UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

APLICAÇÃO DE GEOINDICADORES NA BACIA DO SISTEMA
HIDROGRÁFICO ARANTES - SÃO DOMINGOS, MG.

BENJAMIM CAPELLARI

Tese de Doutorado na área de Geografia Física
apresentada ao Departamento de Geografia da
Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas
da Universidade de São Paulo sob a orientação da
Profª Drª Lylian Coltrinari.

São Paulo
2011.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

Aplicação de geoindicadores na bacia do sistema hidrográfico
Arantes - São Domingos, MG

BENJAMIM CAPELLARI

Tese de Doutorado na área de Geografia Física
apresentada ao Departamento de Geografia da Faculdade
de Filosofia Letras e Ciências Humanas da Universidade de
São Paulo sob a orientação da Profª Drª Lylian Coltrinari.

São Paulo
2011

Dedicatória

Dedico esse trabalho à minha família por ter compreendido e tolerado a minha ausência em momentos importantes de suas vidas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade de São Paulo e à Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, especificamente ao Departamento de Geografia e à área de especialização em Geografia Física.

Ao Centro Universitário Senac , pelo apoio técnico dos equipamentos e *softwares* do Laboratório de Geoprocessamento e Cartografia.

Agradeço especialmente aos coordenadores da área da Geografia Física , com quem tive contato e apoio , Prof. Dr. Ailton Luchiani e Prof. Dr. Emerson Galvani.

À orientadora e amiga Profa. Dra. Lylian Coltrinari, pela paciência, dedicação e apoio nos momentos difíceis e preciosos e a orientação precisa e contínua , que possibilitou a execução desta tese.

Agradeço também à todos os professores da Universidade de São Paulo, nos mais diversos Institutos e Departamentos, que passaram por minha vida acadêmica e contribuíram para minha formação. Especialmente aos professores que foram meus orientadores e definiram de certa maneira o meu destino na Geografia.

Agradeço aos funcionários da Pós Graduação do Departamento de Geografia : Ana Lúcia L. Pereira, Jurema R. Navarro, José Fermينو, Maria Aparecida Brambila, Rosângela F. Garcez ,pelo apoio e gentileza com que sempre fui tratado.

Aos funcionários do Departamento de Geografia, com quem tive uma relação de trabalho importante, mas que se tornaram grandes amigos: Marco Antônio Rocha, Orlando S. Barbosa e a Floripes Piné Garcia.

Agradeço ao Dr. Wellington Andraus, responsável por contar uma história muito interessante que me levou ao antigo sertão da Farinha Podre, hoje conhecido como Triângulo Mineiro , e aos seus pais Dr. Jurjus Andraus Gassani e Dona Sebastiana Martins Andraus ,juntamente com sua família , pelo carinho e apoio com que me trataram ao longo de toda a pesquisa .

Agradeço ao Nilson Ferreira da Silva e à sua família pelo apoio logístico , cedendo a estrutura de sua fazenda como base para o trabalho de campo , e em memória ao Sr. João Ferreira da Silva (João Coleta) .

Ao meu caro amigo Romeu Leal e à sua esposa, pelas histórias da região do Arantes e pelo seu apoio logístico e empenho na viabilização da instalação da estação meteorológica e dos piezômetros.

Aos amigos José Santos da Silva (Zezão) e à Sidinéia Nunes da Silva, trabalhadores da fazenda, com quem tive uma relação de amizade e companheirismo e com quem aprendi muito sobre a vida do campo.

Aos meus amigos e professores do SENAC: Hélio Cesar Oliveira da Silva, Alcir Vilela Júnior, Elci Maria Camargo Santos, Joyce da Silva Bevilacqua, Fabiana Alves Fiore Pinto, Eduardo Antônio Licco, Claudomiro Santos, Renato Arnaldo Tagnin, Paulo Sztutman, Sílvia Fazzolari Correa, Sílvia Ferreira Mac Dowell, José Luís Silva de Oliveira, Cássio Arthur Wollmann Rubens Koloski Chagas, e à todos que não estão aqui citados mas sempre estiveram comigo, me apoiando, no decorrer desse trabalho.

Aos alunos dos cursos de Engenharia e Gestão Ambiental do SENAC, em especial àqueles que me acompanharam nos trabalhos de campo, jornada que exigiu muito trabalho e dedicação: Viviane Pisano Motta, Patrícia Aguiar Pimentel, Tomás B. de C. Daudén, Guilherme Pelegrino Nardi, Eduardo Medeiros Cardoso, André Saulo Shikako, Benjamin Herr Boudler, Pedro Augusto Amaral Gonzales Silva, Daniel Di Beo Dioti, Wanderlan Serafin dos Santos Júnior, Giovanni Pires Ferrari, Conrado Liao e Rafael Itaro e David Smith.

