições erosivas são observadas tanto ao longo da plataforma de rolamento, nos cortes e aterro, como fora dela, como em caixas de empréstimo, áreas de jazidas exploradas, junto a base de aterros, e a jusante das obras de transposição, como bueiro, pontilhões, pontes, etc (SALOMÃO & IWASA, 1995).

De acordo com Cunha & Santos (1985), o controle da erosão em estradas vicinais pode ser usado medidas corretivas e também preventivas. As medidas corretivas podem ser feitas com o preenchimento das feições como solo local compactado, utilizar material empregado como revestimento primário de tal forma a preparar a superfície para servir como rolamento da via. As medidas preventivas têm que visar a utilização de métodos de conservação da plataforma da estrada, impedir que mais água chegue a estrada, retirar o máximo possível de água da plataforma, evitando, contudo provocar erosões em áreas adjacentes, evitar que as águas escoem ou fiquem retidas sobre a pista, e proteger os pontos sensíveis da plataforma e adjacências.

Baseado nos trabalhos de Cunha & Santos (1985), Bigarella & Mazuchowski (1998), e Salomão & Iwasa (1995), as medidas comumente recomendadas para o controle de estradas e carreadores são a proteção vegetal, valetas/ canaletas revestidas ou gramadas, bueiros, abaulamento transversal da pista de rolamento, sangras e saídas laterais, caixa de infiltração ou acumulação, e dissipadores de energia.

Proteção vegetal

A proteção vegetal deve ser executada em todos os locais da plataforma e nas áreas adjacentes à estrada, sujeitas a processos erosivos, como nos taludes de corte e aterros, valetas não revestidas, saídas de bueiros e sangras, caixas de empréstimos, áreas de jazidas, etc. A escolha das espécies de vegetação tem que se buscar aquelas que melhor se adaptam à região e que oferecer máxima proteção do solo, geralmente as espécies utilizadas são bambu, grama, capim, etc.

Valetas/ Caneletas Revestidas ou Gramadas

As valetas/ canaletas devem ser executadas em todos locais de concentração de água, principalmente nas bordas da plataforma em cortes e aterros, junto às cristas de corte e às saídas de aterros, e nas saídas dos bueiros.

Bueiros

Os bueiros devem ser construídos com tubos de concreto, alvenaria, aço, entre outros, em travessias de pequenas drenagens, naturais permanentes ou intermitentes.

Abaulamento Transversal da Pista de Rolamento

O abaulamento transversal tem o objetivo de drenar as águas para as valetas laterais, o que impede o empoçamento ou escoamento da águas da chuva ao longo da pista.

Sangras e Saídas Laterais

As sangras e saídas laterais têm a função de tirar a água da plataforma, devem ser construídas acompanhando as curvas de nível do terreno, com espaçamento compatível com a quantidade de água transportada pelas canaletas laterais da plataforma.

Caixa de Infiltração ou Acumulação

A caixa de infiltração ou acumulação é recomendada para regiões de solos arenosos muito erodíveis, com o objetivo de tirar a água da estrada, lançando-se a mesma nesta caixa.

Dissipadores de Energia

Os dissipadores de energia servem para diminuir a velocidade e dissipar a energia da água superficial até a sangra ou bueiro mais próximo. Os dissipadores devem ser construídos nos locais sujeitos ao fluxo d'água excessivo, como ao longo de canaletas laterais, nas saídas de sangra e bueiros, nas decidas de corte e aterro, etc. Vários tipos de dissipadores de energia podem ser utilizados, dependendo das condições locais, como barragens de estacas e pedras ao longo das valetas/ canaletas, escadas em locais de saídas de água, caixa de infiltração ou acumulação, nas saídas de sangras laterais, etc.

2.7.1.2. Em Áreas Urbanas

De acordo com Salomão e Iwasa (1995), a maior parte das cidades instaladas em terrenos construídos sob solos arenosos e relativamente profundos apresentam erosão por ravinas e voçorocas, causadas especialmente pela concentração das águas de escoamento superficial (pluviais e servidas). Com a ocupação intensa próxima a essas feições aumenta a probabilidade de acidentes, e geralmente as feições tornam-se áreas de despejo de lixo, às vezes até como tentativa desastrosa de contenção.

Na tentativa de resolver estas questões encontra-se a aplicação de medidas preventivas e corretivas nas áreas susceptíveis aos processos erosivos, e também nas áreas adjacentes.

A origem das feições erosivas em áreas urbanas, geralmente, está associada a falta de planejamento adequado, que considere as características do meio físico, as condições sociais e econômicas das tendências de desenvolvimento.

Segundo Galerani *et al.* (1995), o principal objetivo do controle da erosão urbana é de manter a integridade física das cidades. No início dos processos erosivos, o fenômeno é facilmente controlado, mas ao atingir proporções maiores, a solução é difícil, envolvendo altos custos. Os métodos adotados para o controle variam de acordo com as necessidades de cada local. Os principais métodos envolvem desde soluções individuais até soluções de grande porte, destes estão obras de microdrenagem, de macrodrenagem, de contenção de taludes e obras complementares, ainda tem utilização de técnicas alternativas.

→ Microdrenagem

Segundo Galerani *et al.* (1995), a microdrenagem consiste na condução das águas superficiais nas áreas urbanizadas, desta forma a microdrenagem é a forma de controle da erosão mais importante, pois evita o escoamento direto sobre o solo, sendo assim o custo financeiro para implantação do sistema de drenagem é diretamente proporcional ao volume de águas pluviais a escoar. As principais obras de microdrenagem, de acordo com Bidone e Tucci (1995) são as seguintes: galeria, poço de visita, trecho, bocas-de-lobo, tubos de ligações, caixas de ligação, meios-fios (guias), sarjetas, sarjetões, condutos forçados, estações de bombeamento, e coletores. A **Figura 2.22** apresenta a disposição das obras de microdrenagem.

FIGURA 2.22- Representação as em planta das principais obras de microdrenagem, segundo Bidone & Tucci (1995), sendo: BL-boca-de-lobo; PV-poço de visita; CL-caixa de ligação.

Galeria

As galerias são canalizações públicas usadas para conduzir as águas pluviais provenientes das bocas-de-lobo e das ligações privadas. As galerias pluviais são projetadas para o funcionamento à seção plena com a vazão de projeto. A velocidade máxima admissível para um tubo de concreto é de 5,0 m/s, e de 0,60 m/s a velocidade mínima.

Poço de Visita

Os poços de visita são dispositivos localizados em pontos convenientes do sistema de galerias para permitir mudanças de direção, de declividade e de diâmetro à ligação das bocas-de-lobo, ao entrocamento dos diversos trechos e ao afastamento máximo admissível. Sendo que o trecho compreende uma porção de galeria situada entre dois poços de visita.

Bocas-de-lobo (Bocas Coletoras)

As bocas-de-lobo correspondem a dispositivos localizados em pontos convenientes, nas sarjetas, para captação de águas pluviais. Nos pontos mais baixos do sistema viário, são colocadas com vistas a se evitar a criação de zonas mortas com alagamentos e águas paradas. Para a locação das bocas - de - lobo deve seguir a seguintes recomendações:

- ✧ Devem ser colocados em ambos os lados da rua;
- ✧ Devem ser locadas nos pontos baixos da quadra;
- ✧ Recomenda-se adotar um espaçamento máximo de 60m entre as bocas- de-lobo, quando a capacidade de escoamento da sarjeta não for analisada;
- ✧ Para a instalação, as bocas-de-lobo devem ser colocadas em pontos um pouco a montante de cada faixa de cruzamento usada pelos pedestres, junto às esquinas;
- ✧ Não é recomendada a colocação das bocas-de lobo junto ao vértice de ângulo de interseção das sarjetas de duas ruas convergentes.

As bocas coletoras podem ser classificadas em três grupos principais: bocas ou ralos de guias; ralos de sarjetas (grelhas); ralos combinados. Cada tipo inclui variações quanto a depressões em relação ao nível da superfície normal do perímetro e ao seu número.

Tubos de ligações

Os tubos de ligações são canalizações destinadas a conduzir as águas pluviais captadas nas bocas- de- lobo para as galerias ou para os poço de visita.

Caixas de Ligação

As caixas de ligação são utilizadas para a locação de bocas- de- lobo intermediária, quando necessário, ou para evitar a chegada de mais de quatro tubulações num mesmo poço de visita.

Meios- Fios (Guias)

Os meios - fios são elementos de pedra ou concreto, colocados entre o passeio e a via pública, paralelamente ao eixo da rua e com sua face superior no mesmo nível do passeio.

Sarjetas

As sarjetas são faixas de via pública, paralelas e vizinhas ao meio-fio. A calha formada é a receptora das águas pluviais que incidem sobre as vias públicas e que para elas escoam.

Sarjetões

Os sarjetões são calhas localizadas nos cruzamentos de vias públicas, formadas pela sua própria pavimentação e destinadas a orientar o fluxo das águas que escoam das sarjetas.

Condutos Forçados

Os condutos forçados são obras destinadas à condução das águas superficiais coletadas, de maneira segura e eficiente, sem que haja o preenchimento completo da seção transversal do conduto.

Estações de Bombeamento

As estações de bombeamento são um conjunto de obras e equipamentos destinados a retirar água de um canal de drenagem, quando não mais existir condição de escoamento por gravidade, para um outro canal em nível mais elevado ou receptor final da drenagem em estudo.

Coletores

A locação da rede coletora de águas pluviais pode ser feita de duas maneiras, uma sob a guia (meio - fio), e a mais utilizada, sob o eixo da via pública. O recobrimento mínimo deve ser de 1,0m sobre a geratriz superior do tubo. A rede coletora ainda deve possibilitar a ligação das canalizações de escoamento das bocas-de-lobo, com recobrimento mínimo de 0,60m.

→ Macrodrenagem

De acordo com Aisse (1997), as obras de macrodrenagem são responsáveis pelo escoamento final das águas pluviais provenientes do Sistema de Drenagem Urbana, estas obras visam melhorar as condições de escoamento dessa rede para atenuar os problemas de erosões, assoreamento e inundações ao longo dos principais talwegues. A macrodrenagem de uma zona urbana corresponde à rede de drenagem natural pré-existente nos terrenos antes da ocupação, constituída pelos córregos, riachos e rios localizados nos talwegues e vales (MARTINS, 1995).

De acordo com Galerani *et al.* (1995), as principais obras de macrodrenagem para o controle da erosão em áreas urbanas são as seguintes: canais (MARTINS, 1995), vertedores (DAEE, 1989; FENDRICH, 1997), emissário, dissipadores de energia, espigões, barragens, e bacia de acumulação (DAEE, 1989; MARTINS, 1995; BIDONE & TUCCI, 1995).

Canais

Os canais são geralmente projetados para escoar águas pluviais e servidas, e também da própria drenagem na qual ele foi construído. Os canais podem ser naturais, com a retificação e ampliação de suas seções, ou artificiais, ainda podem ser classificados como abertos ou fechados, os principais materiais utilizados para a sua estabilização são os seguintes: revestimento vegetal, concreto, concreto armado, gabiões, alvenaria, geotêxtil, etc (SOUZA, 2001).

De acordo com Martins (1995), o projeto de canais destinados à drenagem urbana apresenta o escoamento essencialmente hidrodinâmico, isto é, varia no tempo e no espaço, em função do evento hidrológico e das peculiaridades de traçado.

Os canais artificiais são estruturas mais empregadas nas obras de macrodrenagem, particularmente aqueles escavados nos leitos de córregos e riachos natural, cuja seção tornou-se insuficiente para conduzir as vazões de enchentes (MARTINS, 1995).

Segundo Martins (1995) ao longo dos canais para drenagem urbana é necessário o emprego de estruturas especiais para acomodação do escoamento como a construção de pontes, degraus, bueiros, e outras menos utilizadas. O autor ainda ressalta a proteção dos taludes dos canais escavados em solo nas transições próximas a pontes, bueiros e outras estruturas, que pode ser feitas de concreto, gabiões ou alvenaria.

Vertedores

Os vertedores são estruturas construídas em locais de barramento da água escoada, tem como principal função a condução controlada da água em excesso. Existem vários tipos de vertedores, os mais comuns são o de queda e o vertedor em tubulação (DAEE, 1989).

Emissários

Segundo o DAEE (1989), os emissários dão seqüência à condução das águas pluviais e servidas captadas pela rede de galerias, conduzindo-as até um local adequado para a descarga das águas, onde sua energia possa ser dissipada.

Dissipadores de Energia

O DAEE(1989) destaca como principais bacias dissipadoras, as do tipo impacto e de mergulho, Galerani *et al.* (1995) ainda considera os dissipadores de ressalto hidráulico.

Garcia (1997) relata que as bacias do tipo impacto podem ser dos modelos BRADLEY- PETERKA e MUNIR SAAB. O BRADLEY- PETERKA é indicado para pequenas descargas, até 11m^3 , e para velocidades de chegada não superior a 9 m/s , sendo que a dissipação da energia ocorre pelo choque do jato d'água em um defletor vertical suspenso e pelos redemoinhos que se formam, causando perda de energia da corrente d'água. Enquanto que, segundo SOUZA (2001), o dissipador MUNIR SAAB utiliza um paramento vertical para diminuir a velocidade de chegada, e é construído em concreto armado e pode ser projetado com fundações diretas ou indiretas. De acordo

com Galeri *et al.* (1995), esse modelo apresenta maior eficiência operacional do que o BRADLEY-PETERKA, por provoca menos erosão à sua saída.

As bacias dissipadoras do tipo de mergulho são concebidas com base no conceito de que as águas descarregadas pelo emissário escavariam o terreno até atingir uma profundidade estável. Segundo DAEE (1989), a profundidade da bacia é um fator básico para o seu dimensionamento, e também depende da vazão máxima afluyente, do diâmetro do conduto e do diâmetro dos blocos de enrocamento a ser utilizado para o revestimento do fundo e taludes da bacia.

Os dissipadores de ressalto hidráulico utilizam o mecanismo da formação de ressalto hidráulico para a redução das velocidades, estes são projetados para canais abertos.

Espigões

Os espigões têm como objetivo conter o alargamento do talvegue, agora transformado em canal para escoamento das águas, visando a deposição de material junto às margens do canal. Os espigões consistem em paramentos executados junto às margens do rio, em sentido diagonal ao escoamento (GALERANI *et al.*, 1995).

Barragens

As barragens têm a função de diminuir a velocidade da água ocasionando uma maior decantação dos sólidos em suspensão, e conseqüentemente diminui a declividade do fundo do talvegue. As barragens podem ser executadas em terra, pedras, gabião, concreto (gravidade), e concreto armado, à medida que a altura aumenta, são necessárias a aplicação de técnicas mais sofisticadas de construção (GALERANI *et al.*, 1995).

Bacia de Acumulação

De acordo com Galerani *et al.* (1995), a bacia de acumulação é um reservatório de acumulação, para receber as águas provenientes da drenagem urbana, acoplado a um emissário de diâmetro reduzido, que conduz a água acumulada na bacia até um local conveniente. A construção da bacia só é viável economicamente a partir do momento em que os gastos necessários para a sua execução sejam menores do que a economia feita pela redução do diâmetro do emissário, em função do seu comprimento.

Em relação ao impacto do lançamento das águas no corpo receptor, Galerani *et al.* (*op cit.*) ressalta, que com um tubo de pequeno diâmetro causa menos danos, além de menor assoreamento, pois a maior parte dos sólidos trazidos pela água, ficam retidos na bacia de acumulação, sendo que a eficiência da bacia depende de manutenção, ou seja, da retirada da areia depositada.

→ Obras de Contenção de Encostas

Segundo Galerani *et al.* (1995) a utilização de obras de contenção de taludes permite que o solo resista à erosão causada pelo escoamento superficial ou subterrâneo, as principais obras convencionais são: plantação de vegetação, estabilização da inclinação do talude, aterramento, gabião, e muros de arrimo. O autor ainda relata a utilização de outras tecnologias mais recentes para a contenção de erosões de encostas como cortinas atirantadas, terra armada, parede diafragma e jateamento, entre outras. Neste trabalho só serão enfatizadas as técnicas convencionais por serem as mais utilizadas.

Plantação de Vegetação

O plantio de vegetação é utilizado para a estabilização dos taludes, pois aumenta a resistência ao escoamento superficial e a infiltração. Geralmente utiliza-se vegetação do tipo gramínea, ou intercalada com espécie de crescimento rápido e lento (GALERANI *et al.*, 1995).

Estabilização do Corte

De acordo com Galerani *et al.* (1995), a estabilização de talude é feita com corte numa inclinação tal que o solo tenha coesão suficiente para se auto - sustentar, isto é, que consiga resistir aos esforços de escorregamento e deslizamento, geralmente, esta técnica é combinada com o plantio de vegetação. O autor ainda ressalta que devem ser feitos ensaios de resistência ao cisalhamento e verificação da menor correlação vertical/horizontal que permitirá a estabilidade do talude.

Aterramento

O aterramento é o preenchimento do local erodido com solo, geralmente o aterramento é uma solução que pode ser utilizado quando o processo erosivo ainda está no estágio inicial, em forma de sulcos e ravinas, mas quando o processo está mais adiantado, esta solução torna-se inviável economicamente (GALERANI *et al.*, 1995).

Gabião

O gabião compreende um conjunto de pedras envoltas por uma malha, sendo que o tamanho das pedras e da malha é definido em função da força necessária para estabilizar o talude, geralmente, são feitos unidades em cubo de um a dois metros de lado e o número a serem colocadas varia conforme a altura do talude, as pedras mais comuns utilizadas são de gnaiss e a malha de arame (GALERANI *et al.*, 1995).

Muros de Arrimo

Os muros de arrimo podem ser de gravidade, de concreto armado, de blocos de concreto ou pré- moldados, utiliza-se para amarração colunas de concreto armado. Esse método apresenta grandes vantagens de economizar formas e de ser de rápida execução (GALERANI *et al.*, 1995).

→ Técnicas Complementares

De acordo com Souza (2001), as técnicas complementares têm a função de proporcionar a implantação e o funcionamento adequado das técnicas descritas anteriormente, e de serem utilizadas conjuntamente em determinadas situações. As técnicas são de obras de pavimentação (GALERANI *et al.*, 1995), drenos (DAEE, 1989), e mapeamento/cartografia geotécnica (Zuquette, 1993; GALERANI *et al.*, 1995).

Obras de Pavimentação

As obras de pavimentação são importantes no controle da erosão, pois evitam que o escoamento sobre as ruas desprotegidas cause erosão. Segundo Galerani *et al.* (1995), o tipo de pavimentação a ser adotada varia com a intensidade do tráfego, mas procura-se utilizar pavimentos mais permeáveis, pois este tipo de pavimento aumenta a permeabilidade, reduzindo com isso o volume escoado superficialmente. Os métodos

mais utilizados para calçamentos são: asfalto, de concreto, pedras irregulares e paralelepípedos, e de blocos octoédricos de concretos.

Drenos

A ação de água subterrânea é apontada como uma das causas do desenvolvimento lateral das feições erosivas, desta forma os drenos têm a função de disciplinar essas águas subterrâneas, os drenos mais comumente utilizados são: cego, de material sintético geotextil, e de bambu (DAEE, 1989), como apresentados na **Figura 2.23 e 2.24**.

FIGURA 2.23- Drenos empregados em obras de macrodrenagem, sendo A- Dreno cego; B- Dreno de bambu (DAEE, 1989).

FIGURA 2.24- Drenos de geotextil empregados em obras de macrodrenagem (DAEE, 1989).

Mapeamento/ Cartografia Geotécnica

De acordo com Souza (2001), o mapeamento/ cartografia geotécnica tem sido empregada na área urbana, obedecendo às condições locais e adotando-se uma escala adequada aos objetivos do mapeamento.

→ Obras Alternativas

Existem vários exemplos de aplicação de obras alternativas para o controle, principalmente de voçorocas, como a colocação de lixo, utilização de geossintéticos (geotextil, geomembrana, geomanta), utilização de técnicas de bioengenharia (associação de estruturas biodegradáveis como fibras vegetais, estacas vivas, madeira e estruturas rígidas como pedra, concreto ferro e entre outros), uso de solos reforçados, dentre outros.

→ Considerações Gerais sobre Projetos de Controle de Erosão em Áreas Urbanas

Segundo Galerani *et al.* (1995), para elaboração e execução de um projeto de controle de erosão, consiste basicamente em cinco etapas, sendo estas:

- Avaliação do estado atual;
- Concepção de alternativas e escolha de quais técnicas serão adotadas;
- Execução do projeto, dimensionamento estruturas;
- Implementação;
- Manutenção.

A avaliação do estado atual é feita através de diagnóstico das condições da erosão, onde se busca a identificação das características, das causas, medições das dimensões, ensaios dos tipos de materiais inconsolidados e o levantamento dos demais dados.

De acordo com Salomão & Iwasa (1995), para o diagnóstico das erosões é feito um cadastramento permite estabelecer o nível de criticidade das erosões, possibilitando a determinação daquelas prioritárias para a correção. Este cadastramento sistemático de erosões constituirá a base de conhecimento necessário para a concepção de projetos de contenção. Os autores ainda ressaltam que dentre as principais causas do desencadeamento e evolução da erosão nas cidades destacam-se:

- planta mais detalhada da área urbana afetada pelas erosões;
- informações disponíveis sobre cada uma das ocorrências, como localização, acesso, histórico da ocorrência, medidas de controle realizadas, rede de drenagem da bacias de contribuição, dados hidrológicos, etc;
- tendências e forma de expansão urbana (vetores, loteamentos, conjuntos habitacionais);
- leis de disciplinamento do uso e ocupação do solo eventualmente existentes (plano diretor, lei do parcelamento do solo, código de obras, etc);
- potencial da prefeitura para o combate à erosão (capacidade técnica para elaboração de projetos, equipamentos e materiais de construção, etc).

Para Salomão & Iwasa (1995), as diretrizes gerais para a concepção de projetos de contenção tem que considerar as soluções de correção dos problemas erosivos em áreas urbanas, considerando a necessidade de desenvolvimento de soluções normativas de projetos de obras adequadas para cada situação do meio físico, desta forma tem-se a necessidade de se conhecer as características dos processos erosivos.

Estes autores ainda consideram que durante a elaboração do projeto é importante frisar que as características geométricas da feição erosiva podem sofrer mudanças após o período das chuvas, exigindo flexibilidade do projeto com adaptações de obras a ser implantadas durante a fase construtiva, e o projeto deve considerar as especificidades próprias da ocorrência, o que dificulta a generalização de soluções padrões.

