

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
ENGENHARIA AMBIENTAL

ANÁLISE MULTITEMPORAL DAS FEIÇÕES
EROSIVAS E DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO
DE UMA REGIÃO RURAL DO MUNICÍPIO DE SÃO
PEDRO – SP

Aluno: Ana Gabriela Sobreiro Martins

Orientador: Prof. Dr. Osni José Pejon

Monografia apresentada ao curso
de graduação em Engenharia
Ambiental da Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de
São Paulo.

São Carlos, SP

2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

M386a Martins, Ana Gabriela Sobreiro
 Análise multitemporal das feições erosivas e da
 evolução do uso e ocupação de uma região rural no
 município de São Pedro – SP / Ana Gabriela Sobreiro
 Martins ; orientador Osni José Pejon. -- São Carlos,
 2010.

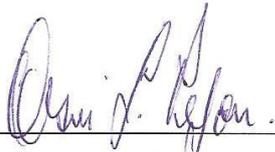
 Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
 Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade
 de São Paulo, 2010.

 1. Erosão. 2. Ortoretificação. 3. Fotografias
 aéreas. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Ana Gabriela Sobreiro Martins

Monografia defendida e aprovada em: 12/11/2010 pela Comissão Julgadora:



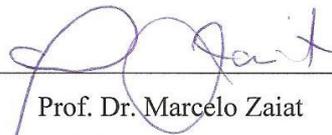
Prof. Dr. Osni José Pejon



Profa. Dra. Valéria Guimarães Silvestre Rodrigues



Profa. Dra. Marcilene Dantas Ferreira



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

Aos meus pais (Pedro e Cleonice) que me deram apoio, atenção e todo o “patrocínio” necessário durante os cinco anos de minha graduação.

AGRADECIMENTOS

Aos meus irmãos, André e João, que me incentivaram na decisão de realizar este curso de graduação.

A todos os meus amigos que me ajudaram nos momentos difíceis, de estresse e correrias. Foram muitas conversas e reflexões as quais foram essenciais para manter o equilíbrio durante os cinco anos da graduação. Não posso deixar de citá-los aqui, meus queridos: Eduardo, Pétala, Ci, Ni, Maria Paula, Danie, Amanda, Bruna e Graziela.

Ao Prof. Dr. Osni José Pejon. Primeiramente, por ter aceitado me orientar durante a realização deste Trabalho de Graduação e também durante o Projeto de Iniciação Científica que originou este trabalho. Além disto, agradeço a paciência, dedicação, amizade, conhecimento e confiança que foram dados a mim durante a execução dessa pesquisa.

Ao departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos/USP que permitiu a utilização do Laboratório de Mapeamento Geotécnico, e me proporcionou a utilização de equipamentos e outros subsídios que foram necessários.

Aos colegas da pós-graduação que me auxiliaram e me “aguentaram” durante a realização do trabalho, em especial ao Thiago, à Aline, Júnio, Simone e Claudia.

Ao Prof. Dr. Lázaro Valentin Zuquette pelas conversas, ensino e amizade também conquistada.

Ao Prof. Dr. Oswaldo Augusto Filho, que contribuiu muito por meio de sua paciência e conhecimento.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro para realização da Iniciação Científica que originou este Trabalho.

Enfim, deixo aqui meu profundo agradecimento a todos que de alguma forma me ajudaram a alcançar esta conquista!

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	i
ÍNDICE DE TABELAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Processos erosivos	3
2.2. Mapeamento geológico-geotécnico	6
2.3. Sensoriamento Remoto	8
2.4. Fotografias aéreas	9
2.4.1. Processamento Digital de Fotografias Aéreas - Ortorretificação	12
2.5. Sistema de Informações Geográficas (SIG)	14
2.6. Planejamento e Gestão Ambiental	15
3. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1. Pontos de controle obtidos em visita à campo	31
5.2. Levantamento das erosões	32
5.3. Análise Qualitativa para os anos de 1962, 1972 e 1995	34
5.3.1. Ano de 1962	34
5.3.2. Ano de 1972	36
5.3.3. Ano de 1995	38
5.3.4. Comparação entre a evolução das erosões e os usos do solo	40

5.3.5. Considerações a respeito do processo de Georreferenciamento das fotos aéreas dos anos de 1962, 1972 e 1995	41
5.4. Análise quantitativa das erosões para os anos de 1995, 2000 e 2005	45
5.5. Erosões <i>versus</i> Uso e ocupação.....	50
5.6. Erosões <i>versus</i> Landforms	54
5.7. Erosões <i>versus</i> Materiais inconsolidados	55
5.8. Ortorretificação	58
5.9. Comparação entre foto georreferenciada e foto ortorretificada	63
5.10. Comparação final entre a evolução das erosões desde o ano de 1962 até o ano de 2005	64
6. CONCLUSÃO	67
7. BIBLIOGRAFIA.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo.	17
Figura 2: Carta de Declividades.	18
Figura 3: Mapa de Materiais Incoolidados.	19
Figura 4: Mapa de Landforms.	21
Figura 6: Sulco observado em visita à campo.	22
Figura 7: Ravina em estágio avançado observada em visita à campo.	23
Figura 8: Tentativa de contenção com a utilização de pneus.	23
Figura 9: Tentativa de contenção por meio da técnica do terraceamento.	24
Figura 10: Sulcos apresentando escoamento superficial de água.	25
Figura 11: Boçoroca com medida paleativa de contenção.	25
Figura 12: Boçoroca localizada na parte norte da área.	26
Figura 13: Boçoroca localizada na parte norte da área.	26
Figura 14: Base de implantação do GPS de precisão.	27
Figura 15: Procedimentos adotados na presente monografia.	30
Figura 15: Erosões delimitadas com o GPS de precisão.	32
Figura 16: Feições erosivas no ano de 1962.	35
Figura 17: Feições erosivas no ano de 1972.	37
Figura 18: Feições erosivas no ano de 1995.	39
Figura 19: Curvas de nível sobrepostas à fotografia aérea do ano de 1962.	42
Figura 20: Curvas de nível sobrepostas à fotografia aérea do ano de 1972.	43
Figura 21: Curvas de nível sobrepostas à fotografia aérea do ano de 1995.	44
Figura 22: Foto aérea ortorretificada com as respectivas erosões para o ano de 1995. ..	47
Figura 23: Foto aérea ortorretificada com as respectivas erosões para o ano 2000.	48

Figura 24: Foto aérea ortorretificada com as respectivas erosões para o ano 2005.	49
Figura 25: Mapa de Uso e Ocupação para o ano de 1995.....	50
Figura 26: Mapa de Uso e Ocupação para o ano 2000.	51
Figura 27: Mapa de Uso e Ocupação para o ano 2005.	52
Figura 28: Janela carregada pelo programa ENVI evidenciando a dificuldade em se localizar precisamente um ponto de controle.	59
Figura 29: Fotografia aérea ortorretificada do ano de 1995.....	60
Figura 30: Fotografia aérea ortorretificada do ano de 2000.....	61
Figura 31: Fotografia aérea ortorretificada do ano de 1995.....	62
Figura 32: Comparação entre fotografia aérea georreferenciada e ortorretificada.	63
Figura 33: Observação sobre a diferença na quantidade de erosões no ano de 2005 e as obtidas em campo, no ano de 2010.....	65
Figura 34: Erosão A1 em janeiro de 2010.....	66

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Dados dos pontos de controle obtidos em campo.	31
Tabela 2: Classificação e quantificação das feições erosivas no ano de 1962.	36
Tabela 3: Classificação e quantificação das feições erosivas no ano de 1972.	38
Tabela 4: Quantificação e classificação das feições erosivas de 1995.	40
Tabela 5: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Uso e ocupação e Erosões para o ano de 1995.	53
Tabela 6: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Uso e ocupação e Erosões para o ano 2000.	53
Tabela 7: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Uso e ocupação e Erosões para o ano de 2005.	53
Tabela 8: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Landforms e Erosões para o ano de 1995.	54
Tabela 9: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Landforms e Erosões para o ano de 2000.	54
Tabela 10: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Landforms e Erosões para o ano de 2005.	54
Tabela 11: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Materiais consolidados e Erosões para o ano de 1995.	56
Tabela 12: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Materiais consolidados e Erosões para o ano de 2000.	56
Tabela 13: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Materiais consolidados e Erosões para o ano de 2005.	57
Tabela 14: Evolução em número de erosões no decorrer dos anos analisados.	64

RESUMO

MARTINS, A. G. S. **Análise multitemporal das feições erosivas e da evolução do uso e ocupação de uma região rural do município de São Pedro – SP.** Trabalho de Graduação – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2010.

A presente monografia apresenta uma análise multitemporal da evolução de feições erosivas numa região rural do município de São Pedro – SP, tendo como base a interpretação de fotografias aéreas em escala 1:25.000 dos anos de 1962, 1972 e 1995 e dos anos de 2000 e 2005, em escala 1:30.000. Para tanto, foi realizada a estereoscopia das fotos, possibilitando a delimitação, em folhas transparentes (*overlays*) das feições erosivas. Trabalhos em campo foram realizados paralelamente, com o intuito de se realizar um reconhecimento da área e de auxiliar o processo de fotointerpretação. Os *overlays*, juntamente com as fotos, foram escaneados, digitalizados, vetorizados e georreferenciados. Para as fotografias aéreas dos anos de 1995, 2000 e 2005 foi possível a realização do processo de ortorretificação, o que possibilitou resultados mais precisos para tais anos. Por fim, comparações entre a evolução dos processos erosivos *versus* o uso e ocupação do solo, Mapa de Landforms e Mapa de Materiais Inconsolidados da região foram adaptados. O processo de georreferenciamento não se demonstrou preciso, ao passo que o de ortorretificação demonstrou resultados satisfatórios. As atividades de manejo de solo apresentaram-se como as principais desencadeadoras das erosões.

Palavras-chave: Erosão. Ortorretificação. Fotografias aéreas.

ABSTRACT

MARTINS, A. G. S. **Multitemporal analysis of erosion features and the evolution of the land use and occupation of a rural area of São Pedro - SP.** Undergraduate Work – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2010.

This paper presents a multitemporal analysis of the erosion features evolution in a rural area of São Pedro - SP, based on interpretation of aerial photographs at scale 1:25,000 (years 1962, 1972 and 1995) and scale 1:30,000 (years 2000 and 2005). To this end, was performed the stereoscopy of the aerial photographs, allowing the demarcation in transparent sheets (overlays) of erosion features. At the same time, field work was conducted in order to investigate the area and assist the process of image interpretation. Overlays, along with the photos, were scanned, digitized, georeferenced and vectorized. As the scale of the photos from the years 1995, 2000 and 2005 were more precise, it was possible to perform the orthorectification process, which provided more accuracy at the results for this years. Finally, comparisons between the evolution of the erosions features versus the land use, the landforms map and the map of unconsolidated materials were adaptaded. The georeferencing process did not demonstrated precision, while the orthorectification process was satisfactory. The activities of soil management were presented as the main triggers of erosion.

Keywords: Erosion. Orthorectification. Aerial photographs.

1. INTRODUÇÃO

Em países de clima tropical úmido, como o Brasil, ocorrem graves problemas devido à ação erosiva da água, visto que, além do manuseio inadequado do solo, adicionam-se os intensos processos de intemperização, ocasionando a formação de espessos perfis de solo. Portanto, é necessária a utilização dos conhecimentos geológicos e geotécnicos para a prevenção e minimização dos impactos, devido à impossibilidade de uma recuperação espontânea quando o equilíbrio natural é afetado pelas erosões aceleradas.

O município de São Pedro – SP está inserido em uma área vulnerável à ocorrência de impactos ambientais decorrentes de erosões uma vez que está localizado em uma região formada por solo predominantemente arenoso, de clima tropical úmido e de topografia que favorece o desenvolvimento dos processos erosivos. Assim, por demonstrar-se uma região frágil, o uso e ocupação do território deveriam ter sido realizados com cautela de forma a não favorecer a ocorrência dos impactos referentes à degradação do solo. Diversos trabalhos publicados em pesquisas científicas já foram realizados na área, com a finalidade de identificar, analisar, quantificar e descrever erosões com alto grau de desenvolvimento decorrentes dessa má ocupação ocorrida no município, podendo ser citados os realizados pelos autores Gomes (2002), da Silva (2003) e Ferreira (2004). No entanto, também é de suma importância a análise de processos erosivos em estágios iniciais ou intermediários, em regiões ainda pouco ocupadas, com o intuito de prever locais mais propícios ao desencadeamento destes processos e assim, contribuir com a realização de um planejamento, ou organização prévia do espaço, a fim de se evitar o desencadeamento ou aceleração das feições erosivas.

Fundamentado nessa questão, o presente trabalho visa entender melhor os fatores que levaram ao desencadeamento e evolução dos processos erosivos com base na análise multitemporal dos usos e ações antrópicas que estão provocando os maiores impactos, utilizando fotografias aéreas de diferentes datas.

Para tanto, a presente monografia apresenta os resultados da pesquisa que consistiu no aprofundamento da revisão bibliográfica, elaboração de mapas base, fotointerpretação para levantamento das feições erosivas nos anos de 1962, 1972, 1995, 2000 e 2005, georreferenciamento e ortorretificação de fotografias aéreas escaneadas e análise da evolução das erosões.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Processos erosivos

A erosão é um processo natural que contribui com o estabelecimento do equilíbrio dos ecossistemas e consiste na escavação e transporte de partículas de solo e rocha devido a ações do vento, gravidade, gelo e chuva. No entanto, a presença excessiva de animais como gado, o uso e ocupação não planejados e a retirada de vegetação na maioria dos casos aumentam a ocorrência deste processo, passando nesse caso a ser denominada por Fornasari Filho e Infanti Jr. (1998) como *erosão antrópica* ou *acelerada*. Esta, causa impactos ambientais muitas vezes de grande porte e de difícil solução.

A erosão cujo agente é a água (erosão hídrica) é causada principalmente pelo impacto das gotas da chuva com a superfície do terreno e pelo escoamento superficial das precipitações, que desagregam e removem partículas do solo. É por isso que se houver retirada de vegetação de uma determinada área, o processo erosivo será mais intenso, já que a vegetação desempenha o papel de promover maior infiltração de água no solo e de protegê-lo contra os impactos das gotas. Aliado a este fato, as características naturais do solo também são de suma importância. Por exemplo, solos arenosos favorecem a infiltração de água, no entanto, suas partículas são pouco coesas e por isso, se desagregam facilmente resultando em maior vulnerabilidade deste tipo de solo ao processo erosivo. Solos rasos, com pequena espessura, também são mais susceptíveis à erosão por saturarem mais rapidamente.

Fendrich e Iwasa (1998) ressaltam que as regiões sobre as principais bacias sedimentares do Brasil, como a Bacia do Paraná, mais especificamente onde há arenitos do Grupo Bauru e arenitos das Formações Botucatu e Pirambóia são as mais críticas e frequentemente afetadas pelos processos erosivos.

O uso e ocupação não planejados, como a urbanização desenfreada, a agricultura e as pastagens também aumentam o escoamento superficial das águas, carreando maior quantidade de sedimentos. Na zona rural, camadas de solos férteis são carregadas, ocasionando uma menor produção agrícola e conseqüentemente, promovendo desvalorização da terra. Já no caso de regiões urbanizadas, devido ao asfaltamento das ruas, o fluxo de água escoando torna-se muito maior, e a água ganha mais energia, atingindo com alta velocidade nas encostas, erodindo taludes e, dependendo da proporção do impacto, causando desmoronamento de grande volume de terra que carregam juntamente residências e outras construções.

Segundo Ferreira (2004, p.4) “Nas regiões tropicais e subtropicais úmidas, os processos erosivos são provocados principalmente pela ação das chuvas (erosão hídrica) combinada com a ocupação territorial [...]”. De fato, nas regiões com estes climas, há a ocorrência de chuvas torrenciais de grande intensidade, as quais de acordo com Fornasari Filho e Infanti Jr. (1998, p. 135) “[...] determinam eventos erosivos de grande velocidade de propagação [...]”.

O escoamento da água pela superfície do solo ocorre de diferentes maneiras, e são elas que irão diferenciar o tipo de erosão que irá ocorrer. As águas podem escoar tanto em forma de finos filetes quanto em forma de caudalosas correntes (Maciel Filho, 1994). De acordo com Fornasari Filho e Infanti Jr. (1998, p. 134) as erosões podem ser de dois tipos:

- Erosão Laminar: Também denominada como erosão em lençol, tem como fator desencadeador o escoamento de forma difusa das águas pluviais, o qual remove progressivamente e uniformemente horizontes superficiais do solo.

- Erosão Linear: É desencadeada pelo escoamento superficial das águas concentrado, ou seja, que forma linhas de fluxo. Quando ocorre este tipo de erosão, são formadas pequenas “cicatrices” na superfície do solo (na forma de sulcos, ravinas e voçorocas).

São consideradas feições erosivas do tipo sulco quando as incisões no terreno são de pequena profundidade, e geralmente ocorrem perpendicularmente às curvas de nível (Canil et al., 1995). São “cicatrices” no solo de largura e profundidade menores que 50 centímetros (DAEE, 1990 *apud* Da Silva).

Quando há uma evolução em profundidade dos sulcos, são formadas feições do tipo ravinas. Nesse caso, segundo Canil et al. (1995), as feições atingem mais que 0,5 metro de profundidade, mas não chegam a interceptar o lençol freático. Além disso, os movimentos de massa e desprendimento de partículas do solo e o perfil transversal em forma de “V” também são características das ravinas. O fluxo do escoamento da água apresenta maiores velocidades em comparação às responsáveis pelos sulcos.

Se a ravina continuar progredindo tanto em profundidade quanto em largura, chegando a atingir o lençol freático, o fenômeno erosivo passa a ser chamado voçoroca (ou boçoroca). Quando o processo atinge essas proporções, os danos ambientais já são considerados enormes e de difícil recuperação.

Segundo a SSSA (Soil Science Society of America, 2010) a erosão linear avançada (*gully erosion*), que inclui as ravinas e as boçorocas, consiste “no processo de erosão em que a água se acumula e, freqüentemente, forma canais estreitos, em períodos curtos, removendo o solo destes canais a profundidades elevadas [...] normalmente variando de 0,5 até 25 a 30m”.

Fornasari Filho e Infanti Jr. (1998) discorrem que quando há ocorrência das voçorocas, o escoamento da água não se dá apenas superficialmente, mas também subsuperficialmente, englobando erosões internas (ou *pipings*). Paralelamente, outros fenômenos acontecem tais como escorregamentos, desabamentos e solapamentos.

Iwasa e Prandini (1980) citados por Da Silva (2003) distinguem dois tipos diferentes de voçorocas: a urbana e a rural. A primeira tem seu início com a formação de ravinas iniciadas nas próprias ruas, e a segunda, na maioria das vezes são conseqüências da demarcação de valas, das trilhas dos gados e das linhas de plantio com pastagens e culturas de má cobertura.

Estudos recentes apresentam as erosões lineares (*gullies*) como uma importante fonte de sedimentos para o meio ambiente e como canais efetivos de transferência do escoamento superficial e de sedimentos das terras altas para os vales baixos. Dados coletados em diferentes partes do mundo mostram que as taxas de perda de solo por erosões lineares avançadas ($SL_{gully} = gully\ soil\ lost$) representam um mínimo de 10% até 94% do total de produção de sedimentos causados pela erosão hídrica. (Poesen et al., 2002).

2.2. Mapeamento geológico-geotécnico

A Geotecnia tem ganhado cada vez mais espaço e importância no cenário atual, onde a preocupação com os possíveis impactos ambientais é maior.