O homem não tem porto , o tempo não tem margem

Ele corre e nós passamos!

A.De Lamartine(1790-1869)

RESUMO

O aumento da demanda por recursos naturais , vinculado ao crescimento da população mundial, atenua a preocupação com a conservação e manejo sustentável do meio ambiente , favorecendo a produção de alimentos. Naturalmente ,ocorre aumento das áreas produtivas e, conseqüentemente, das áreas degradadas,o que está evidente em estudos e relatos científicos. No Brasil , fatores como mudanças econômicas rápidas, modernização das atividades agrárias e alteração das relações sociais e ambientais, aliado aos novos padrões de ocupação da terra nas ultimas décadas, aparecem alterando significativamente o meio rural. Tais processos atingiram o Brasil centro-sul provocando ocupação intensa em áreas como a do Triângulo Mineiro , Minas Gerais , gerando mudanças significativas no uso do solo , e por conseqüência no ambiente. Esta pesquisa busca contribuir para a análise das mudanças ambientais na área , bem como avaliar de que forma a ação humana tornou-se catalisadora dos processos e fluxos geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos, modificando sua magnitude, frequência e duração.

ABSTRACT

Increased demand for natural resources related to increasing world population diminishes concern for environmental conservation and sustainable management favoring food production causing the enlargement of productive areas and degraded ones is evident in studies and scientific reports. In the last decades rapid economic and social changes together with new settlement patterns contributed to significantly alter the activities Brazilian rural areas. Processes of change and modernization hit several areas in central Brazil causing high occupation in regions such as Minas Gerais's *Triângulo Mineiro* causing significant changes both in land use and the environment. This project aims to analyze changes and environmental processes within the last 100 years and to assess how human action became an important catalyst of processes and geomorphologic, pedologic, and hydrological fluxes by changing their magnitude, frequency and duration.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Distribuição do cultivo da cana-de-açúcar no bioma do Cerrado.	3
Figura 2	Áreas estudadas por Baccaro, 2007	4
Figura 3	Localização da Bacia do rio Arantes e São Domingos objeto de pesquisa	16
Figura 4	Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, com isolinhas de profundidade e contorno estrutural	17
Figura 5	Diagrama crono-estratigráfico da Bacia do Paraná, construído com base fundamentalmente em informações	19
Figura 6	Estratigrafia do Grupo Bauru e suas Formações Bauru.....	20
Figura 7	Seção geológica esquemática Alcinoópolis, MS – exemplo destaca a posição do Grupo Bauru e suas formações Adamantina e Marília e as coberturas lateríticas.....	22
Figura 8	Domínios morfoclimáticos brasileiros e suas áreas nucleares.....	27
Figura 9	Representação dos limites do Cerrado em relação às bacias hidrográficas do Brasil.....	31
Figura 10	Principais fitofisionomias do bioma do cerrado	33
Figura 11	Distribuição desigual dos Índices pluviométricos no bioma do Cerrado	34
Figura 12	Detalhe da imagem LANDSAT 1, com composição falsa cor (bandas 4,5 e 6), destacando os 50	