Para a escolha da obra a ser utilizada na contenção, tem que contemplam o seguinte conjunto de medidas principais (DAEE/IPT, 1989):

- *disciplinamento das águas superficiais* através de rede de galerias e emissários, e estrutura e controle e dissipação da energia das águas nos pontos de lançamento;
- *disciplinamento das águas subterrâneas* através de drenos profundos;
- *estabilização dos taludes resultantes no movimento de terra* com aterro e retaludamento;
- *conservação das obras implantadas.*

Galerani *et al.* (1995) ainda considera que a escolha da técnica a ser implementada, pode ser por características de execução, econômica, qual dimensão terá o impacto social ou ambiental ou qualquer outra causa que a obra irá proporcionar.

De acordo com Galerani *et al.* (*op cit.*), quando escolhida a solução, a fase seguinte será de dimensionamento estrutural e escolha de obras complementares

necessárias a serem feitas. Posteriormente dá-se início a implementação do projeto e execução da obra. Após o término das obras são necessárias medidas de manutenção para o seu perfeito funcionamento e eficiência da técnica utilizada.

2.7.2. Reabilitação/ Recuperação das Áreas Erodidas

De acordo com Bitar & Braga (1995), a utilização de conceitos oriundos de distintas áreas do conhecimento que contribuem para a questão da recuperação de áreas degradadas, resultando igualmente em aplicações variadas. A recuperação está associada à idéia de que o local alterado seja trabalho de modo a que as condições ambientais retornem a situação próxima às condições anteriores à intervenção no meio ambiente, isto é, devolver ao local o equilíbrio e a estabilidade dos processos ambientais atuantes anteriormente. Enquanto que a reabilitação está associada à idéia de que o local alterado deverá ser destinado a uma forma de uso do solo, de acordo com projeto prévio e em condições compatíveis com a ocupação circunvizinha, ou seja, visa reaproveitar a área para outra finalidade.

A maioria dos trabalhos científicos publicados a respeito desse assunto voltados aos processos erosivos, utiliza a palavra recuperação, o que ocorre é a utilização do Decreto Federal 97.632/89, onde recuperação é o retorno do sítio degradado de uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente, o que incorpora o conceito de reabilitação ao de recuperação, por ser mais abrangente, e por isso é mais usualmente empregado (BITAR & BRAGA, 1995).

Os projetos de reabilitação por serem mais abrangentes, englobam as técnicas de controle, tanto as empregadas em áreas rurais como nas áreas urbanas. Como exemplo, pode-se citar os trabalhos de Oliveira (1987), Fancinani & Cavalheiro (1995), Cavaguti, Silva e Cruz (1995), Sponga & Coelho (2001), Pereira (2001), dentre outros.

3. METODOLOGIA

3.1. Fundamentos

O conhecimento sobre o meio físico é de fundamental importância para compreender e solucionar os problemas oriundos dos processos de ocupação desordenada, da ocorrência de eventos perigosos, da exploração dos recursos naturais e das alterações dos processos naturais (ZUQUETTE, 1993). O mapeamento geotécnico vem sendo uma ferramenta que melhor permite entender os processos naturais e sua interação com a ocupação antrópica.

Para a realização deste trabalho, foi adotada a metodologia da EESC-USP (Zuquette, 1987) que tem como base um conjunto de procedimentos que busca refletir as verdadeiras condições do meio físico e a partir dos dados obtidos possam ser expressos através de mapas e /ou cartas.

Zuquette (1987) adotou a definição de mapeamento geotécnico.

Os princípios básicos de obtenção da informação são a coleta e análise de atributos que serão fundamentais para a definição das unidades em função de suas homogeneidades ou não. Segundo Zuquette (1987), atributos são as qualidades dos componentes do meio físico que o caracteriza.

Para o estudo da avaliação e especificação das unidades geotécnicas seguem a seguinte sistemática: levantamento e análise das informações existentes; reconhecimento dos atributos e identificação das unidades homogêneas.

As classes de documentos cartográficos utilizados, segundo a metodologia, são:

- A. Mapas básicos fundamentais: mapa topográfico, mapa geológico (substrato rochoso e materiais inconsolidados), mapa de águas.
- B. Mapas básicos opcionais: mapa pedológico, mapa geofísico, mapa geomorfológico, mapa climático, mapa de ocupação atual e prevista.

- C. Mapas auxiliares: mapa de documentação existente, mapa de documentação produzida.
- D. Cartas derivadas ou interpretativas: carta de fundação, carta de escavabilidade, carta de estabilidade de taludes, carta de irrigação, carta de erodibilidade, carta de deposição de rejeitos sépticos, carta de materiais de construção, carta de restrições ambientais, carta de orientação, carta de obras viárias, carta de obras enterradas.

Devido às finalidades propostas para a área de estudo, foram elaborados somente os documentos fundamentais básicos, que são documentos que registram as características dos componentes do meio físico, por meio da variação espacial dos atributos, pois estes documentos deram suporte para o entendimento dos processos erosivos atuantes na bacia o córrego do Espraiado, e para fazer uma análise críticas sobre as técnicas utilizadas para o controle e reabilitação de áreas afetadas por feições erosivas.

A **Figura 3.1** mostra o fluxograma das atividades e documentos obtidos neste trabalho.

Figura 3.1- Fluxograma das atividades e documentos elaborados.

Este trabalho envolveu basicamente etapa de escritório, de campo, e de laboratório, como estão descritos a seguir.

✓ **Etapa de escritório**

✧ *De março/ 2001 a fevereiro/ 2002*

- Elaboração da revisão bibliográfica sobre o tema erosão, processos erosivos e técnicas de controle e reabilitação;
- Digitalização do mapa base;
- Elaboração preliminar do mapa de *landforms*, a partir da sistemática de Lollo (1996), e de materiais inconsistentes de acordo com a proposta de Zuquette (1993);
- Cadastramento preliminar das feições erosivas dos anos de 1972, 1978 e 1995;
- Cadastramento preliminar das áreas reabilitadas no ano de 1995;

✧ *De março a maio/2002*

- Cadastramento final das feições erosivas dos anos de 1972, 1978, 1995, e também do ano de 2002, assim como das áreas reabilitadas de 1995.

✧ *De junho a novembro/2002*

- Elaboração dos mapas finais de documentação, *landforms*, materiais inconsistentes, inventário das feições erosivas para os anos de 1972, 1978, 1995 e 2002, áreas reabilitadas;
- Análise das informações obtidas.

✧ *De dezembro/2002 a agosto/2003*

- Elaboração das tabelas de cadastramento das feições erosivas (1972, 1978, 1995 e 2002), das áreas reabilitadas, de *landforms*, e de uso e ocupação (1972, 1978, 1995, e 2000);
- Elaboração do artigo, da apresentação e defesa de qualificação;
- Caracterização das máximas e mínimas declividades de cada *landform* (elemento), de acordo com a proposta metodológica de De Biasi (1970);
- Elaboração das condições geométricas dos canais de drenagem da bacia do córrego do Espraiado;

- Edição de todos os documentos cartográficos elaborados;
- Análise de todas as informações obtidas;
- Redação da dissertação de mestrado.

✓ Etapas de campo

✧ *Dezembro/2001 e janeiro/2002*

- Reconhecimento geral da geologia, dos *landforms*, dos materiais inconsolidados, feições erosivas, e das técnicas de controle e reabilitação utilizadas na área de estudo.

✧ *Maio e junho/2002*

- Amostragem dos materiais inconsolidados, a amostra deformada de cada ponto de coleta de amostra foi retirado aproximadamente 15 quilos para realização dos ensaios de granulometria conjunta, massa específica dos sólidos, e para os ensaios de análises físico-químicas, e amostras indeformadas foram coletadas através de 6 anéis rígidos de PVC com ponta bisela, sendo três anéis com 7,5 cm X 4,5 cm (diâmetro/altura), para obtenção dos índices físicos, e três anéis de 4,8 cm de diâmetro por 2,0 cm de altura, para os ensaios de erodibilidade.
- Cadastramento das feições erosivas do ano de 2002.

✧ *Novembro/2002*

- Recolhimento das últimas informações de campo e esclarecimento de dúvidas.

✓ Etapa de Laboratório

- Realização de ensaios laboratoriais dos materiais inconsolidados, de caracterização geotécnica básica, análises físico-químicas, e ensaios para obtenção do índice de erodibilidade, como mostrado na **Tabela 3.1**;

TABELA 3.1. Ensaios laboratoriais realizados.

ENSAIOS		MÉTODO	NORMA
Caracterização geotécnica básica	Granulometria conjunta com defloculante	-	ABNT-NBR 7181/84
	Granulometria conjunta sem defloculante	Camargo (1986)	-
	Massa específica dos sólidos	-	ABNT- NBR 6508/84
	Peso específico aparente seco de campo (γ_{dc})	Método do anel (ZUQUETTE, 1993)	-
Análises físico-químicas	pH (em água e em KCl)	Camargo (1986)	-
	Eh		-
	Condutividade elétrica (CE)		-
	CTC (Na, Ca e K)		-
	CTC (argilas)	Azul de metileno	-
Erodibilidade	Absorção da água	Nogami & Villibor (1979)	-
	Perda de massa por imersão		-

3.2. Materiais e Métodos

3.2.1. Descrição dos ensaios laboratoriais realizados

3.2.1.1. Caracterização geotécnica básica

Os ensaios caracterização geotécnica básica dos materiais inconsolidados realizados neste estudo foram de análise granulométrica conjunta, massa específica dos sólidos (ρ_s) de acordo com a norma NBR 6508/84 ABNT, e peso específico aparente seco de campo (γ_{dc}).

A análise granulométrica conjunta foi realizada obedecendo à norma NBR 7181/84 ABNT, utilizando defloculante hexametáfosfato de sódio, que tem como objetivo a caracterização textural do solo, e também o ensaio de granulometria foi feito sem defloculante, somente com água destilada, de acordo com Camargo *et al* (1986).

O peso específico aparente seco de campo (γ_{dc}) foi obtido através do método do anel, que consiste na cravação de um anel rígido de PVC com a ponta biselada no material inconsolidado. Em laboratório o material é rasado de forma que a quantidade de material seja a mesma do volume do anel, em seguida este material é retirado do anel colocado em vasilhame, depois o material é seco em estufa, pesado, obtendo o valor da massa seca de solo, as dimensões do anel são medidas com um paquímetro para obtenção do valor real do volume do anel, e o γ_{dc} é calculado pela equação 1.

$$\gamma_{dc} = (M_s/V) \cdot 10 \quad \text{eq. (1)}$$

Sendo: M_s - massa seca de solo

V - volume do anel.

A partir do conhecimento dos valores massa específica dos sólidos (ρ_s), e peso específico aparente seco de campo (γ_{dc}), obtêm-se o índice de vazios (e) e da porosidade (n) calculados a partir das equações 2 e 3.

$$e = \{\rho_s/(\gamma_{dc}/10)\} - 1 \quad \text{eq. (2)}$$

$$n = e/(1+e) \quad \text{eq. (3)}$$

3.2.1.2. Análises físico-químicas

As análises físico-químicas (pH, Eh, condutividade elétrica, cátions trocáveis e CTC) dos materiais inconsolidados estão relacionadas com as características do tipo de cimento e concreções existentes, e estes fatores afetam diretamente a erodibilidade dos materiais. Os cátions trocáveis também estão relacionados com a dispersividade e umidade do solo, a capacidade de troca dos cátions está relacionada com a caracterização da fração fina.

- pH

O pH do solo reflete um conjunto complexo de reações no sistema solo - solução, e é muito útil quando associado a propriedades do solo como o estado em que se encontram as bases e na solubilidade dos micronutrientes (CAMARGO *et al*, 1986).

Neste estudo foram determinado o pH em água destilada e em solução de KCl 1N, em ambos os casos, foi utilizado a proporção de 1:2,5, sendo 50g (amostra):125ml (solução), segundo Camargo *et al* (1986), sendo que anteriormente o solo foi passado na peneira # 10 (2mm), adicionou-se água destilada e solução de KCl (1N), amostra + solução foram agitadas mecanicamente no bamboleante durante 30 minutos, e depois foi colocada em repouso durante 1 hora, em seguida foram feitas as leituras de pH.

Com a obtenção dos valores de pH em água e KCl foi calculado o ΔpH de cada amostra de acordo com o equação $\Delta\text{pH} = \text{pH}(\text{KCl}) - \text{pH}(\text{água})$. Para $\Delta\text{pH} < 0$ o solo tem predominância de cargas negativas, absorvendo assim uma maior quantidade de cátions, enquanto que para $\Delta\text{pH} > 0$ indica que o solo possui predominância de cargas

positivas, assim capaz de absorver maior quantidade de ânions, estes solos são raros e tem baixa fertilidade natural (TOMÉ, 1997).

- **Eh**

Neste estudo foram determinado o Eh em água destilada, foi utilizada a proporção de 1:2,5, sendo 50g (amostra):125ml (água destilada), utilizando a mesma amostra + solução preparada para o ensaio de pH em água destilada, antes do início das medidas de Eh das amostras, foi feita a leitura da solução padrão ZoBell (E_{ZoBell}), anotando o valor medido e subtraindo esse valor padrão na temperatura que foi feita a leitura (E_c), através da equação 4 obtém-se o valor do Eh de referência (E_{ref}).

$$E_{ref} = E_{ZoBell} - E_c \quad \text{eq. (4)}$$

Para obtenção dos valores de Eh das amostras, o valor do potencial do eletrodo de referência E_{ref} é somado ao valor do Eh da célula medido (E_m) no aparelho (equação 5).

$$Eh = E_m - E_{ref} \quad \text{eq. (5)}$$

- **Condutividade elétrica (CE)**

A salinidade do solo natural ou ocasionada por sais nele colocados pode ser medida pela condutividade elétrica, pois a condutividade é aproximadamente proporcional a quantidade de sais da solução, indicando a concentração de constituintes ionizados (CAMARGO *et al*, 1986).

A obtenção da condutividade elétrica foi feita através da dissolução dos sais do solo na água destilada, utilizando-se a proporção de 1:1, sendo 50g (amostra): 50ml (água destilada), de acordo com Camargo *et al* (1986). Primeiramente o material foi passado na peneira #10, adicionou-se água destilada, em seguida a mistura foi agitada de 15 em 15 minutos, durante 2 horas. Na sequência a solução foi filtrada para separar os sobrenadantes, e então, mediu-se a condutividade do material filtrado no condutivímetro.

- **Cátions trocáveis (Na^{++} , K^{++} e Ca^{+})**

Os três elementos trocáveis de maior importância no solo são cálcio e potássio por serem macronutrientes, que são elementos químicos essenciais ao desenvolvimento

das plantas, exigindo grandes quantidades (NBR 10 703/89 ABNT), e o sódio por fazer parte do complexo coloidal de solos salinos e alcalinos.

A determinação dos cátions trocáveis obedece aos procedimentos de Camargo *et al* (1986). Para a extração dos elementos trocáveis utiliza-se uma solução normal de acetato de amônio pH 7, a proporção usada foi de 1:10, sendo 10g de solo para 100ml da solução de acetato, a mistura foi agitada mecanicamente por 30 minutos no bamboleante, em seguida colocada para decantar por 16 horas, depois, filtrou-se aproximadamente 20ml, as medidas dos teores de Na^{++} , K^{++} e Ca^{+} , em ml/g, foram feitas no fotômetro de chama, mas antes de cada medida o equipamento foi calibrado com as soluções padrões de Na^{++} 5 mg/l e 2,5 mg/l, K^{++} 5 mg/l e 2,5 mg/l, e de Ca^{+} 5 mg/l e 2,0 mg/l.

- **Capacidade de troca de cátions (CTC) pelo método azul de metileno**

O método azul de metileno tem como objetivo a caracterização físico-química da fração fina dos materiais inconsolidados.

O azul de metileno é um corante orgânico, caracteriza-se como um corante catiônico que em solução aquosa se dissocia em cátions e ânions. O cátion de azul de metileno substitui os cátions adsorvidos nos argilominerais, desta maneira pode-se determinar a capacidade de troca catiônica (CTC), a superfície específica, o V_B e o A_{CB} dos argilominerais.

Para a determinação da CTC pela adsorção de azul de metileno existem dois métodos, o clorímetro e a mancha no papel filtro. Este trabalho utilizou o método da mancha no papel filtro.

Para execução do ensaio colocou-se amostra previamente pesada, aproximadamente 4g para os materiais mais arenosos e 3g para os materiais com um teor maior de finos + 10ml de água destilada em um Becker de 50 ml, introduziu-se um agitador magnético para homogeneizar a mistura durante todo o ensaio. Previamente a solução de azul de metileno, com titulação de 0,0046889N, foi colocada na bureta. Após estes procedimentos, foi adicionada 1ml da solução azul de metileno em suspensão de amostra + água destilada, esperou-se 3 minutos, e retirou-se uma gota com o bastão da solução formada (solo+água destilada+azul de metileno) e pressionou - se a ponta do bastão no papel filtro (Whatmann's 42), formando uma mancha circular, com um círculo externo úmido e um interno azul escuro. Adicionou-se mais azul de metileno, de

1 a 1ml ou como for conveniente, repetiu-se o procedimento descrito anteriormente até aparecer uma auréola azul claro entre o círculo externo úmido e o círculo interno azul escuro. Anotando o volume de azul de metileno utilizado para que ocorra o aparecimento da auréola azul clara, este fato acontece porque há a troca de todos os cátions adsorvidos nos argilominerais pelo cátion azul de metileno. Em Pejon (1992) os procedimentos do ensaio foram descritos de forma mais detalhados.

Os cálculos foram feitos de acordo com as equações descritas no trabalho de Pejon (1992), onde a obtenção da capacidade de troca catiônica (CTC) do material ensaiado foi utilizada a equação de Chen *et al* (1974) como mostrada na equação 6. O cálculo da superfície específica (SE) é baseada na equação (equação 7) proposta por Beaulieu (1979), e os cálculos para a obtenção dos valores de V_B (equação 9) e do A_{CB} (equação 10) foram determinadas de acordo com as equações propostas por Lautrin (1989).

$$CTC = V * C * 100/M_s \quad \text{eq. (6)}$$

Sendo: CTC - meq/100g

V - volume da solução de azul de metileno (ml)

C - concentração da solução de azul de metileno (N)

M_s - massa de solo seco (g)

$$SE = 3,67 * V/M_s \quad \text{eq. (7)}$$

Sendo: SE - m^2/g de solo

V - volume da solução de azul de metileno (ml)

M - massa de solo seco (g)

Para a obtenção da superfície específica da argila (SE_{ARG}) utilizou-se a equação 8.

$$SE_{ARG} = (SE / \%ARG) * 100$$

Sendo: SE - m^2/g de argila

%ARG – a percentagem de argila no solo

V_B – é a massa em gramas de azul de metileno necessária para recobrir as partículas de um solo incluídas em 100 g de solo, onde:

$$V_B = (V * 1,5) / (10 * M_s) \quad \text{eq. (8)}$$

Sendo: V_B - g/100g de solo

V – o volume de azul de metileno utilizado no ensaio, em ml.

A_{CB} - é a massa em gramas de azul de metileno necessária para recobrir a superfície externa e interna de 100g de argilominerais (g/100g de argila) contidas no solo.

$$A_{CB} = V_B * 100/\%ARG \quad \text{eq. (9)}$$

3.2.1.3. Ensaio de Erodibilidade

A obtenção do índice de erodibilidade segundo Nogami & Villibor (1979), baseia-se em dois ensaios simples, o de absorção de água e o de perda de massa por imersão, ambos utilizam amostras indeformadas obtidas através da cravação no solo de um anel cilíndrico de PVC com dimensões de 4,8 cm de diâmetro por 2,0 cm de altura. Antes da execução dos ensaios, as amostras nos anéis são secadas naturalmente ao ar e à sombra durante uma semana ou até que sua massa se torne constante.

- Ensaio de absorção de água

O ensaio da absorção de água é relativamente simples, necessitando de equipamento simples (**FIGURA 3.2**) adaptado por Pejon (1992), que é constituído por um tubo de vidro graduado com 7,7 mm de diâmetro interno conectado com um cilindro de PVC que contém uma pedra porosa na sua parte superior, este tubo possui o mesmo valor do diâmetro que o anel de amostragem.

Para a realização do ensaio de absorção de água (S), coloca-se a base do conjunto anel + amostra sobre uma placa porosa saturada na posição horizontal, esta placa encontra-se interligada a um tubo plástico, graduado e cheio de água. Ao colocar a amostra mede-se o volume de água absorvido (q) em centímetro quadrado, absorvido num período de tempo ($\sqrt{t}$) em minutos. Os valores obtidos são colocados num sistema cartesiano, e através de uma regressão linear, calcula-se o índice de absorção de água através da equação $S=q/\sqrt{t}$.

FIGURA 3.2- Fotografia do equipamento desenvolvido por Pejon (1992) para realização do ensaio de absorção de água.

- Ensaio de perda de massa por imersão

O ensaio de perda de massa por imersão inicia-se no término do ensaio de absorção de água. O conjunto (anel + amostra) é retirado com auxílio de uma espátula da pedra porosa, e levado a um tanque de água para ser imersa, posicionando o conjunto dentro do tanque verticalmente (a maior dimensão do anel). O conjunto fica durante 24 horas dentro do tanque, neste tempo ocorre um desprendimento do solo, que é coletado em um vasilhame, que se encontra na parte inferior do anel. Depois o solo desprendido do anel que se depositou dentro do vasilhame é secado e pesado, a fim de obter a perda de massa em percentagem (PEJON & ZUQUETTE, 2001).

- Cálculo do índice de erodibilidade

O cálculo do índice de erodibilidade (E) foi feito pela proposta de Nogami e Villibor (1979) e também pela proposta de Pejon (1992), onde as equações utilizadas foram:

$$E = 52S/P \text{ (Nogami \& Villibor, 1979)} \quad \text{eq. (10)}$$

Se o valor de E for maior que 1, o material apresenta baixo índice de erodibilidade.

$$E = 40S/P \text{ (Pejon, 1992)} \quad \text{eq. (11)}$$

Ambos os índices propõem que para valores de E menor que 1 o solo é classificado como baixa resistência à erosão, e se maior, alta resistência à erosão.

Segundo PEJON (1992), o índice proposto por Nogami e Villibor (1979) não representava, para os solos da região de Piracicaba (SP), um bom indicador de erodibilidade, propondo assim a seguinte equação $E=40S/P$. Neste trabalho foram utilizadas as duas equações.