É possível considerar que a Geotecnia é uma ciência que une conhecimentos da Engenharia Civil com os da Geologia uma vez que estudos geotécnicos podem realizar levantamentos dos aspectos do meio físico de uma região (dentro de um contexto geológico) promovendo análises a respeito do uso e ocupação urbana e, auxiliando projetos de construções e manutenções aplicados à Engenharia Civil. Dessa forma, será possível fazer planejamentos mais adequados tanto do uso e ocupação do solo quanto de

obras civis, e assim alguns impactos ambientais inerentes a estes usos serão previstos e conseqüentemente serão propostas soluções para os impactos já ocorridos ou mitigação dos possíveis impactos futuros.

São inúmeras as maneiras de se apresentar um mapa geotécnico. Maciel Filho (1994, p. 123) apresenta uma definição para mapa geotécnico dada pela UNESCO em 1976: “é um tipo de mapa geológico que fornece uma representação geral de todos aqueles componentes de um ambiente geológico de significância para o planejamento do solo e para projetos, construções e manutenções [...]”. Alguns exemplos de cartas geológico-geotécnicas são as cartas de aptidões, de recomendações de uso do solo, de riscos, de jazidas de materiais de construção, de áreas sujeitas à escorregamentos, de fundações e de geologia ambiental. A escala destes tipos de mapas vai depender do objetivo do estudo.

De uma maneira geral, pode-se considerar que a carta geotécnica é uma representação dos aspectos geológicos aliados aos problemas ambientais ocasionados em uma determinada área pelo uso e ocupação do solo, e que possibilita a orientação de medidas mitigadoras que diminuirão os impactos gerados e seus conseqüentes riscos à população e aos empreendimentos (Prandini et al., 1995 *in* Pejon e Zuquette, 2004).

Cartas geológico-geotécnicas como a de suscetibilidade à erosão e a de uso e ocupação do solo são de extrema importância e têm sido utilizadas por inúmeros autores para apresentar tanto os riscos decorrentes de fenômenos erosivos que uma população está sujeita quanto para planejar a ocupação territorial de uma região. A partir de cartas com essas representações será possível equilibrar o uso do solo com o meio-ambiente, e conseqüentemente, possibilitar uma urbanização sustentável e mais segura para a população.

2.3. Sensoriamento Remoto

Os objetos presentes na superfície terrestre emitem e refletem energia eletromagnética. Baseado nessa teoria surgiu o Sensoriamento Remoto, o qual consiste em uma série de meios e tecnologias para a obtenção de informações dos objetos presentes na Terra sem que haja contato direto com eles. Essas informações são obtidas através da análise, detecção e interpretação dos dados referentes à radiação eletromagnética captada de um objeto (Moraes, 2002). O Sensoriamento Remoto é uma ferramenta indispensável nos estudos relacionados ao meio ambiente, uma vez que permite a coleta de um maior número de dados e a relação entre esses dados em diferentes escalas e datas. O grau de precisão dos dados obtidos depende do equipamento utilizado, assim como o custo para se obter as informações desejadas. Cada objeto tem sua propriedade intrínseca específica (físico-químicas, biológicas) e, portanto, são diferenciados pelos sensores remotos devido às diferentes energias que cada objeto reflete.

Moraes (2002) discorre que os sensores remotos podem ser classificados como imageadores ou não-imageadores. Os primeiros captam as informações e as transformam em imagens, como as fotografias aéreas, e os não-imageadores, também chamados de radiômetros ou espectroradiômetros, apresentam as informações em forma de gráficos ou dígitos. Além disso, os sensores podem ser considerados passivos ou ativos. Os passivos, não possuem sua própria fonte de energia eletromagnética, como os satélites Landsat 5, já os sensores ativos possuem, e como exemplo destes tem-se os radares e das câmeras fotográficas com *flash*. As principais fontes de energia naturais eletromagnéticas utilizadas no Sensoriamento Remoto da superfície terrestre são o Sol e a Terra.

Os equipamentos mais utilizados para o Sensoriamento Remoto são a câmera fotográfica, os satélites e os radares.

2.4. Fotografias aéreas

Os primeiros equipamentos utilizados de Sensoriamento Remoto foram as câmeras fotográficas (Moraes, 2002).

Marchetti e Garcia (1977) definem a fotogrametria como a ciência de “se obterem medidas dignas de confiança por meio de fotografias”. As fotografias podem não ser um mapa, porém, muito mais informações podem ser observadas nelas em comparação a uma mesma área observada em um mapa. Mudanças na tonalidade e no relevo permitem ao fotointérprete coletar mais facilmente e em maior quantidade informações referentes aos solos e às rochas de uma determinada área de estudo. Podem ser observados ainda os canais de drenagem e como estes estão dispostos na área, afloramentos rochosos, falhas e fraturas.

A fotointerpretação é definida por Marchetti e Garcia (1977) como “a arte de examinar as imagens dos objetos nas fotografias e de deduzir a sua significação”. A fotogrametria deve sempre estar associada à fotointerpretação. Além disso, a fotointerpretação auxilia muito os trabalhos em campo, no entanto, não chega a substituí-los. Os trabalhos em campo são otimizados pela análise prévia ou posterior de fotografias aéreas. Por exemplo, o planejamento do roteiro a ser seguido no campo pode ser traçado com base nos pontos de interesse observados nas fotos e a avaliação das dificuldades que poderão aparecer durante a execução da pesquisa podem ser evitadas determinando-se um caminho alternativo a ser seguido no campo com base nas observações das fotografias. Na área da Engenharia, a análise dos melhores traçados de uma estrada, por exemplo, pode ser associada à interpretação das fotos aéreas, uma vez que é possível se determinar áreas que devem ser evitadas devido à uma baixa

capacidade de suporte do solo, ou áreas onde cortes profundos deverão ser feitos, devido à presença de rochas.

A fotografia aérea tem grande utilidade na elaboração de mapas planialtimétricos. Isso porque a fotogrametria permite, através de um par de fotografias aéreas e um estereoscópico, a visão em 3ª dimensão da região e a delimitação das curvas de nível.

Vale ressaltar que o uso de fotos aéreas é um método barato e que apresenta bons resultados nas investigações de superfície. As posições e elevações observáveis através das fotos aéreas são de razoável precisão. Pode-se obter um ponto com um erro menor que 1 metro, dependendo da escala.

Por fim, segundo Marchetti e Garcia (1977) a leitura fotográfica é um assunto para determinações gerais, tais como escala, orientação geográfica, estação do ano, identificação das linhas correspondentes ao perímetro, estradas de rodagem, estradas de ferro, importantes cursos d'água e classificação das principais formas topográficas. E com o auxílio da fotointerpretação, uma análise mais detalhada será feita dessas determinações prévias.

A utilização de fotografias aéreas é essencial em inúmeros trabalhos. Ferreira (2008) realizou um inventário de feições erosivas com base na obtenção dos registros das feições a partir de fotografias aéreas alegando que, imagens de sensoriamento remoto antigas apresentam resoluções mais baixas, e as modernas de melhor resolução, apresentam custo elevado.

Gomes (2002) também destaca o uso de fotografias aéreas como sendo eficaz e de baixo custo na obtenção de informações preliminares do meio físico. A mesma autora em seu trabalho realizou, a partir de fotos aéreas, delimitações preliminares de

unidades terrenos, dos tipos de materiais inconsolidados e do substrato rochoso, além de levantar informações gerais relacionadas às atividades antrópicas.

Collares et al. (2008), realizou uma análise estatística de alterações na rede drenagem de microbacias hidrográficas tendo como base a fotointerpretação. Em seu trabalho foram analisados pares estereoscópicos de fotografias aéreas com o intuito de se traçar as redes de drenagem em diferentes anos.

Tipos de fotos aéreas:

As fotografias aéreas podem ser de dois tipos: verticais ou oblíquas. Nas verticais, o eixo ótico da câmera é colocado na posição vertical (ou praticamente vertical), já nas oblíquas, certa inclinação proposital é tomada em relação à vertical. Dentre as fotografias oblíquas pode-se ter o eixo ótico com um grande desvio (incluindo a linha do horizonte aparente) ou com um pequeno desvio em relação à vertical (não incluindo a linha do horizonte aparente). A primeira é chamada de fotografia aérea oblíqua alta e a segunda de oblíqua baixa. Dessa forma, os termos “alta” ou “baixa” não se dizem respeito à altura de vôo e sim à inclinação do eixo ótico em relação à vertical.

As fotografias oblíquas são de mais fácil entendimento, porém, apresentam dificuldades matemáticas no cálculo da escala.

Distorção:

Ao se tratar das deformações dos objetos fotografados devem-se levar em consideração alguns fatos importantes, dentre eles podem ser citados: as diferenças de relevo da superfície da terrestre, os movimentos dos aviões causados por ventos que geram variações laterais e nas altitudes do vôo, a presença de nuvens e a refração atmosférica.

Como dificilmente um avião conseguirá manter uma mesma altitude o tempo todo de vôo para a retirada das fotografias, a escala das fotos pode variar. Terrenos com maiores elevações aproximam objetos, ocasionando um aumento de escala dos mesmos.

Além disso, a partir do centro ótico das imagens retiradas verticalmente, há um deslocamento radial dos objetos. Assim, quanto mais afastado um objeto do centro ótico da foto, maior será seu deslocamento radial, e portanto, maior será a distorção desse objeto.

2.4.1. Processamento Digital de Fotografias Aéreas - Ortorectificação

Kasser e Palidori (2002) discorrem que por um longo período de tempo buscou-se desenvolver técnicas com o objetivo de minimizar ou controlar as distorções das fotografias a fim de tornar estas imagens comparáveis metricamente aos mapas. Devido a essas distorções, como as diferenças no relevo, a escala das mesmas não é contínua de tal forma a não poderem ser apenas georreferenciadas ou sobrepostas aos mapas sem que sejam feitas algumas correções antes.

Atualmente, com o avanço tecnológico de *hardwares* e *softwares* bem como da redução de custo dos mesmos, a união de programas computacionais com a cartografia tem sido cada vez mais utilizada, e dessa forma, com a aplicação de sensoriamento remoto e geoprocessamento, é possível a geração de fotografias aéreas com maior precisão, o que proporciona maior confiabilidade dos dados obtidos a partir das mesmas.

Segundo Araujo (2008), “A ortorectificação, ou ortocorreção, tem por finalidade, a correção das distorções fotográficas ocorridas pelo relevo, fazendo com que uma imagem fotográfica, que apresenta uma projeção cônica, apresente uma projeção ortogonal [...]”. Dessa forma, torna-se possível a continuidade da escala da imagem

fotográfica em toda sua extensão, e esta passa a ser denominada ortofoto, ou imagem ortorretificada após a aplicação do processo.

Tommaselli (2002) *apud* Pons e Pejon (2007) define ortorretificação como o processo de retificação que proporciona a correção e remoção dos efeitos da inclinação, deriva, variações de altitude da câmera aérea e dos deslocamentos devido ao relevo.

Okida et al. (2003) diz que a ortorretificação “[...] é baseada em uma fundamentação matemática e geométrica, que reflete a realidade física da geometria de visada do sensor”. E esta fundamentação considera as distorções que ocorrem na imagem.

Araujo (2008) ressalta que para a realização do processo de ortorretificação de fotografias aéreas necessita-se de alguns parâmetros da câmera, obtidos pelo certificado de calibração da câmera fotográfica utilizada durante o voo. Este certificado é fornecido pela própria empresa que realizou o voo. Além disso, é indispensável a coleta de pontos de controle através da visita em campo da área abrangida pela fotografia, com o auxílio de um GPS (*Global Position System*) de precisão cartográfica. Em seguida, com o auxílio de um programa de computador, é feito o Modelo Digital do Terreno, e a partir do mesmo, também através de uma ferramenta computacional, é feita a ortorretificação da imagem.

Os níveis de precisão da imagem ortorretificada dependem da qualidade da imagem digital, da precisão dos pontos de controle e das ferramentas computacionais utilizadas. Vale ressaltar que o grau de precisão sempre varia diretamente com o custo desejado.

Pons e Pejon (2007) concluíram em seu trabalho que as ortofotos geradas foram satisfatórias na análise de degradações ambientais do município de São Carlos uma vez que a precisão cartográfica atendeu ao nível de detalhamento almejado.

2.5. Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Segundo McCormac (2007) é difícil definir exatamente um Sistema de Informação Geográfica (SIG) já que ele é “muito abrangente, complexo e de tecnologia rapidamente em alteração”.

No entanto, o ESRI (2009) define SIG (em inglês GIS – Geographic Information System) como um sistema que integra *hardware*, *software*, e dados para capturar, manipular, analisar e apresentar todas as formas de informação geometricamente referenciadas. O SIG permite ver, entender, questionar, interpretar e analisar dados de diferentes maneiras inovando o relacionamento, o *design* e as tendências dos mapas, gráficos e informações.

O SIG não é apenas uma ferramenta computacional que permite através de inúmeras funções a observação de um mapa na tela do computador, mas também um sistema de apoio à tomada de decisões, resolução de problemas complexos e de gerenciamento de informações. Com o desenvolvimento do SIG tornou-se possível a manipulação de dados volumosos com maior confiabilidade e rapidez, e com os processadores mais desenvolvidos atualmente, análises que antes seriam impossíveis de serem realizadas agora podem ser conseguidas. (Celestino e Diniz, 1998).

Para a utilização de um SIG é inevitável, obviamente, a aquisição de um *software*. Os programas de computador mais utilizados atualmente no Brasil são o Arcview, ENVI, SPRING, IDRISI e o MapInfo. O programa AutoCAD Map não consiste em um SIG porém também é largamente utilizado como ferramenta de auxílio nos trabalhos de mapeamento que utilizam SIG principalmente na vetorização de objetos.

2.6. Planejamento e Gestão Ambiental

O planejamento no sentido de organização do uso e ocupação de um solo ou território existe desde épocas mais remotas como nas comunidades indígenas, no feudalismo, nas comunidades barrocas e etc. De fato, a organização do espaço é indispensável em várias escalas e níveis de uso e ocupação de qualquer área. A questão crucial que torna o tema planejamento tão abrangente e discutido é obviamente o objetivo desejado pelo planejador, ou seja, a finalidade para qual um planejador está organizando um espaço.

No caso do planejamento ambiental, a meta ou objetivo é principalmente a minimização, mitigação ou até mesmo a extinção dos impactos ambientais, ou mais precisamente, possibilitar que o uso e ocupação de um território sejam realizados sem que ele seja prejudicial para o meio ambiente.

Vale salientar que ao se ter como objetivo a minimização de impactos ao meio ambiente, é necessário cautela quanto a qualidade ambiental desejada uma vez que este é um parâmetro mutável no decorrer dos anos, ou até mesmo, em diferentes culturas e contextos sociais. Assim, um mesmo “objetivo ambiental” pode mudar e conseqüentemente, o planejamento ambiental previamente realizado deverá ser reavaliado.

Santos (2004) utiliza como sinônimo para planejamento a expressão ordenamento do espaço e apesar de afirmar que “ainda não existe [...] uma definição precisa do termo planejamento ambiental” o apresenta como sendo “o estudo que visa à adequação do uso, controle e proteção ao meio ambiente além de atendimento das aspirações sociais e governamentais expressas ou não em uma política ambiental”.

Petak (1980) compara duas abordagens de planejamento: uma chamada por ele de tecnológica e a outra de ecológica. A primeira é apresentada focando na realização de

um planejamento ambiental baseado principalmente em diretrizes com o melhor custo-benefício para se alcançar o objetivo pré-estipulado. Já a segunda tenta buscar a restauração e a manutenção da integridade física, química, e biológica do meio ambiente sem levar em conta os custos. Ambas apresentam falhas e pontos positivos e o que o autor propõe é a união das concepções dessas abordagens, ou seja, um planejamento que leve em conta a interdependência entre os diferentes sistemas do meio ambiente (ecológica), mas que seja exequível (tecnológica) a curto e longo prazo.

Ainda há controvérsias a respeito da distinção entre planejamento e gestão ambientais. Porém, Santos (2004) apresenta como proposta que a gestão ambiental seja a integração entre planejamento, gerenciamento e política ambiental. Assim pode-se entender que planejamento e gestão apesar de serem dois conceitos distintos, podem ser vistos como atrelados um ao outro, e que ainda, para fase de gestão ambiental é necessário a realização da fase de planejamento.

3. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

O município de São Pedro está localizado na porção central do Estado de São Paulo (Figura 1), a 190 quilômetros da capital, entre as coordenadas UTM 194000/199000m E e 7507000/7491000m N, Zona 23 Sul (Datum Córrego Alegre). A região de estudo abrange uma área deste município, com aproximadamente 7 km², compreendida entre as coordenadas UTM 196000/200000m E e 7501000/7496000m e correspondente a união de outras duas áreas de sub-bacias hidrográficas: a do Córrego Água dos Alpes e do Córrego do Retiro.

A rodovia Anhaguera (SP 330) e a rodovia Castelo Branco (SP 280) consistem nas principais vias de acesso ao município de São Pedro.

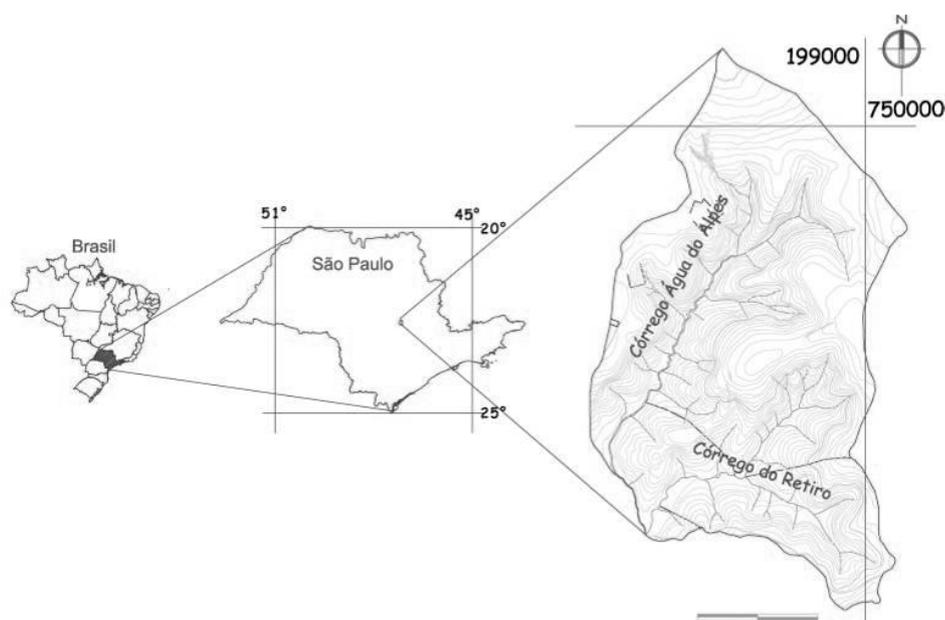


Figura 1: Localização da área de estudo.

A área na qual o município de São Pedro está inserido é naturalmente susceptível à ocorrência de processos erosivos lineares do tipo sulcos, ravinas e boçorocas. O número de estudos que já foram realizados na região é vasto podendo ser citados os dos autores Gomes (2002), da Silva (2003) e Ferreira (2004).

A topografia da área apresenta declividade, em sua maior parte, de 10 – 15%. Nos arredores das cabeceiras de drenagem, essa declividade chega a 20% (Figura 2).