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1	Voçoroca sobre arenito inconsolidado da formação Marília localizado na chapada.....	67
Foto 2	Solo Litólico (Neossolo) localizado próximo no topo da chapada.....	67
Foto 3	Feição erosiva sobre arenito inconsolidado da formação Marília, localizada na chapada.	68
Foto 4	Latossolo Vermelho Escuro e material conglomerático encontrado no fundo da ravina, na forma de um piso	69
Foto 5	Área onde foi construído o dique para formação do reservatório que sofreu rompimento no período das chuvas.	70
Foto 6	Exemplos de ravinamento localizado à montante do dique e do reservatório	70
Foto 7	Material concrecionário encontrado nas chapadas e utilizado como matéria-prima para construção de barragens.....	71
Foto 8	Feições erosivas instaladas próximo ao sopé da escarpa da chapada, sobre Vertissolos hidromórficos.	72
Foto 9	Vista da chapada e dos elementos morfológicos descritos (topo, rupturas e sopé) e das características altimétricas e clinográficas	73
Foto 10	Vista da ruptura de declive na borda da chapada, com vista para a base, à esquerda da foto, onde estão instaladas as feições erosivas sobre vertissolo	73
Foto 11	Vertissolo hidromórfico típico das áreas planas próximas ao sopé das chapadas, com declividade de 1 a 3°.	74
Foto 12	Feição sobre Vertissolo com largura estreita e grande profundidade, atingindo o freático.....	74
Foto 13	Abatimento do terreno provavelmente associado a formação de “piping” na áreas planas próximas a chapadas.....	75
Foto 14	Feição erosiva instalada no contato entre o Vertissolo hidromórfico e os arenitos finos a muito finos da formação Vale do Peixe	76
Foto 15	Detalhe do afloramento de arenito da Formação Vale do Peixe no fundo da feição destacada na foto anterior.	76
Foto 16	Aprofundamento da rede de drenagem sob cobertura de mata ciliar degradada.....	77
Foto 17	Prolongamento de entalhe na cabeceira de drenagem que atinge o Latossolo Vermelho Escuro.	78
Foto 18	Exemplo de feição erosão do tipo voçoroca instalada na base da vertente e perpendicular ao eixo de drenagem.....	79
Foto 19	Exemplo da saturação da água no solo hidromórfico no terço inferior da vertente nos interflúvios alongados perpendiculares à drenagem com a formação de filetes de água no período chuvoso.....	80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1	População total, densidade demográfica e taxa de crescimento anual nas regiões focalizadas nos anos de 1970, 1980, 1991 e 2000.....	44
Tabela 2	Área em hectares dos diferentes usos do solo e coberturas vegetais no sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos, referente ao período de 1964.	46
Tabela 3	Área em hectares da cobertura vegetal e do uso antrópico no sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos, referente ao período de 1964.	48
Tabela 4	Área em hectares da cobertura vegetal e do uso antrópico no sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos, referente ao período de 1973.	49
Tabela 5	Distribuição da porcentagem dos usos do solo e coberturas vegetais referente ao período de 1985.	51
Tabela 6	Área em hectares da cobertura vegetal e do uso antrópico no sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos, referente 51	51
Tabela 7	Área em hectares da cobertura vegetal e do uso antrópico no sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos, referente ao período de 2010.	52
Tabela 8	Relação entre as ocorrências das feições erosivas e a cobertura vegetal e uso antrópico.	81
Tabela 9	Relação entre as classes altimétricas e a ocorrência de feições erosivas	82
Tabela 10	Relação entre as classes clinográficas e as feições erosivas.....	83
Tabela 11	Relação entre as ocorrências das feições erosivas e a cobertura vegetal e uso antrópico.	84
Tabela 12	Relação entre as ocorrências das feições erosivas e as formas de relevo terreno.	85
Tabela 13	Relação entre as formações geológicas e as feições erosivas	86
Tabela 14	Relação entre os tipos de solo e as feições erosivas	88
Tabela 15	Relação das feições erosivas e as unidades morfológicas do mapa Geomorfológico do RADAM Brasil	89
Tabela 16	Relação das feições erosivas e as unidades da compartimentação geomorfológica proposta.....	90

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1	A relação entre a espessura do solo, taxa de produção de material de resistência e taxa de remoção por processos de transporte.....	12
Gráfico 2	Distribuição da porcentagem dos usos do solo e coberturas vegetais referente ao período de 1964.....	46
Gráfico 3	Distribuição da porcentagem dos usos do solo e coberturas vegetais referente ao período de 1964.....	48
Gráfico 4	Distribuição da porcentagem dos usos do solo e coberturas vegetais referente ao período de 1973.....	50
Gráfico 5	Distribuição da porcentagem dos usos do solo e coberturas vegetais referente ao período de 1985.....	51
Gráfico 6	Distribuição da porcentagem dos usos do solo e coberturas vegetais referente ao período de 1996.....	52
Gráfico 7	Distribuição da porcentagem dos usos do solo e coberturas vegetais referente ao período de 2010.....	53
Gráfico 8	Simulação hipotética da relação das formas erosivas existentes com o processo de ocupação da bacia.....	82
Gráfico 9	Distribuição altimétrica das formas erosivas, com divisão dicotômica entre chapada e interflúvios.....	83
Gráfico 10	Relação entre a concentração de feições erosivas e a declividade.....	84
Gráfico 11	Relação entre o número das feições erosivas e a orientação das vertentes.....	84
Gráfico 12	Distribuição setorial das porcentagens das feições erosivas e a morfologia do terreno.....	86
Gráfico 13	Distribuição em porcentagem das formas erosivas e as formações geológicas.....	87
Gráfico 14	Distribuição em porcentagem da ocorrência de feições erosivas nas unidades pedológicas no mapa de reconhecimento da cobertura pedológica.....	88
Gráfico 15	Distribuição das ocorrências em % das feições erosivas nas unidades geomorfológicas do mapa Geomorfológico do projeto RADAM Brasil.....	90
Gráfico 16	Distribuição das ocorrências em % das feições erosivas nas unidades geomorfológicas do mapa Geomorfológico do projeto RADAM Brasil.....	91