3.2.2. Elaboração dos documentos cartográficos

Todos os documentos cartográficos foram elaborados a partir de um mapa base, sendo que este foi confeccionado a partir das folhas topográficas São Pedro I, São Pedro III, Fazenda Araquá Mirim e Ribeirão da Grama, todos na escala 1:10 000 e do ano de 1979, com equidistância entre curvas de nível de 5m, cujas articulações destas folhas se encontram abaixo.

FIGURA 3.3- Articulações das folhas topográficas utilizadas neste estudo.

Os mapas básicos elaborados neste trabalho foram: mapa de documentação, de *landforms*, de materiais inconsolidados, de feições erosivas (1972, 1978, 1995 e 2002), de áreas reabilitadas, e das condições geométricas dos canais de drenagem, todos na escala 1:10 000, e a digitalização e edição destes mapas foram feitas no *software* AutoCAD®.

- **Mapa de Documentação:** é o registro cartográfico das informações pontuais obtidas durante o mapeamento geotécnico, como os pontos de amostragem e visitados, neste mapa ainda consta a rede de drenagens, as vias de acessos à área de estudo, a localização do município de São Pedro;
- **Mapa de Landforms (Elementos):** este mapa foi elaborado a partir da sistemática proposta por Lollo (1996), através de fotointerpretação de fotografias aéreas do ano

de 1995 feitas pela BASE S.A. na escala 1:25 000, faixas 09 (nº 01 e 02), 10 (nº 04, 05, 06 e 07) e 11 (nº 06, 07 e 08), na qual foram delimitados os elementos de terreno;

- **Mapa de Materiais Inconsolidados:** foi elaborado a partir da metodologia proposta por Zuquette (1993), através de fotointerpretação de fotografias aéreas do ano de 1995 (feitas pela BASE S.A. na escala 1:25 000, faixa 09, nº 01 e 02; faixa 10, nº 04, 05, 06 e 07; e faixa 11, nº 06, 07 e 08), de observações de campo, baseado no perfil de alteração típico da área estudada e dos resultados da análise granulométrica dos materiais;
- **Mapa de feições erosivas (1972):** o mapa foi elaborado a partir da ampliação para escala 1: 5 000 das fotografias aéreas do ano de 1972 feitas pelo Instituto Brasileiro do Café – IBC na escala 1:25 000, nº 36 086 e 36 087, onde foram identificadas e caracterizadas as feições erosivas;
- **Mapa de feições erosivas (1978):** o mapa foi elaborado a partir da ampliação para escala 1: 5 000 das fotografias aéreas do ano de 1978 feitas pelo Instituto Brasileiro do Café – IBC na escala 1:35 000, faixa 12A, nº 2691, onde foram identificadas e caracterizadas as feições erosivas;
- **Mapa de feições erosivas (1995):** o mapa foi elaborado a partir da ampliação para escala 1: 5 000 das fotografias aéreas do ano de 1995 feitas pela BASE S.A. na escala 1:25 000, faixa 10, nº 05, onde foram identificadas e caracterizadas as feições erosivas;
- **Mapa de feições erosivas (2002):** foi elaborado com base no mapa de feições erosivas de 1995, onde estas feições foram cadastradas em trabalhos de campo assim como o aparecimento de novas feições;
- **Mapa das Áreas Reabilitadas:** o mapa foi elaborado a partir da ampliação para escala 1: 5 000 das fotografias aéreas do ano de 1995 feitas pela BASE S.A. na escala 1:25 000, faixas 10, nº 05, onde foram identificadas e caracterizadas as áreas reabilitadas;
- **Mapa das Condições Geométricas Atuais:** o mapa foi elaborado a partir da fotointerpretação das fotografias aéreas do ano de 1995 feitas pela BASE S.A. na escala 1:25 000, faixas 09 (nº 01 e 02), 10 (nº 04, 05, 06 e 07) e 11 (nº 06, 07 e 08), onde foram delimitadas as novas condições geométricas dos canais de drenagem do córrego do Espriado.

3.2.3. Cadastramento das informações

Para a realização do cadastro sistemático das feições erosivas foram utilizadas fotografias aéreas de 1972, 1978 e 1995, sendo que a análise histórica da evolução das feições cadastradas foi realizada por meio de comparação entre as imagens, e de 2002 foi feita com base no cadastro feito no campo. As feições erosivas foram cadastradas a partir de uma tabela de cadastro (**Tabela 3.2**), quanto ao tipo, suas características, unidade de material inconsolidado, de *landform*, uso e ocupação do solo na qual se encontram inseridas, e observações importantes de cada feição.

Na realização do cadastro das áreas recuperadas (**Tabela 3.3**) foi utilizada as fotografias aéreas do ano de 1995, com base nos seguintes aspectos: quanto ao tipo de técnica utilizada, a área de abrangência aproximada, as feições associadas, unidades de material inconsolidado, *landforms*, e condição atual em que se encontra (eficiência).

O cadastramento de formas de uso e ocupação do solo (**Tabela 3.4**) foi realizado para cada elemento de terreno (*landforms*) delimitado na bacia do córrego do Espraiado, como feito com base no trabalho de Almeida & Freitas (1996), para os anos de 1972, 1978, 1995 e 2000, utilizando as fotografias aéreas correspondentes a cada ano.

TABELA 3.2- Cadastro das feições erosivas da bacia do córrego do Espraiado.

Feição erosiva	Intervalo de declividade	Encosta/Drenagem	Materiais Inconsolidados	Landform: Elementos (Id)	Uso e Ocupação	Observações

TABELA 3.3- Cadastro das áreas reabilitadas da bacia do córrego do Espraiado.

Área Reabilitada	Área aproximada (m²)	Técnica utilizada	Feição erosiva associada	Unidade associada	Landform: Elemento (Id)	Condição atual

TABELA 3.4- Cadastro do uso e ocupação de cada elemento de terreno para os anos de 1972, 1978, 1995 e 2000.

Landform		Declividade (%)		Observação	Uso e ocupação			
Elemento	Id	Mínima	Máxima		1972	1978	1995	2000

4. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA

4.1. Localização e Acesso da Área

A área de estudo é a bacia do córrego do Espraiado (**Figura 4.1**), localizada a nordeste da cidade de São Pedro na região centro - leste do Estado de São Paulo, entre nas coordenadas 22°34'17,2"S, 47°54'27,36"W, 22°31'38,47"S e 47°50'54,18"W, compreendendo uma área de aproximadamente 11,97 km².

As rodovias de acesso a partir da cidade de São Carlos para São Pedro são através da SP-191 (Rio Claro - São Pedro) e pela rodovia Ulisses Guimarães. O acesso à bacia do córrego do Espraiado se dá através de ruas e avenidas da cidade e também pelas estradas não pavimentadas das fazendas.

4.2. Águas Superficiais

A Bacia do Córrego do Espraiado tem sua nascente a norte da cidade de São Pedro, com extensão de aproximadamente 8 km, com percurso no sentido noroeste-sudeste, desaguando no Ribeirão Araguá, integrante da bacia do rio Piracicaba. O córrego do Espraiado apresenta drenagens adjacentes de média a baixa densidade com padrões subdentríticos.

FIGURA 4.1- Localização da bacia do córrego do Espirado, e principais vias de acesso.

4.3. Clima

De acordo com a classificação de Köppen (1948) o clima predominante da área estudada é enquadrado como Cwa, representando clima úmido e quente com inverno seco (PEJON, 1992), com precipitação média anual de 1200mm (PEJON & ZUQUETTE, 2001). As temperaturas médias do mês mais quente são de aproximadamente 22°C, e do mês mais frio abaixo de 18°C, podendo ser chamado de clima sub- tropical (SETZER 1966 *apud* PEJON *op. cit*).

4.4. Vegetação

A cobertura vegetal atual da bacia do córrego do espraído é bem diversificada, sendo de vegetação nativa, reflorestamento por eucaliptos e pinhos, cultura de cana-de-açúcar, pastagens, e de a mata ciliar ao longo das margens do córrego.

A vegetação original encontra-se em grande parte devastada, sendo substituída por áreas de pastagens, cultivo de cana-de-açúcar e reflorestamento (eucalipto), contudo, é possível observar a vegetação original (mata latifoliada) em locais restrito, como nas áreas de drenagem e na parte superior de algumas encostas.

4.5. Geologia

A bacia do Espraído tem como substrato rochoso a Formação Pirambóia, de idade Triássica - Jurássica, pertencente à bacia sedimentar do Paraná. Esta formação é constituída essencialmente por arenitos de granulação média a fina, de cor vermelha, branca e amarela. As estruturas predominantes são estratificações cruzadas de pequeno a médio porte, com intercalações de material com maior quantidade de finos e outro de areia, que são encontradas nas áreas mais altas, e de estratificações plano - paralelas, que se localizam nas áreas mais baixas topograficamente.

4.6. Geomorfologia

O córrego do Espraiado estende-se na direção noroeste/sudeste, apresenta, no geral, um vale aberto em forma de U, com exceção de sua cabeceira, que se caracteriza como um vale fechado e encaixado, e ao longo do córrego há a presença de terraços, compondo a planície aluvionar. As encostas do lado direito do córrego são geralmente retilíneas na sua parte superior e côncava no terço intermediário – inferior. E as encostas da margem esquerda são côncavas na parte superiores e convexas na parte intermediárias – inferior, estas encostas são as que mais apresentam feições erosivas, nos locais mais críticos as encostas são do tipo convergentes, e suas drenagens também são sulcadas.

4.7. Problemas Ambientais

Na região da bacia de córrego do Espraiado há vários principais problemas ambientais como assoreamento e erosão marginal intensa ao longo do todo o leito do rio, extração de areia do leito de forma inadequada por três portos de mineração, e a presença de várias feições erosivas, principalmente do tipo voçoroca.

Já foram realizadas várias tentativas de controle e reabilitação de áreas erodidas, sendo que em algumas áreas o problema foi solucionado, de em outras a solução do problema foi de forma parcial ou inadequada, e existem áreas onde não foi realizada nenhuma forma de controle ou de reabilitação.

Áreas que tiveram o problema solucionado utilizaram técnicas de controle como no caso de plantação de bambus nas cabeceiras das feições, assim como plantação de mata nativa no seu interior, técnica de controle muitas vezes empregada pelos fazendeiros.

Outras técnicas de controle que foram realizadas na bacia, como de reflorestamento por eucaliptos, recobrimento das feições com aterro, e canalização da drenagem superficial.

As técnicas de reabilitação foram eficientes, foi a reabilitação de uma área para loteamentos residenciais, onde as feições erodidas menos profundas foram aterradas, e as mais profundas foram delimitadas como área de proteção permanente, houve a

colocação de drenos para canalizar as águas subsuperficiais, e a construção de terraços para desviar as águas pluviais para evitar o seu fluxo concentrado.

As técnicas de controle utilizadas como preenchimento das feições erosivas com material de aterro, terraceamento do tipo Nichols e plantação de pinhos em cima dos terraços, em uma área onde o solo se exposto à ação da chuva, estas técnicas não obtiveram sucesso. Em outra área afetada por voçorocas utilizaram técnicas de reabilitação com obras de macro e microdrenagem, visando à construção de loteamentos residenciais para população de baixa renda, não foi eficiente, pois houve reativação dos processos erosivos.

5. DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS ELABORADOS E INFORMAÇÕES OBTIDAS

5.1. Mapa de Documentação (ANEXO A)

O mapa de documentação é um mapa auxiliar, que tem como finalidade registrar as informações pontuais produzidas durante o mapeamento geotécnico.

A base cartográfica utilizada na elaboração do mapa de documentação, foi o mapa base feito a partir da articulação das folhas topográficas São Pedro I, São Pedro III, Fazenda Araquá Mirim, e Ribeirão da Grama, todas na escala 1:10 000, e equidistância de curvas de níveis de 5m.

As informações foram obtidas em cerca de 78 pontos, sendo 43 de pontos com informações qualitativas e *in situ* e 35 visitados/amostrados, a maioria dos pontos foram nas áreas onde se encontram as feições erosivas mais críticas, e também nas áreas onde foram realizadas as técnicas de controle e reabilitação.

5.2. Mapa de *Landforms* (ANEXO B)

5.2.1. Considerações sobre a sistemática adotada

O mapa de *landforms* foi elaborado de acordo com a sistemática proposta por Lollo (1996), assim como os conceitos por ele adotados, que tem como base à aplicação da técnica de avaliação do terreno, na qual possibilita dividir a área de estudo em unidades, em função da escala e da finalidade pretendida, baseado na uniformidade em termos de feições do terreno.

A partir deste zoneamento do terreno é possível avaliar os materiais geológicos associados a estas feições do terreno, através da análise de informações anteriores e de ensaios de trabalhos de campo ou laboratoriais. Este zoneamento é dividido em níveis hierárquicos (**FIGURA 5.1**), sendo: sistema de terreno (*land system*), unidade de terreno (*land unit*) e elemento de terreno (*land element*). A delimitação destes níveis é feita através de trabalhos de aerofotointerpretação e de trabalhos de campo.

Sistema de terreno (*land system*) é a associação de formas de relevo com expressão especial determinada e que representa condições similares de processos evolutivos e de materiais associados, seu zoneamento é baseado nas grandes expressões geomorfológicas observadas.

Unidades de terreno (*land unit*) é a forma individual do terreno que se distingue das outras às quais está associada por indicar um determinado sub-conjunto de processos do sistema de terreno no qual se encontra, esta característica deve se refletir ao nível de diferenças em termos de material inconsolidado associado à unidade, sua delimitação é baseada nas características geomorfológicas tais como forma topográfica, amplitude de relevo, inclinação de vertentes, e características de organização da drenagem em termos de frequência e estruturação da rede de canais.

Elemento de terreno (*land element*) é a parte de uma forma individual do relevo distinguível das demais partes em termos de inclinação ou forma da vertente, posição topográfica, ou forma topográfica, e que vem refletir condições diferenciadas de espessura de materiais inconsolidados ou variações laterais no perfil destes materiais.

Com relação à aplicação da sistemática, neste trabalho só foi utilizado o nível hierárquico elemento de terreno (*land element*) devido à escala de trabalho de 1:10 000, e das dimensões da área aproximadamente 12,5 km², além do nível de detalhe necessário para melhor caracterizar os processos erosivos.

FIGURA 5.1- Aplicação da técnica de avaliação do terreno, modificada de Cooke & Doornkamp (1990), *apud* Lollo (1996).

Os elementos caracterizados na elaboração do mapa de landforms foram planície aluvionar, plator, formas de encosta nas seções longitudinais e transversais, e escarpas.

As escarpas foram caracterizadas a partir de declividades altas (100%), e todas descritas apresentaram amplitude do relevo menor que 100m, diferentemente dos critérios adotados por Lollo (1996). Os critérios de descrição adotados para área estudada para as escarpas estão apresentados na Tabela 5.1, e para as encostas na Tabela 5.2.

TABELA 5.1- Critérios de descrição das escarpas.

Elemento	Frequência de sulcos	Localização topográfica
Escarpa	Ausente	Encosta superior
	Sulcada	Encosta inferior

TABELA 5.2- Critérios de descrição das encostas.

Elemento	Seção Longitudinal	Seção transversal	Tipo	Frequência de canais		Declividade	
Encosta	Retilínea	Retilínea	Divergente	Ausente	-	Muito suave	<2%
				Baixa	<3/km ²	Suave	2-10%
	Convexa	Convexa	Convergente	Média	3-7/km ²	Moderado	10-30%
						Moderado íngreme	30-45%
	Côncava	Côncava		Alta	7-15/km ²	Íngreme	45-75%
						Muito íngreme	75-100%

5.2.2. Elementos de terreno

Na elaboração do mapa foram identificados e caracterizados 105 elementos de terreno, como mostrado na **Tabela 5.3**. Para facilitar a melhor análise das feições erosivas e da evolução do uso e ocupação ocorrida nestes elementos, preferiu-se não agrupar os elementos semelhantes, por isso a grande quantidade de *landforms*.

Cada elemento teve a máxima e mínima declividade caracterizada, assim como dessa distribuição no próprio elemento.

A declividade foi obtida manualmente de acordo com os critérios de De Biasi (1970), onde se delimitou as inclinações no mapa base da área de estudo, a partir da articulação das folhas topográficas São Pedro I, São Pedro III, Fazenda Araquá Mirim e Ribeirão da Grama, todas na escala 1:10 000, e equidistância de curvas de níveis de 5m.

TABELA 5.3- Caracterização dos elementos de terreno em termos de suas declividades.

<i>Landform</i>		Declividade (%)		Observação
<i>Elemento</i>	<i>Id</i>	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>	
Encostas Retilínea muito íngreme-Retilínea com baixa frequência de canais	1	12,5	50,0	Predomina a máxima declividade
Encostas Retilíneas íngremes- Retilíneas com alta frequência de canais	2	12,5	50,0	Predomina a máxima declividade
Encostas Retilínea íngreme-Retilínea com baixa frequência de canais	3	10,0	100,0	Predomina declividades de 10 a 25%
Encostas Retilíneas íngremes- Retilíneas com alta frequência de canais	4	10,0	50,0	Predomina declividades >10 %
Encosta Côncava-côncava	5	9,1	62,5	Predomina declividades >10 %
Encosta Côncava-Côncava	6	8,3	50,0	Predomina declividades >10 %
Encosta Convexa- convexa	7	6,3	50,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Côncava-convexa	8	7,1	33,3	Predomina a mínima declividade
Encosta Côncava-côncava	9	7,7	33,3	Predomina a máxima declividade
Escarpas contínuas Superior	10	5,6	100,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Côncava-convexa	11	7,7	33,3	Predomina a mínima declividade
Encosta Convexa-convexa	12	3,8	33,3	Predomina a mínima declividade
Encosta Convexa-convexa	13	5,5	25,0	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea íngreme	14	16,7	55,5	Predomina a máxima declividade
Encosta Côncava-côncava	15	16,7	50,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Retilínea íngreme	16	12,5	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Côncava-côncava	17	6,3	25,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea moderada	18	12,5	25,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme	19	16,7	62,5	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa-convexa	20	5,5	50,0	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea íngreme	21	14,3	50,0	Predomina declividades >14.3%
Encosta Convexa-convexa	22	7,1	33,3	Predomina a mínima declividade
Encosta Retilínea íngreme	23	10,0	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa-convexa	24	2,5	25,0	Predomina declividades >2.5%
Escarpa contínua Superior	25	5,0	100,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea-côncava	26	11,1	25,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea-côncava	27	7,1	33,3	Predomina declividades <33%
Encosta Retilínea-côncava	28	4,5	16,7	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	29	7,1	50,0	Predomina a máxima declividade

<i>Landform</i>		Declividade (%)		Observação
<i>Elemento</i>	<i>Id</i>	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>	
Encosta Retilínea moderada íngreme- côncava convergente	30	5,5	33,3	Predomina declividades >5.5%
Encosta Retilínea- côncava convergente	31	5,5	16,7	Predomina declividades >5.5%
Encosta Retilínea íngreme- côncava convergente	32	6,3	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa-convexa	33	5,3	20,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa suave-retilínea	34	3,6	12,5	Predomina declividades >10%
Encosta Convexa-côncava	35	8,3	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa-convexa	36	8,3	25,0	Predomina a máxima declividade
Platô	37	5,3	20,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Côncava-retilínea	38	8,3	100,0	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea íngreme	39	10,0	50,0	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea íngreme-retilínea com alta frequência de canais	40	5,0	100,0	Predomina declividades >10%
Encostas Retilíneas íngremes- côncavas convergentes	41	1,8	50,0	Predomina a máxima declividade
Escarpas sulcadas inferiores	42	11,1	200,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa suave-retilínea	43	6,3	33,3	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea moderada com baixa frequência de canais	44	5,9	25,0	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	45	11,1	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa-convexa	46	11,1	50,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Retilínea íngreme	47	4,7	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea- convexa	48	10,0	33,3	Predomina a mínima declividade
Encosta Retilínea-côncava	49	8,3	33,3	Predomina declividades >10%
Encosta Convexa-convexa	50	8,3	50,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Côncava-convexa	51	10,0	55,5	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa-convexa	52	5,3	50,0	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea íngreme- convexa	53	7,7	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea-côncava	54	1,7	33,3	Predomina declividades >10%
Platô	55	1,9	27,8	Predomina declividades de 2-15%
Encosta Retilínea-convexa suave	56	5,5	50,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Retilínea suave	57	1,8	50,0	Predomina declividades 2-10%
Encosta Retilínea íngreme com baixa frequência de canais	58	8,3	50,0	Predomina declividade >10%
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	59	12,5	50,0	Predomina declividades >12.5%

<i>Landform</i>		<i>Declividade (%)</i>		<i>Observação</i>
<i>Elemento</i>	<i>Id</i>	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>	
Encosta Retilínea íngreme-convexa	60	10,0	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	61	3,0	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea moderada íngreme com baixa frequência de canais	62	10,0	41,7	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	63	12,5	50,0	Predomina a máxima declividade
encosta retilínea íngreme com alta frequência de canais	64	3,5	50,0	Predomina a máxima declividade
Escarpas sulcadas superiores	65	16,7	100,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com baixa frequência de canais	66	10,0	50,0	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	67	7,1	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea-convexa	68	12,5	50,0	Predomina declividades >12.5%
Escarpa sulcada superior	69	8,3	100,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea-convexa	70	9,4	27,8	Predomina declividades >10%
Escarpa sulcada superior	71	16,7	100,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea-convexa	72	16,7	50,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Retilínea moderada-convexa	73	20,0	100,0	Predomina a mínima declividade
Escarpa sulcada superior	74	14,3	100,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	75	16,7	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com baixa frequência de canais	76	10,0	71,4	Predomina declividades >15%
Encosta Retilínea íngreme	77	12,5	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	78	12,5	7,2	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa-convexa	79	14,3	25,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme-convexa	80	25,0	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea moderada íngreme-retilínea	81	25,0	100,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Retilínea moderada íngreme-convexa	82	7,4	42,7	Predomina declividades >10%
Encosta retilínea íngreme com maior frequência de canais	83	11,1	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com baixa frequência de canais	84	25,0	100,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	85	5,0	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea-convexa	86	8,3	50,0	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea suave-retilínea	87	10,0	< 2.0	Declividades suaves
Encosta Retilínea-retilínea com baixa declividade	88	5,9	16,3	Predomina a mínima declividade
Planície Aluvionar	89	0,8	4,5	Predomina declividade <2%

<i>Landform</i>		Declividade (%)		Observação
<i>Elemento</i>	<i>Id</i>	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>	
Encosta Retilínea suave-retilínea	90	3,0	100,0	Predomina declividades <10%
Escarpa contínua Superior	91	25,0	500,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	92	21,7	62,5	Predomina a máxima declividade
Escarpa sulcadas Superior	93	16,7	500,0	Predomina a máxima declividade
Escarpa contínua Superior	94	16,7	250,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Côncava-côncava	95	10,0	50,0	Predomina declividade >10%
Encosta Retilínea íngreme	96	10,4	33,3	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme	97	16,7	41,7	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea suave	98	10,0	26,3	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	99	17,2	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	100	8,6	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	101	16,7	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea moderada-retilínea	102	12,5	25,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	103	25,0	50,0	Predomina declividades >25%
Encosta Retilínea íngreme com baixa frequência de canais	104	12,5	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	105	3,1	55,5	Predomina a máxima declividade

FIGURA 5.2.- Mapa de *landforms* (elementos) com as fotografias aéreas de 1995.