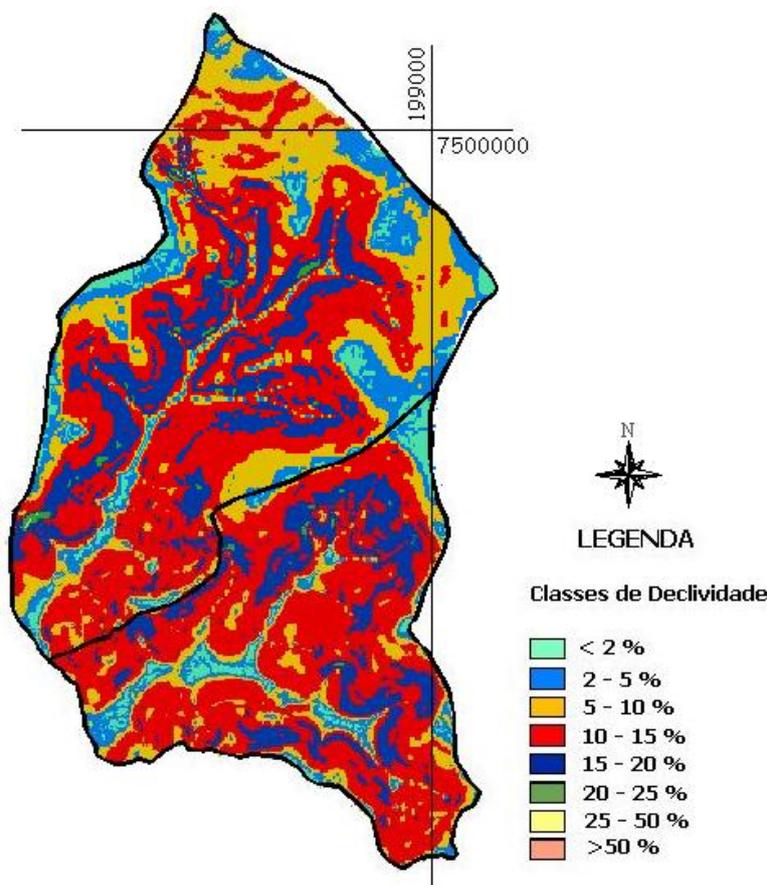


Figura 2: Carta de Declividades.

Fonte: Adaptado de Gomes (2002).

A divisão geomorfológica na qual a área de estudo está inserida é a Depressão Periférica Paulista, nos arredores das cuestas basálticas apresentando um relevo suave. O substrato rochoso presente é formado por arenitos de granulação média a fina relativos a Formação Pirambóia (Tr-J) (Ferreira e Pejon, 2004). Segundo IPT (1981), a Formação Pirambóia caracteriza-se como “depósitos fluviais e de planície de inundação incluindo arenitos finos a médios, siltico argiloso, de estratificação cruzada ou plano-paralela; níveis de folhelhos e arenitos argilosos de cores variadas e raras intercalações de natureza areno-conglomerática”. A figura 3 apresenta o mapa de materiais inconsolidados da área.

Mapa de Materiais Inconsolidados

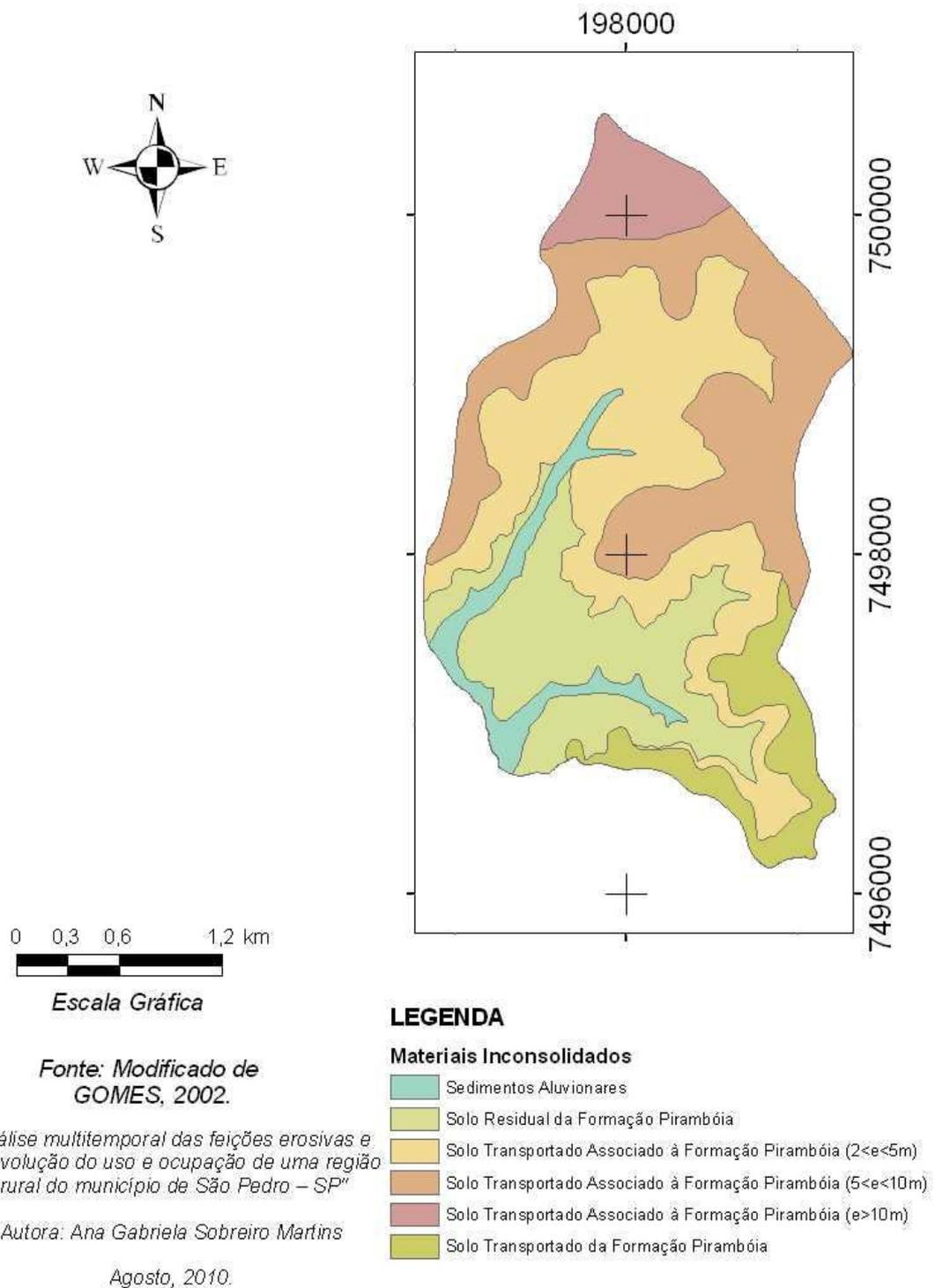


Figura 3: Mapa de Materiais Inconsolidados.

Fonte: Adaptado de Gomes (2002).

Da Silva (2003) caracterizou o clima da região como subtropical úmido (mesotérmico), ou seja, quente e úmido, mas com inverno seco. O índice pluviométrico é de 1175,5 mm/ano e as temperaturas máximas e mínimas são de 32°C e 12°C respectivamente (Prefeitura de São Pedro, 2010).

As principais feições do terreno, ou Landforms, observadas na área foram divididas em quatro unidades por Gomes (2002) (figura 4). A mesma autora caracterizou as unidades da seguinte maneira:

- C2: Formada por colinas amplas de topos aplainados e suavemente ondulados, vertentes com perfis retilíneos a convexos, e declividade baixa. Unidade caracterizada por apresentar baixa densidade de canais de drenagem.
- C3: Similar a unidade C2, unidade formada por colinas amplas de topos aplainados, vertentes com perfis retilíneos, declividade muito baixa, cujos canais de drenagem são praticamente ausentes. Caracteriza-se, sobretudo, pela espessura de material inconsolidado, superior a dez metros.
- C5: Unidade de vales fechados com encostas retilíneas e convexas associada às planícies aluviais.
- C6: Unidade formada por morrotes com vertentes convexas de topos arredondados a angulosos, e declividade de relevo moderada. Os canais de drenagem apresentam uma disposição geométrica bastante interessante sob o ponto de vista estrutural, que é sua tropia ordenada. Outro aspecto importante é a configuração em anfiteatros na unidade superior das escarpas.

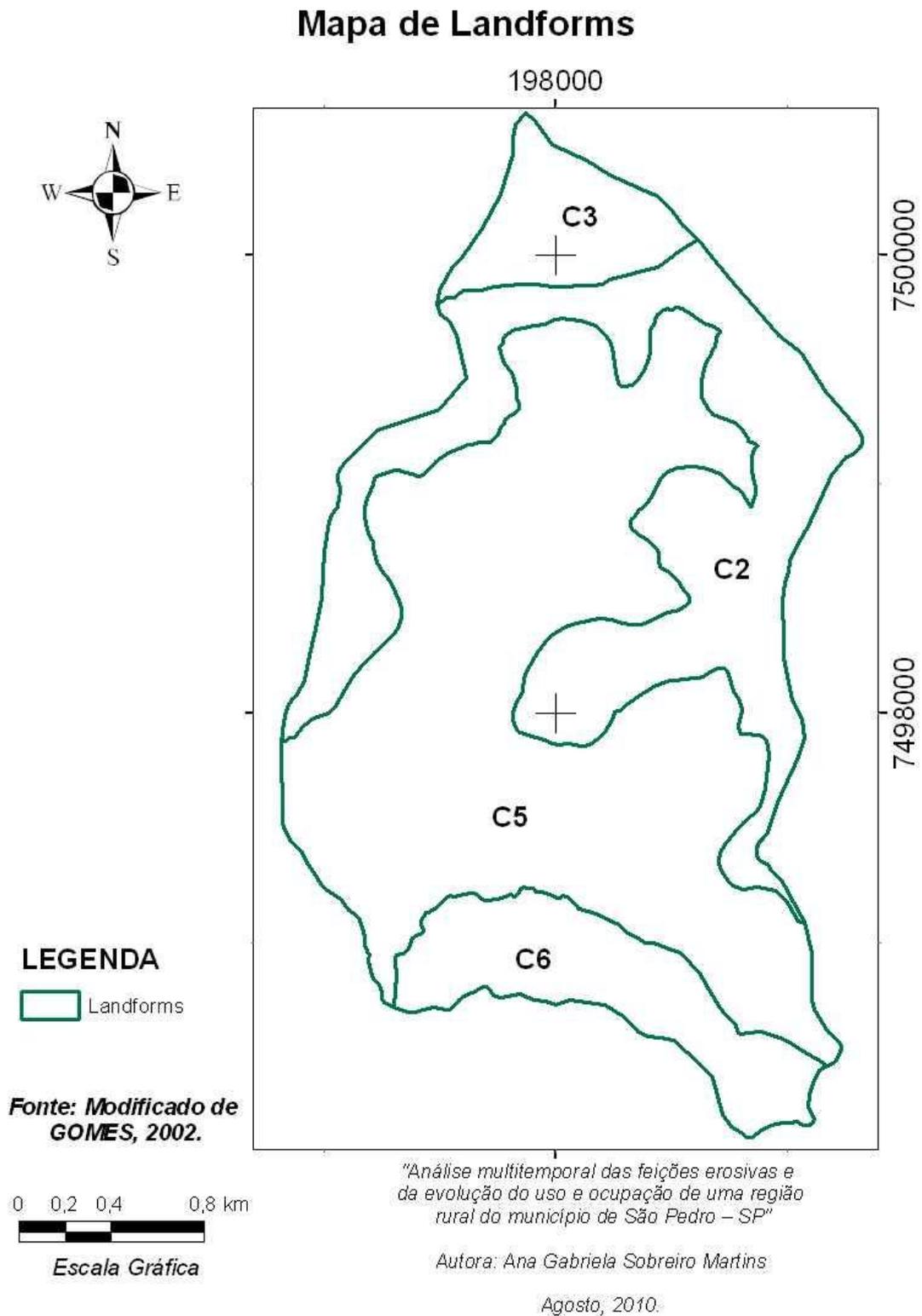


Figura 4: Mapa de Landforms.
Fonte: Adaptado de Gomes (2002).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foi realizada uma visita à campo para reconhecimento geral da área. Foram verificadas as vias de acesso e confirmadas a existência de feições erosivas principalmente lineares (Figuras 6 e 7) previamente observadas no programa *Google Earth* (imagens de 2007). Tentativas de contenção de erosões por meio da utilização de pneus (Figura 8) e utilização de técnicas de terraceamento (Figura 9) chamaram a atenção.



Figura 5: Sulco observado em visita à campo.



Figura 6: Ravina em estágio avançado observada em visita à campo.



Figura 7: Tentativa de contenção com a utilização de pneus.



Figura 8: Tentativa de contenção por meio da técnica do terraceamento.

Em seguida, deu-se início ao processo de fotointerpretação das fotografias aéreas.

O inventário das feições erosivas foi realizado para os anos de 1962, 1972, 1995, 2000 e 2005, tendo como base o processo de fotointerpretação das fotografias aéreas. Para tanto, foram selecionados os pares estereoscópios de cada ano e por meio de um estereoscópio de espelhos (marca WildHeerbrug com zoom de 15,5 wild aviopret apt1) delimitou-se em *overlay* transparente (folha de acetato) as erosões.

Posteriormente, as fotografias aéreas e seus respectivos overlays foram escaneados em escâner modelo ScanMaker 9800XL (Microtek) na resolução de 1200 dpi (*dots per inch*) dando início ao processo de digitalização.

As imagens (em formato tiff) dos anos de 1962, 1972 e 1995 foram então georreferenciadas no programa AutoCAD Map, e as imagens de 2000, 2005 e novamente a de 1995, foram ortorretificadas no programa ENVI.

Uma segunda visita à campo foi realizada para aferição das informações observadas nas fotografias aéreas com o intuito de auxiliar o processo de fotointerpretação. Uma dúvida que surgiu durante o processo de interpretação das fotos foi referente à identificação de alguns canais de drenagem. Ao se verificar os sulcos em campo, foi

observada a presença de água em seu interior, o que indica que tais feições eram canais de drenagem (Figura 10).



Figura 9: Sulcos apresentando escoamento superficial de água.

Também foram cadastradas algumas feições erosivas como as apresentadas nas figuras 11,12 e 13.



Figura 10: Boçoroca com medida paleativa de contenção.



Figura 11: Boçoroca localizada na parte norte da área.



Figura 12: Boçoroca localizada na parte norte da área.

Posteriormente, realizaram-se mais duas visitas a campo que contaram com a utilização do GPS (vide figura 14) de alta precisão (modelo GPR – G²) para coleta de pontos de controle mais precisos, os quais foram necessários no processo de ortorretificação das fotos aéreas.

O equipamento consta de duas antenas: uma que é utilizada como base, a qual durante o procedimento fica estática, e outra para a coleta dos dados desejados, e, portanto, é móvel. Para a manipulação do GPS é utilizado um coletor, que nada mais é que um equipamento computacional de mão responsável pela comunicação entre o usuário e o GPS.

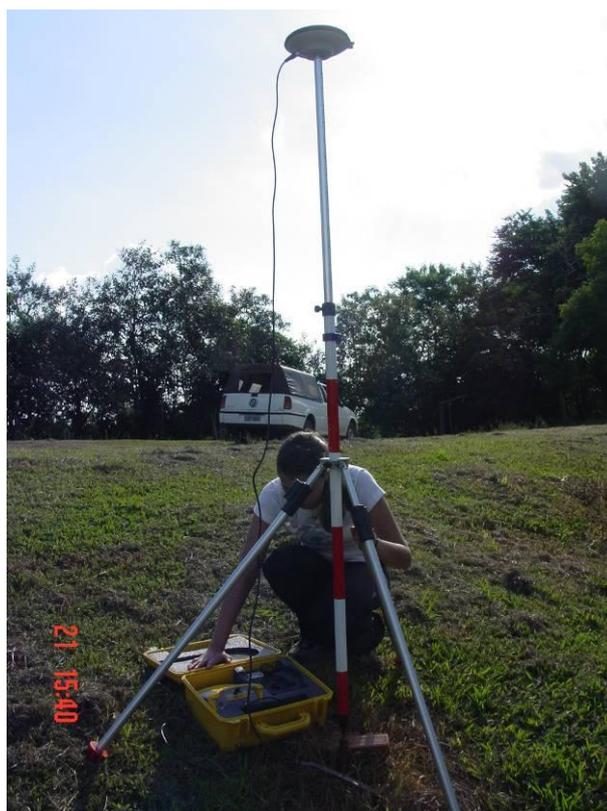


Figura 13: Base de implantação do GPS de precisão.

O procedimento de utilização deste GPS iniciou-se com a montagem da base. Como não havia um marco já determinado na área de estudo, foi necessário criá-lo, em um ponto alto da área. Na primeira utilização de tal base, foi preciso que o equipamento ficasse ligado por pelo menos quatro horas, a fim de que os satélites, para triangulação das coordenadas, fossem localizados de maneira correta.

Com a base já instalada iniciou-se a coleta dos dados com a antena móvel. Para cada ponto a ser coletado estipulou-se a duração que o equipamento levaria para coletar os

pontos. Quanto maior esta duração, mais precisas serão as coordenadas capturadas. No presente trabalho, a duração utilizada foi de 1200 segundos.

Após a coleta dos pontos, foram descarregados os arquivos armazenados na base. Para tanto, utilizou-se o programa *Novatel*, fornecido juntamente com o equipamento. Em seguida, fez-se o descarregamento dos dados armazenados no coletor, no mesmo programa. Ressalta-se que é preciso registrar a Base e isso é realizado após o *download* de arquivos diretamente do *site* do IBGE de Bases já instaladas.

Posteriormente, os dados foram processados no programa *GTR Processor*, também fornecido juntamente com o equipamento, e através deste, os dados foram exportados com extensão apropriada para se importar no programa AutoCAD. Assim, após a coleta dos pontos de controle, iniciou-se o georreferenciamento e também a ortorretificação das imagens.

O processo de georreferenciamento no programa AutoCAD Map foi realizado por meio da ferramenta *RubberSheet* (Menu → Map → Tools → RubberSheet). Ressalta-se que antes de iniciar este processo, deve-se adicionar a projeção cartográfica que se está utilizando. Isto pode ser feito por meio da ferramenta *Assign Coordinate System* (Menu → Map → Tools → Assign Global Coordinate System → Select Coordinate System...) e em seguida, deve-se confirmar se a Projeção está correta em Menu → Tools → Track Coordinate System. Caso não esteja correta apenas, deve-se alterá-la clicando em . A Projeção utilizada na presente pesquisa foi a UTM, Datum Córrego Alegre e Zona 23 Sul.

Como as fotografias aéreas apresentam distorção radial, para os anos de 1972 e 1995 foi realizado o processo de mosaicagem, no programa *PhotoShop*, com o intuito de diminuir esta distorção, uma vez que a área de estudo encontrava-se em parte nas bordas das fotos.

Já no caso das fotos dos anos de 1995, 2000 e 2005, foi possível obter os dados de calibração das câmeras utilizadas nos vôos, e por isso realizou-se a ortorretificação apenas destes anos. Este procedimento foi realizado no programa ENVI.

Basicamente o processo de ortorretificação realizado por meio desta ferramenta computacional pode ser dividido em 4 etapas: Criação do MDT (ou DEM), Orientação Interna, Orientação Externa e Ortocorreção. O passo a passo deste procedimento foi detalhado por Araujo (2007), e na presente pesquisa seguiram-se as orientações fornecidas por este autor. O número total de pontos de controle utilizados para a realização da ortorretificação em cada uma das fotografias foi seis.

As fotos ortorretificadas foram importadas no programa ArcGIS, onde delimitou-se o Uso e ocupação do solo e as erosões (vide figuras 24, 25 e 26) para os três anos. Também foram importados os arquivos vetoriais referentes às curvas de nível, drenagem, ruas, estradas e bacia hidrográfica, previamente digitalizados com base nas cartas topográficas do IGC: São Pedro II, São Pedro III, Ribeirão do Meio e Águas de São Pedro I.

Por fim, foi realizada a tabulação cruzada das áreas das erosões com as áreas de cada unidade de cada um dos temas (Uso e ocupação, Landforms e Materiais inconsolidados). Este procedimento foi possível com a utilização da ferramenta *tabulate areas* do SIG ArcGIS.

Tendo as áreas de todos os anos de estudo em formato digital, foram analisadas e comparadas as mudanças no uso e ocupação do solo e na quantidade e evolução das erosões.