INDICE DE QUADROS

Quadro 1	Processos e parâmetros a serem considerados como geoindicadores.	8
Quadro 2	Importância relativa da ação antrópica em relação as mudanças geológicas rápida.....	9
Quadro 3	Síntese da proposta metodológica para o estudo de Geoindicadores para a bacia do rio Arantes em Minas Gerais	38
Quadro 4	Geoindicadores de estado de equilíbrio e de intervenções humanas.	95
Quadro 5	Geoindicadores de intervenção morfogenéticas	96
Quadro 6	Geoindicadores de intervenções pedogenéticas e hidrológicas.....	97

LISTA DE ABREVIATURAS

FAO *Food and Agriculture Organizatio*

IPT *Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo*

POLOCENTRO Programa de Desenvolvimento dos Cerrados

PRODECER Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para Desenvolvimento dos Cerrados

ISPNI Instituto Sociedade, População e Natureza

IBGE *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

LANDSAT Land Remote sensing Satellite

CBERS China-Brazil Earth Resources Satellite ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres

SRTM *Shuttle Radar Topography Mission*

INPE *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*

MDT *modelos digitais do terreno*

TOPODATA dados topográficos

GPS Global Positioning System

TM *Thematic Mappe*

UTM Universal Transverso de Mercator

MAXVER máxima verossimilhança

SIG *Sistema de Informação Geográfica*

HCR High Resolution Camera

MMS Multispectral Scanner

CPRM Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

SUMÁRIO

CAPITULO 1.- INTRODUÇÃO	1
1.1 Breve histórico do problema	1
1.2 Objetivo e proposta de estudo	4
CAPITULO 2 - FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS DA PESQUISA.....	7
2.1 Geoindicadores.....	7
2.2 – Processos morfogênicos e geoindicadores	10
CAPITULO 3 - ÁREA DE ESTUDO.....	15
3.1 - Sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos	15
3.2 - Geologia	15
3.2.1 - Formação Adamantina - atual Vale do Rio do Peixe	18
3.2.2 - Formação Marília	24
3.2.2.1 - Litotipos.....	24
3.3 - Geomorfologia	25
3.4 - Pedologia	29
3.5 - Bioma do cerrado	30
CAPITULO 4 - MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1 - Materiais	36
4.2 - Etapas da pesquisa	36
4.2.1 - Cartografia histórica do uso do solo	36
4.2.2 - Organização dos dados do meio físico.....	39
4.2.3 - Sistematização dos processos de modificação	41
CAPITULO 5 - TRIÂNGULO MINEIRO: DINÂMICA E EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO E MANEJO DA ÁREA DE ESTUDO.....	43
5.1 Dinâmica e ocupação do sistema hidrográfico Arantes - São Domingos	44
5.1.1 Uso antrópico e cobertura vegetal nas cartas topográficas do IBGE.....	45
5.1.2 - Uso antrópico e cobertura vegetal com base nas imagens de sensoriamento remoto.	48

CAPITULO 6 - ANÁLISES DOS PROCESSOS ATUANTES.....	54
6.1 - Compartimentação topográfica.....	54
6.1.1 - Localização das unidades da compartimentação.....	55
6.1.2 - Mapa hipsométrico	56
6.1.3 - Mapa clinográfico	58
6.1.4 - Esboço morfológico	59
6.1.5 - Mapas das Formas de Relevo – Vertentes.....	61
6.1.6 - Mapa Geológico	61
6.1.7 - Mapa Geomorfológico.....	62
6.1.8 - Mapa de Reconhecimento dos Solos.	63
6.1.9 - Identificação em 1ª de Hidromorfismo	64
6.2 - Feições morfológicas erosivas na bacia hidrográfica dos rios Arantes e São Domingos.....	65
6.2.1 - Feições erosivas nas chapadas.	66
6.2.2 - Feições morfológicas erosivas instaladas no sopé das chapadas.	72
6.2.3 - Feições erosivas instaladas nos interflúvios.....	76
6.3 - Análise quantitativa espacial: a distribuição das feições erosivas	80
6.3.1 - Análise numérica das feições erosivas na bacia do rio Arantes e São Domingos.	81
CAPITULO 7 - PROPOSTA DE GEOINDICADORES DOS PROCESSOS MORFODINÂMICOS PARA REGISTRO E AVALIAÇÃO INICIAL DOS EFEITOS DE SUA DINÂMICA.....	92
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	98
BIBLIOGRAFIA	100
APÊNDICES	116
ANEXOS	117