As áreas com um maior número de feições estão localizadas nas encostas do lado direito do córrego do Espraiado, como podemos ver na **Figura 5.2 e no ANEXO B**. As áreas erodidas mais críticas se encontram principalmente em encostas retilíneas íngremes - côncavas convergentes (30, 31, 32 e 41), com declividades que variam de 5,5 a 50%. No caso das encostas 32 e 41 a declividade predominante é de 50%, nestas as voçorocas são de maiores profundidades e apresentam varias ramificações. Sendo o comprimento da encosta maior, à declividade ser alta e as estas serem convergentes, as águas superficiais se concentram numa mesma direção e atingem alta velocidade, favorecendo a formação de feições erosivas.

Também são consideradas áreas críticas as encostas retilíneas íngremes - retilíneas (01, 02 e 04), côncavas - côncavas (05,06 e 09), côncavas - convexas (08 e 11), retilínea - côncava (28), e encosta retilínea íngreme (29).

5.2.3. Elementos de terreno x Uso e Ocupação do Solo (ANEXO C)

5.2.3.1. Classificação do uso e ocupação do solo e suas relações com o meio físico

O uso e ocupação do meio físico são as diversas formas de intervenção do homem no meio, visando atender as suas necessidades, isto resulta tanto em benefícios quanto em problemas, geralmente o Homem não respeita e/ou nem conhece os limites do meio físico, assim pode desencadear diversos problemas, principalmente de cunho ambiental e social.

As categorias de uso e ocupação são separadas em função das modificações que impõem e que possam desencadear problemas ambientais, e são detalhadas de acordo com a necessidade e com a escala de trabalho.

De modo que se torna necessário à caracterização da forma de uso e ocupação de uma área que apresenta feições erosivas, pois a intervenção do homem pode ser a causa ou não da formação e/ou aceleração dos processos erosivos.

Na bacia do córrego do Espraiado existe uma diversidade de formas de uso e ocupação do solo, as categoriais adotadas neste estudo foram baseadas no trabalho de Almeida & Freitas (1996) como mostrado na **Tabela 5.4**, e foram delimitados e caracterizados através de fotografias aéreas dos Anos de 1972, 1978, 1995 e 2000. Devido à escala e os objetivos deste trabalho optou-se por fazer comparações das formas de uso e ocupação espacial e temporal com cada elemento de terreno (ANEXO

C) caracterizado na bacia. Para analisar de como o uso e ocupação contribuíram com o desencadeamento dos processos erosivos e de como afetou na eficiência das técnicas de controle e reabilitação feitas na área.

TABELA 5.4- Categorias de formas de uso e ocupação do solo e problemas/ processos do meio físico segundo Almeida & Freitas (1996), continua.

PRINCIPAIS FORMAS DE USO E OCUPAÇÃO	CARACTERÍSTICAS	PROBLEMAS/PROCESSOS DO MEIO FÍSICO
Cobertura vegetal natural	Inclui áreas cobertas principalmente por mata e capoeira. Nas áreas urbanas encontram-se em áreas restritas, onde o relevo é mais energético ou nas áreas de preservação.	Esta forma de uso exerce ação protetora em relação aos processos de movimento de massa.
Reflorestamento	Áreas de recomposição da cobertura vegetal, em sua maioria para fins econômicos.	Atua de maneira semelhante às matas, diferenciando-se quanto ao manejo.
Campo antrópico/Pastagem	Áreas onde predominam vegetação herbácea, com alguns arbustos e árvores esparsas. localizam-se próximos às áreas rurais ou de expansão urbana.	Quando em relevo mais movimentado e em casos de exposição do solo, podem ocorrer processos erosivos.
Áreas agrícolas	Áreas destinadas a cultivos perenes ou temporários (ciclo estabelecido). Nas áreas urbanas destacam-se a horticultura e as chácaras rurais (que destinam parte dos lotes a pequenos cultivos).	Possibilidade de ocasionar ou agravar processos erosivos quando há exposição dos solos, e em situações com concentração de drenagem superficial, com conseqüente assoreamento dos cursos d'água. Também o manejo inadequado do solo e o uso intensivo de fertilizantes e pesticida podem gerar poluição dos recursos hídricos, perda de fertilidade do solo, e esgotamento do solo por determinadas culturas.
Área urbana consolidada	Caracteriza-se por ser densamente ocupada, e pela disponibilidade de infra-estrutura básica e equipamentos, atividades de comércio e serviços, etc.	por serem áreas com pouca exposição do solo e bastante impermeabilizadas possibilitam maior escoamento superficial, e concentração das águas, estrangulando alguns sistemas de drenagem, e intensificado as inundações e os alagamentos.
Área urbana em consolidação	Constitui áreas com densidade de ocupação média/alta, apresentando ainda alguns vazios urbanos, e infra-estrutura e equipamentos restritos. Destacam-se nessas áreas grandes loteamentos e sistemas de autoconstrução.	Na fase de implantação de loteamentos, os solos são expostos à erosão. A implantação parcial de infra-estrutura (drenagem e pavimentação), com a concentração e o lançamento de águas de chuva e servidas, favorece a ocorrência d boçorocas. Ocorrem também os assoreamentos das drenagens por resíduos urbanos (lixo, materiais de construção, etc), e inundações e problemas de saneamento.
Área urbana parcelada	Corresponde à ocupação periférica de densidade média/baixa, caracterizada por loteamentos em implantação destinados à classe social menos favorecida, em que há falta de infra-estrutura e equipamentos urbanos.	Os problemas são semelhantes aos anteriores, porém com maior grau de intensidade.

TABELA 5.4 cont. - Categorias de formas de uso e ocupação do solo e problemas/ processos do meio físico segundo Almeida & Freitas (1996).

Favelas	Habitações precárias, instaladas ao longo dos córregos ou em encostas, sem infra-estrutura básica (saneamento de água, esgotos, etc).	Nas encostas, o lançamento de lixo e de águas servido causa instabilidade com possibilidade de escorregamentos. Nas baixadas, poluição dos córregos com lixo e lançamentos de águas servidas, assoreamento e inundação.
Mineração	Compreende os vários tipos de exploração mineral (areia, argila, turfa, brita, calcário, etc) em suas diferentes formas de desmonte (hidráulico, mecânico e com explosivos). Além de serem diferenciadas se estão em atividades ou não.	Estas atividades ocasionam devastação tanto no local como em áreas adjacentes, expondo os solos a processos erosivos; assoreamento dos cursos d'água; poluição química das águas pelos materiais em suspensão; poluição atmosférica (gases, pó-secagem), sonora (explosivos, desmontes- ruídos), e dos solos (disposição de rejeitos).
Áreas industriais	São especificadas quanto aos tipos de atividades que possam causar danos ao meio ambiente, como poluentes atmosféricos, do solo e hídricos.	Na fase de implantação, expõem extensas áreas à erosão; no seu funcionamento pode provocar poluição dos recursos hídricos por lançamento direto dos rejeitos, poluição atmosférica e do solo.
Disposição de resíduos	Locais para destinação final do lixo urbano, na forma de aterro sanitário, lixão ou aterro controlado.	Se não executada com critérios e conforme normas específicas, podem ocasionar poluição do solo, das águas superficiais e do lençol freático.
Gasodutos/Oleodutos	Sistemas de dutos para transporte de petróleo e derivados a grandes distâncias.	Na execução da obra em terrenos de relevo mais movimentado, podem induzir à ocorrência de escorregamentos. No funcionamento, apresentam riscos de explosão, vazamentos.
Sistema viário	Vias de comunicação na malha urbana ou para ligação entre áreas distantes (rodovias, ferrovias).	Para sua implantação ocasionam desmatamentos com desencadeamento de movimento de massa. a concentração e o lançamento inadequado das águas superficiais de drenagem de rodovias podem intensificar estes processos erosivos (boçorocas, corridas de massa).

5.2.3.2. Resultado e análise

As principais formas de uso e ocupação identificada na bacia do córrego de Espriado foram as seguintes: cobertura vegetal natural, reflorestamento, campo antrópico/ pastagem, áreas agrícolas, área urbana em consolidação, área urbana parcelada, mineração, e sistema viário.

Ao comparar as formas de uso e ocupação do meio físico dos anos de 1972 e 1978, nota-se que houve poucas mudanças, o uso era basicamente de áreas agrícolas, campo antrópico/ pastagem e áreas de cobertura vegetal natural, este último cadastrado

principalmente em encosta com alta declividade e próximo a drenagens. A expansão urbana ocorria lentamente, tanto que na área que abrange a bacia do córrego do Espreado não teve nenhum registro de área urbana, sendo ocupado por fazendas agrícolas (cana - de - açúcar) e de plantação de eucaliptos e pinus, e fazenda de criação de gado. Uma mudança importante registrada no ano de 1978 foi o aumento da área ocupada pelos portos de extração de areia, tanto no leito do córrego como na margem do mesmo, e também da área destinada a estocagem da areia extraída (**Figura 5.3**).

FIGURA 5.3.- Fotografia aérea de 1972 mostrando os principais uso e ocupação do solo, e a presença das feições erosivas. Escala original da fotografia aérea 1: 25 000.

FIGURA 5.4- Fotografia aérea de 1978 mostrando os principais uso e ocupação do solo, e a presença das feições erosivas. Escala original da fotografia aérea 1: 35 000.

As **Figuras 5.3 e 5.4** mostram também que nos anos de 1972 e 1978 já havia registro de várias feições erosivas, principalmente nas áreas mais descampadas, os cadastrados e descrições destas feições estão descritos no item 5.4.

Em alguns elementos de terreno havia a ocorrência de mais de uma forma de uso e ocupação, principalmente nos anos de 1995 e 2000, que comparativamente aos anos de 1972 e 78, onde houve um aumento da expansão urbana, ocorrendo nas encostas do lado direito do córrego, assim como uma mudança na configuração do relevo, nas áreas reabilitadas, principalmente aquelas destinadas a loteamentos residenciais, como mostra as **Figuras 5.5 e 5.6**.

FIGURA 5.5- Fotografia aérea de 1995 mostrando os principais uso e ocupação do solo, e a presença das feições erosivas. Escala original da fotografia aérea 1: 25 000.

FIGURA 5.6- Fotografia aérea de 2000 mostrando os principais uso e ocupação do solo, e a presença das feições erosivas. Escala original da fotografia aérea 1: 30000.

Os elementos de terreno que mais sofreram modificação de configuração de relevo e de uso e ocupação do solo, foram às encostas retilíneas íngreme - côncava convergente (30 e 31), encosta retilínea- côncava (28) e convexa- convexa (24), pois a área que abrange estes elementos houve a construção de bancadas por terraceamento, aterramento das feições e canalização da drenagem superficial, que teve como objetivo reabilitar esta área para loteamentos residenciais. Em 1995 os loteamentos começaram a serem demarcados, e em 2000, o residencial já estava todo estruturado. O principal direcionamento da expansão urbana ocorreu nestes elementos em 1995, e em 2000, também, na encosta retilínea íngreme - côncava convergente (32) e retilínea suave-retilínea (90), sendo que estas áreas também foram reabilitadas para loteamentos residenciais. As descrições das técnicas utilizadas nestas reabilitações estão no item 5.5.

Outra forma de uso e ocupação que aumentou foram os portos de extração de areia, que na fotografia aéreas de 1995 foi identificado à expansão dos dois já existentes e a presença de mais um porto de areia ao longo do córrego do Espraiado, na foto aérea de 2000 e nas campanhas de campo, estes três pontos de mineração ainda foram registrados.

Há a presença de inúmeras feições erosivas, principalmente do tipo voçoroca, nos anos de 1995 e 2000, como mostrado nas **Figuras 5.5 e 5.6**, suas descrições e cadastros estão no item 5.4.

5.3. Mapa de Materiais Inconsolidados (ANEXO C)

5.3.1. Considerações gerais

Para a elaboração do mapa de materiais inconsolidados foi utilizado mapas topográficos na escala 1:10 000, trabalhos de campo, com descrições de perfis de alteração e amostragens, e interpretação de fotografias aéreas de 1995 em escala 1:25 000, além dos resultados dos ensaios laboratoriais.

O perfil de alteração típico que melhor se adequou às informações descritas em campo foi solo residual, solo saprolítico, rocha alterada e rocha sã, como é mostrado na **Tabela 5.5**.

As unidades de materiais inconsolidados foram classificadas quanto a sua gênese e a sua textura. Quanto à gênese os materiais foram classificados como residuais, quando os solos são produtos da alteração *in situ* do substrato rochoso, e materiais retrabalhados, quando os materiais inconsolidados são oriundos de outros lugares. Quanto a sua textura baseai-se nos ensaios granulométricos. Ainda foram caracterizados os materiais de aterro utilizados na reabilitação da área Ar Rb 3-3.

TABELA 5.5- Descrição do perfil de alteração adotado neste trabalho.

Níveis de Alteração	Identificação	Descrição
Solo residual	Rs	Rocha totalmente transformada em solo, não há presença de estruturas e textura primárias.
Solo saprolítico	Rsp	Ainda encontramos cerca de 10% de rocha alterada imersa no solo
Rocha muito alterada	Ram	Preservação das estruturas primárias, descoloração, e baixa resistência à desagregação
Rocha pouco alterada	Rap	Preservação das estruturas primárias, pouca descoloração, e alta resistência a desagregação
Rocha sã	Rsa	Rocha com pouco nível de alteração

5.1.3.2. Amostragem na área estudada

Nos trabalhos de campo foram coletas 35 amostras deformadas de materiais inconsolidados, de cada ponto de coleta de amostra foi retirado aproximadamente 15 quilos para realização dos ensaios de granulometria conjunta, massa específica dos sólidos, e para os ensaios de análises físico-químicas. Também foram coletadas 162 amostras indeformadas, sendo 77 anéis para obtenção dos índices físicos, e 85 anéis para os ensaios de erodibilidade.

5.3.2. Unidades de materiais inconsolidados

Os materiais inconsolidados foram classificados em 21 unidades, sendo 12 de materiais residuais, que compreende solo residual (*Rs01* a *Rs06*), solo saprolítico (*Rsp01*) e rocha muito alterada (*Ram01a* a *Ram03*), rocha pouca alterada (*Rap01* e *Rap02*), 08 de materiais retrabalhados (*Rt01* a *Rt08*), os aluvionares (*Al*), e ainda houve

a caracterização do material de aterro. Na **Tabela 5.6** são apresentadas a extensão de área e a percentagem de cada unidade.

A percentagem total de rocha sã, rocha pouco alterada e rocha muito alterada é significativa diante a percentagem total de material inconsolidado, seja de residual e de retrabalhado, seus principais afloramentos são nas escarpas e em encostas retilíneas íngremes.

TABELA 5.6- Unidades de materiais inconsolidados e as áreas correlacionadas.

UNIDADES	ÁREA (m ²)	ÁREA (%)
Rs01	45808,98	0,37
Rs02 + Rt02	1969437,32	15,82
Rs03 + Ram03+ Rsp01	730625,49	5,87
Rs04 + Rt07	655131,35	5,26
Rs04	69858,28	0,56
Rs05 + Rt04	343403,29	2,76
Ram02	545588,54	4,38
Rt03 + Ram03	278247,38	2,23
Rap01 +Ram01	151861,59	1,22
Rap02	274311,16	2,20
Rsa	4157372,38	33,39
Rt01	453644,07	3,64
Rt05	1431152,63	11,50
Rt06	228227,62	1,83
Rt08	168524,35	1,35
Al	946979,22	7,61
Total	12450173,66	100,00

5.3.2.1. Materiais inconsolidados residuais

Os resultados da caracterização geotécnica básica dos materiais inconsolidados residuais encontram-se na **Tabela 5.7**, os de análise físico - química na **Tabela 5.8**, os de erodibilidade na **Tabela 5.9** e na **Figura 5.8**. A descrição de cada material inconsolidado está a seguir.

- ➔ **Unidade Rs01:** é constituída por uma material arenoso de coloração rosada, com pouca espessura, de aproximadamente 0,5 m. Este material encontra-se localizado no perfil de alteração logo acima da rocha sã a pouca alterada, na porção noroeste da bacia, encontra-se numa área de pasto, sua amostragem foi feita com pouca

profundidade, por isso apresentou uma quantidade considerável de raízes, isto pode ter influenciado no resultado de superfície específica da argila (S.E.), 254 m²/g de argila, sendo o mais alto valor entre os residuais, e também ter sido responsável pela baixa perda de massa por imersão, resultando em valores de E40 e E52 maiores que 1, indicando que o material possui alta resistência a erosão, apenas a amostra do anel Am10-3, apresentou valores E menor que 1, estando então de acordo com a resposta esperada, pois há presença de feições erosivas próximas ao local da coleta da amostra.

- **Unidade Rs02:** é constituída por material arenoso de granulação fina a média, possui coloração esbranquiçada, e apresenta espessura de aproximadamente 3 m. Este material encontra-se localizado no perfil de alteração logo acima da rocha sã a pouca alterada, os principais afloramentos desta unidade são em voçorocas, por isso a sua difícil delimitação no mapa de materiais inconsolidados. De acordo com o índice de erodibilidade obtido, menor que 1, este material é considerado como erodível ou tem baixa a resistência a erosão.

- **Unidade Rs03:** é constituída por material arenoso com granulação de média a fina, possui coloração amarela esbranquiçada, com espessura entre 4 e 5 m. O principal afloramento desta unidade é na voçoroca 38V. Os resultados obtidos de caracterização geotécnica básica, análise físico-química e de erodibilidade, foram coerentes com as condições encontradas em observações de campo, caracterizando que este material é arenoso com baixa resistência a erosão.
- **Unidade Rs04:** é constituída por um material arenoso de granulação fina a média, apresenta uma média de quantidade de argila de 14% e de silte de 5%, possui coloração rosada, com espessura de aproximadamente 1,5 m. Este material encontra-se localizado no perfil de alteração logo acima da rocha sã a pouca alterada, o melhor afloramento desta unidade é próximo a rodovia SP-191, em um corte de estrada. A amostragem foi feita dentro de uma voçoroca, e os resultados da caracterização geotécnica básica, análise físico-química e de erodibilidade, foram coerentes com as observações de campo, onde este material pode ser caracterizado como arenoso com baixa resistência a erosão.

- **Unidade Rs05:** é constituída por um material arenoso, com 11,8% de argila e com areia média a fina, possui coloração rosada, apresenta espessura de aproximadamente 0,5 m. Este material encontra-se localizado no perfil de alteração acima da rocha muito alterada. Os resultados de caracterização geotécnica básica, análise físico-química e de erodibilidade, foram coerentes com as observações de campo, onde este material pode ser caracterizado como arenoso com baixa resistência a erosão.

- **Unidade Rs06:** é constituída por um material arenoso de coloração rosada, dentre os residuais, este material é o que possui a maior quantidade de finos, com 15% de argila e 11,6% de silte, apresenta espessura de aproximadamente 0,5 m. Este material encontra-se localizado no perfil de alteração logo acima da rocha sã a pouca alterada, sua amostragem foi feita a pouca profundidade, por isso apresentou uma quantidade considerável de raízes, isto pode ter influenciado no resultado de superfície específica da argila (S.E.), 208 m²/g de argila, mas este valor também pode ser justificável pelo material apresentar 15% de argila. Mas a presença de raízes nos anéis de erodibilidade, também ter sido responsável pela baixa perda de massa por imersão, resultando em valores obtidos de E40 e E52 muito maiores que 1, indicando que o material possui alta resistência a erosão, este comportamento não é condizente com as observações feitas no campo, pois a amostragem foi feita em uma feição erosiva, outra justificativa seria com relação a coleta das amostras indeformadas, pois o lado da feição erosiva escolhido para a coleta é que mais sofria exposição solar, talude que sofrem maior exposição ao sol formam uma crosta.

- **Unidade Rsp01:** A unidade *Rsp01* é constituída por uma material arenoso de coloração rosada, com espessura de aproximadamente 0,5 m. Ainda pode ser encontrada matações de rocha branda imerso no solo residual. Esta unidade foi identificada somente num afloramento localizado numa voçoroca (38V). Os resultados de caracterização geotécnica básica, análise físico-química e de erodibilidade, foram coerentes com as observações de campo, onde este material pode ser caracterizado como arenoso com baixa resistência a erosão.

- **Unidade Ram01:** é constituída por uma material arenoso de coloração rosada acinzentada, rocha muito alterada, possui estratificações cruzadas de médio porte, há

presença de feições erosivas. Os resultados de caracterização geotécnica básica, análise físico-química e de erodibilidade, foram coerentes com as observações de campo, onde este material pode ser caracterizado como arenoso com baixa resistência a erosão.

- **Unidade Ram02:** rocha muito alterada possui estratificações cruzadas de médio porte, apresenta uma coloração rosada e acinzentada, há presença das voçorocas de maior profundidade e largura cadastrada neste trabalho. Os resultados de caracterização geotécnica básica, análise físico-química e de erodibilidade, foram coerentes com as observações de campo, onde este material pode ser caracterizado como arenoso com baixa resistência a erosão.
- **Unidade Ram03:** rocha muito alterada, possui coloração alaranjada, apresenta estruturas primárias como estratificações cruzadas de pequeno e médio porte. Esta unidade foi descrita no campo, a amostragem realizada foi de reconhecimento, pois não foi possível fazer amostragem indeformada e nem deformada, pois não havia condições de se fazer à amostragem.
- **Unidade Rap01:** rocha pouca alterada, apresenta estratificações cruzadas de médio porte, apresenta coloração acinzentada.
- **Unidade Rap02:** rocha pouca alterada, possui estratificações cruzadas de pequeno porte, apresenta coloração rosa esbranquiçada.