Um resumo da sequência de procedimentos adotados na presente monografia pode ser visualizado na figura 15.

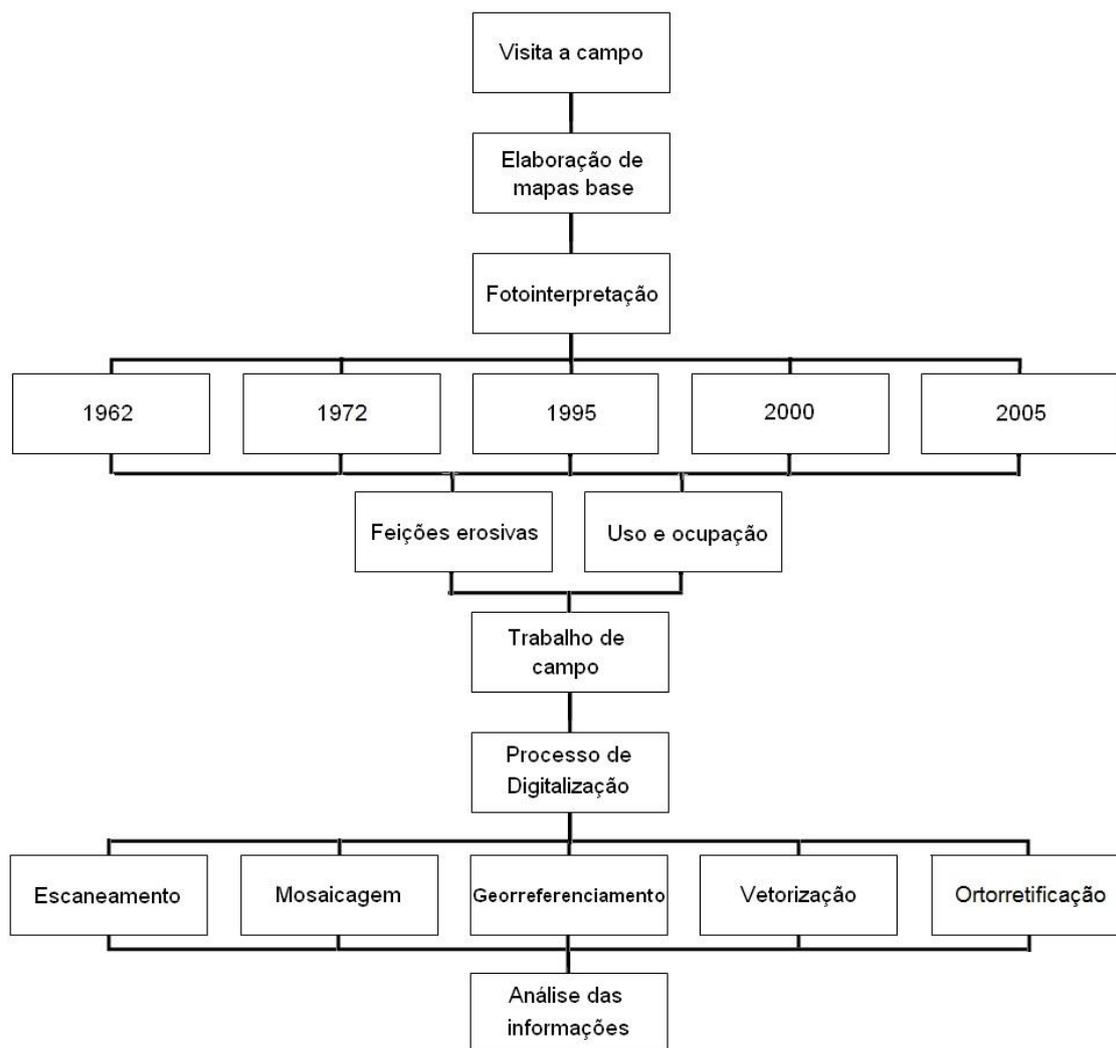


Figura 114: Procedimentos adotados na presente monografia.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Pontos de controle obtidos em visita à campo

As coordenadas dos pontos obtidos em campo por meio do GPS de precisão podem ser observados na tabela 1. Ressalta-se que foram coletados mais 2 pontos de duração de 20 minutos, no entanto, eles não conseguiram ser aproveitados, pois um deles apresentou erro (provavelmente porque no momento de coleta as nuvens possam ter afetado a captação dos sinais dos satélites), e o outro, não se conseguiu localizar exatamente na fotografia aérea. O ponto de Controle 12 de duração de 3 minutos, também apresentou erro, provavelmente pelo mesmo motivo que o ponto de 20 minutos.

Tabela 1: Dados dos pontos de controle obtidos em campo.

		X (m)	Y (m)	Z (m)
Pontos de duração de 20min	P piscina	198308	7500255	599
	P cerca	197347	7499436	561
	Pareia	197017	7497290	471
	P pantanal	197240	7496968	474
	P1	197872	7497938	555
	P piscina2	198523	7498374	564
Pontos de duração de 3min	Controle 1	197616	7500023	581
	Controle 2	197616	7500040	583
	Controle 3	196901	7498405	557
	Controle 4	196905	7498412	557
	Controle 5	198976	7498629	578
	Controle 6	197086	7498852	553
	Controle 7	197247	7499235	561
	Controle 8	197336	7499434	560
	Controle 9	197898	7500611	619
	Controle 10	198976	7498629	575
	Controle 11	197899	7497941	558
	Controle 13	197883	7497979	557
	Controle 14	199130	7496440	538
	Controle 15	198976	7498629	575

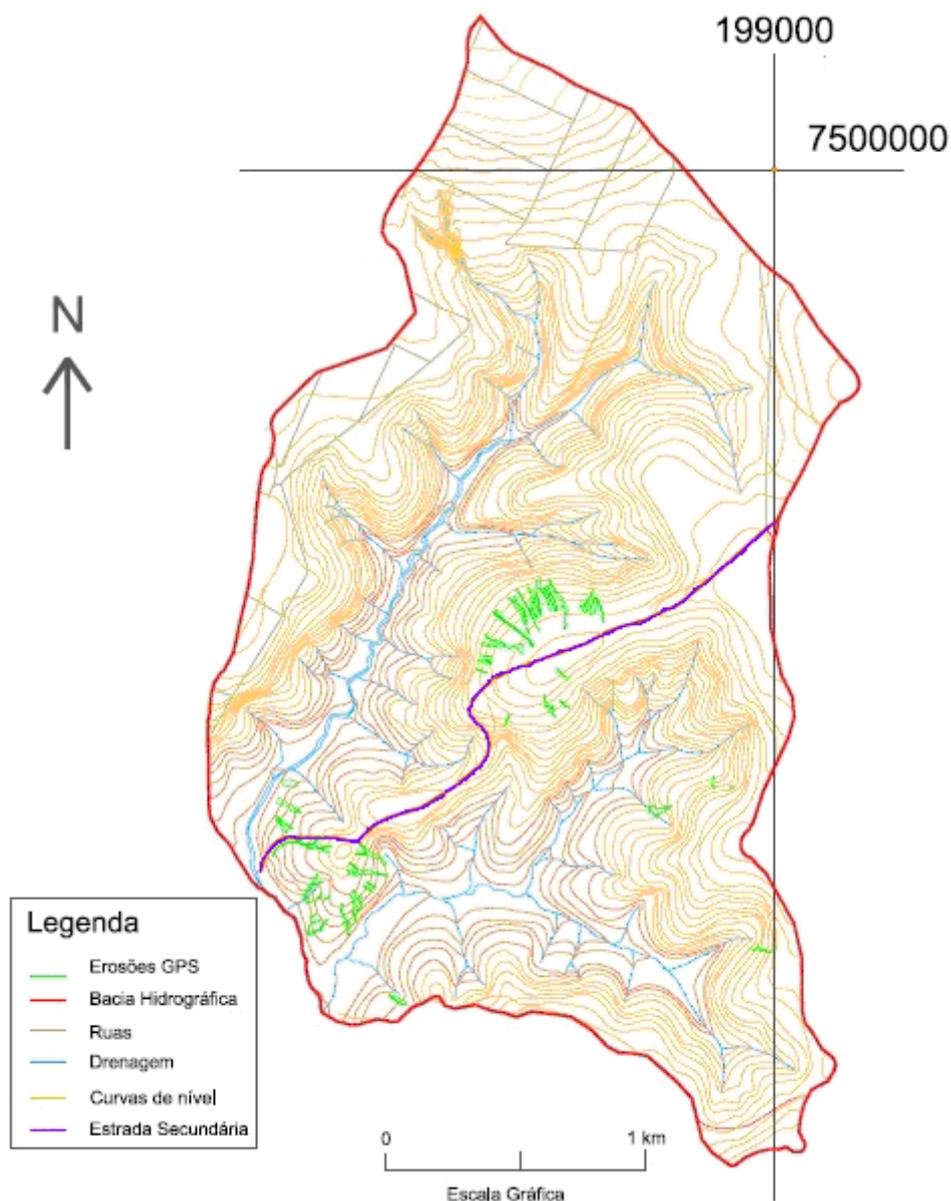


Figura 15: Erosões delimitadas com o GPS de precisão.

5.2. Levantamento das erosões

O levantamento das erosões para os anos de estudo foi realizado de duas maneiras distintas. Para os anos de 1962 e 1972 realizou-se apenas a fotointerpretação e georreferenciamento das fotografias aéreas o que possibilitou análises apenas qualitativas. Já para os anos de 1995, 2000 e 2005, foi realizada a ortorretificação das fotos, além da fotointerpretação. Assim, foram verificadas, de forma mais precisa, as erosões associadas ao uso e ocupação do solo, quantitativamente. Foi necessário

proceder desta maneira porque não se tinha os dados referentes à câmara dos anos de 1962 e 1972, como distância focal e marcas fiduciais, essenciais para a realização da confecção da ortofoto.

Nota-se que a foto de 1995 está presente tanto na análise qualitativa quanto na quantitativa, uma vez que foi realizado para ela tanto o georreferenciamento quanto a ortorretificação. Em decorrência disto, foi realizada uma breve comparação entre os resultados destes procedimentos no item 5.9.

Com o intuito de facilitar a comparação entre os anos e de diferenciar a partir de qual ano uma determinada feição surgiu, nomearam-se as mesmas da seguinte maneira: a primeira letra representa o ano (a letra A representa o ano de 1962, a letra B de 1972, a C de 1995, a D de 2000 e a E de 2005) e ao lado desta um número para identificação da feição.

A delimitação dos objetos de interesse nas fotografias aéreas baseou-se nos seguintes elementos básicos de leitura, ou fatores-guia, apresentados por Anderson (1982): tonalidade, forma, padrão, densidade, declividade, textura, sombra, posição e adjacências.

Já em relação à observação dos usos e ocupação foram utilizadas algumas das categorias apresentadas por Almeida & Freitas (1996). Dessa maneira, foi identificada a existência ou não das formas de uso e ocupação: cobertura vegetal natural, reflorestamento, campo antrópico/pastagem, áreas agrícolas, área urbana em consolidação. Para os anos de 1995 em diante, acrescentou-se as classes solo exposto e área rural.

Todas as feições erosivas encontradas na área classificam-se como erosões lineares e, portanto, elas foram separadas em sulcos, ravinas e boçorocas.

5.3. Análise Qualitativa para os anos de 1962, 1972 e 1995

Nas figuras 16, 17 e 18 pode-se observar as erosões que foram delimitadas nos 3 anos de estudo, bem como a rede de drenagens sobreposta à fotografia aérea da área de estudo. Nos itens seguintes, apresenta-se e discute-se os resultados referentes a cada um dos anos.

5.3.1. Ano de 1962

No ano de 1962, foi observado um total de 34 feições erosivas (A1 a A34) sendo que a maioria destas localizava-se nas cabeceiras de drenagens (Figura 16).

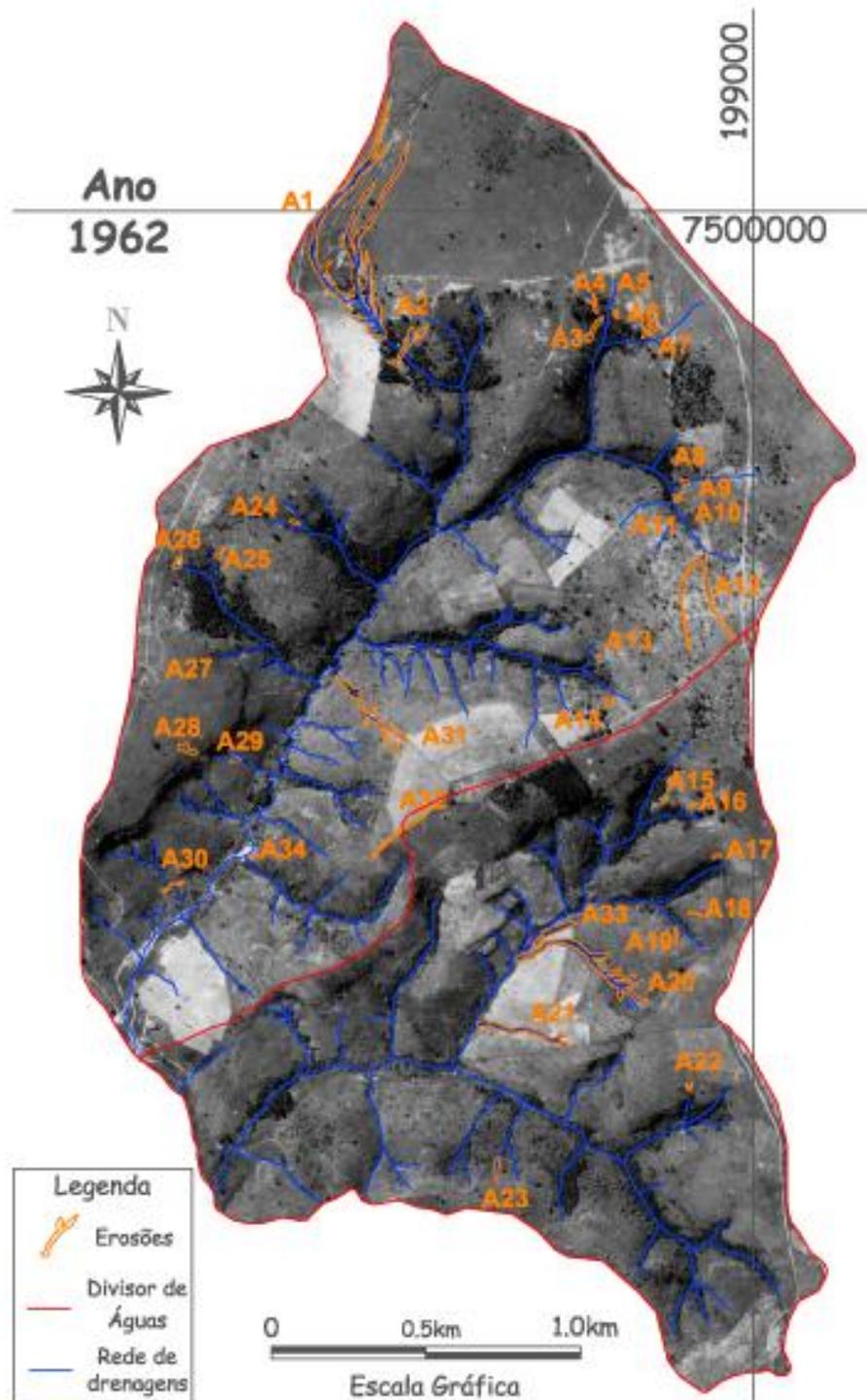


Figura 16: Feições erosivas no ano de 1962.

De maneira geral é possível concluir, que no ano de 1962 não havia nenhuma área urbana consolidada, e a maior parte da região dividia-se entre campos

antrópicos/pastagens e áreas agrícolas. Havia ainda cobertura vegetal natural e reflorestamento, porém, a primeira restringe-se aos arredores das drenagens.

A tabela 2 apresenta as erosões encontradas classificadas em sulcos, ravinas ou boçorocas.

Tabela 2: Classificação e quantificação das feições erosivas no ano de 1962.

Ano de 1962		
Classificação	Erosões	Quantidade
Sulcos	A18, A19, A22, A24, A26, A29, A30, A32,	8
Ravinas	A2 a A11, A15 a A17, *A20, *A21, A23, A25, *A27, A28, *A31, *A33, A34	22
Boçorocas	A1, A12	2
Total		32

A*: Erosões de drenagem.

Ressalta-se que todas as erosões de drenagem estão bem próximas à culturas agrícolas.

Não há registros de fotografias de anos anteriores a 1962 e portanto, não foi possível verificar ao certo o porque surgiram as erosões de 1962 inicialmente.

5.3.2. Ano de 1972

Em 1972, foram verificadas 22 novas erosões (B1 a B22). Porém, no total, a área apresentou 42 feições erosivas, quantidade maior do que em 1962, o que evidencia um progresso dos fenômenos erosivos (Figura 17).

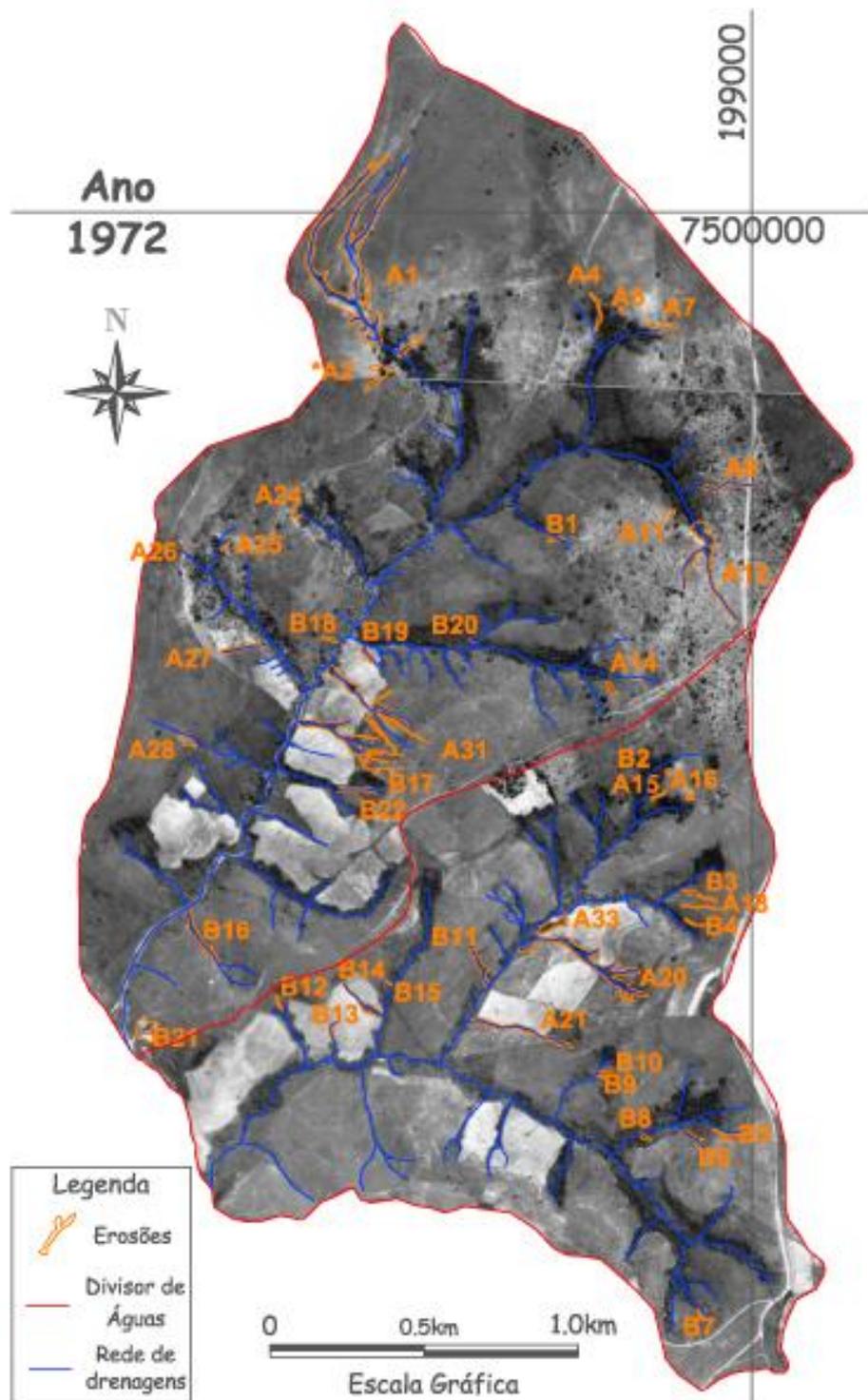


Figura 17: Feições erosivas no ano de 1972.