CAPITULO 1.- INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por recursos naturais fica evidente com o aumento da população mundial , estimada em 8 bilhões de habitantes até 2020 (FAO, 2002). Tal cenário torna a produção de alimento e a sua valorização econômica o foco das preocupações mundiais, o que por outro lado reduz de forma significativa a preocupação com a conservação e manejo sustentável do meio rural.

Segundo a FAO (2002) 16% das terras agrícolas no mundo já apresentam algum grau de degradação. O crescimento da produção aumentará a pressão sobre o meio ambiente , o que provocará alterações diretas sobre o solo e indiretas sobre os demais recursos naturais.

No que se refere à América Latina e Caribe , a oficina regional da FAO (1994) estimou em 200 milhões de *ha* o tamanho da área degradada, relacionada ao desmatamento e à produção agropecuária, com destaque para os processos de erosão e deteriorização física e química dos solos.

No Brasil, o avanço da discussão que envolve o recurso do solo e sua conservação ,desde a década de 70 do século passado (LOMBARDI NETO & BERTONI, 1975 e 1990; QUEIROZ NETO, 1978; IPT, 1990 e 1994), não impediu a ocorrência de sua degradação, promovida pela expansão e o uso intenso dos solo , aliado às modernas técnicas e tecnologias , que permitem uma dinâmica mais rápida de transformação dos ecossistemas em terras produtivas.

1.1 Breve histórico do problema

Segundo Ab'Sáber (2003) a velocidade das mudanças impressas por uma modernização incompleta tem oferecido um campo interessante para os estudos geográficos. A incorporação de novos padrões de exploração promoveu consideráveis mudanças socioeconômicas nas últimas três décadas do século passado e levou à implantação de infraestruturas importantes e atividades agrárias rentáveis no meio rural.

Para Ab'Sáber (2003), Ribeiro *et al.* . (2005) e Mendes (2008) essa modernização na região central do Brasil e a expansão da fronteira agrícola para essa região tiveram relação direta com políticas de interiorização e com a construção de Brasília e Goiânia que, por sua vez, trouxeram a reboque a modernização da rede urbana e da infraestrutura associada à política de desenvolvimento agrícola.

Nóbrega & Encinas (2006) destacam que o processo descrito acima foi o responsável pela mudança rápida do uso do solo com intensa alteração do bioma Cerrado, com perda estimada de 67% de sua área. Por sua vez Ribeiro *et al.* (2005) destaca o POLOCENTRO (Programa de desenvolvimento do Cerrado) e o PRODECER (Programa Cooperativo Nipo-Brasileiro para o desenvolvimento do Cerrado) como importantes programas para o desenvolvimento da agricultura comercial.

Ab'Sáber (2003) ainda destaca que esse processo revitalizou o domínio do cerrado, envolvendo diversos Estados. No caso específico deste estudo, destaque à região do Triângulo Mineiro como exemplo de uma área influenciada pelo processo, com mudanças significativas no uso do solo e na alteração da dinâmica ambiental.

Ainda segundo Ab'Sáber (*op. cit.*), Fonseca (2005) e Ribeiro *et al.* (2005) o cerrado ocupava uma área nuclear no Brasil Central com uma área estimada entre 1,5 a 2,0 milhões de km². A variação em relação à área ocupada, pode estar relacionada com a inclusão ou não das áreas de transição (AB'SÁBER, 1977; RIZZINI, 1997; RIBEIRO, 2005;).

Diversos autores (AB'SÁBER, 1977 e 2005; RIBEIRO *et al.*, 2005; LIMA & SILVA, 2005; BACCARO, 2007; FERREIRA, 2008), manifestaram a preocupação com o bioma do Cerrado, pelas seguintes razões: 1) por abranger áreas de baixa capacidade de suporte em relação a solos e geomorfologia; 2) por se tratar de áreas de nascente ou cabeceira; e 3) por se localizar em seu território importantes extensões das grandes bacias hidrográficas brasileiras (Figura 2).