TABELA 5.7- Resultados dos ensaios de caracterização geotécnica básica dos materiais inconsolidados residuais.

Amostra	Unidade	Sedimentação										Índices Físicos			
		Com Defloculante					Sem defloculante								
		Fina		Areia			Fina		Areia			γ_{dc}	ρ_s	e	n
		Argila	Silte	Fina	Média	Grossa	Argila	Silte	Fina	Média	Grossa				
		%					%					g/cm3	g/cm3	%	
Am10	Rs01	8,2	2,8	27,0	61,7	0,3	0,4	4,1	35,5	59,8	0,2	1,523	2,636	0,73	42,22
Am3	Rs02	4,0	1,0	50,0	44,3	0,7	0,0	5,2	49,8	44,1	0,9	1,632	2,642	0,62	38,23
Am25	Rs03	5,6	1,0	33,9	55,6	3,9	0,0	0,0	39,5	55,5	5,0	1,650	2,624	0,59	37,12
Am26		4,7	1,9	33,4	55,0	5,0	0,0	0,8	37,7	57,6	3,9	1,597	2,648	0,66	39,69
Am13	Rs04	13,4	5,0	50,6	30,8	0,2	8,8	4,2	58,0	28,9	0,1	1,697	2,661	0,57	36,23
Am22-1		14,3	3,7	45,0	36,0	1,0	4,2	8,8	23,0	34,5	1,0	1,565	2,674	0,71	41,47
Am28	Rs05	11,8	1,0	36,2	44,5	3,5	0,0	12,0	39,0	45,2	3,8	1,570	2,625	0,67	40,19
Am20	Rs06	15,0	11,6	43,9	29,5	0,0	1,5	12,5	57,5	28,0	0,5	1,497	2,696	0,80	44,47
Am24	Rsp01	4,4	1,6	44,0	50,0	0,0	0,0	0,0	49,0	50,9	0,1	1,631	2,640	0,62	38,22
Am7	Ram01	7,5	1,5	33,0	52,2	5,8	0,2	2,3	39,5	52,6	5,4	1,585	2,645	0,67	40,08
Am29		8,2	2,3	31,5	57,4	0,6	0,0	3,8	38,2	57,5	0,5	1,494	2,611	0,75	42,78
Am9	Ram02	3,6	4,4	48,0	44,0	0,0	0,4	0,9	55,7	43,0	0,0	1,615	2,674	0,66	39,60

TABELA 5.8. Resultados dos ensaios das análises físico- químicas dos materiais inconsolidados residuais.

Amostra	Unidade	Análise Química do Solo												
		pH			Eh	C.E.	Íons Trocáveis			Ensaio Azul de Metileno				
		pH	pH (KCl)	Δ pH			mV	Na	K	Ca	Vb(g/100g de solo)	Acb(g/100g de argila)	S.E.(m²/g de argila)	S.E.(m²/g de solo)
					dS/m	mg/l								
Am10	Rs01	4,9	4,2	-0,75	599	0,0426	1,8	1,3	1,4	0,85	10,4	254	21	2,7
Am3	Rs02	5,2	4,0	-0,99	569	0,0542	0,8	1,2	2,3	0,34	8,4	206	8	1,1
Am25	Rs03	4,7	4,3	-0,44	572	0,0341	0,5	0,8	4,2	0,17	3,0	73	4	0,5
Am26		5,3	4,3	-1,01	556	0,0270	0,6	1,0	4,4	0,15	3,2	77	4	0,5
Am13	Rs04	4,9	4,2	-0,76	609	0,0706	0,6	0,8	2,2	0,37	2,8	68	9	1,2
Am22-1		5,4	4,9	-0,50	576	0,0230	0,5	1,3	4,6	0,83	1,9	45	6	0,8
Am28	Rs05	5,5	4,2	-1,30	543	0,0218	0,5	1,4	4,0	0,38	3,2	78	9	1,2
Am20	Rs06	4,9	3,8	-1,16	599	0,0567	0,7	3,7	13,6	1,28	8,5	208	31	4,0
Am24	Rsp01	5,3	4,4	-0,93	554	0,0175	0,4	0,7	3,3	0,11	2,5	60	3	0,3
Am7	Ram01	4,6	4,2	-0,47	629	0,0566	0,7	1,6	0,2	0,34	4,5	110	8	1,1
Am29		5,4	4,1	-1,27	545	0,0303	0,5	1,5	3,8	0,26	3,2	77	6	0,8
Am9	Ram02	5,9	4,4	-1,55	577	0,0507	0,6	0,6	0,4	0,16	4,3	106	4	0,5

TABELA 5.9.- Resultados dos ensaios de erodibilidade dos materiais inconsolidados residuais.

Amostra	Unidade	Índice de Erodibilidade															
		Amostra-1/a/d				Amostra-2/b/e				Amostra-3/c/f				Valores Médios			
		S	P	E40	E52	S	P	E40	E52	S	P	E40	E52	Sm	Pm	E40m	E52m
			%				%				%				%		
Am10	Rs01	0,1305	0,71	7,35	9,56	0,1100	1,83	2,40	3,13	0,1429	12,62	0,45	0,59	0,1278	5,05	1,01	1,32
Am3	Rs02	1,2769	69,91	0,73	0,95	1,3841	79,93	0,69	0,90	1,2806	65,78	0,78	1,01	1,3139	71,87	0,73	0,95
Am25	Rs03	0,9315	70,54	0,53	0,69	1,4314	18,23	3,14	4,08	-	-	-	-	1,1815	44,39	1,06	1,38
Am26		1,4095	78,40	0,72	0,93	1,4943	79,87	0,75	0,97	-	-	-	-	1,4519	79,14	0,73	0,95
Am13	Rs04	0,6771	36,61	0,74	0,96	0,6150	48,79	0,50	0,66	0,4305	33,53	0,51	0,67	0,5742	39,64	0,58	0,75
Am22-1		1,6386	86,74	0,76	0,98	1,6407	76,85	0,85	1,11	-	-	-	-	1,6397	81,80	0,80	1,04
Am28	Rs05	1,1677	73,05	0,64	0,83	0,9466	63,08	0,60	0,78	-	-	-	-	1,0572	68,07	0,62	0,81
Am20	Rs06	0,9739	0,12	324,63	422,02	-	-	-	-	0,9839	0,09	437,29	568,48	0,9789	0,10	391,56	509,03
Am24	Rsp01	1,3984	72,88	0,77	1,00	1,0638	77,66	0,55	0,71	-	-	-	-	1,2311	75,27	0,65	0,85
Am7	Ram01	0,8621	71,53	0,48	0,63	0,5485	39,82	0,55	0,72	0,5566	68,17	0,33	0,42	0,6557	59,84	0,44	0,57
Am29		-	-	-	-	0,7095	83,14	0,34	0,44	-	-	-	-	0,7095	83,14	0,34	0,44
Am9	Ram02	0,5804	74,97	0,31	0,40	0,5048	81,77	0,25	0,32	0,4614	81,73	0,23	0,29	0,5155	79,49	0,26	0,34

FIGURA 5.8- Diagrama de índice de absorção de água (S) *versus* percentagem de perda por imersão (P) dos materiais inconsolidados residuais com a identificação das amostras de cada unidade.

5.3.2.2. Materiais inconsolidados retrabalhados (Rt)

Nas **Tabelas 5.10, 5.11 e 5.12**, e na **Figura 5.9**, estão apresentadas as características texturais, índices físicos, análises físico-químicas, resultado do azul de metileno, e de erodibilidade, respectivamente, das unidades dos materiais retrabalhados.

- ➔ **Unidade Rt01:** é constituída por uma material arenoso de coloração alaranjada, com espessura de aproximadamente de 1 a 2m. Não foi possível fazer amostragem desta unidade. Esta unidade situa-se na porção norte da bacia.
- ➔ **Unidade Rt02:** é constituída por um material arenoso, areia fina a média, com até 15% de argila, possui coloração alaranjada, com espessura variando de 0,5 a 2m. Esta unidade dentre os materiais retrabalhados é a que possui a maior extensão territorial ocupando aproximadamente 15,82% da área total da bacia. A amostragem desta unidade foi feita no interior de feições erosivas, os valores de superfície específica da argila das amostras Am2 e Am19 apresentaram os mais altos dentre os materiais retrabalhados, sendo de 181 e 165 m²/g de argila, respectivamente. Estes

valores são justificáveis, devido o material apresentar 15,82% de argila. Outro problema encontrado nos resultados da amostra Am2 foi os dos ensaios de erodibilidade, pois apresentaram baixa percentagem de perda de massa por imersão, conseqüentemente os valores dos índices de erodibilidade (E40 e E52) foram maiores que 1, contradizendo com os resultados obtidos nas outras amostras (Am12 e Am19) ensaiadas deste mesmo material, nas quais melhor refletem as condições encontradas no campo, pois além das feições que onde foram coletadas as amostras, há presença de outras feições erosivas.

- **Unidade Rt03:** é constituída por um material arenoso com até 1% de pedregulho, areia média a fina, apresenta coloração alaranjada, com espessura de aproximadamente 1 m. As amostras foram coletadas no interior da voçoroca 21V, as amostras indeformadas para os ensaios de erodibilidade de Am33, foram coletadas do lado da feição erosiva que mais estava exposta ao sol, quanto que a Am32 do lado mais protegido, por isso os resultados do ensaio de erodibilidade destas amostras foram contraditórios, os mais coerentes foram os obtidos da amostra Am32, sendo condizente com as condições observadas no campo, como material arenoso com baixa resistência a erosão.
- **Unidade Rt04:** é constituída por um material arenoso com até 27% de argila, sendo este com a maior quantidade de finos, coloração avermelhada, com espessura de aproximadamente 3 m. Os resultados de caracterização geotécnica básica e da análise físico-química foram coerentes. Mas os resultados dos ensaios de erodibilidade apresentaram o mesmo problema das amostras da unidade Rt03, desta forma somente a amostra Am11 foi o mais condizente com as observações de campo, pois há a presença varias feições erosivas de pequeno porte (concentração de sulcos e pequenas ravinas) neste material, assim este material é caracterizado como arenoso com baixa resistência a erosão.
- **Unidade Rt05:** é constituída por um material arenoso de coloração alaranjada, quantidade de argila variando de 11,7 a 15%, apresenta espessura variando de 1 a 5m. Os resultados de caracterização geotécnica básica, análise físico-química e de erodibilidade, foram coerentes com as observações de campo, onde este material pode ser caracterizado como arenoso com baixa resistência a erosão, dentre todos os

materiais coletados e ensaiados, todos os resultados obtidos nas amostras desta unidade foram os mais homogêneos.

- **Unidade Rt06:** é constituída por um material arenoso de coloração alaranjada, com espessura de aproximadamente 3 m. Os resultados de caracterização geotécnica básica, análise físico-química e de erodibilidade, foram coerentes com as observações de campo, onde este material pode ser caracterizado como arenoso com baixa resistência a erosão, apesar dos valores dos índices de erodibilidade serem próximos de 1.
- **Unidade Rt07:** é constituída por um material arenoso de coloração alaranjada, com espessura variando de 1 a 3 m. Os afloramentos desta unidade são em cortes de estrada da rodovia SP-191. Os resultados de caracterização geotécnica básica e da análise físico-química foram coerentes. Mas os resultados dos ensaios de erodibilidade apresentaram o mesmo problema das amostras da unidade Rt03, onde os valores do índice de erodibilidade da Am22-2 são altos, desta forma a amostra Am21 foi a mais condizente com as observações de campo, pois há presença de várias feições erosivas de pequeno porte (concentração de sulcos e pequenas ravinas), assim este material é caracterizado como arenoso com baixa resistência a erosão.
- **Unidade Rt08:** é constituída por um material arenoso de coloração alaranjada, com espessura de aproximadamente 2 m. Os resultados de caracterização geotécnica básica, análise físico-química e de erodibilidade, foram coerentes com as observações de campo, onde este material pode ser caracterizado como arenoso com baixa resistência a erosão.
- **Aluvião (Al):** é constituída por material arenoso de granulação areia média a fina, e no canal da drenagem areia grossa e pedregulhos e a montante, possui coloração esbranquiçada, nas margens do córrego há presença de terraços aluvionares, apresentando camadas de areia média a fina intercalada com material mais rico em matéria orgânica.

TABELA 5.10- Resultados dos ensaios de caracterização geotécnica básica dos materiais inconsolidados retrabalhados.

Amostra	Unidade	Sedimentação										Índices Físicos			
		Com defloculante					Sem defloculante								
		Fina		Areia			Fina		Areia			γ dc	ρ s	e	n
		Argila	Silte	Fina	Média	Grossa	Argila	Silte	Fina	Média	Grossa				
		%					%					g/cm³	g/cm³	%	
Am2	Rt02	15,0	4,0	49,0	31,5	0,5	5,3	6,5	58,2	30,0	0,0	1,466	2,633	0,80	44,32
Am12		11,3	2,7	50,0	35,2	0,8	1,3	4,7	59,0	34,2	0,8	1,516	2,648	0,75	42,75
Am19		11,3	2,4	51,3	34,6	0,4	2,8	4,2	60,0	32,6	0,4	1,453	2,637	0,81	44,90
Am32	Rt03	8,4	3,6	26,5	54,2	7,3	0,8	3,2	34,5	54,2	7,3	1,561	2,640	0,69	40,87
Am33		8,2	1,8	28,0	53,5	7,4	1,9	2,9	33,2	53,8	8,2	1,529	2,590	0,69	40,97
Am6	Rt04	17,6	2,1	45,8	33,2	1,3	0,8	6,2	57,5	33,9	1,6	1,542	2,672	0,73	42,29
Am11		27,5	8,5	35,0	27,7	1,3	14,5	19,5	37,0	28,0	1,0	1,414	2,736	0,93	48,32
Am34		20,8	5,2	42,0	31,0	1,0	6,6	11,9	47,5	32,9	1,1	1,330	2,735	1,06	51,37
Am8	Rt05	11,7	1,3	31,0	49,8	6,2	5,4	1,6	35,0	51,2	6,8	1,546	2,652	0,72	41,70
Am15		12,0	1,8	24,2	53,1	8,9	4,2	3,2	27,6	55,7	9,3	1,550	2,600	0,68	40,38
Am16		15,0	3,2	31,8	47,4	2,6	7,1	5,9	36,8	47,4	2,8	1,640	2,679	0,63	38,78
Am18		15,0	3,4	29,6	49,1	2,9	5,8	4,2	39,5	47,5	3,0	1,483	2,652	0,79	44,08
Am17	Rt06	12,3	2,3	38,4	45,1	1,8	3,9	3,6	41,5	48,9	2,1	1,527	2,657	0,74	42,53
Am23		8,2	3,5	31,8	54,1	2,4	0,2	2,8	38,5	55,8	2,7	1,435	2,641	0,84	45,66
Am27		10,0	1,5	36,5	43,9	8,1	0,0	6,8	31,2	53,7	8,3	1,497	2,649	0,77	43,49
Am21	Rt07	8,7	2,8	43,5	43,1	1,9	1,5	1,5	51,5	43,3	2,2	1,759	2,650	0,51	33,62
Am22-2		12,9	3,6	44,5	38,2	0,8	4,3	5,2	52,0	37,8	0,7	1,514	2,665	0,76	43,19
Am14	Rt08	12,1	1,9	51,0	34,0	1,0	3,6	11,4	48,0	35,9	1,1	1,606	2,664	0,66	39,71

TABELA 5.11- Resultados dos ensaios de análise físico-química dos materiais inconsolidados retrabalhados.

TABELA 5.11- Resultados dos ensaios de análise físico-química dos materiais inconsistentes retrabalhados.														
Amostra	Unidade	Análise Química do Solo												
		pH			Eh	C.E.	Íons Trocáveis			Ensaio Azul de Metileno				
		pH	pH (KCl)	Δ pH			mV	Na	K	Ca	Vb(g/100g de solo)	Acb(g/100g de argila)	S.E.(m²/g de argila)	S.E.(m²/g de solo)
					dS/m	mg/l								
Am2	Rt02	4,8	4,0	-0,83	633	0,0616	0,9	2,2	4,0	1,11	7,3	181	27	3,5
Am12		4,5	4,2	-0,31	640	0,0872	0,8	1,5	2,1	0,19	1,7	41	5	0,6
Am19		5,0	4,0	-1,03	575	0,0293	0,5	3,0	4,8	0,76	6,7	165	19	2,4
Am32	Rt03	5,0	4,1	-0,90	584	0,0406	0,5	1,7	6,4	0,30	3,5	87	7	0,9
Am33		4,9	4,1	-0,73	603	0,0416	0,4	1,6	4,0	0,30	3,6	88	7	0,9
Am6	Rt04	4,2	4,1	-0,06	676	0,0861	2,0	1,4	4,2	0,35	2,0	48	8	1,1
Am11		4,7	4,8	0,07	626	0,1858	0,7	1,3	0,9	0,62	2,3	55	15	1,9
Am34		4,9	4,3	-0,65	599	0,0227	0,5	1,1	3,4	0,30	1,5	36	7	0,9
Am8	Rt05	5,5	4,3	-1,15	618	0,0494	2,0	1,1	3,4	0,34	2,9	70	8	1,1
Am15		4,8	4,2	-0,61	581	0,0355	0,8	2,8	2,9	0,20	1,7	41	5	0,6
Am16		5,2	4,2	-1,01	594	0,0224	0,5	1,4	4,0	0,27	1,1	44	7	0,9
Am18		5,1	4,2	-0,92	574	0,0492	0,7	2,1	2,6	0,22	1,5	36	5	0,7
Am17	Rt06	4,8	4,2	-0,61	591	0,0410	0,5	1,0	2,6	0,26	2,1	52	6	0,8
Am23		5,2	4,4	-0,78	568	0,0275	0,9	1,2	4,0	0,15	1,8	44	4	0,5
Am27		5,1	4,4	-0,79	588	0,0276	0,5	1,1	4,2	0,22	2,2	55	5	0,7
Am21	Rt07	5,1	4,4	-0,72	582	0,0642	0,5	0,9	1,4	0,08	0,9	23	2	0,3
Am22-2		4,8	4,2	-0,59	604	0,0436	0,4	1,9	3,0	0,15	1,2	29	4	0,5
Am14	Rt08	5,1	4,4	-0,65	630	0,0636	0,6	1,5	1,5	0,26	2,2	53	6	0,8

TABELA 5.12- Resultados dos ensaios de erodibilidade dos materiais inconsolidados retrabalhados.

Amostra	Unidade	Índice de Erodibilidade															
		Amostra-1/a/d				Amostra-2/b/e				Amostra-3/c/f				Valores Médios			
		S	P	E40	E52	S	P	E40	E52	S	P	E40	E52	Sm	Pm	E40m	E52m
			%				%				%				%		
Am2	Rt02	0,6249	1,5	16,66	21,66	0,5833	0,96	24,30	31,60	0,5624	0,36	62,49	81,24	0,5902	0,94	25,11	32,65
Am12		0,5732	33,3	0,69	0,90	0,6234	22,43	1,11	1,45	0,7794	38,9	0,80	1,04	0,6587	31,54	0,84	1,09
Am19		1,0458	76,61	0,55	0,71	1,2581	79,46	0,63	0,82	1,6184	79,06	0,82	1,06	1,3074	78,38	0,67	0,87
Am32	Rt03	-	-	-	-	1,5210	77,70	0,78	1,02	1,1643	78,74	0,59	0,77	1,3427	78,22	0,69	0,89
Am33		-	-	-	-	1,1926	4,18	11,41	14,84	1,1797	55,81	0,85	1,10	1,1862	30,00	1,58	2,06
Am6	Rt04	0,8145	2,47	13,19	17,15	0,8383	1,33	25,21	32,78	0,8067	0,09	358,53	466,09	0,8198	1,30	25,23	32,79
Am11		1,2280	79,8	0,62	0,80	1,2350	80,6	0,61	0,80	1,3958	82,22	0,68	0,88	1,2863	80,87	0,64	0,83
Am34		1,5042	3,29	18,29	23,77	1,4895	42,53	1,40	1,82	1,4926	1,08	55,28	71,87	1,4954	15,64	3,82	4,97
Am8	Rt05	1,2566	50,86	0,99	1,28	1,4048	72,37	0,78	1,01	1,3242	74,39	0,71	0,93	1,3285	65,87	0,81	1,05
Am15		1,8025	76,02	0,95	1,23	1,5690	87,75	0,72	0,93	1,3886	75,46	0,74	0,96	1,5867	79,74	0,80	1,03
Am16		0,9725	75,82	0,51	0,67	1,3298	64,10	0,83	1,08	1,2250	74,27	0,66	0,86	1,1758	71,40	0,66	0,86
Am18		1,5466	73,14	0,85	1,10	1,1520	73,58	0,63	0,81	1,6324	74,41	0,88	1,14	1,4437	73,71	0,78	1,02
Am17	Rt06	1,7731	73,23	0,97	1,26	1,7492	82,83	0,84	1,10	1,7345	79,55	0,87	1,13	1,7523	78,54	0,89	1,16
Am23		1,8361	67,73	1,08	1,41	1,9168	65,20	1,18	1,53	-	-	-	-	1,8765	68,68	1,09	1,42
Am27		1,4539	75,45	0,77	1,00	1,6087	69,62	0,92	1,20	-	-	-	-	1,5313	72,54	0,84	1,10
Am21	Rt07	1,2697	78,18	0,65	0,84	1,0526	76,77	0,55	0,71	-	-	-	-	1,1612	77,48	0,60	0,78
Am22-2		1,4779	0,46	128,51	167,07	1,9012	0,69	110,21	143,28	-	-	-	-	1,6896	0,58	116,52	151,48
Am14	Rt08	1,3102	88,22	0,59	0,77	1,5461	69,14	0,89	1,16	1,5766	75,4	0,84	1,09	1,4776	77,59	0,76	0,99

FIGURA 5.9- Diagrama de índice de absorção de água (S) *versus* percentagem de perda por imersão (P) dos materiais inconsolidados retrabalhados, com a identificação das amostras de cada unidade.

5.1.3.6.3. Materiais inconsolidados de aterro (At)

As **Tabelas 5.13, 5.14 e 5.15**, estão apresentadas as características texturais, índices físicos, análises físico-químicas, resultado do azul de metileno, e de erodibilidade, respectivamente.

Estes materiais tiveram dois pontos de amostragem, e foram caracterizados, pois serviram para aterrar feições erosivas. O material de aterro é arenoso, sendo que a amostra Am5 apresentou maior quantidade de finos. Os resultados de caracterização geotécnica básica e de análise físico-química das amostras foram coerentes, o que chamou a atenção, foram os resultados obtidos nos ensaios de erodibilidade, onde a amostra Am4 apresentou altos valores de perda, e valores de E40 e E52 menor que 1, sendo classificado como baixa resistência à erosão.