Neste mesmo ano também foi verificado um aumento na quantidade de culturas agrícolas, e um aumento na quantidade de caminhos e trilhas de gados. Uma nova estrada não pavimentada foi construída dividindo as duas sub-bacias hidrográficas.

Pouca alteração foi verificada em relação a vegetação de 1962. Ademais, não foi constatada início de urbanização.

A tabela 3 apresenta a quantificação das erosões verificadas no ano de 1972 e suas respectivas classificações.

Tabela 3: Classificação e quantificação das feições erosivas no ano de 1972.

Ano de 1972		
Classificação	Erosões	Quantidade
Sulcos	A7, A8, A11, A30, A32, B3, B4, B5, B12, B13, B14, B15, B20,	13
Ravinas	A2, A4, A5, A14, A15, A16, A18, *A20, A21, A24, A25, A27, A31 B1, B2, B6, B7, B8, B9, B10, *B11, B16, B17, B18, B19, B21, *B22	27
Boçorocas	A1, A12	2
Total		42

A*, B*: Erosões de drenagem.

5.3.3. Ano de 1995

O número de novas erosões verificadas no ano de 1995 foi dez, e no total, 34 feições erosivas. Este número revela uma diminuição do número dos processos erosivos em relação aos anos de 1962 e 1972. No entanto, as dez erosões que não foram mais verificadas neste ano encontram-se exatamente nas redondezas do loteamento de casas (urbanização em consolidação) que foi construído em 1995, fato este que indica que as erosões não regrediram naturalmente, e sim, sofreram tentativas de contenção por meio de aterramentos. Se tais erosões fossem contabilizadas no total de feições no ano de 1995 seriam 44 erosões, um número pouco maior que o de 1972 (Figura 18).

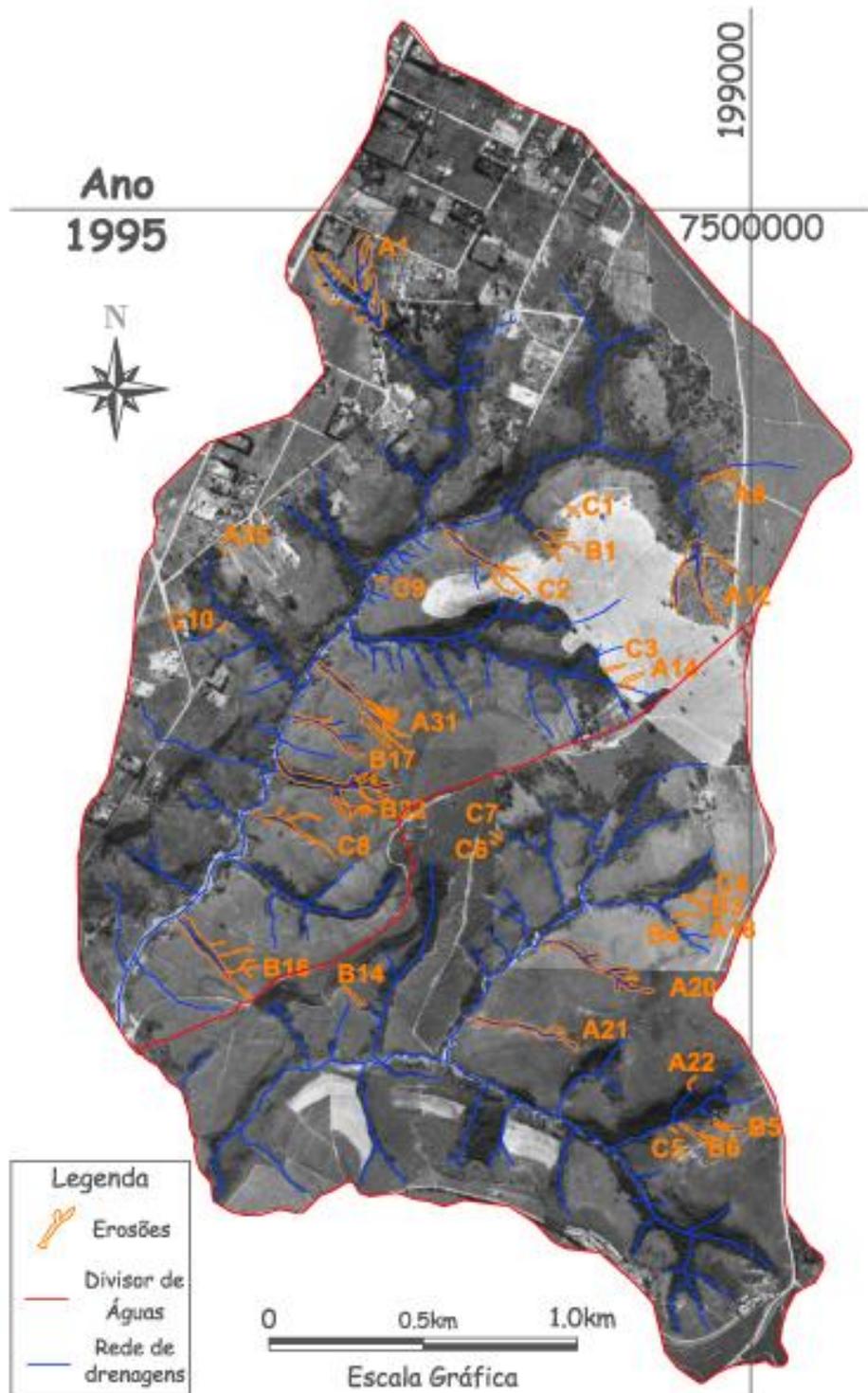


Figura 18: Feições erosivas no ano de 1995.

Além disso, verificou-se uma diminuição na quantidade de culturas agrícolas. Relacionado a este fato, é importante destacar que apenas na região centro-oeste da área

estudada, uma nova cultura agrícola foi observada, e nesse mesmo lugar 3 novas feições se formaram e a feição B1 evoluiu bastante.

A tabela 4 apresenta a quantificação das erosões verificadas no ano de 1995 e suas respectivas classificações.

Tabela 4: Quantificação e classificação das feições erosivas de 1995.

		Ano de 1995		
Classificação		Erosões		Quantidade
Sulcos	A13,	B3, B4, B5, B12	C1, C3, C4, C5, C11, C12, C13, C14, C15, C17	16
Ravinas	A8, A18, *A20, *A21, A25, A31	B6, B14, B16, *B17, B22,	C2, C6, C7, C8, C9, C10, C16	18
Boçorocas	A1, A12			2
			Total	36

A*, B*: Erosões de drenagem.

5.3.4. Comparação entre a evolução das erosões e os usos do solo

Após análise e comparação dos usos do solo e da evolução dos processos erosivos no decorrer dos 3 anos de estudo, foi possível verificar que atividades que envolvam o manejo de solo, sejam culturas agrícolas anuais, sejam pastos, aceleraram os processos erosivos. Isto pôde ser comprovado pela observação da bacia hidrográfica ao sul da área de estudo (Córrego do Meio), a qual de 1962 a 1972 apresentou nítidas alterações no manejo do solo e paralelamente, um aumento de cerca de 50% no número de erosões.

De fato, o manejo do solo por alterar o recobrimento tanto com a introdução de uma espécie vegetal não nativa quanto deixando o solo exposto, levam à alterações no escoamento superficial e subsuperficial das águas ocasionando maiores velocidades de escoamento e/ou maiores taxas de infiltração de água no solo, e conseqüentemente, aumentando a erosão.

Nas erosões próximas a chácaras ou ao loteamento ao norte da região estudada, observou-se tentativas de contenção por meio de aterramento das feições erosivas.

Outras formas de contenção observadas foram terraceamentos no ano de 1995, os quais contribuem com a diminuição da energia de escoamento superficial da água pelas encostas, e portanto, desacelerando processos erosivos.

Pouca alteração foi observada na área de vegetação natural no decorrer dos anos, no entanto a área ocupada continua restrita e localizada nas proximidades de drenagens e encostas íngremes.

5.3.5. Considerações a respeito do processo de Georreferenciamento das fotos aéreas dos anos de 1962, 1972 e 1995

O georreferenciamento das imagens foi realizado no programa *AutoCAD Map* 2009. Porém, ao sobrepor as curvas de nível vetorizadas das cartas topográficas às imagens das fotografias aéreas de cada ano (1962, 1972 e 1995), notou-se que o encaixe da rede de drenagens à topografia formada pelas curvas de nível não foi muito precisa, como pode ser observado nas figuras 19, 20 e 21. Devido a esta imprecisão obtida, o processo de georreferenciamento foi repetido inúmeras vezes alterando-se os pontos de controle que estavam sendo utilizados, e conseqüentemente, o processo tornou-se mais demorado do que o planejado.

Os pontos de controle que apresentaram melhor resultado foram aqueles escolhidos bem próximos da área de estudo.



Figura 19: Curvas de nível sobrepostas à fotografia aérea do ano de 1962.



Figura 20: Curvas de nível sobrepostas à fotografia aérea do ano de 1972.



Figura 21: Curvas de nível sobrepostas à fotografia aérea do ano de 1995.

Acredita-se que a causa desta imprecisão é decorrente da distorção radial das fotografias e da dificuldade em se encontrar pontos de controle com coordenadas conhecidas nas fotos aéreas principalmente de 1962 e 1972, uma vez que nestes períodos a área quase não apresentava nenhuma ocupação. De fato, apesar de para o ano de 1995 a sobreposição ainda não ter se mostrado exata, apresentou-se mais precisa do que nos anos anteriores.

5.4. Análise quantitativa das erosões para os anos de 1995, 2000 e 2005

Para os anos de 1995, 2000 e 2005 foi possível realizar a ortorretificação das fotos uma vez que apenas para tais anos conseguiu-se obter os dados da câmera de vôo utilizados para a confecção das fotos aéreas, como as marcas fiduciais e a distância focal. As imagens obtidas pós ortorretificação foram discutidas e apresentadas no item 5.8.

Os resultados em forma de tabelas podem ser observados nos itens que se seguem. Estes foram divididos por anos e pelas classes utilizadas na análise. Pode-se notar que há classes de Uso e ocupação, Materiais Inconsolidados e Landforms que não constam nas tabelas. Isto é devido ao fato de não haver processos erosivos dentro destas.

Ressalta-se que as colunas “ $C_{Boçoroca}$ ” e “ C_{Ravina} ” correspondem a área das erosões existentes em uma certa unidade, divididas pela área desta unidade. Por exemplo:

$$C_{Boçoroca} = \frac{\text{Área da Boçoroca}}{\text{Área da unidade}} \times 100$$

Este cálculo foi realizado com o intuito de diminuir possíveis erros de interpretações dos resultados, uma vez que não necessariamente um maior valor em área de feições erosivas em uma dada unidade significa prontamente que tal unidade tem a tendência maior em sofrer processos erosivos. De fato, uma unidade que apresente maior área, terá maior probabilidade de apresentar uma quantidade também em área de erosões. Dessa

maneira, ao dividirem-se cada área de feições erosivas pela área total de uma unidade, obtém-se a concentração das erosões e assim, os resultados serão mais consistentes.

Para a realização da Tabulação cruzada das erosões com cada um dos tipos de unidades analisados, primeiramente, foram realizadas a estereoscopia e fotointerpretação das fotos aéreas de cada ano e, posteriormente, delimitou-se as feições em ambiente de SIG no programa ArcGIS. Os mapas elaborados podem ser observados nas figuras 22, 23 e 24 que se seguem.

Erosões Ano 1995

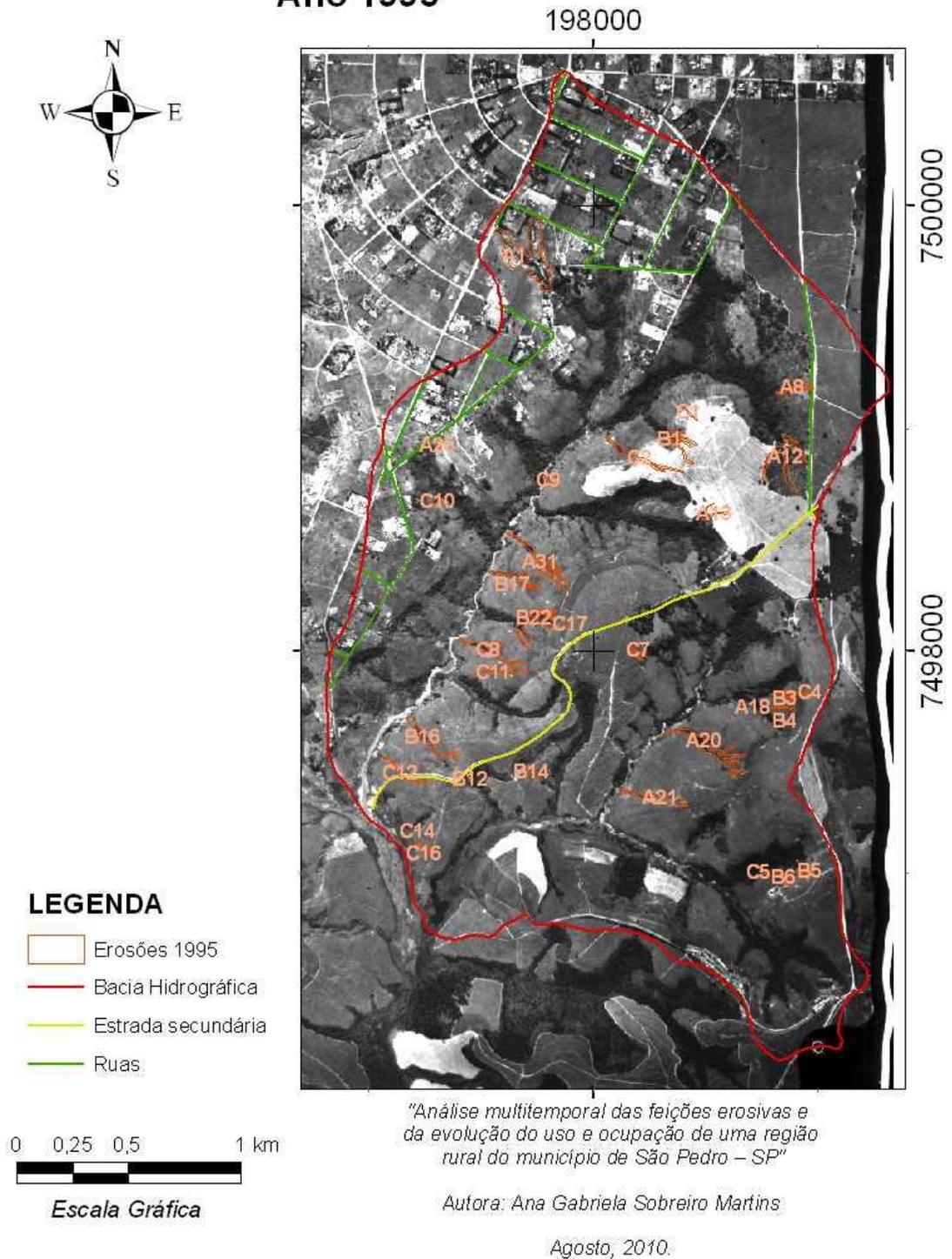


Figura 22: Foto aérea ortorretificada com as respectivas erosões para o ano de 1995.

Erosões Ano 2000

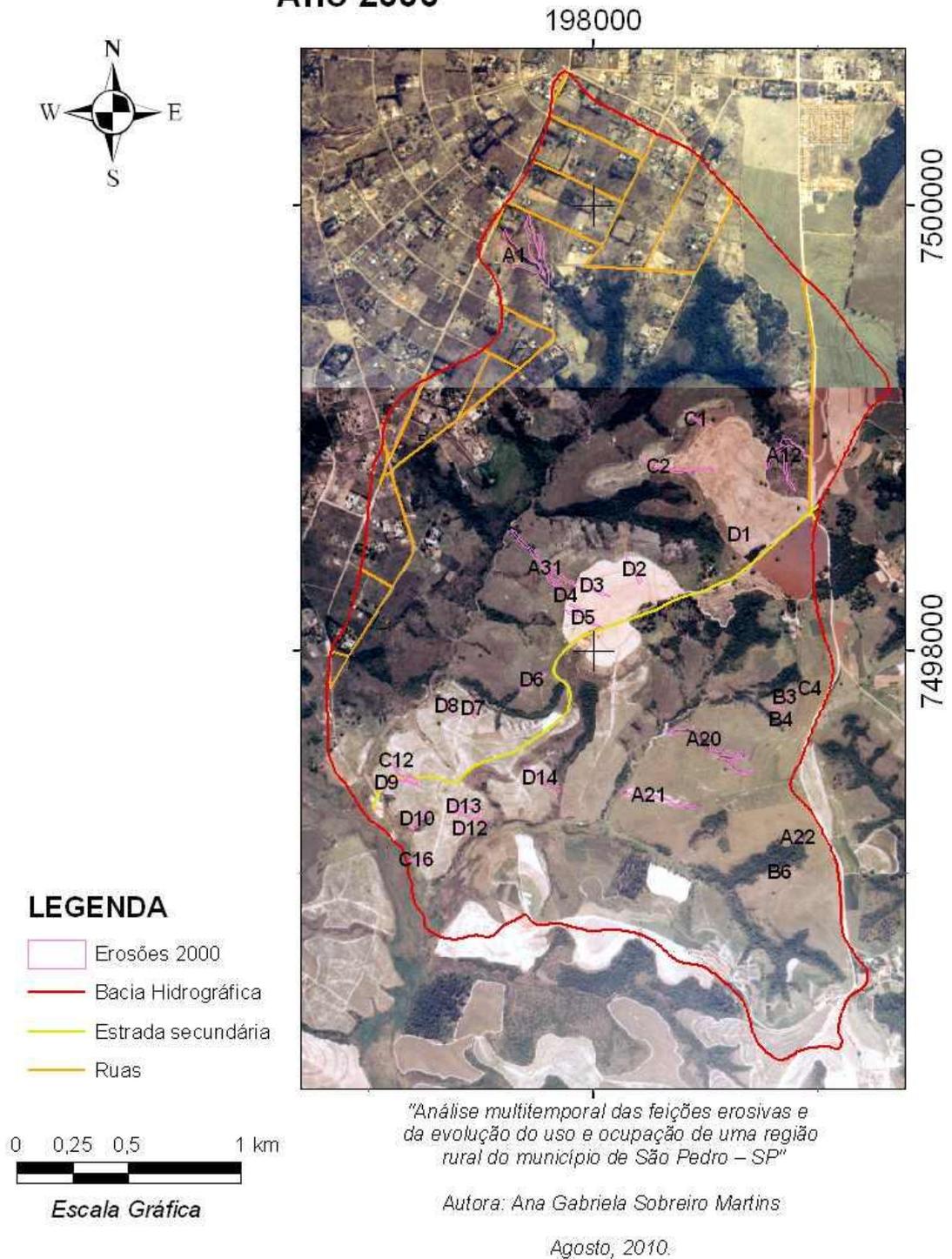


Figura 23: Foto aérea ortorretificada com as respectivas erosões para o ano 2000.