TABELA 5.13. Resultados dos ensaios de caracterização geotécnica básica dos materiais inconsolidados de aterro.

Amostra	Unidade	Sedimentação										Índices Físicos			
		Com defloculante					Sem defloculante								
		Fina		Areia			Fina		Areia			γ_{dc}	ρ_s	e	n
		Argila	Silte	Fina	Média	Grossa	Argila	Silte	Fina	Média	Grossa				
		%					%					g/cm3	g/cm3		%
Am4	At	5,9	3,1	40,0	49,4	1,6	0,4	0,6	48,0	49,5	1,5	1,683	2,629	0,56	35,98
Am5		11,4	1,4	42,2	42,0	3,0	5,0	2,2	44,9	44,9	3,0	1,652	2,659	0,61	37,87

TABELA 5.14- Resultados dos ensaios de análise físico-química dos materiais inconsolidados de aterro.

Amostra	Unidade	Análise Química do Solo												
		pH			Eh	C.E.	Íons Trocáveis			Ensaio Azul de Metileno				
		pH	pH (KCl)	Δ pH			mV	Na	K	Ca	Vb(g/100g de solo)	Acb(g/100g de argila)	S.E.(m²/g de argila)	S.E.(m²/g de solo)
					dS/m									
Am4	At	5,4	4,4	-0,92	874	0,0398	0,7	0,7	0,3	0,15	2,6	63	4	0,5
Am5		4,9	4,2	-0,7	619	0,0551	2,4	1,5	6,8	0,30	2,7	65	7	0,9

TABELA 5.15- Resultados dos ensaios de erodibilidade dos materiais inconsolidados de aterro.

Amostra	Unidade	Índice de Erodibilidade															
		Amostra-1/a/d				Amostra-2/b/e				Amostra-3/c/f				Valores Médios			
		S	P	E40	E52	S	P	E40	E52	S	P	E40	E52	Sm	Pm	E40m	E52m
Am4	At	1,0346	77,17	0,54	0,70	1,0037	63,21	0,64	0,83	0,9737	50,16	0,78	1,01	1,0040	63,51	0,63	0,82
Am5		0,7566	0,2	151,32	196,72	0,689	0,64	43,06	55,98	0,4976	0,65	30,62	39,81	0,6477	0,50	51,82	67,36

5.4. Mapas de Feições Erosivas (Inventário)

5.4.1. Considerações Gerais

Os mapas das feições erosivas foram elaborados a partir do cadastramento das feições nas fotografias aéreas dos anos de 1972, 1978 e 1995. O cadastramento das feições do ano 2002 foi feito a partir de observações de campo, primeiramente catalogando as feições cadastradas em 1995, e cadastrando as novas feições.

As feições erosivas foram cadastradas quanto ao tipo de feição, suas características, localização, unidade de material inconsolidado, de *landform*, uso do solo na qual estão inseridas, e observações importantes de cada feição.

A identificação das feições quanto ao tipo foi feito da seguinte maneira: concentração de sulcos (C), ravinas (R), voçorocas (V), concentração de sulcos e ravinas (CR), e ocorrência de voçorocas e ravinas (VR). Na frente de cada designação do tipo de feição tem a identificação da mesma, assim para cada ano adotou-se um tipo de identificação, para as feições erosivas cadastradas no ano de 1972 utilizou-se números, por exemplo 01V; para as do ano 1978, algarismos romanos como IV; para as do ano de 1995, letras minúsculas, como aV; e para 2002, letras gregas, como α V.

O resultado geral do cadastro das feições erosivas identificadas para cada ano está apresentado na **Tabela 5.16**.

TABELA 5.16- Resultado geral do cadastro das feições erosivas

	Anos	1972	1978	1995	2002
Feições erosivas					
Concentração de sulcos		04	04	01	01
Ravinas		25	25	10	10
Voçorocas		17	15	28	30
Concentração de sulcos e Ravinas		02	-	-	-
Voçorocas e Ravinas		-	04	05	05
TOTAL		49	48	44	46

5.4.2. Mapa de Feições Erosivas do Ano de 1972 (ANEXO E)

No ano de 1972 as feições erosivas cadastradas localizavam-se nas cabeceiras de drenagens, num intervalo de declividade de 10-50%, os principais tipos de encostas onde estas estavam inseridas eram em encostas retilíneas íngreme-retilíneas, retilíneas-retilíneas, retilíneas- côncavas, côncavas- côncavas, e côncavas- convexas, a maioria das feições erosivas identificadas foi do tipo ravina, um total de 25, e foram identificadas 17 voçorocas. O cadastro das feições se encontra no ANEXO F.

Quanto ao material inconsolidado, tanto o residual como o retrabalhado são materiais arenosos com baixa resistência a erosão, até mesmo nas rochas muito e pouco alterada do arenito Pirambóia havia registro de feição erosiva.

A **Figura 5.9** mostra o mapa das feições erosivas do ano de 1972 junto com a superposição das fotografias aéreas utilizadas no cadastramento, algumas feições do mapa não se encontram superpostas em cima de sua localização na foto, mas apenas próxima, isto ocorreu devido às distorções da fotografia aérea, e também de não ter muitos pontos para georeferência-la. Este problema ocorreu também com todas as superposições feitas, para os anos de 1978 e 1995.

5.4.3. Mapa de Feições Erosivas do Ano de 1978 (ANEXO G)

Em relação ao cadastramento de 1972, as feições evoluíram principalmente para voçorocas, como a 11, 14, 15, 22, 23 e 28, que em 1972 eram ravinas. A feição 25 era concentração de sulco e ravinas, passou a ser identificadas como ocorrência de voçorocas e ravinas, assim como as feições 38 e 39, que eram voçorocas, evoluíram e tornaram-se maiores. As voçorocas 45 e 46 evoluíram e uniram-se, formando uma voçoroca de grande porte ramificada. As ravinas 9, 12, 42 e 43 foram de alguma forma recuperadas, provavelmente por aterramento.

No ano de 1978, foram cadastradas 10 novas feições, sendo 9 ravinas e 1 concentração de sulcos, localizadas encostas intermediária e cabeceira de drenagem, e praticamente todas as novas feições encontravam-se em encostas retilíneas íngremes, retilíneas- côncavas, e retilíneas- convexas. O cadastro das feições erosivas o ano de 1978 se encontram no ANEXO H.

FIGURA 5.9- Mapa das feições erosivas do ano de 1972, sobreposto as fotografias aéreas utilizadas para sua elaboração.

A **Figura 5.10** mostra o mapa de feições erosivas do ano de 1978, sobreposta a fotografia aérea utilizada para a elaboração deste mapa.

5.4.4. Mapa de Feições Erosivas do Ano de 1995 (ANEXO I)

No ano de 1995, o número de feições do tipo permanente (voçorocas) tinha aumentado, sendo estas as feições 20, 21, 31 e 38, as voçorocas 13 e 14, e 22 e 23 e 32 e 33, uniram-se formando grandes feições erosivas, as feições 26, 29 e 30 evoluíram para ocorrência de voçorocas e ravinas (VR). Outra mudança que ocorreu nas encostas da bacia do Espraiado, foi à forma de uso e ocupação, que onde eram pastagens e fazendas, e no ano de 1995 passaram a ser loteamentos residenciais, levando em conta que a maioria das feições que evoluíram para voçorocas encontram-se localizadas próximo a estas áreas de loteamento residencial, como 26VR, 29VR, 30VR, 31V, 32/33 V e 38V, esta forma de uso e ocupação influenciou para a aceleração dos processos erosivos.

Nas fotografias aéreas do ano de 1995, foram cadastradas 9 novas feições, sendo 5 voçorocas, 3 ravinas e 1 ocorrência de voçoroca e ravina, localizadas na porção intermediária- inferior das encostas, e encostas retilíneas íngremes, retilíneas- retilíneas, e côncavas- côncavas. As feições eR e iV ficam localizadas em loteamentos residenciais, confirmando ainda mais a influencia do uso e ocupação do solo na intensificação e ativação dos processos erosivos.

A **Figura 5.11** mostra o mapa de feições erosivas do ano de 1995, sobreposta as fotografias aéreas utilizadas para a elaboração deste mapa.

FIGURA 5.10- Mapa das feições erosivas do ano de 1978, sobreposto as fotografias aéreas utilizadas para sua elaboração.

FIGURA 5.11- Mapa das feições erosivas do ano de 1995, sobreposto as fotografias aéreas utilizadas para sua elaboração.

FIGURA 5.11- Mapa das feições erosivas do ano de 1995, sobreposto as fotografias aéreas utilizadas para sua elaboração.

5.4.5. Mapa de Feições Erosivas do Ano de 2002 (ANEXO L)

O mapa e o cadastro das feições erosivas do ano de 2002 foi elaborado a partir de trabalho de campo, para confirmar as feições identificadas nas fotografias aéreas de 1995 e cadastrar as novas feições. Onde foram confirmadas as registradas em 1995, e cadastradas 3 novas feições, todas do tipo voçorocas, localizadas na porção superior-intermediária das encostas, o que mais chamou a atenção foi a localização de duas feições, as βV e γV , pois se encontravam em áreas que foram reabilitadas, como mostra as Figuras 5.13 e 5.14. O cadastro das feições erosivas do ano de 2002 se encontra no ANEXO M.

FIGURA 5.13- Feição βV localizada na Ar Rb 4.

FIGURA 5.14- Feição γV localizada na Ar Rb 5-2.

A voçoroca αV se localiza em uma área de pastagem como mostra a **Figura 5.15**.

FIGURA 5.15- Feição αV localizada na fazenda Santa Alice.

Nos trabalhos de campo também foram cadastradas feições erosivas em estradas vicinais não pavimentadas que dão acesso a fazendas (**Figuras 5.16 e 5.17**), estas feições não foram colocadas nos mapas, pois logo eram aterradas.

A estrada de acesso das fazendas a rodovia SP-191, que se localiza no divisor de águas entre as bacias do córrego do Espraiado e do Capim fino, era que apresentava maior número de feições, devido ao intenso tráfego de caminhões pesados e a sua localização na encosta, na porção intermediária- inferior da encosta retilínea.

FIGURA 5.16- Feição erosiva na estrada vicinal no material retrabalhado Rt02.

FIGURA 5.17- Feição erosiva na estrada vicinal em rocha pouco alterada.

Outro tipo de feição erosiva é a erosão marginal que ocorre ao longo de todo o córrego do Espraiado, ocasionando o seu assoreamento, como mostra a **Figura 5.18**. Geralmente a ocorrência de erosão marginal é natural de drenagens, mas o que se percebe no córrego do Espraiado é a aceleração desse processo, devida a extração de areia do leito e das margens do córrego.

FIGURA 5.18- Erosão marginal do córrego do Espraiado e seu assoreamento.

5.5. Mapa das Áreas Reabilitadas (ANEXO N)

As áreas reabilitadas da bacia do córrego do Espraiado foram cadastradas através de fotografia aéreas do ano de 1995, o cadastro se encontra no ANEXO O, associando o tipo de técnica de reabilitação utilizada, a área aproximada, as feições associadas,

unidades de material inconsolidado, *landforms* (elementos), e condição atual da recuperação. A distribuição espacial destas áreas encontra-se no mapa de áreas recuperadas (ANEXO N).

Doze áreas foram reabilitadas (**Figura 5.19**), utilizando diversas técnicas, algumas foram eficientes, e outras tiveram um comportamento não satisfatório, como serão descritos a seguir.

- **Ar Rb 1**

A área recuperada Ar Rb1 (**Figura 5.20**), foi aplicada a técnica de reflorestamento, utilizando diversos tipos de vegetação nativas e exóticas, plantados na porção superior da encosta e dentro das feições erosivas, que até o momento está conseguindo manter estabilizado o processo erosivo desta área.

FIGURA 5.20- Áreas reabilitadas Ar Rb1 e Ar Rb2, ambas por reflorestamento.

FIGURA 5.19- Mapa das áreas reabilitadas do ano de 1995 sobreposto as fotografias aéreas utilizadas para sua elaboração.

- **Ar Rb2**

A técnica de recuperação de Ar Rb2 (**Figura 5.20**) também utilizou o reflorestamento, mas com eucaliptos, esta vegetação conseguiu também manter o solo protegido devido a grande quantidade de serapilheira que produziu, deste modo está técnica manteve o processo erosivo estabilizado, pelo menos na parte da encosta que foi implantado, na parte inferior da encosta o processo erosivo continua atuante.

- **Ar Rb3-1 e Ar Rb3-2**

As técnicas utilizadas nestas áreas foram recobrimento das feições erosivas com material de aterro, no caso de Ar Rb3-1 de 25V, e de Ar Rb3-2 as feições IIR e IIIR, e terraceamento do tipo nichols (**Figura 5.21 e 5.23**), com o objetivo de colocar obstáculos para diminuir a velocidade da água superficial. Até o momento os processos erosivos encontram se estabilizados.

FIGURA 5.21- Terraceamento do tipo nichols da área Ar Rb3-1, fotografia aérea tirada por Zuquette no ano de 2001.

- **Ar Rb 3-3**

A Ar Rb3-3 foi reabilitada com a finalidade de reestruturar a área para loteamentos residenciais para classe média a alta da população. As feições erosivas foram aterradas, sendo estas 31R, 33R, 34R, 35V, 36R, 37C e IVR, a drenagem subsuperficial foi canalizada através de drenos, houve a implantação de terraceamento do tipo nichols nas áreas adjacentes as drenagens, sendo estas áreas colocadas como áreas de proteção permanentes, e implantação de obras de microdrenagens (**Figura 5.22 e 5.23**).

FIGURA 5.22- Reabilitação da área Ar Rb3-1, fotografia aérea tirada por Zuquette no ano de 2001.

FIGURA 5.23- Áreas reabilitadas Ar Rb3-1, Ar Rb3-2 e Ar Rb3-3.

- **Ar Rb4**

As técnicas utilizadas na área reabilitada Ar Rb4 foram basicamente de macro e micro drenagens, para a construção de loteamentos residenciais para baixa renda.

As obras de macrodrenagem foram de canalização das águas superficiais e das águas servidas, através de tubos de concreto e caixas de distribuição (**Figura 5.24**), até a porção intermediária da encosta sem nenhum tipo de bacia de dissipação (**Figura 5.25**), construção de barragens de aterro ao longo da drenagem (**Figura 5.26**). Como obras de microdrenagem foram feitas canaletas nas ruas do loteamento para a canalização das águas superficiais e também toda a estrutura de canalização das águas servidas.

FIGURA 5.24- Canalizaram da drenagem superficial e das águas servidas, através de tubos de concreto e caixas de distribuição.

FIGURA 5.25- Canalização foi feita até a porção intermediária da encosta sem nenhum tipo de bacia de dissipação.

FIGURA 5.26- Construção de barragens de aterro ao longo da drenagem.

- **Ar Rb 5-1, Ar Rb 5-2, Ar Rb 5-3, Ar Rb 5-4 e Ar Rb 5-5**

As áreas reabilitadas Ar Rb 5-1, Ar Rb 5-2, Ar Rb 5-3, Ar Rb 5-4 e Ar Rb 5-5 se encontram localizadas em uma fazenda de plantação de eucaliptos e pinhos, as técnicas utilizadas nestas áreas foram o preenchimento das feições erosivas de pequeno a médio porte com aterro, terraceamento do tipo nichols, plantação de eucaliptos e pinhos em curvas de nível (**Figura 5.27**), e redirecionamento das estradas vicinais.

O espaçamento entre os terraços, utilizado nestas áreas não foi adequado, pois o solo ficou exposto, isto também ocorreu devido à formação de serapilheira de pinhos e eucaliptos ser muito lenta, e com o acúmulo de solo através da erosão laminar por trás dos terraços, comprometeram o sucesso da técnica (**Figura 5.27**), pois houve a reativação dos processos erosivos e o desenvolvimento de novas feições.

FIGURA 5.27- Técnica de terraceamento e plantação em curva nas áreas Ar Rb 5-2 e Ar Rb 5-3, e desenvolvimento de feições erosivas na Ar Rb 5-2.

- **Ar Rb 5-6**

As técnicas utilizadas nesta área foram o preenchimento com aterro nas feições erosivas e canalização superficial da drenagem, até o momento os processos erosivos encontram-se estabilizados.

5.6. Mapa das Condições Geométricas dos Canais de Drenagem (ANEXO P)

5.6.1. Obtenção

O mapa de condições geométricas atuais da bacia foi elaborado a partir de fotointerpretação das fotografias aéreas do ano de 1995 e informações de campo. Este mapa tem como objetivo caracterizar as mudanças ocorridas nas configurações geométricas da drenagem, como aumento do número de canais adjacentes por drenagens permanentes, sazonais (intermitentes) e por feições erosivas, mudança na trajetória do canal principal, e o alargamento entre as margens.

5.6.2. Resultado

As condições geométricas da drenagem do córrego do Espraiado no ano de 1995 apresentaram-se diferente da drenagem do mapa base referente ao ano de 1979, pois suas margens encontravam-se mais alargadas, principalmente devido à erosão marginal, o canal mudou de trajetória, mudando assim a configuração do córrego, houve um aumento do número de drenagens adjacentes, por causa das feições erosivas.

6. ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA DO CÓRREGO DO ESPRAIADO

Vale ressaltar, que a região de São Pedro, onde se encontra inserida a bacia do córrego do Espraiado, o clima é sub - tropical, durante o verão, de dezembro a março, que é o período chuvoso, ocorrem chuvas torrenciais ou chuvas intensas de curta duração, sendo a forma mais agressiva de impacto da água no solo, e também a ocorrência neste período de dias consecutivos de chuvas, que ocasiona a saturação do solo, propiciando o aumento da taxa de escoamento superficial. Estes fatores são responsáveis pela alta erosividade da chuva nesta região, desta forma aumenta a possibilidade de formação de feições erosivas.

A combinação da erodibilidade do solo e a erosividade da chuva, juntamente com os outros fatores condicionantes do meio físico, como as configurações do relevo (*landforms*) e cobertura vegetal, e também com as formas de uso e ocupação do solo (atividades antrópicas), são responsáveis pela origem dos processos erosivos na bacia do córrego do Espraiado.

Com base nos resultados dos ensaios, documentos cartográficos obtidos, e das observações de campo, a bacia do córrego do Espraiado, apresenta uma combinação de atributos favorável ao desencadeamento de processos erosivos, tendo como consequência à formação de várias feições, como mostrou o cadastramento. Notou-se também um aumento significativo do número de voçorocas, que no ano de 1972 eram 17, e em 2002 foram registrados um total de 30 e mais 05 ocorrências de áreas com voçorocas e ravinas (VR), a grande maioria resultou da evolução de ravinas que ao longo dos anos aumentaram as suas profundidades, assim como as suas dimensões.

Com relação à distribuição espacial das feições erosivas ao longo da bacia do Espraiado, destacam - se três áreas distintas, a cabeceira do córrego, as encostas pertencentes ao seu lado direito, e as do lado esquerdo.

Na cabeceira do córrego do Espraiado há a presença de várias feições erosivas do tipo permanente (voçoroca), e estas foram registradas desde 1972, a **Figura 6.1** mostra a evolução das feições erosivas no decorrer dos anos.

A cabeceira é formada basicamente pelo substrato rochoso, os materiais inconsolidados são pouco espessos, levando mais facilmente à saturação do solo, assim a formação de escoamento superficial, e como as encostas desta área são retilíneas íngremes- retilíneas, com declividade predominante de 50%, esta combinação pode resultar durante uma chuva o escoamento superficial atingindo alta velocidade e gerando um maior volume de água superficiais concentradas, desencadeando a formação de feições erosivas profundas, como as observadas na **Figura 6.1**.

FIGURA 6.1- Desenvolvimento das feições erosivas na cabeceira do córrego do Espraiado nos anos de 1972, 1978, 1995, e 2000 (fotografias aéreas de 1972, 1978, 1995 e 2000).

Ao longo dos anos estes processos erosivos foram responsáveis pela formação de uma nova configuração geométrica da drenagem na cabeceira.

Em trabalhos de campo observou-se que a maioria destas feições possui vegetação no seu interior, tanto nos taludes quanto no seu leito e também nas suas cabeceiras (**Figura 6.2**).

Figura 6.2- Feições erosivas da cabeceira do córrego do Espraiado.

Os lados direito e esquerdo do córrego possuem diferenças fundamentais, nas quais são principalmente as formas das encostas e o uso e ocupação do solo, que resultaram no aparecimento de várias feições erosivas em todo o lado direito, e poucas no lado esquerdo. As **Figuras 6.3, 6.4, 6.5, e 6.6**, mostram as delimitações e evolução das feições nas fotografias aéreas dos anos de 1972, 1978, 1995 e 2000, respectivamente.

Figura 6.3- Fotografias aéreas de 1972, sem escala, mostrando as áreas com as principais feições erosivas.

Sendo:

A – áreas de feições erosivas que ocorrem no lado esquerdo da bacia do córrego do Espirado

B, C e D – principais áreas de feições erosivas que ocorrem no lado direito da bacia do córrego do Espirado.

Figura 6.4- Fotografia aérea de 1978, sem escala, mostrando as áreas com as principais feições erosivas.

Sendo:

A – áreas de feições erosivas que ocorrem no lado esquerdo da bacia do córrego do Espirado

B, C e D – principais áreas de feições erosivas que ocorrem no lado direito da bacia do córrego do Espirado.

Figura 6.5- Fotografias aéreas de 1995, sem escala, mostrando as áreas com as principais feições erosivas.

O lado esquerdo do córrego do Espraiado apresenta somente dois lugares de ocorrência com maior número de feições erosivas, onde apresenta a maior espessura de materiais inconsolidados (Rt02 e Rs02), assim como as formas das encostas também são distintas. As erosões ocorrem nos limites das encosta retilínea suave (57) e encosta retilínea moderada (18), retilínea suave (57)/ retilínea íngreme (100). Neste lado também, ocorrem feições erosivas nas estradas vicinais não pavimentadas que liga as fazendas com a rodovia SP-191, mas estas feições logo são aterradas, para não obstruir o tráfego nas estradas.

A lado direito do córrego do Espraiado, apresenta várias feições erosivas, mas em três lugares este problema é mais crítico, são as áreas B, C e D, indicadas nas **Figuras 6.3, 6.4, 6.5 e 6.6.**

A área B é constituída por encostas côncavas- côncavas (5, 6, 9) e encostas côncavas- convexas (8, 11) com o grande comprimento das encostas, por materiais inconsolidados arenosos e erodíveis, a forma de uso e ocupação é de campo- antrópico/ pastagens, a partir de 1995, registrou-se o reflorestamento por eucaliptos da encosta côncava- côncava (6), e a parte superior da encosta côncava- côncava (5) foi reflorestada por vegetação nativas e exóticas, e as erosões que ocorrem no limites das encostas côncava- convexa (11) e convexa- convexa (24) foram aterradas. A configuração do relevo, as características físicas e de erodibilidade dos materiais inconsolidados da área B, juntamente com a forma de uso e ocupação, favorecem o desencadeamento de processos erosivos.

Figura 6.6- Fotografias aéreas de 2000, sem escala, mostrando as áreas com as principais feições erosivas.

As áreas C e D, possuem uma configuração de relevo, propícia ao desenvolvimento de feições erosivas, pois suas encostas são retilíneas íngremes-côncava convergentes, como pode se observar nas fotografias aéreas (**Figura 6.6**), isto significa que esses tipos de encostas são ditas como sendo do tipo coletoras, onde a água superficial tende a se concentrar, e como estas encostas possuem um grande comprimento, o caminho que a água tem que percorrer também é grande, aumentando assim a taxa de escoamento superficial, contribuindo ainda mais com o desenvolvimento das feições erosivas.

Outro fator importante nestas áreas é relativo as formas de uso e ocupação das encostas. No caso da área C, nos anos de 1972 e 1978 ocupada por pastagens, e a partir de 1995, as encostas foram reabilitadas para a implantação de loteamentos residenciais.

Na área D, no ano de 1972, a forma de uso e ocupação do solo era de pastagens, mas a partir de 1978, a área tornou-se uma plantação de eucaliptos, que até os dias de hoje busca controlar os processos erosivos.

Outra forma de processo erosivo atuante na área de estudo, é a erosão marginal (**Figura 6.7**), que ao longo dos anos se encontra cada vez mais intensa, o que ocasionou o assoreamento da drenagem. Um dos motivos que pode ter contribuído para o aumento

de intensidade da erosão, foi a extração de areia ao longo do córrego. No ano de 1978, foram identificados dois portos de areia, e a partir de 1995, passaram a ser três portos, explorando a areia do leito e das margens (**Figura 6.8 e 6.9**). E também pelo suprimento de sedimento fornecido a partir das voçorocas.

FIGURA 6.7- Erosão marginal e assoreamento do córrego do Espriado.

FIGURA 6.8- Primeira extração de areia, local de deposição da areia extraída do leito do córrego.

FIGURA 6.9- Segunda extração de areia, local de deposição da areia extraída do leito do córrego.

7. ANÁLISE DAS TÉCNICAS DE CONTROLE E REABILITAÇÃO

Na bacia do córrego do Espraiado houve a tentativas de reabilitação, após o ano de 1978, de 12 áreas, utilizando técnicas de controle e de reabilitação diferenciadas, como mostradas no item 5.5. A eficiência ou não de cada técnica, foi estabelecida principalmente pelos cuidados de projeto e execução, e com a manutenção posterior.

A técnica de reflorestamento realizada na área reabilitada Ar Rb1 até o momento está sendo eficiente, pois conseguiu estabilizar os processos erosivos, e utilizou plantação de vegetação nativa e exótica, plantadas no interior e ao redor das feições erosivas (**Figura 7.1**).

Na área reabilitada Ar Rb 2 (**Figura 7.2**) foi utilizada a técnica de reflorestamento com eucaliptos, plantada na parte superior a intermediária da encosta côncava- côncava (6). Nesta encosta o solo se encontra protegido pela serapilheira formada pelos eucaliptos, os processos erosivos se encontram estabilizados. Mas no limite desta encosta com as encostas côncava- côncava (5) e côncava- convexa (8), ainda há o desenvolvimento de processos erosivos.

FIGURA 7.1- Áreas reabilitadas Ar Rb 1 e Ar Rb 2, fotografia aérea de 2000 (sem escala).

Nas áreas reabilitadas Ar Rb 3-1, 3-2 e 3-3 (**Figura 7.2**), utilizou-se as técnicas do recobrimento das feições como aterro, terraceamento tipo nichols, que constroem terraços para servirem de obstáculos para o escoamento superficial, onde este é confinado em valas logo atrás de cada terraço que são construídos na mesma direção das curvas de nível. A área Ar Rb3-3 foi reabilitada visando loteamentos residenciais, desta forma as feições de grande porte foram canalizadas superficialmente, e colocadas como áreas de proteção permanentes (APP). A **Figura 7.2** mostra, na fotografia aérea de 1995, a implantação das técnicas de reabilitação, e em 2000, a eficiência das técnicas utilizadas, pois não há a formação de nenhuma nova feição e nem a retomada dos processos erosivos.

FIGURA 7.2- Áreas reabilitadas 3-1,3-2, e 3-3 nas fotografias aéreas, sem escala, dos anos de 1995 e 2000.

A área Ar Rb4 foi reabilitada com obras de micro e macro drenagens, com a canalização da drenagem superficial e das águas servidas através de tubos de concreto e caixas adutoras. A canalização foi feita da parte superior da encosta até a intermediária, sem bacia de dissipação no seu término. Barragens foram construídas no interior da feição, do mesmo material inconsolidado da área. Esta área foi reabilitada visando a construção de loteamento residencial de baixa-renda adjacente a feição. No ano de 1995 às obras estavam em implantação, e em 2000 a reabilitação estava completa, com o assentamento da comunidade nos loteamentos (**Figura 7.3**), mas sem a manutenção das

obras realizadas, tanto nas feições como nos loteamentos, os processos erosivos foram retomados (**Figura 7.4**).

FIGURA 7.3- Área reabilitada Ar Rb4, as fotografias aéreas de 1995 e 2000 (sem escala), mostram implementação das obras e utilização da área.

FIGURA 7.4- Retomada dos processos erosivos em Ar Rb4.

As áreas Ar Rb5-1, 5-2, 5-3 e 5-4 (**Figura 7.5**) as feições erosivas de pequeno porte foram aterradas, terraceamento de tipo nichos e plantação de pinhos em curvas de

nível sobre os terraços e de eucaliptos nas suas adjacências (Figura 7.5), principalmente próximos a feições de grande porte, pois o aterramento destas feições seria economicamente inviável.

FIGURA 7.5- Áreas reabilitadas Ar Rb 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-5 e 5-6, nas fotografias aéreas de 1995 (sem escala).

No intervalo entre um terraço e outro o solo se encontrava exposto à ação dos agentes erosivos (chuva), fazendo com que o solo transportando-se acumulasse atrás do terraço consecutivo. O acúmulo de solo e a falta de manutenção fizeram com que alguns pontos dos terraços rompessem, desencadeando assim os processos erosivos, isto ocorreu principalmente na área Ar Rb5-2 (**Figura 7.6**).

FIGURA 7.6- Aparecimento de novas feições erosivas na área Ar Rb5-2, fotografia aérea de 2000.

Na reabilitação da área Ar Rb5-6, as feições erosivas foram aterradas, executaram ainda a canalização superficial da drenagem (mina d'água), plantação de vegetação em torno da área. A aplicação destas técnicas mostrou-se eficiente, pois processo erosivo encontra-se estabilizado (**Figura 7.7**).

FIGURA 7.7- Área Ar Rb 5-6, antes da reabilitação, em 1978 (fotografia aérea), e reabilitada em 2000 (fotografia aérea), sem escala.

8. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no conjunto de informações obtidas, nos mapas elaborados e nas análises sobre os processos erosivos e das medidas de controle e reabilitação, chega-se às seguintes conclusões:

- Por se adequar as medidas utilizadas na bacia do córrego do Espraiado, o termo reabilitação foi utilizado neste trabalho conforme a conceituação da ABNT- NBR 10 703 (1989), apesar do termo recuperação ser mais usado pela comunidade científica;
- O emprego da metodologia Zuquette (1987, 1993) neste trabalho, mostrou-se eficiente para área de estudo e para o enfoque dado, pois tornou possível o melhor conhecimento do meio físico e de suas limitações;
- Os ensaios laboratoriais realizados neste trabalho, de caracterização geotécnica básica, de análise físico- químicas, e os para obtenção da erodibilidade, foram importantes para uma melhor caracterização dos materiais inconsolidados;
- O índice de erodibilidade proposto por Pejon (1992), E40, foi melhor que caracterizou as condições de erodibilidade dos materiais inconsolidados da bacia do Córrego do Espraiado, com relação a realidade de campo;
- Os documentos cartográficos produzidos: mapa de *landforms* (elementos de terreno), mapa de materiais inconsolidados, os mapas de feições erosivas (1972, 1978, 1995 e 2002), mapa das áreas reabilitadas e o mapa de condições geométricas atuais serviram de suporte para as análises dos processos erosivos e da eficiência das técnicas de controle e reabilitação utilizadas na área de estudo;
- O cadastramento das feições foi fundamental para o melhor conhecimento da distribuição espacial e temporal das erosões, desta forma podem-se delimitar as áreas de maior concentração na bacia, e assim caracterizar os fatores intervenientes.
- O cadastramento das áreas reabilitadas é importante para a melhor descrição e aplicação das técnicas de controle e de reabilitação utilizadas em áreas com

problemas ambientais ocasionados pelos processos erosivos, desta forma torna-se possível à análise da eficiência das medidas adotadas;

- Um total de 105 elementos de terreno foram caracterizados na bacia do córrego do Espraiado, a maioria das encostas que compõem a bacia são do tipo retilínea, sendo que as encostas retilíneas-côncavas convergentes apresentam as feições do tipo permanentes (voçorocas) mais profundas e ramificadas, onde estas são as áreas mais problemáticas para aplicação de técnicas de controle e reabilitação, desta forma tende-se a ter um maior cuidado na escolha, implantação e manutenção nestas áreas;
- O mapa de materiais inconsolidados apresenta a diversidade de materiais nos perfis de alteração, apesar do mesmo substrato rochoso, a diferença de localização, expõem a rocha (arenito da Formação Pirambóia) em diferentes condições de alteração. Com base nos ensaios realizados, os materiais tanto residuais como os retrabalhados são susceptíveis a erosão, sendo assim este um fator predisponente para o desenvolvimento de feições erosivas;
- A maioria das feições identificadas foi cadastrada desde de 1972, o que significa que os problemas causados pela erosão já perduram por bom tempo na região. Notou-se o aumento de número de voçorocas a partir de feições de menor porte ao longo dos anos, de acordo com o cadastramento das feições em 1978, 1995, e 2002;
- As aplicação de técnicas de controle tipo reflorestamento nas áreas reabilitadas Ar Rb1 e Ar Rb 2, foram eficientes para o combate da erosão, estas áreas se encontram dentro de uma propriedade privada, onde o objetivo da aplicação desta técnica foi para a estabilidades dos processos erosivos nas encostas, e para a conservação da valorização imobiliária do terreno;
- As técnicas mais comuns utilizadas na estabilização das feições foram o reflorestamento, plantação de bambus em cabeceiras de drenagens e de vegetação no interior da feição, e a implantação de terraceamento do tipo Nichols, mostraram-se na maioria dos casos frágeis no controle da erosão, necessitando na maioria das vezes de técnicas auxiliares para melhorar a eficiência;
- Embora a técnica de terraceamento seja considerada na literatura como uma das mais eficientes em áreas rurais, no caso das áreas reabilitadas Ar Rb 5, principalmente Ar Rb 5-2, mesmo com a implantação dessa técnica, ocorreu a reativação dos processos erosivos, decorrente da falta de manutenção e da demora de formação de serapilheira do pinus plantado em nível, que tem como consequência a exposição do solo aos processos erosivos;

- As técnicas de reabilitação utilizadas na área Ar Rb 5-6, de aterramento das feições e a canalização da drenagem superficial, mostraram-se eficientes no combate da erosão, onde os processos erosivos até o momento estão estabilizados;
- No caso da área reabilitada Ar Rb4, as técnicas de controle de micro e macrodrenagem, foram implantadas de forma incorreta e com ausência de manutenção, o que ocasionou a reativação dos processos erosivos nesta área;
- As áreas reabilitadas Ar 3 e Ar 4 foram destinadas a implantação de loteamentos residenciais. A estabilização dos processos erosivos da área Ar Rb 3, e a reativação dos processos na Ar Rb 4, mostram que o uso e ocupação do solo influenciam nos processos erosivos e também dos cuidados de projeto ocorridos nestes casos;
- Estes exemplos de pouca eficiência das técnicas de controle e reabilitação levam a concluir que por mais que seja utilizada a técnica mais “eficiente” no combate a erosão, a falta de conhecimento sobre os fatores que desencadeiam os processos erosivos, das particularidades do meio físico, e o uso incorreto das técnicas, comprometem o sucesso e a eficácia da técnica utilizada, além de agravar os problemas sócio-econômicos na região;
- Quanto à erosão marginal do córrego, a extração de areia do leito e das margens do córrego tem contribuído para a aceleração da erosão, e conseqüentemente com o assoreamento do córrego do Espraiado. Desta forma, recomenda-se uma rigorosa aplicação da legislação de extração de areia em leitos de rio, para a extração mineral correta. Assim, irá proporcionar uma diminuição na taxa de erosão. Outro fator que contribui para a erosão marginal e para o assoreamento é o aporte de sedimento fornecido pelas voçorocas, a estabilização destas na bacia também contribuiriam para a diminuição destes problemas ambientais;
- Este trabalho buscou expor uma visão geral da problemática ambiental da bacia do córrego do Espraiado, visto que há a presença de inúmeras feições erosivas e do insucesso das técnicas de controle e reabilitação, recomenda-se um estudo de maior detalhe nas áreas com maior concentração de feições erosivas, buscando um melhor conhecimento das particularidades dos processos erosivos, e também para propor técnicas eficientes de controle e reabilitação. Para as áreas reabilitadas que tiveram a reativação dos processos erosivos, propor a revisão do projeto das técnicas utilizadas e/ou aplicar outras técnicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADINARAYANA, J. et al. (1999). A rule-based soil erosion model for a Hilly Catchment. *Catena*, Cremlingen-Destedt, v.37, p.309-318.

AGASSI, M. (Ed.). (1996). *Soil erosion, conservation and rehabilitation*. New York: Marcel Dekker.

AGENA, S.S.; SAAD, A.M. (1995). Estudo da erodibilidade como subsídio para o controle preventivo da erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSÃO, 5, 1995, Bauru. *Anais...* Bauru: ABGE.

AGUIAR, R.L.; GANDOLFI, N.; PARAGUASSU, A.B. (1995). Considerações gerais sobre a carta de potencial a erosão da região de São Carlos-SP. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5., 1995, Bauru. *Anais: boletim de campo*. São Paulo: ABGE. V.2, p.183-185 p. 183-185.

AKABASSI, L. (1999). *Estudo teórico-experimental do processo erosivo em áreas de encosta*. 131p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

ALCÂNTARA, M.A.T. (1997). *Estudo da erodibilidade de alguns solos do estado de São Paulo*. 129p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

ALMEIDA, M.C.J.; FREITAS, C.G.L. (1996). Uso do solo urbano: suas relações com o meio físico e problemas decorrentes. IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 2./ENCONTRO REGIONAL DE GEOTECNIA E MEIO AMBIENTE, 1996, São Carlos. *Anais...* São Paulo: ABGE. p.195-200.

ALMEIDA FILHO, G.S. (1998). Prevenção de erosão em áreas urbanas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6., 1998, Presidente Prudente. *Anais...* São Paulo: ABGE. 1 CD-ROM.

AL-SHERIABEIT, M.S. (1999). Erosion risk assessment and sediment yield production of the King Talal watershed, Jordan. *Environmental Geology*. n.37, v. 3. p. 234-242.

ANGULO, R.J. (1983). *Relações entre a erodibilidade e algumas propriedades de solos brasileiros*. 128p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1983.

ANNANDALE, G.W. (1995). Erodibility. *Journal of Hydraulic Research*, Delft, v.23, n.4, p.471-497.

ARAUJO, D.E.; REIKSTIN, M.F.; VILAR, O.M. (1995). Análise dos custos e da eficiência de obras de controle de erosões lineares na cidade de Quintana-SP. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5., 1995, Bauru. *Anais: boletim de campo*. São Paulo: ABGE. v.2, p.299-300.

ASCOUGHT II, J.C. et al. (1997). The WEPP watershed model I hydrology and erosion. *Transactions of the ASAE*, St.Joseph, v.40, n.4, p.921-933.

ASSIS, A.F.F. (1980). A Experiência brasileira no controle à erosão. In: SIMPÓSIO SOBRE O CONTROLE DE EROSÃO, 1980, Curitiba. *Anais...* Curitiba ABGE. p.129-156.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). *NBR 6508: ensaio de granulometria conjunta*. Rio de Janeiro.

_____. (1984a). *NBR 7181: ensaio de massa específica dos sólidos*. Rio de Janeiro.

_____. (1989). *NBR 10703: degradação do solo: terminologia*. Rio de Janeiro.

ASWATHANARAYANA, U. (1995). *Geoenvironmental: an introduction*. Rotterdam: A.A.Balkema.

BAIAMONTE, G.; FERRO, V. (1997). The Influence of roughness geometry and shields parameter on flow resistance in gravel bed channels. *Earth Surface Processes and Landforms*, Chichester, v.22, n.8, p.759-772.

BARROS, W.D. (1956). *A Erosão no Brasil*. Rio de Janeiro: Ministério de Aviação e Obras Públicas, Serviço de Documentação. (Coleção Mauá, 6).

BEASLEY, R.P. (1972). *Erosion and sediment pollution control*. Ames: Iowa States University Press.

BEAVIS, S.G. (2000). Structural controls on the orientation of erosion gullies in Mid-Western New South Wales, Australia. *Geomorphology*, Amsterdam, v.33, p.59-72.

BELINAZZI JR., R.; LOMBARDI NETO, F. (1981). A Ocorrência de erosão urbana no estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO SOBRE O CONTROLE DE EROSÃO, 2. *Anais...* São Paulo: ABGE. v.1, p.117-137.

BIDONE, F.R.A.; TUCCI, C.E.M. (1995). Microdrenagem. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.La L.; BARROS, M.T. (Org.). *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH; Ed.da UFRGS. Cap.3, p.77-105.

BIGARELLA, J.J.; MAZUCHOWSKI, J.Z. (1985). *Visão integrada da problemática da erosão*. Maringá: ABGE/ADEA.

BITAR, O.Y. (Coord.). (1995). *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia; Instituto de Pesquisas Tecnológicas; Divisão de Geologia. (Série meio ambiente).

BITAR, O.Y.; BRAGA, T.O. (1995). O Meio físico na recuperação de áreas degradadas. In: BITAR, O.Y. (Coord.). *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia; Instituto de Pesquisas Tecnológicas; Divisão de Geologia. (Série meio ambiente). p.165-179.

BLAU, J.B.; WOOLHISER, D.A.; LANE, L.J. (1988). Identification of erosion model parameters. *Transactions of the ASAE*, St.Joseph, v.31, n.3, p.839-854.

BLUM, W.E.H. (1997). Basic concepts: degradation, resilience, and rehabilitation. In: LAL, R. et al. (Ed.). *Methods for assessment of soil degradation*. Boca Raton: CRC Press. P.1-16.

BONUCCELLI, T.J. (1999). *Estudo dos movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos com aplicação na área urbana de Ouro Preto (MG): escala 1: 10.000*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

BOUMA, N.A.; IMESON, A.C. (2000). Investigation of relationship between measured field indicators and erosion processes on badland surfaces at Peter, Spain. *Catena*, Cremlingen-destedt, v.40, p.147-171.

BOX JR., J.E.; BRUCE, R.R. (1996). The Effect of surface cover on infiltration and soil erosion. In: AGASSI, M. (Ed.). *Soil erosion, conservation and rehabilitation*. New York: Marcel Dekker. p.107-123.

BOUYOUCOS, G.W. (1935). The clay ration as a criterion as susceptibility of soils to erosion. *J. Amer. Soc. Agron.*, Madison. V. 27. p. 738-741.

BRADFORD, J.M.; HUANG, C.H. (1996). Splash and detachment by waterdrops. In: AGASSI, M. (Ed.). *Soil erosion, conservation and rehabilitation*. New York: Marcel Dekker. p.61-76.

BRYAN, R.B. (1987). Processes and significance of rill development. *Catena Supplement*, Cremlingen- Destedt, v.8, p.1-15.

BRYAN, R.B. (Ed.). (1987a). *Rill erosion: process and significance*. Cremlingen-W. Germany: Catena Verlag.

BRYAN, R.B. (2000). Soil erodibility and proceses of water erosion on hillslope. *Geomorphology*, Amsterdam, v.3, p.385-415.

CAMARGO, O.A. et al. (1986). Métodos de análise química,mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. *Boletim Técnico do Instituto Agronômico*, Campinas, n.106.

CANUTI, P. et al. (1986). Soil erosion as a runoff of the man activity- geological environmental relationship: an example of quantitative evaluation in the Mugello Valley (Tuscany, Italy). *Bulletin of Engineering Geology*, n.33, p.109-114.

CARLSTRON FILHO, C.; PRANDINI, F.L.; PIO, A.A.B. (1987). Contenção das boçorocas da Granja (Quintana-SP) e da Cidade (Quatá-SP). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4., 1987, Marília. *Anais...* São Paulo: DAEE. v.1, p.331-350.

CARSON, M.A. (1971). *The Mechanics of erosion*. London: Pion.

CARSON, M.A. & KIRKBY, M.J. (1975). *Hillslope form and process*. Oxford, Cambridge University Press. 445p.

CAVAGUTI, N.; SILVA, M. J.D.; CRUZ, R.H.S. (1995) Critérios para recuperação de área urbana degradada por boçoroca crítica In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5., 1995, Bauru. *Anais...* São Paulo: ABGE. v.2, p.333-363.

CAVALLI, A.C. (1999). *Utilização de dados espectrais dos sensores TM/LANDSAT5 e AVHRR/NOAA-14 como indicadores de processos de degradação do solo*. 153p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

CERRI, L.E. (1993). *Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta de prevenção de acidentes*. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1993.

COCH, N.K. (1995). *Geohazards natural and human*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.

CUNHA, C.M.L. (1993). *Quantificação e mapeamento das perdas de solo por erosão com base na malha fundiária*. 152p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.

CUNHA, M.A.; SANTOS, A.R. (1985). Técnicas simples de controle de erosão em estradas de terra. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 3., 1985, Maringá. *Anais...* São Paulo: ABGE.