Erosões Ano 2005

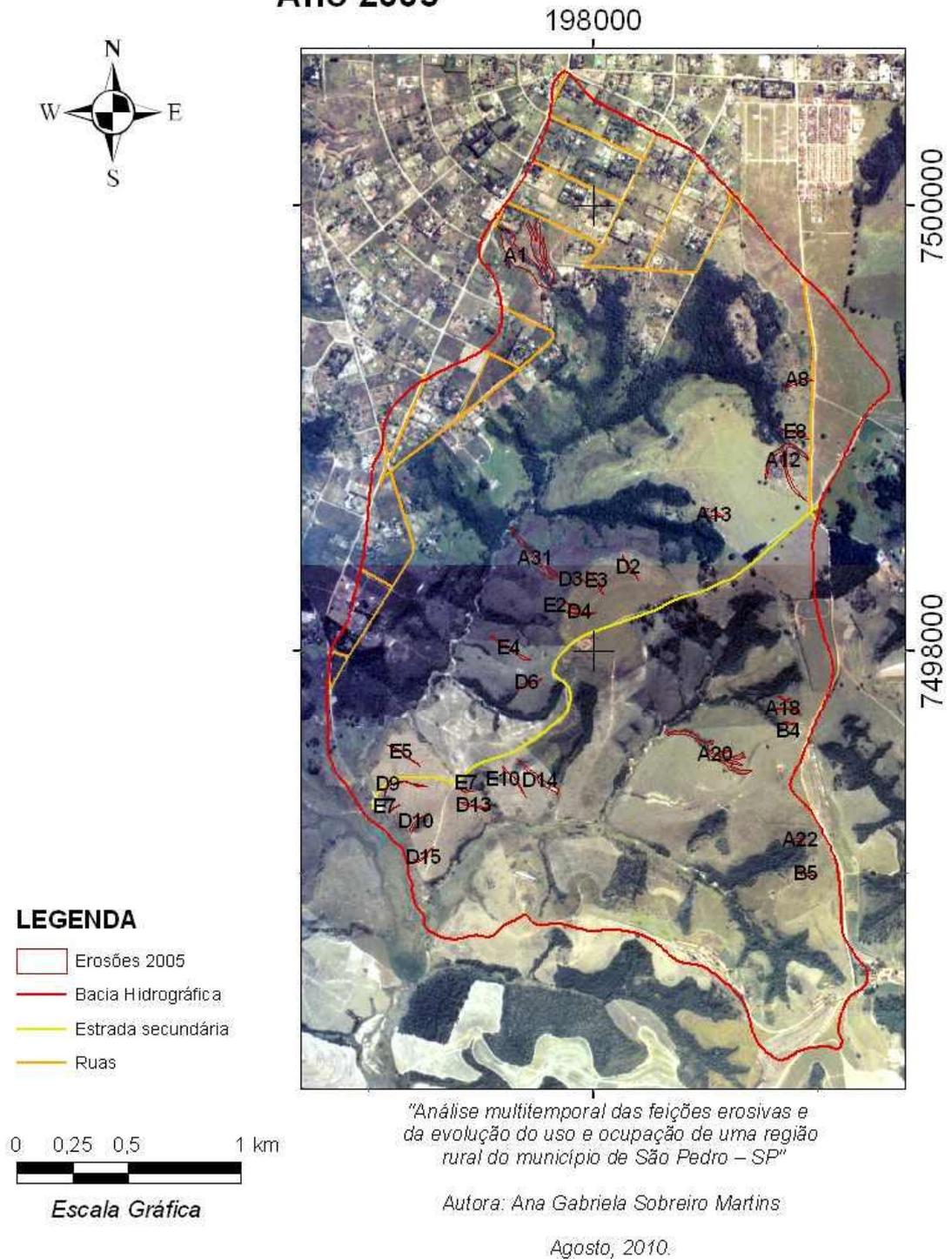


Figura 24: Foto aérea ortorretificada com as respectivas erosões para o ano 2005.

5.5. Erosões versus Uso e ocupação

Com as erosões já delimitadas, cruzaram-se estas informações com o tema de uso e ocupação para cada ano de estudo. Os mapas de uso e ocupação elaborados podem ser observados nas figuras 25, 26 e 27.

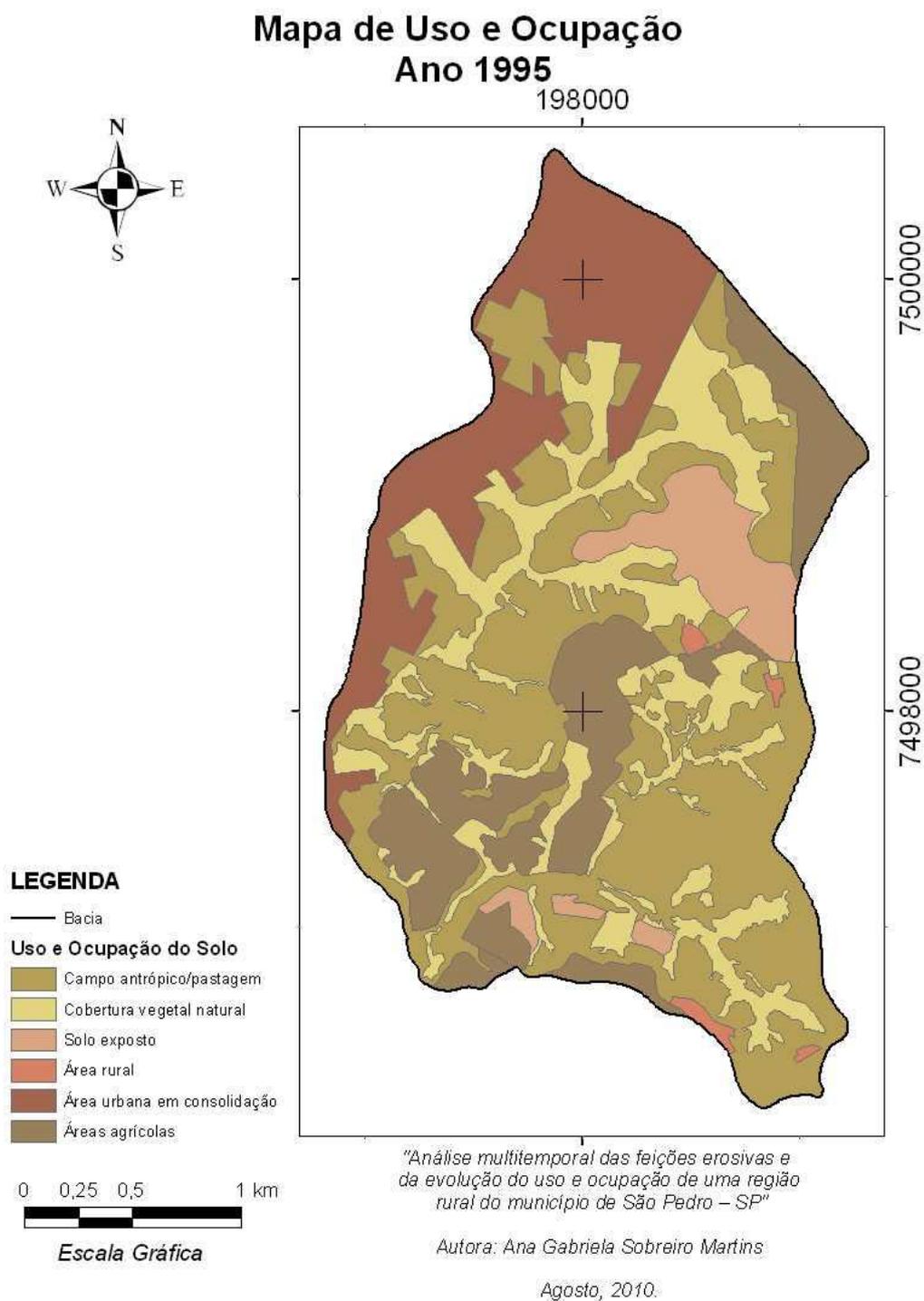


Figura 25: Mapa de Uso e Ocupação para o ano de 1995.

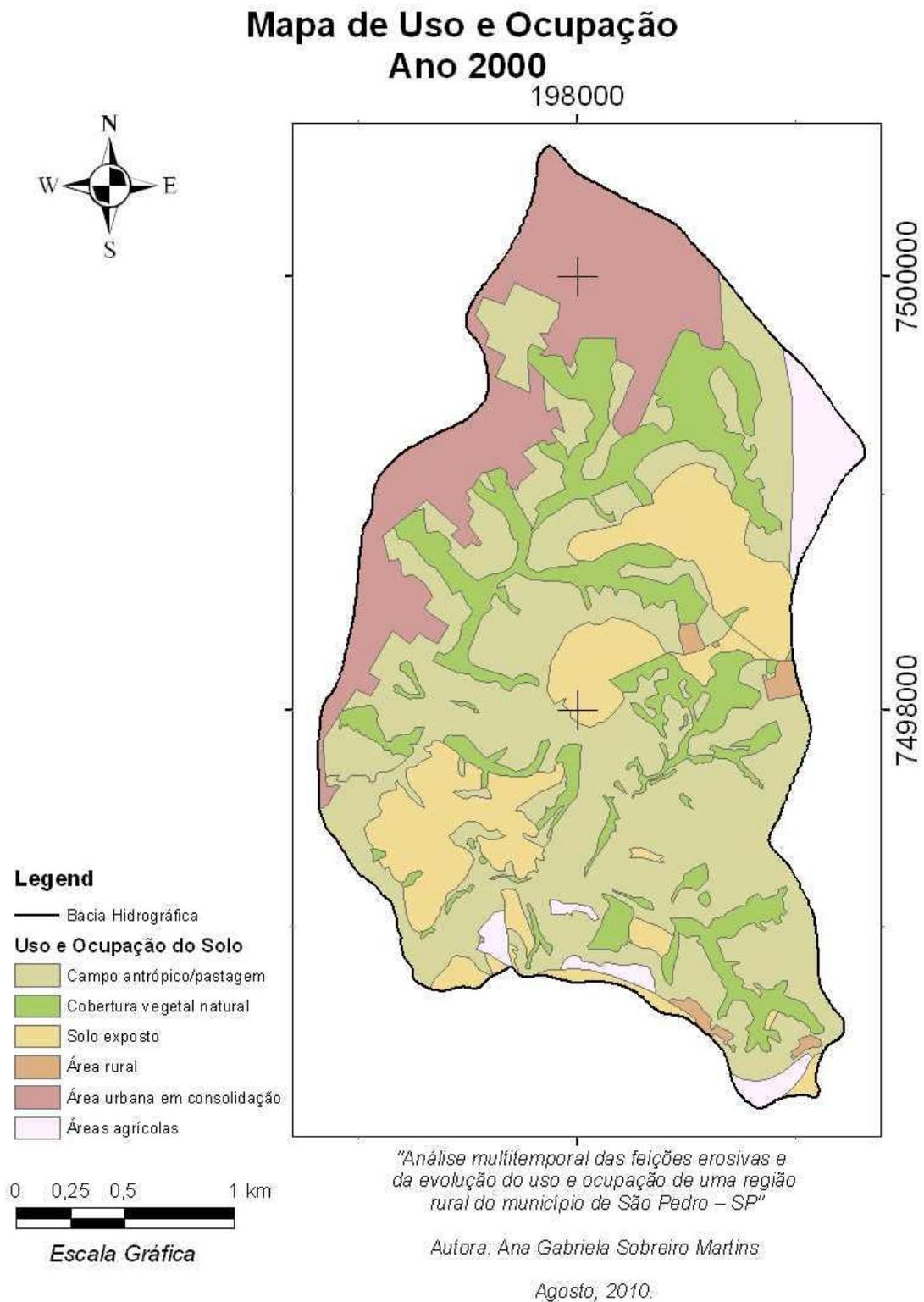


Figura 26: Mapa de Uso e Ocupação para o ano 2000.

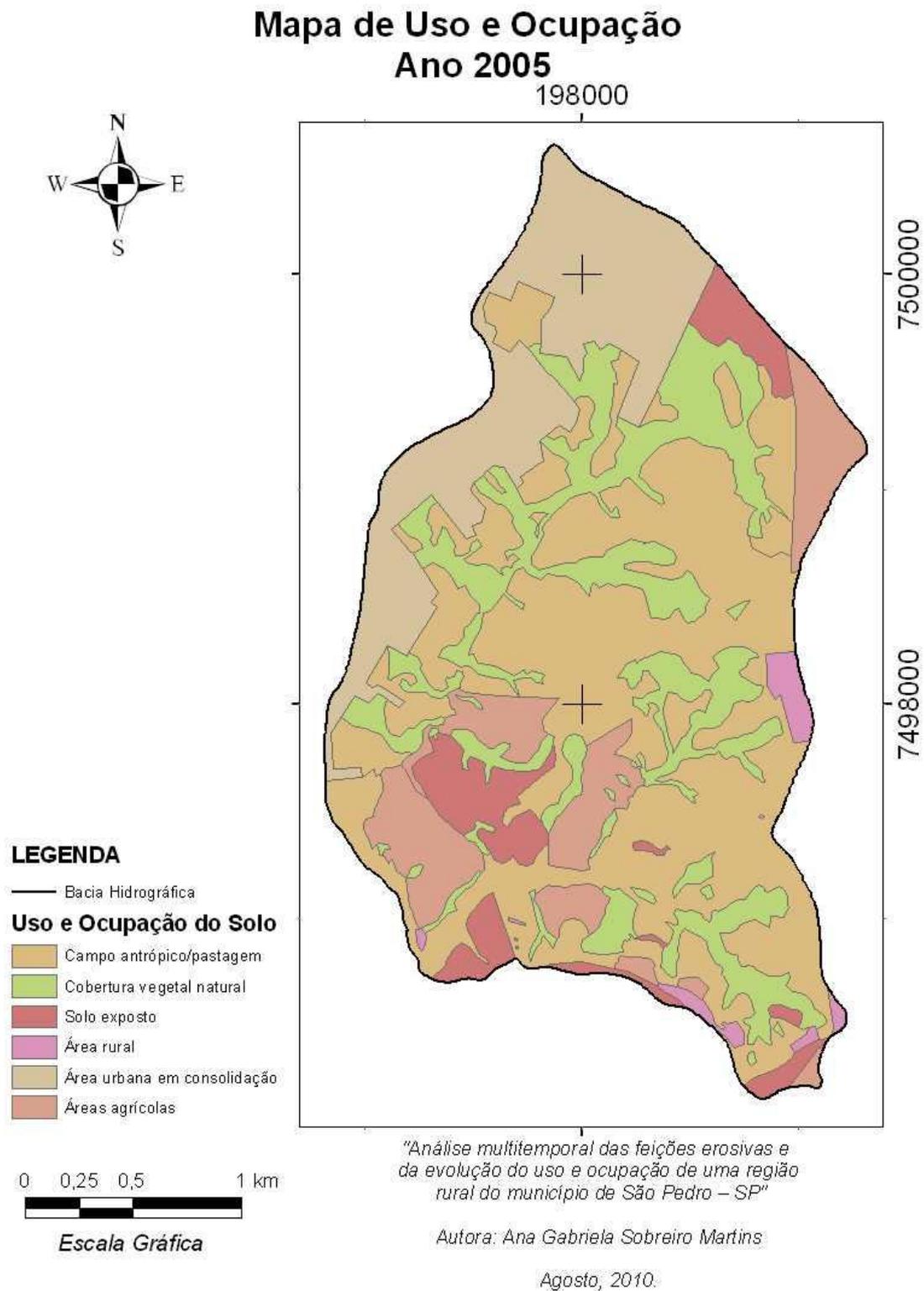


Figura 27: Mapa de Uso e Ocupação para o ano 2005.

Após execução do processo de tabulação cruzada no programa ArcGIS, foram obtidas as tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Uso e ocupação e Erosões para o ano de 1995.

Área das erosões de 1995 (m ²)						
Uso e ocupação do solo	Áreas das Unidades (m ²)	Boçoroca (m ²)	Ravinas (m ²)	C _{Boçoroca} (%)	C _{Ravinas} (%)	C _{Total} (%)
Áreas Agrícolas	1.107.501,46	0,00	4.845,04	0,00	0,44	0,44
Cobertura Vegetal Natural	1.329.359,40	1.914,09	16.449,21	0,14	1,24	1,38
Solo Exposto	437.255,33	777,60	6.041,35	0,18	1,38	1,56
Campo Antrópico/Pastagem	2.767.235,47	36.606,98	42.109,99	1,32	1,52	2,84

Tabela 6: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Uso e ocupação e Erosões para o ano 2000.

Área das erosões de 2000 (m ²)						
Uso e ocupação do solo	Áreas das Unidades (m ²)	Boçoroca (m ²)	Ravinas (m ²)	C _{Boçoroca} (%)	C _{Ravinas} (%)	C _{Total} (%)
Solo Exposto	1.050.576,28	57,89	21.071,36	0,01	2,01	2,01
Cobertura Vegetal Natural	1.196.989,00	3.415,41	4.283,74	0,29	0,36	0,64
Campo Antrópico/Pastagem	3.135.499,88	24.197,34	22.460,69	0,77	0,72	1,49

Tabela 7: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Uso e ocupação e Erosões para o ano de 2005.

Área das erosões de 2005 (m ²)						
Uso e ocupação do solo	Áreas das Unidades (m ²)	Boçoroca (m ²)	Ravinas (m ²)	C _{Boçoroca} (%)	C _{Ravinas} (%)	C _{Total} (%)
Cobertura Vegetal Natural	1.341.234,42	6.490,37	5.894,92	0,48	0,44	0,92
Áreas Agrícolas	737.601,67	0,00	3.036,78	0,00	0,41	0,41
Solo Exposto	469.887,73	0,00	2.500,88	0,00	0,53	0,53
Campo Antrópico/Pastagem	3.013.553,21	27.450,10	16.077,06	0,91	0,53	1,44
Área Urbana em Consolidação	1.236.736,55	774,08	0,00	0,06	0,00	0,06

Após a análise das tabelas, foi possível notar que áreas de campos antrópicos e pastagem, juntamente com as áreas de solos expostos são mais propícias à ocorrência de erosões do que as outras classes de uso observadas. Estas são duas classes de uso do solo que envolvem o desmatamento de vegetação nativa e revolvimento de solo, seja por práticas de manejo de solo para fins agrícolas seja pela movimentação do gado nas áreas de pastagens.

De fato, em solos que sofreram estas atividades, o escoamento superficial das águas ocorre com maior energia e acaba movimentando as partículas de solo, dando início aos processos erosivos.

A movimentação do gado diariamente em uma determinada área forma caminhos destes animais. Estes caminhos acabam proporcionando concentração das linhas de fluxo da água que escoam superficialmente, o que também é responsável por uma movimentação das partículas de solo, e conseqüentemente, iniciando processos erosivos.

5.6. Erosões *versus* Landforms

Para a elaboração da tabulação cruzada das erosões com as Landforms do local, modificou-se o Mapa de Landforms de Gomes (2002) e digitalizou-se este no mesmo ambiente de SIG onde foram delimitadas as erosões. As tabelas geradas (tabelas 8, 9 e 10) podem ser observadas em seguida.

Tabela 8: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Landforms e Erosões para o ano de 1995.

Área das erosões de 1995 (m ²)						
Landforms	Áreas das Unidades (m ²)	Boçoroca (m ²)	Ravinas (m ²)	C _{Boçoroca} (%)	C _{Ravinas} (%)	C _{Total} (%)
C5	3736032,94	1615,01	63224,80	0,04	1,69	1,74
C2	1984817,18	31522,68	6220,79	1,59	0,31	1,90
C3	443292,92	6160,98	0,00	1,39	0,00	1,39

Tabela 9: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Landforms e Erosões para o ano de 2000.