DAIA, F.C.; LEE, C.F.; ZHANGE, X.H. (2001). GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. *Engineering Geology*, Amsterdam, v.61, n.4, p.257-271.

DAVICSON, D.A. (1986). *Land evaluation*. New York: Van Nostrand Reinhold.

DE BIASI, M. (1970). Cartas de declividade: confecção e utilização. *Revista de Geomorfologia*, São Paulo, n.21.

DEMET, P.J.J.; GAVERS, G. (1997). Two-dimensional modelling of the within- field variation in rill and gully geometry and location related to topography. *Catena*, Cremlingen-Destedt, v.29, p.283-306.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA & INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1990). *Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas*. São Paulo.

DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. (Ed.). (1998). *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa: UFV.

FACINCANI, E.M. (1995). *Influência da estrutura e tectônica no desenvolvimento das boçorocas da região de São Pedro, SP: proposta de reabilitação e aspectos jurídicos-institucionais correlatos*. 124p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1995.

FACINCANI, E.M.; CAVALHEIRO, F. (1995). Boçorocas: aspectos da reabilitação por revegetação de São Pedro. *Boletim de Geociências*, Rio Claro, v.14, n.4, p.268-275.

FAVIS-MORTLOCK, D.T.; GUERRA, A.J.T. (1999). The Implications of general circulation model estimates of rainfall for future erosion: a case study from Brazil. *Catena*, Cremlingen-Destedt, v.37, p.329-354.

FENDRICH, R. et al. (1997). *Drenagem e controle da erosão urbana*. São Paulo: IBRASA.

FERNANDES, M.R. (1998). Controle integrado da erosão hídrica proposta estratégica para Minas Gerais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6., 1998, Presidente Prudente. *Anais...* São Paulo: ABGE. 1 CD-ROM.

FITZJOHN, C.; Terman, J.L.; WILLIAMS, A.G. (1998). Soil moisture variability in a semi-arid gully catchment: implications for runoff and erosion control. *Catena*, Cremlingen-Destedt, v.32, p.55-70.

FOLLY, A.; QUINTON, J.N.; SMITH, R.E. (1999). Evaluating of the EUROSEM model using data from the Catsop Watershed, the Netherlands. *Catena*, Cremlingen-Destedt, v.37, p.507-519.

FONTES, S.B. (1999). *Mapeamento geotécnico com ênfase em erosões no município de Ouro Preto- MG*. 102p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

FOX, D.M.; BRYAN, R.B. (1999). The Relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient. *Catena*, Cremlingen-Destedt, v.38, p.211-222.

FRASER, R.H.; WARREN, M.V.; BARTEN, P.K. (1995). Comparative evaluation of land cover data sources for erosion prediction. *Water Resources Bulletin*, Bethesda, v.31, n.6, p.991-1000.

FRENZEL, A. (1980). Medidas preventivas contra os processos erosivos. In: SIMPÓSIO SOBRE O CONTROLE DE EROSÃO, 1980, Curitiba. *Anais...* Curitiba: ABGE. p.200-213.

GALERANI, C. et al. (1995). Controle da erosão urbana. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.La L.; BARROS, M.T. (Org.). *Drenagem urbana*. Porto Alegre: ABRH; Ed.da UFRGS. Cap.8, p.349-385.

GOMES, C.R. (1987). Alguns métodos simples de controle de erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4., 1987, Marília. *Anais...* São Paulo: ABGE. v.1, p.395-405.

GOMES, M.F.S. (1998). *A Apropriação dos recursos da natureza e o processo erosivo no oeste do Paraná: o caso da bacia do rio Cascavel*. 106p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.

GRISSINGER, E.H. (1996). Reclamation of gullies and channel erosion. In: AGASSI, M. (Ed.). *Soil erosion, conservation and rehabilitation*. New York: Marcel Dekker. p.301-313.

_____. (1996a). Rill and gullies erosion. In: AGASSI, M. (Ed.). *Soil erosion, conservation and rehabilitation*. New York: Marcel Dekker. p.153-167.

GUERRA, A.J.T. (1998). Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Ed.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. Cap.4, p.149-209.

HARBOR, J. (1999). Engineering geomorphology at the cutting edge of land disturbance: erosion and sediment control on construction sites. *Geomorphology*, Amsterdam, v.31, p.247-263.

HOLÝ, M. (1980). Erosion and environments. Oxford: Pergamon Press. (Environmental Sciences and Applications, 9).

IWASA, O.Y.; PRANDINI, F.L. (1980). Diagnóstico da origem e evolução das boçorocas: condições fundamentais para a prevenção e correção. In: SIMPÓSIO SOBRE O CONTROLE DE EROSÃO, 1980, Curitiba. *Anais...* Curitiba:ABGE. p.5-34.

IWASA, O.Y. et al. (1998). Diagnóstico ambiental do meio físico e dos recursos hídricos e caracterização dos impactos na bacia do Alto Rio do Peixe. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6., 1998, Presidente Prudente. *Anais...* São Paulo: ABGE. 1 CD-ROM.

KOPEZINSKI, I. (1998). *Avaliação da degradação ambiental produzida por mineração no município de Poços de Caldas (MG) considerando procedimentos de mapeamento geotécnico*. 193p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

LAFLEN, J.M.; ROOSE E.J. (1997). Methodology for assessment of soil degradation due to water erosion. In: LAL, R. et al. (Ed.). *Methods for assessment of soil degradation*. Boca Raton: CRC Press. p.31-55.

LAL, R. (1990). *Soil erosion in the tropics: principles and management*. New York: McGraw-Hill.

LAMMERAAT, L.H.; IMESON, H.C. (1998). Deriving indicators of soil degradation from soil aggregation studies in southeastern Spain and Southern France. *Geomorphology*, Amsterdam, v.23, p.307-321.

LARIOS, M.R.B. (2000). *Caracterização geotécnica de solos susceptíveis à erosão e sal identificação utilizando sistema de informações geográficas*. 98p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

LE BISSONNAIS, Y. (1996). Soil characteristics and aggregate stability. In: AGASSI, M. (Ed.). *Soil erosion, conservation and rehabilitation*. New York: Marcel Dekker. p.41-60.

LEONE, A.P.; SOMMER, S. (2000). Multivariate analysis of laboratory spectra for the assessment of soil development and soil degradation in the southern Apennines (Italy). *Remote Sensing of Environment*, New York, v.72, p.346-359.

LIBARDI, P.L. (1995). *Dinâmica da água no solo*. Piracicaba: ESALQ/USP.

LICK, W.; MCNEIL, J. (2001). Effects of sediment bulk properties on erosion rates. *The Science of the Total Environment*, Amsterdam, v.266, p.41-48.

LINE, D.E.; MYER, L.D. (1989). Evaluating interrill and rill erodibilities for soils of different textures. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.32, n.6, p.1995-1999.

LOLLO, J.A. (1996). *O Uso de técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas*. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

LUK, S.H. et al. (1997). Environmental analysis of soil in guangdong province: a dequing case study. *Catena*, Cremlingen-Destedt, v.29, n.2, p.97-113.

MARCK, M.J. (1995). HER- hidrologic evaluation of runoff; the soil conservation service curve number technique as an interactive computer model. *Computer & Geosciences*, Elmsford, v.21, n.8, p.929-935.

MARTINS, J.R.S. (1995). Obras de macrodrenagem. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.La L.; BARROS, M.T. (Org.). *Drenagem urbana*. Porto Alegre: ABRH; Ed.da UFRGS. Cap.5, p.167-240.

MERTEN, G.H. et al. (1998). Análise do uso de equações de transporte de sedimentos em modelos de predição de erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6., 1998, Presidente Prudente. *Anais...* São Paulo: ABGE. 1 CD-ROM.

METTERNICHT, G.I.; FERMENT, A. (1996). Estimating erosion surface features by linear mixture modelling. *Remote Sensing of Environment*, New York, v.64, n.3, p.254-265.

MORGAN, R.P.C. (1996). *Soil erosion and conservation*. 2nded. Harlow Essex England: Longman; New York: Wiley.

MORGAN, R.P.C.; RICKSON, R.J. (Ed.). (1995). *Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach*. London: E & Fm Spon.

MORGAN, R.P.C. et al. (1998). The European soil model (EUROSEM) a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms*, Chichester, v.23, p.527-544.

MORIN, J. (1996). Rainfall analysis. In: AGASSI, M. (Ed.). *Soil erosion, conservation and rehabilitation*. New York: Marcel Dekker. p.23-39.

NAZAKATO, D.; SILVA, L.G.; UEHARA, K. (1995). Sugestões para elaboração de instrução de projeto de drenagem em loteamento. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSÃO, 5, 1995, Bauru. *Anais...*Bauru: ABGE. p. 135-137.

NAERING, M.A. (1998). Why soil erosion models over- predict small soil losses and under-predict larger soil losses. *Catena*, Cremlingen-Destedt, v.32, p.15-22.

NETTO, A.L.C. (1998). Diagnóstico de erosão para o planejamento regional: subsídios metodológicos sob enfoque geo- hidrogeológico. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6., 1998, Presidente Prudente. *Anais...* São Paulo: ABGE. 1 CD-ROM.

NISHIYAMA, L. (1998). *Procedimento de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100 000: aplicação no município de Uberlândia*. 372p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. (1979). Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area. *Bulletin IAEG*, Krefeld- Germany, n.19, p.196-199.

OLIVEIRA, A.M.S. et al. (1987). Questões metodológicas em diagnósticos regionais da erosão: a experiência pioneira da bacia do rio do Peixe Paranapanema (SP). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4., 1987, Marília. *Anais...* São Paulo: ABGE. v.1, p.51-71.

OLIVEIRA, E.G. (1987). Recuperação ambiental- compatibilização entre trabalhos de mineração e uma área degradada por boçorocas. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6., 1987, Rio Claro. *Atas...* Rio Claro: SBG. v.2, p.437-447.

OLIVEIRA, L.; MACHADO, L.M.C. (1987). O Controle da erosão e a percepção ambiental. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4., 1987, Marília. *Anais...* São Paulo: ABGE. v.1, p.253-262.

OSTERKAMP, W.R.; TOY, T.J. (1997). Geomorphic considerations for erosion prediction. *Environmental Geology*, Heidelberg, v.29, n.3/4, p.152-157.

PARAGUASSU, A.B. et al. (1985). Erosão: feições ocorrentes nas nascentes de rios. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 5., 1985, São Paulo. *Atas...* São Paulo: SBG. v.1, p.301-307.

PARLANGE, J.Y. et al. (1999). Addendum to unsteady soil erosion model. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v.217, p.149-156.

PEJON, O.L. (1992). *Mapeamento geotécnico de Piracicaba, Escala 1:100.000*: estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos. 2v. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PEJON, O.J.; ZUQUETTE, L.V. (1999). Avaliação de metodologia utilizado para elaboração de cartas de risco potencial a erosão acelerada- área de São Pedro. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v.10, n.19, p.79-91.

_____. (2001). Carta de predisposição a erosão acelerada- área de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil: metodologia e avaliação dos resultados. *Revista Geotecnica*, Portugal, n.93, p.33-60.

PEREIRA, A.R. (2001) Controle e recuperação de processos erosivos com técnicas de bioengenharia In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7., 2001, Goiânia. *Anais...* São Paulo: ABGE. 1 CD-ROM.

PICHLER, E. (1953). Boçorocas. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, v.2, n.1, p.3-16.

PLOYE, J. (Ed.). (1983). *Rainfall simulation, runoff and soil erosion*. Cremlingen: Catena Verlag.

POESEN, J. et al. (1999). Concentrated flow erosion rates as affected by rock fragment cover and initial soil moisture content. *Catena*, Cremlingen-Destedt, v.36, p.315-329.

PONÇANO, L.; PRANDINI, F.L. (1987). Boçorocas no estado de São Paulo: uma revisão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4., 1987, Marília. *Anais...* São Paulo: ABGE. v.1, p.149-177.

PONÇANO, W.L.; CHRISTOFOLETTI, A. (1987). Procedimentos estimativos para taxa de erosão pluvial em regiões tropicais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4., 1987, Marília. *Anais...* São Paulo: ABGE. v.1, p.263-286.

PONTES, A.B. (1980). Controle da erosão em áreas urbanas. In: SIMPÓSIO SOBRE O CONTROLE DE EROSÃO, 1980, Curitiba. *Anais...* Curitiba: ABGE. p.36-83.

PORTO, R. et al. (1993). Drenagem urbana. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2.ed. Porto Alegre: ABRH; Ed.da UFRGS. Cap.21, p.803-847.

PRANDI, E.C. (1996). *Aspectos evolutivos de erosões (ravinas e boçorocas) na região de Marília-SP*. 2v. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

RENARD, K.G. et al. (1996). Soil loss estimation. In: AGASSI, M. (Ed.). *Soil erosion, conservation and rehabilitation*. New York: Marcel Dekker. p.169-202.

RIBEIRO, J.C.; SALOMÃO, F.X.T. (2001). A Morfopedologia aplicada ao diagnóstico e prevenção dos processos erosivos lineares da bacia hidrográfica do Alto Rio da Casca. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7., 2001, Goiânia. *Anais...* São Paulo: ABGE. 1 CD-ROM.

RIDENTE JUNIOR, J.L. (2000). *Prevenção e controle da erosão urbana: bacia do Córrego do Limoeiro e bacia do Córrego do Cedro, municípios de Presidente Prudente e Álvares Machado, SP*. 108p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

RIGHETTO, A.M. (1998). *Hidrologia e recursos hídricos*. São Carlos: EESC/USP.

RODRIGUES, B.B. (1998). *Inventário e análise de susceptibilidade aos movimentos de massa gravitacionais e erosão na região de Águas de Lindóia/SP- Escala 1:10.000*. 142p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1998.

RODRIGUES, J.E. (1982). *Estudo de fenômenos erosivos acelerados: boçorocas*. 162p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1982.

RODRIGUES, J. E.(1984). Estudo geotécnico de fenômenos erosivos acelerados (boçorocas). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4, 1984, Belo Horizonte. *Anais...*São Paulo: ABGE, v.2, p. 169-182.

RODRIGUES, J.E. & VILLAR, O.M. (1984). Estudo da erosão interna em boçorocas através da teoria do carregamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4, 1984, Belo Horizonte. *Anais...*São Paulo: ABGE, v.2, p. 163-168.

ROOSE, C.W. (1997). Modelling erosion by water and wind. In: LAL, R. et al (Ed.). *Methods for assessment of soil degradation*. Boca Raton: CRC Press. p.57-88.

ROSSI, M.; PFEIFER, R.M. (1999). Remoção de material erodido dos solos de pequenas bacias hidrográficas no parque estadual da serra do Mar em Cubatão (SP). *Bragantia*, Campinas, v.58, n.1, p.141-156.

SALOMÃO, F.X.T.; IWASA, O.Y. (1995). Erosão e a ocupação rural e urbana. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (1995). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo. Cap.3, p.31-57.

SALOMÃO, F.X. de T. & ANTUNES, F. dos S. (1998). Solos em pedologia. In: *Geologia de engenharia*. São Paulo: ABGE. P. 87-99.

SANTORO, J. (1991). *Fenômenos erosivos acelerados na região de São Pedro-SP, estudo da fenomenologia, com ênfase geotécnica*. 140p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1991.

SANTOS, I.; GOMES, J. (1998). Caracterização do índice de erosividade da porção oriental do estado do Paraná. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6., 1998, Presidente Prudente. *Anais...* São Paulo: ABGE. 1 CD-ROM.

SANTOS, M.F. (1993). *Subsídios para o planejamento conservacionista da bacia hidrográfica do Ribeirão Feijão (São Carlos, Itirapina, Analândia, SP)*. 222p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

SANTOS, P.H.P. et al. (1999). Expansão urbana e evolução de feições erosivas no município de Rio Claro (SP), no período 1972-95. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 9., 1999, São Pedro. *Panorama da geologia de engenharia: boletim de resumo*. São Paulo: ABGE.

SCHMIDT, J.; WERNER, M.V.; MICHAEL, A. (1999). Application of the EROSION 3D to the CAT SOP Watershear, The Netherlands. *Catena*, Cremlingen-Destedt, v.37, p.449-456.

SELBY, M.J. (1993). *Hillslope material and processes*. Oxford: Oxford University Press.

SHARMA, P.P. (1996). Interrill erosion. In: AGASSI, M. (Ed.). *Soil erosion, conservation and rehabilitation*. New York: Marcel Dekker. p.125-152.

SHEG, J.A.; LIAO, A.Z. (1997). Erosion control in south China. *Catena*, Cremlingen-Destedt, v.29, p.211-221.

SHERARD, J.L.; DECKER, R.S. (Ed.). (1976). Dispersive clays, related piping and erosion in geotechnical projects: a symposium presented at the seventy-ninth annual meeting. Philadelphia: ASTM.

SHIFERAW, B.; HOLDEN, S. (1999). Soil erosion and smallholders conservation decisions in the highlands of Ethiopia. *World Development*, v.34, n.4, p.739-752.

SILVA, A.M. (1999). *Aplicações de técnicas de geoprocessamento no estudo das relações entre os processos erosivos e sedimentológicos de bacias hidrográficas*. 239p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade São Paulo, São Carlos, 1999.

SOBRAL FILHO, R.M.S. et al. (1980). *Práticas de conservação de solos*. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; Serviço Nacional de levantamento e Conservação de Solos. (Série Miscelânea, 3).

SOBREIRA, F.G.; CARNEIRO, C.A.; OLIVEIRA, M.V. (1998). Erosões de cachoeira do campo, Ouro Preto. análise da evolução por fotografias aéreas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6., 1998, Presidente Prudente. *Anais...* São Paulo: ABGE. 1 CD-ROM.

SOUZA, M.L. (2001). *Proposta de um sistema de classificação de feições erosivas voltados à estudos de procedimentos de análises de decisões quanto a medidas corretivas, mitigadoras e preventivas: aplicação no município de Umuarama (PR)*. 284p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

SOUZA, N.C.D.E. (1992). *Mapeamento geotécnico regional da Folha de Aguiar-SP, escala 1 :50 000*; com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração. 207p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

SPONGA, M. et al (2001) Recuperação de voçorocas no Jardim Botânico de Goiânia com uso de técnicas de engenharia naturalística In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7., 2001, Goiânia. *Anais...* São Paulo: ABGE. 1 CD-ROM.

STEIN, D.P. (1999). *Avaliação da degradação do meio físico bacia do Rio Santo Anastácio Oeste Paulista*. 197p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

STEIN, D.P. et al. (1987). Potencial de erosão laminar, natural e antrópica na bacia do Peixe Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4., 1987, Marília. *Anais...* São Paulo: ABGE. v.1, p.105-135.

SUDO, H. (1998). O conceito de sistema e a estrutura físico-antrópica dos processos erosivos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6., 1998, Presidente Prudente. *Anais...* São Paulo: ABGE. 1 CD-ROM.

TAKKEN, I. et al. (1999). Spatial evaluation of a physically-based distributed erosion model (LISEM). *Catena*, Cremlingen-Destedt, v.37, p.431-447.

TORRI, D. (1996). Slope, aspect and surface storage. In: AGASSI, M. (Ed.). *Soil erosion, conservation and rehabilitation*. New York: Marcel Dekker. p.77-106.

TORRI, D.; POESEN, J.; BORSELLI, L. (1997). Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset. *Catena*, Cremlingen-Destedt, v.31, p.1-22.

TUCCI, C.E.M.; COLLISCHONN, W. (2000). Drenagem urbana e controle de erosão urbana. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6., 1998, Presidente Prudente. *Anais...* São Paulo: ABGE. 1 CD-ROM.

VALEIRO FILHO, M. (1998). Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao planejamento ambiental. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6., 1998, Presidente Prudente. *Anais...* São Paulo: ABGE. 1 CD-ROM.

VEIHE, A. et al. (2001). Modelling of event-based soil erosion in Costa Rica, Nicaragua and Mexico: evaluation of the EUROSEM Model. *Catena*, Cremlingen-Destedt, v.44, p.187-203.

VERTAMATI & ARAÚJO. (1995). Uma nova abordagem para a previsão do grau de erodibilidade de solos tropicais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSÃO, 5, 1995, Bauru. *Anais...*Bauru: ABGE. p. 483 – 485.

VIDAL, I.G. (1995). Geogrelha e hidrossemeadura no controle de erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSÃO, 5, 1995, Bauru. *Anais...*Bauru: ABGE. p.131-133.

VILAR, O.M. (1987). *Formulação de um modelo matemático para erosão dos solos pela chuva*. 196p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

XUJIONGXIN. (1996). Benggang erosion the influencing factors. *Catena*. V. 27. p. 249-263.

WARD, A.D.; ELLIOT, W.J. (Ed.). (1995). *Environmental hydrology*. Boca Raton: CRC Press.

WILSON, J.P.; GALLANT, J.C. (1996). EROS: a grid-based program for estimating spatially distributed erosion indices. *Computer & Geosciences*, Elmsford, v.22, n.7, p.207-212.

WILSON, N.B. (1993). Development of a fundamentally based detachment model. *Transactions of the ASAE*, St.Joseph, v.36, n.4, p.1105-1114.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D.D.(1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal Soil and Water Cons.*, Fairmont. V.26. p. 189-192.

YANDA, P.Z. (2000). Use of soil horizons of assessing soil degradation and reconstructing chronology of degradation processes: the case of Mwisanga Catchment, Kondoa, Central Tanzania. *Geomorphology*, Amsterdam, v.34, p.209-225.

YOUDEOWEI, P.O. (2001). Evaluation of erosion harzards and consideration of control measures at Iloma, River States of Nigeria. *Bulletin of Engineering Geology*, p.91-96.

ZACHAR, D. (1982). *Soil erosion*. Amsterdam; New York: Elsevier Scientific. (Série Developments in Soil Science, 10).

ZUQUETTE, L.V. (1987). *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

ZUQUETTE, L.V. (1993). *Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração*. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

ZUQUETTE, L.V. (1997). Mapeamento geotécnico: atributos e procedimentos básicos para elaboração de cartas e mapas. *Revista de Geociências*, Maceió, v.17, n.2.

ZUQUETTE, L.V.(2000). Curso de riscos geológicos-geotécnicos. Apostila de aula. 112p.

ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J.; GANDOFI, N.; RODRIGUES, J.E. (1997). Mapeamento geotécnico: parte 1 – atributos e procedimentos básicos para elaboração de mapas e cartas. *Revista de Geociências*, Rio Claro: UNESP. V.17, n.2.