Área das erosões de 2000 (m ²)						
Landforms	Áreas das Unidades (m ²)	Boçoroca (m ²)	Ravinas (m ²)	C _{Boçoroca} (%)	C _{Ravinas} (%)	C _{Total} (%)
C5	3736032,94	926,21	38785,20	0,02	1,04	1,06
C2	1984817,18	23850,01	9030,58	1,20	0,45	1,66
C3	443292,92	2894,42	0,00	0,65	0,00	0,65

Tabela 10: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Landforms e Erosões para o ano de 2005.

Área das erosões de 2005 (m ²)						
Landforms	Áreas das Unidades (m ²)	Boçoroca (m ²)	Ravinas (m ²)	C _{Boçoroca} (%)	C _{Ravinas} (%)	C _{Total} (%)
C5	3736032,94	1190,89	29891,43	0,03	0,80	0,83
C2	1984817,18	28521,90	5894,92	1,44	0,30	1,73
C3	443292,92	5001,75	0,00	1,13	0,00	1,13

Após análise das tabelas obtidas foi possível verificar que houve maior quantidade em área de erosões na unidade C2.

Observando o Mapa de Landforms de Gomes (2002) (vide item 3) é possível dizer que toda a área de estudo encontra-se dentro do sistema chamado pela autora de “C” que corresponde a uma região de Depressão.

Especificamente a unidade C2 é descrita pela autora da seguinte maneira:

É uma unidade formada por colinas amplas, de topos suavemente ondulados, e com vertentes de perfis retilíneos a convexos. Caracterizada por apresentar baixa densidade dos canais de drenagem [...]. A declividade do terreno aumenta gradualmente rumo às drenagens [...]. Nessas áreas a evolução dos processos erosivos é favorecida pelos fatores como a alta declividade e a alta fragilidade dos solos nestes terrenos (Gomes, 2002).

De fato, estes dados estão em concordância com observações de diversos autores que consideram as encostas convexas como as mais propícias ao desenvolvimento de erosões lineares, como ravinas e boçorocas. A declividade média associada a espessuras de solos de alguns metros (entre 5 e 10 m) propicia a facilidade de instalação de erosões lineares, do tipo ravinas e boçorocas, quando o solo é suscetível à erosão.

5.7. Erosões *versus* Materiais inconsolidados

Para a elaboração da tabulação cruzada das erosões com os Materiais Inconsolidados do local, modificou-se o Mapa de Materiais Inconsolidados de Gomes (2002) e digitalizou-se este no mesmo ambiente de SIG onde foram delimitadas as erosões (ver Mapa no item 3). As tabelas geradas (tabelas 11, 12 e 13) podem ser observadas em seguida.

Tabela 11: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Materiais inconsolidados e Erosões para o ano de 1995.

Materiais Inconsolidados	Área das erosões de 1995 (m ²)					
	Áreas das Unidades (m ²)	Boçoroca (m ²)	Ravinas (m ²)	C _{Boçoroca} (%)	C _{Ravinas} (%)	C _{Total} (%)
Solo Transportado da Formação Pirambóia	577.462,02	0,00	1.136,49	0,00	0,20	0,20
Solo Residual da Formação Pirambóia	1.405.578,73	0,00	25.182,25	0,00	1,79	1,79
Sedimentos Aluvionares	372.652,03	0,00	2.691,69	0,00	0,72	0,72
Solo Transportado Associado à Formação Pirambóia (2<e<5m)	2.209.330,35	957,05	34.274,18	0,04	1,55	1,59
Solo Transportado Associado à Formação Pirambóia (5<e<10m)	1.894.210,34	32.180,65	6.160,98	1,70	0,33	2,02
Solo Transportado Associado à Formação Pirambóia (e>10m)	443.709,20	6.160,98	0,00	1,39	0,00	1,39

Tabela 12: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Materiais inconsolidados e Erosões para o ano de 2000.

Materiais Inconsolidados	Área das erosões de 2000 (m ²)					
	Áreas das Unidades (m ²)	Boçoroca (m ²)	Ravinas (m ²)	C _{Boçoroca} (%)	C _{Ravinas} (%)	C _{Total} (%)
Solo Transportado da Formação Pirambóia	577.462,02	0,00	578,88	0,00	0,10	0,10
Solo Residual da Formação Pirambóia	1.405.578,73	0,00	19.103,16	0,00	1,36	1,36
Sedimentos Aluvionares	372.652,03	0,00	1.273,54	0,00	0,34	0,34
Solo Transportado Associado à Formação Pirambóia (2<e<5m)	2.209.330,35	694,66	18.003,28	0,03	0,81	0,85
Solo Transportado Associado à Formação Pirambóia (5<e<10m)	1.894.210,34	24.081,56	8.856,92	1,27	0,47	1,74
Solo Transportado Associado à Formação Pirambóia (e>10m)	443.709,20	2.894,42	0,00	0,65	0,00	0,65

Tabela 13: Resultados do processo de tabulação cruzada entre os temas Materiais inconsolidados e Erosões para o ano de 2005.

Materiais Inconsolidados	Área das erosões de 2005 (m ²)					
	Áreas das Unidades (m ²)	Boçoroca (m ²)	Ravinas (m ²)	C _{Boçoroca} (%)	C _{Ravinas} (%)	C _{Total} (%)
Solo Transportado da Formação Pirambóia	577.462,02	0,00	1.488,62	0,00	0,26	0,26
Solo Residual da Formação Pirambóia	1.405.578,73	0,00	12.980,74	0,00	0,92	0,92
Sedimentos Aluvionares	372.652,03	0,00	1.131,35	0,00	0,30	0,30
Solo Transportado Associado à Formação Pirambóia (2<e<5m)	2.209.330,35	476,36	14.469,36	0,02	0,65	0,68
Solo Transportado Associado à Formação Pirambóia (5<e<10m)	1.894.210,34	29.236,44	5.716,29	1,54	0,30	1,85
Solo Transportado Associado à Formação Pirambóia (e>10m)	443.709,20	5.001,75	0,00	1,13	0,00	1,13

Após análise das tabelas geradas, foi possível verificar que o índice de feições erosivas é maior nos locais onde há o Solo Transportado Associado à Formação Pirambóia de espessura entre 5 e 10 metros.

É sabido que solos associados à Formação Pirambóia são extremamente susceptíveis à ocorrência de processos erosivos, e que quanto maior a espessura do solo também se terá maior índice de erosões.

No entanto, os valores de maior índice de erosões obtidos no presente trabalho não se ligaram exatamente ao solo de maior espessura (maior que 10 m), como era esperado. Uma explicação possível para isto consiste no fato de que na região de Solo Associado à Formação Pirambóia de espessura entre 2 e 5 metros ocorrer maior quantidade de canais de drenagens, as quais contribuem também com a ocorrência de processos erosivos devido ao maior escoamento de água superficial e subsuperficial que percorre o local.

Porém, ressalta-se que a maior erosão encontrada na área da presente pesquisa consiste em uma Boçoroca (classificada como A1), associada ao único canal de

drenagem que existe ligado ao Solo Transportado Associado à Formação Pirambóia com espessura maior que 10 metros. Por ser uma feição de tamanha proporção, pode-se também confirmar que locais que apresentam esta configuração de materiais inconsolidados na presente pesquisa, podem ser incluídos nas áreas de alta susceptibilidade à processos erosivos.

5.8. Ortorretificação

Como já descrito no item 4, o programa utilizado para a confecção das ortofotos foi o ENVI.

De maneira geral pode-se dizer que o processo de ortorretificação das fotografias aéreas dos anos de 1995, 2000 e 2005 apresentou resultados satisfatórios, porém algumas dificuldades foram observadas.

A principal dificuldade ocorreu em relação à escala e resolução das fotografias. Para realização do processo de ortorretificação o programa ENVI inicializa uma janela onde a foto é carregada em escala de cinza e com uma resolução menor do que a da foto escaneada. Torna-se difícil a localização precisa dos pontos de controle, como por exemplo, a localização de quinas de piscinas, como pode ser observada na figura 28.

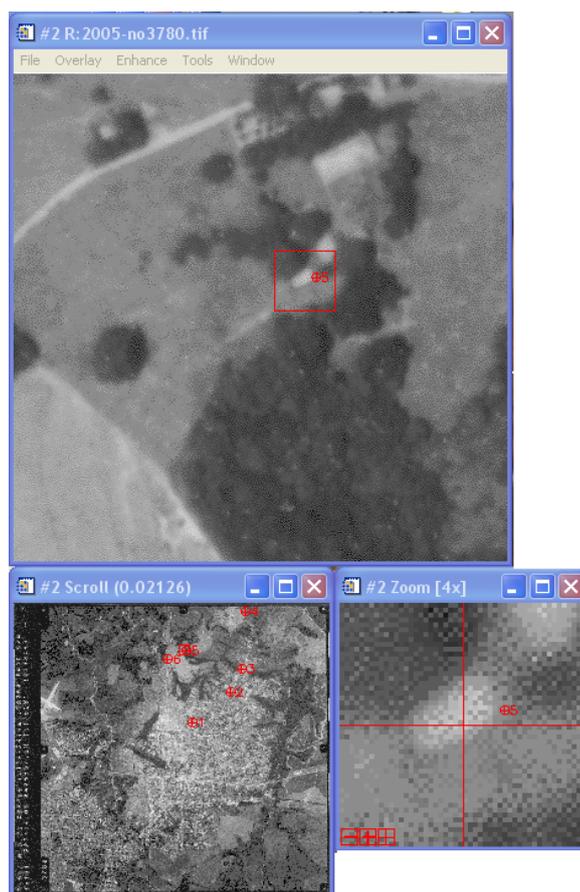


Figura 28: Janela carregada pelo programa ENVI evidenciando a dificuldade em se localizar precisamente um ponto de controle.

Dessa maneira, destaca-se que é notável a diferença entre a foto de 1995 que apresenta escala 1:25.000 e as de 2000 e 2005 que apresentam escala 1:30.000. Mesmo a primeira sendo em escala de cinza e as outras duas coloridas, foi mais fácil a localização de pontos e até mesmo a delimitação das feições erosivas no ano de 1995.

Porém, ao final das ortorretificações, as três fotografias quando cruzadas com as curvas de nível, rede de drenagens, ruas e estradas vetorizadas diretamente das cartas cartográficas do IGC, mostraram-se com bons resultados. Isto pode ser observado nas figuras 29, 30 e 31.

Fotografia Aérea Ortoretificada Ano 1995

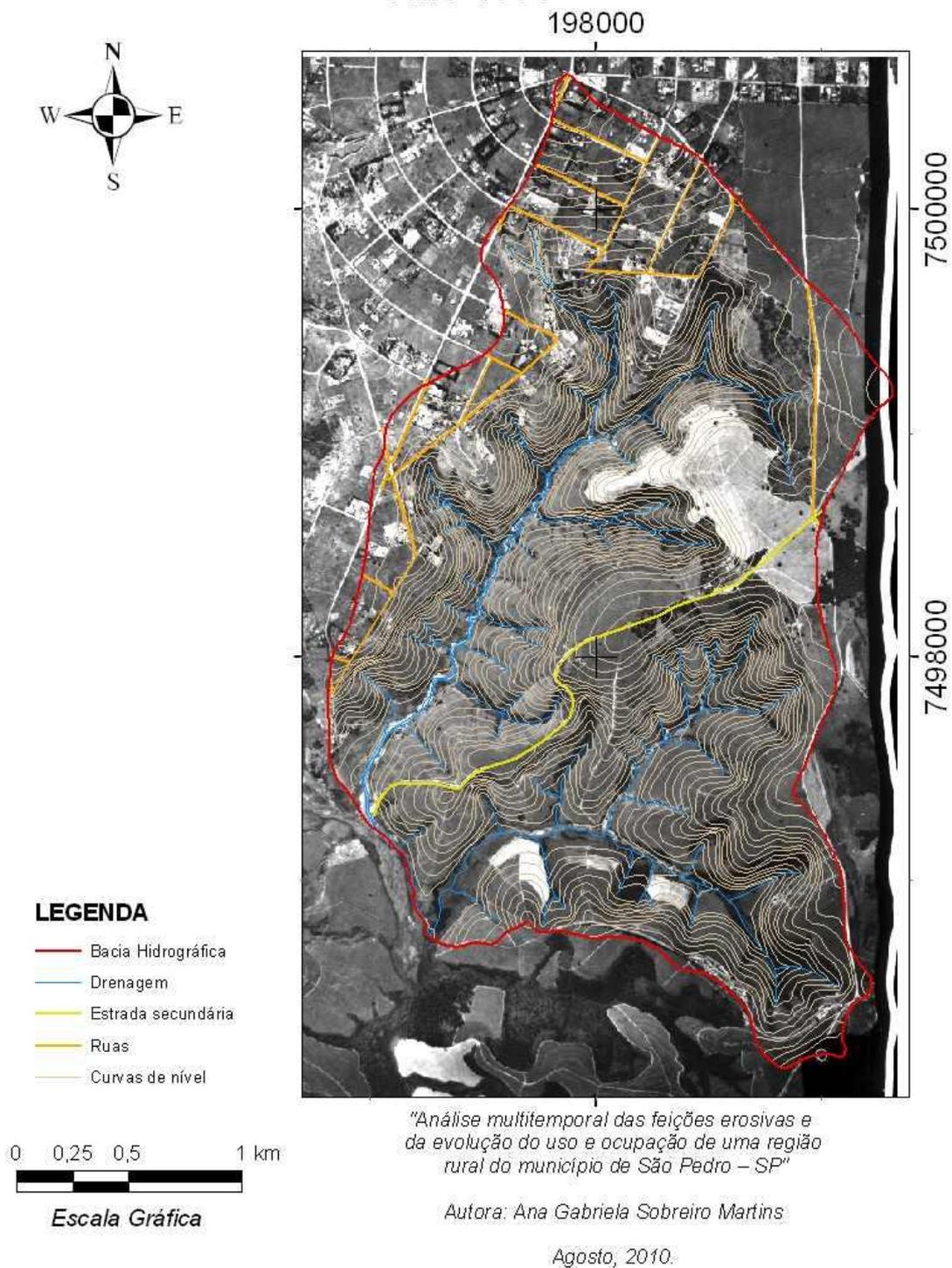


Figura 29: Fotografia aérea ortoretificada do ano de 1995.

Mosaico de Fotografias Aéreas Ortorretificadas Ano 2000

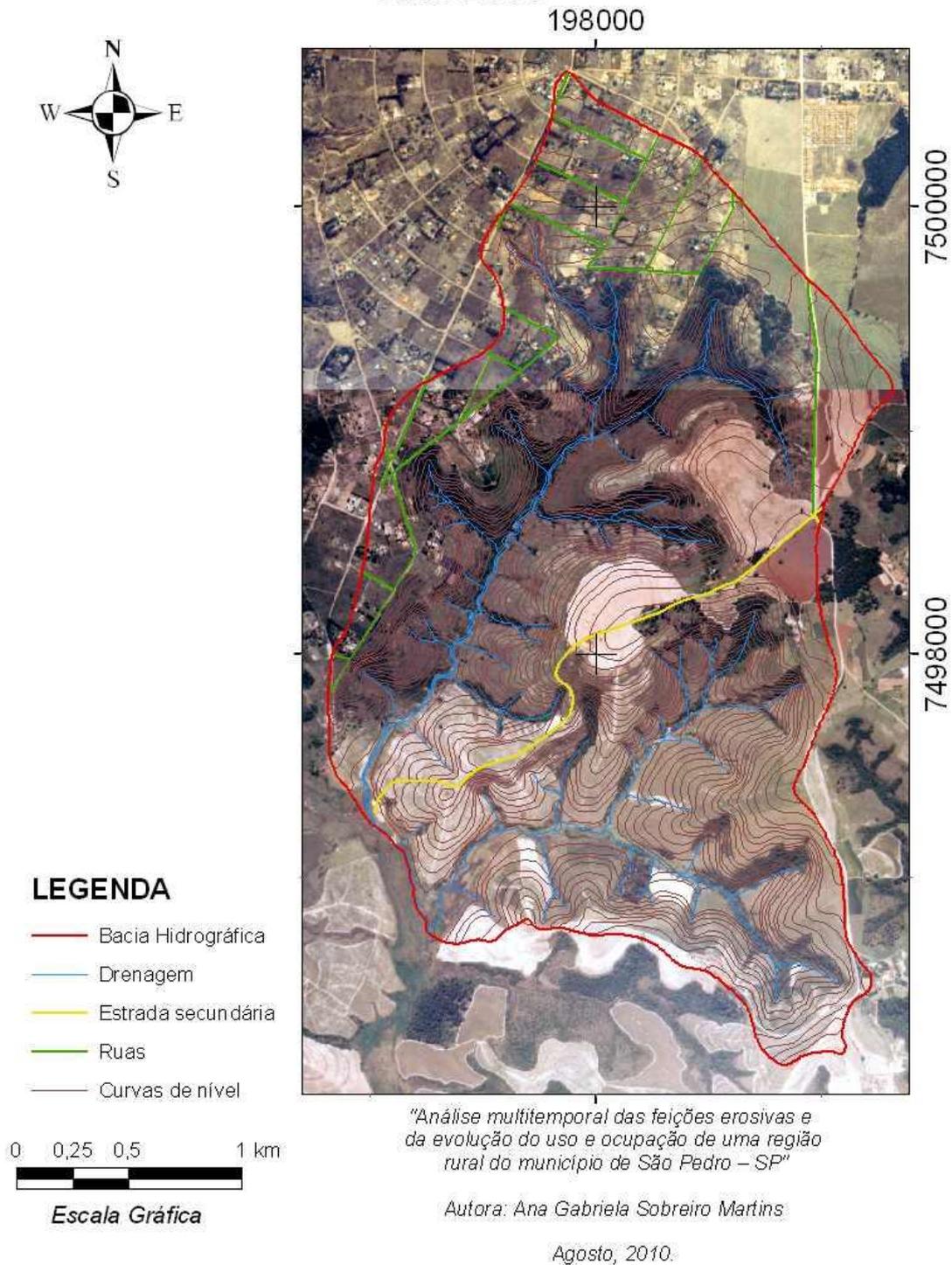


Figura 30: Fotografia aérea ortorretificada do ano de 2000.

Mosaico de Fotografias Aéreas Ortorretificadas Ano 2005

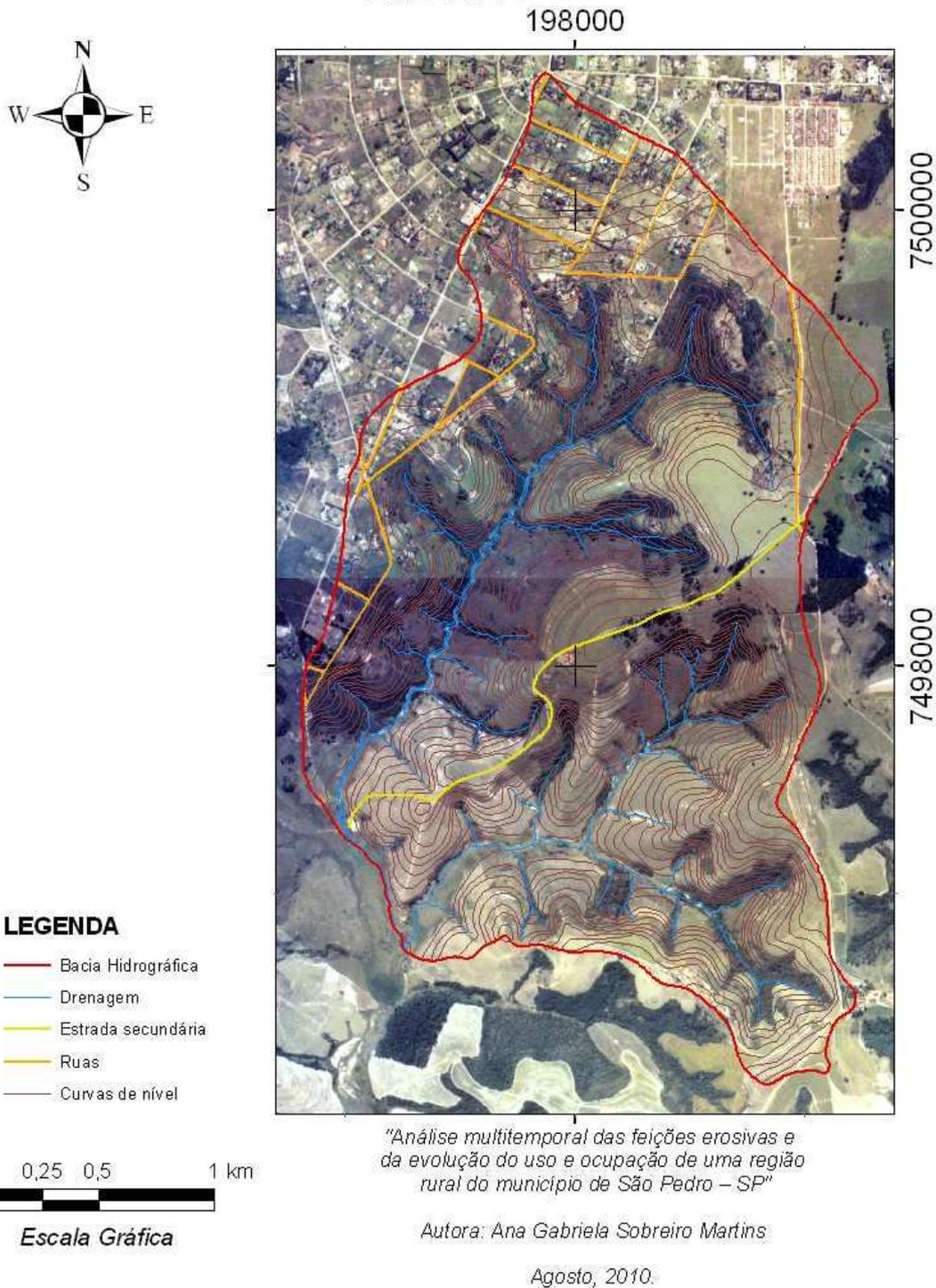


Figura 31: Fotografia aérea ortorretificada do ano de 1995.

5.9. Comparação entre foto georreferenciada e foto ortorretificada

Anteriormente ao processo de ortorretificação das fotografias, realizou-se o georreferenciamento da foto aérea de 1995. Assim, foi possível verificar diferenças entre uma foto aérea apenas georreferenciada e uma foto aérea de fato ortorretificada.

Na figura 32, pode-se observar as duas formas das fotografias.

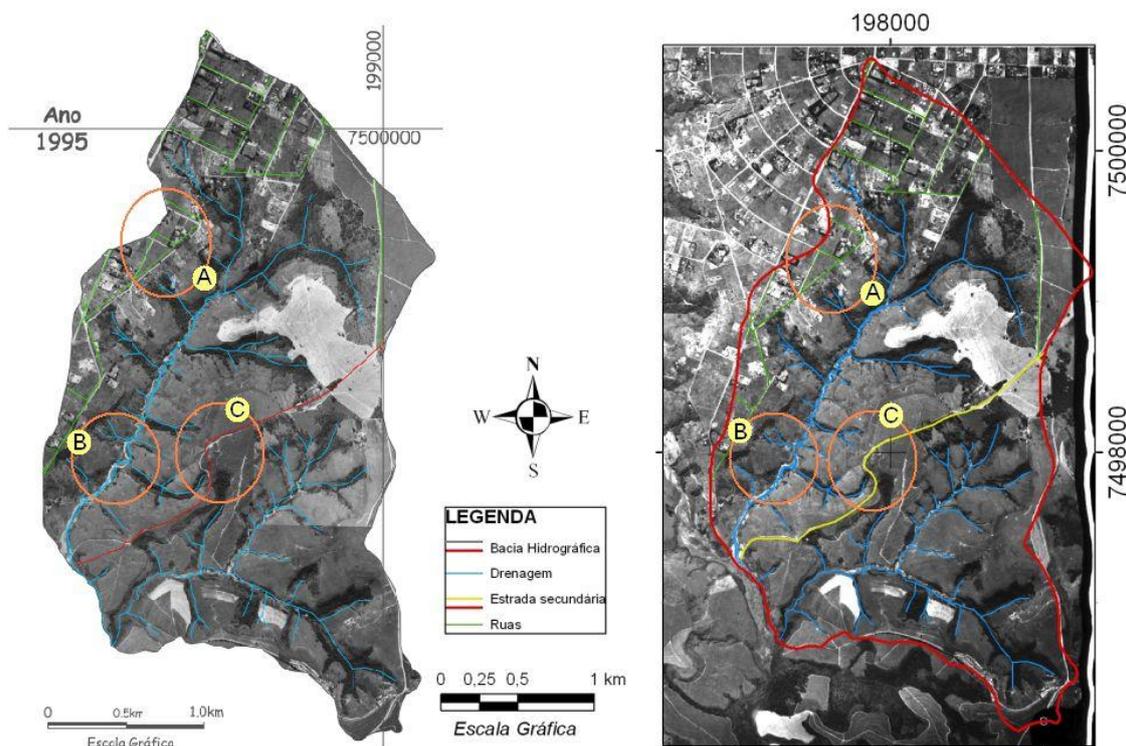


Figura 32: Comparação entre fotografia aérea georreferenciada e ortorretificada.

Após observação das imagens, podem-se verificar as diferenças ressaltadas pelas áreas A, B e C circundadas nas fotos.

Na região “A” resalta-se a diferença no ajuste das ruas do loteamento da área urbana em consolidação. Na região “B” destacaram-se as diferenças observadas em relação ao ajuste da rede de drenagens. E por fim, a região sinalizada pela letra “C” foi destacada para destacar a diferença na sobreposição da estrada secundária.

Em todas as áreas circundadas fica claro que as fotografias aéreas ortorretificadas estão mais próximas da realidade, e, portanto, mais precisas.

5.10. Comparação final entre a evolução das erosões desde o ano de 1962 até o ano de 2005

O número de erosões totais de cada ano analisado pode ser observado na tabela 14.

Tabela 14: Evolução em número de erosões no decorrer dos anos analisados.

Quantidade de erosões				
1962	1972	1995	2000	2005
32	42	36	28	28

Primeiramente é importante destacar que a escala das fotos de 1962, 1972 e 1995 é maior (1:25.000) do que a escala das fotos de 2000 e 2005 (1:30.000), evidenciando melhor resolução das primeiras. Em questão de avaliação de sulcos, essa diferença de escala é de suma importância, pois o trabalho de identificação deles é extremamente dificultado e em muitos casos, impossibilitado. Dessa forma, eles não são contabilizados, levando a um resultado final duvidoso quanto a quantidade em número de erosões. Obviamente, quando comparamos erosões levantadas em ambas as escalas de fotografias, com as contabilizadas em campo, essa diferença continua a crescer, uma vez que também irão existir erosões de pequenas proporções que não podem ser observadas mesmo na escala 1:25.000.

Uma prova de que isso realmente ocorre (erosões deixam de ser contabilizadas) é a comparação entre uma área que apresenta erosões em 2005 e essa mesma área em 2010, obtida com o levantamento em campo e auxílio do GPS de precisão. Isto pode ser observado na figura 33.

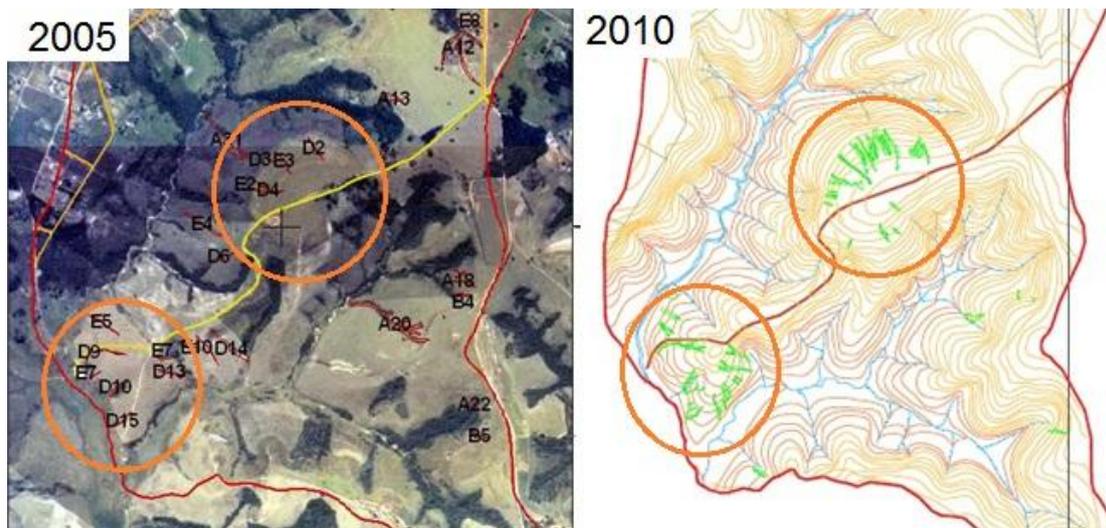


Figura 33: Observação sobre a diferença na quantidade de erosões no ano de 2005 e as obtidas em campo, no ano de 2010.

No entanto, é fato que quando se está em campo, há muitas áreas onde não se consegue acessar para a realização do levantamento, seja por serem áreas privadas, sejam por ser áreas de acesso perigoso, como matas fechadas. Assim, dependendo do local, chega a ser mais vantajoso a análise das erosões em fotografias aéreas do que diretamente em campo, pois assim, se terá pelo menos uma distribuição maior dos processos erosivos de maior escala.

Sob outro ponto de vista, também se pode deduzir que apesar de não terem aumentado significativamente, observa-se que praticamente se manteve em 2005 o mesmo número de erosões de 1962. Portanto, é possível que não tenham sido tomadas medidas eficientes para resolver o problema e reduzir sensivelmente o número de erosões.

O ano de 1972 merece destaque pois foi o que apresentou maior quantidade de erosões. Ao analisar a fotografia aérea deste ano é nítido que a quantidade de áreas de solo exposto/áreas agrícolas é bem maior do que em todos os outros anos, fato este que se aproxima de conclusões anteriores verificadas no item 5.5 de que estes são um dos

principais tipos de uso e ocupação do solo responsáveis por desencadear processos erosivos.

Analisando pontualmente, uma feição que merece destaque é a representada por A1. Tal erosão encontra-se em todos os anos de estudo, e em inclusive, após visitas a campo em janeiro de 2010 verificou-se a existência da mesma (Figura 34). Esta feição pode classificar-se como uma boçoroca. Em 1962, esta já apresentava grandes dimensões. Porém, em 1972 e depois também em 1995 notou-se diminuição no número de ravinamentos da mesma, o qual é explicado pelas tentativas de contenção aplicadas. Vale ressaltar que, apesar de em 1995 a feição A1 ter diminuindo bastante em área por conta dos aterramentos sobre a área de loteamento, esta aumentou em largura, o que evidencia um processo de evolução do processo (de formato em V para formato em U).



Figura 34: Erosão A1 em janeiro de 2010.

6. CONCLUSÃO

O trabalho realizado levantou e analisou uma grande quantidade de informações da área estudada. Considera-se que a gestão da ocupação da área deve considerar a suscetibilidade natural à erosão de algumas unidades mapeadas, bem como de alguns tipos de uso que podem agravar o problema.

As áreas com solos espessos (5 a 10 m), associados à Formação Pirambóia, quando localizados em landforms com encostas convexas e declividades médias (unidade C2) e, além disso, quando próximas a canais de drenagem representam as condições mais favoráveis ao aparecimento e desenvolvimento das erosões lineares. Segundo o levantamento dos tipos de usos, a situação se agrava quando estas áreas são utilizadas para pastagens. Portanto, para evitar novas erosões ou o aumento das já existentes, deve-se evitar a combinação desses fatores.

As áreas com predomínio de vegetação natural não apresentaram novas ocorrências de erosão. No entanto, várias erosões antigas persistem nestas áreas, mas com vegetação em seu interior, demonstrando evidências de estabilização.

A implantação de urbanização na região norte da área mapeada, representou uma melhora, com a correção e recuperação de algumas erosões. No entanto, uma erosão de grande porte ainda pode ser vista nas proximidades do loteamento. Isto demonstra a necessidade de um melhor disciplinamento das águas na área urbanizada para evitar o agravamento do problema.

Outro aspecto importante que o trabalho permitiu evidenciar e que é fundamental para a gestão da área, refere-se a verificação do surgimento de grande quantidade de sulcos e ravinas quando o solo fica exposto. Assim, frente a alta suscetibilidade à erosão dos solos, deve-se evitar ou reduzir ao mínimo tempo possível a exposição dos solos sem cobertura vegetal.

A fotointerpretação foi essencial na delimitação das feições erosivas uma vez que, por possibilitar a visualização em três dimensões por meio da estereoscopia, facilitou a diferenciação de altitudes e formas de relevo auxiliando assim, a classificação das feições erosivas lineares. Além disso, é grande vantagem das fotografias aéreas permitirem a observação de toda área de estudo, pois ao realizar a catalogação de erosões *in situ*, dependendo do local de estudo, o acesso ou não é permitido ou é impossibilitado devido a condições naturais.

O tratamento das imagens das fotografias aéreas escaneadas e o georreferenciamento destas demonstraram-se trabalhosos, uma vez que o georreferenciamento foi repetido inúmeras vezes com o objetivo de, alterando-se os pontos de controle, buscar uma precisão maior. E ainda sim, este procedimento demonstrou-se impreciso.

Já o procedimento de Ortoretificação das imagens das fotografias aéreas demonstrou-se preciso e eficaz. Além disso, esse procedimento, além de alterar a forma da fotografia aérea aproximando-a da realidade também já automaticamente a georreferencia, facilitando o trabalho.

7. BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, M. C. J.; FREITAS, C. G. L. **Uso do solo urbano: suas relações com o meio físico e problemas decorrentes.** *In: 2º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 1º Encontro Regional de Geotecnia e Meio Ambiente.* ABGE. São Paulo, SP. 1996, p. 195-200.

ANDERSON, P. S. **Fundamentos para fotointerpretação.** Sociedade Brasileira de Cartografia. Rio de Janeiro, RJ. 1982, 146p.

ARAÚJO, T. P. **Novos métodos aplicados ao processamento digital de imagens na região de Mangaratiba – Angra dos Reis, RJ.** Trabalho de graduação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRuralRJ. Seropédica, RJ. 2008, 95p.

CANIL, K.; IWASA, O. Y.; SILVA, W. S., ALMEIDA, L. E. G. **Mapa de feições erosivas lineares do estado de São Paulo: Uma análise Qualitativa e Quantitativa.** *In: 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão.* ABGE/UNES, Bauru, SP. Vol. 5. 1995, p.249 – 251.

CELESTINO, T. B.; DINIZ, N. C. **Informática.** *In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S.N.A. Geologia de Engenharia,* São Paulo. ABGE. 1998, p. 227 – 241.

COLLARES, E. G., RODRIGUES, J. E.; RIBEIRO, R. P. **Análise multivariada de alterações na rede de drenagem de microbacias hidrográficas.** *Geotecnia.* n° 113. 2008, p.125 – 139

DA SILVA, A. F. **Mapeamento geotécnico e análise dos processos erosivos na bacia do Córrego Tucum, São Pedro – SP, escala 1:10.000.** Dissertação (Mestrado) – EESC/USP. São Carlos, SP. 2003, 131p.

ESRI. Sítio digital: <http://www.gis.com/whatisgis/index.html> - Acessado em 27/05/2009.

FENDRICH, R.; IWASA, O. Y. **Controle de erosão urbana.** *In:* OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. *Geologia de Engenharia*, São Paulo. ABGE. 1998, p. 272 – 281.

FERREIRA, M. D. **Análise da evolução dos processos erosivos acelerados em áreas urbanas e das técnicas de controle e recuperação – Córrego do Tucum (São Pedro/SP).** Dissertação (Mestrado) – EESC/USP. São Carlos, SP. 2004, 171p.

FERREIRA, M. D. **Proposta de índice para processos erosivos acelerados a partir de levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas.** Vol. 1. Dissertação (Doutorado) – EESC/USP. São Carlos, SP. 2008, 447p.

FERREIRA, M. D.; PEJON, O. J. **Análise temporal das feições erosivas lineares: São Pedro/SP.** *In:* **Cartografia Geotécnica e Geoambiental.** 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. São Carlos, SP. 2004, p.131 – 139.

FORNASARI FILHO, N.; INFANTI JR, N. **Processos de Dinâmica Superficial.** *In:* OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. *Geologia de Engenharia*, São Paulo. ABGE. 1998, p. 131 – 152.

GOMES, D. M. **Mapeamento geológico-geotécnico para análise de feições erosivas concentradas na bacia do Córrego Ribeirão do Meio, região de São Pedro/SP, na escala 1:20.000.** Dissertação (Mestrado) – EESC/USP. São Carlos, SP. 2002, 242p.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo. (1981). **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000.** São Paulo, 125p.

KASSER, M.; POLIDORI, L. **From the aerial image to orthophotography: different levels of rectification.** In: KASSER, M.; EGELS, Y. *Digital Photogrammetry*. Editora Taylor & Francis Inc. New York. 2002, 351p.

MACIEL FILHO, C. L. **Introdução à geologia de Engenharia.** Editora da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. 1994, 283p.

MARCHETTI, D. A. B. e GARCIA, G. J. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação.** 1ª Edição. Editora Livraria Nobel S.A. 1977, 257p.

McCORMAC, J. C. **Topografia.** Clemson University. 5ª edição. Reimpresso e traduzido. Editora LTC. Rio de Janeiro. 2007, 391p.

MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto.** In: RUDORFF, B. F. T. et al. *Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente.* INPE. São José dos Campos. 2002, p.1 – 21. Disponível no sítio digital: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18> - Acessado em 22/05/2009.

OKIDA, R.; LUIZ, S.; OLIVEIRA, C. G.. **Avaliação da precisão de orto-imagens Ikonos**. Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – INPE. Belo Horizonte. 2003, p.285 – 292. Disponível no sítio digital: http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.11.14.34/doc/02_064.pdf Acessado em 27/05/2009.

PEJON, O. J.; ZUQUETTE, L. **Cartografia Geotécnica e Geoambiental – Conhecimento do meio físico: Base para a sustentabilidade**. Suprema Gráfica Editora Ltda. São Carlos. 2004, 582 p.

PETAK, W. J. **Environmental Planning and Management: The Need for an Integrative Perspective**. Environmental Management, Vol. 4. N° 4. 1980, p. 287 – 295.

POESEN, J.; NACHTERGAELE, J.; VERSTRAETEN, G.; VALENTIN, C. **Gully erosion and environmental change: importance and research needs**. Catena. 2002. p.91 – 133.

PONS, N. A. D. e PEJON, O. J. **Uso da imagem Ikonos (PSM, 1m) ortorretificada e das fotos no estudo de áreas degradadas em ambiente urbano**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - INPE. Florianópolis. 2007, p.645 – 652. Disponível no sítio digital: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.17.22.41/doc/645-652.pdf> - Acessado em 25/09/2009.

PONS, N. A. **Levantamento e diagnóstico geológico geotécnico de áreas degradadas na cidade de São Carlos – SP, com o auxílio de geoprocessamento.** Tese de Doutorado. EESC/USP. Vol. 1. 2006, 210p.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática.** Oficina de Textos. São Paulo, SP. 2004, 184p.

SSSA – Soil Science Society of America. **Glossary of Soil Science Terms.** Sítio Digital: <https://www.soils.org/publications/soils-glossary#>. Acessado em 04/01/2010.