Essa área deve ser alvo de estudos detalhados, visando a correta gestão dos recursos e a proteção de uma área de influência que pode ser afetada pelo seu uso incorreto. A região do Triângulo Mineiro faz parte do território do bioma, é área de cabeceira e manancial importante do rio Paraná e lida com a fragilidade ambiental do cerrado.

A importância da proteção do cerrado é enfatizada por Ribeiro *et al.* (2005) por conta dos danos que poderiam ocorrer pela ocupação desordenada e exploração excessiva desse domínio. A ausência de políticas públicas adequadas poderia contribuir para a aceleração de mudanças importantes na dinâmica ambiental, principalmente em relação aos recursos hídricos.

Atualmente, esse bioma encontra-se ameaçado pelo processo de expansão da agroindústria, vinculado principalmente com a expansão das áreas de produção de álcool, pelo aumento da demanda desse biocombustível (FAO, 2002; BARBOSA, 2006; PLAZA *et al.*, 2009). Para Barbosa (*op. cit.*) a área apresenta condições adequadas para a reprodução da cana, como áreas de topografia plana ou de fácil mecanização, possibilidade de água e a acessibilidade da área produtora para a usina.

Esse fato valoriza essas propriedades e expulsa ou inviabiliza outros tipos de produções agrícolas, que são empurradas para áreas de topografia mais movimentada e de difícil acesso, frágeis do ponto de vista ambiental e de menor valor econômico. Um exemplo claro é a região do Triângulo Mineiro que, como se pode observar na figura 1, apresenta uma expansão importante da cana-de-açúcar e das usinas, transferindo as atividades tradicionais (pecuária leiteira e de corte) para área de maior fragilidade ambiental.

Figura 1 Distribuição do cultivo da cana-de-açúcar no bioma do Cerrado.

Fonte: ISPN - Instituto Sociedade, População e Natureza (2007)

A região do Triângulo Mineiro, por suas características específicas, apresenta, segundo Baccaro (2007), sistemas geomorfológicos complexos, tanto em sua estrutura (geologia) como em seu processo (morfogênese), porque a intervenção humana introduziu nesses sistemas fluxos de matéria e energia novos e intensos. A autora assinala que a evolução e dissecação das cabeceiras de drenagem são processos naturais, nas três áreas distintas que estudou no Triângulo Mineiro (fig. 2); entretanto considera que a atividade engendrada nos últimos anos pelas intervenções antrópicas tem provocado a aceleração do processo erosivo, que atingiu e alterou de forma sistemática a fisionomia da paisagem, pela alteração dos níveis freáticos, assoreamento das drenagens e mudança na vazão dos mananciais.

Fonte: Baccaro, 2007

Neste cenário destacado a geomorfologia pode contribuir , enquanto ciência que estuda a superfície de contato, produto mutável de diversos processos (geológicos, atmosféricos, biológicos e antrópicos) que agem de maneira dialética na esculturação desta superfície, tendo na forma do relevo a sua síntese (TRICART, 1964).

Para Douglas (1978) interessa a contribuição e importância da geomorfologia para compreensão dos ambientes tropicais e a avaliação de suas potencialidades e limitações, e no caso específico deste estudo, sua resposta às alterações antrópicas promovidas pelo alto índice de

crescimento populacional no mundo tropical. Em relação aos processos geomorfológicos que ocorrem no mundo tropical, Douglas (1978) considera que não haveria diferenças entre os processos que ocorrem na zona temperada e na zona tropical e, em consequência, tampouco no respectivo modelado, já que as taxas pluviométricas seriam semelhantes. Haveriam só variações nas taxas de operação dos processos, que seriam mais intensas nas zonas tropicais.

As considerações de Douglas (op. cit.), assim como as ponderações já mencionadas de Baccaro (2007), ressaltam o potencial dinâmico do ambiente tropical face às interferências antrópicas. Assim, o presente estudo visa contribuir ao conhecimento da morfodinâmica dos trópicos brasileiros mediante a análise das mudanças ambientais rápidas ou aceleradas da paisagem e dos processos associados, com base na interpretação de imagens de satélite e de cartas topográficas.

Procura ainda avaliar os meios pelos quais a ação humana tornou-se importante catalisador dos processos e fluxos geomorfológicos e pedológicos, alterando suas magnitudes, frequências e duração.

Optou-se pela escolha de um sistema hidrográfico como unidade de análise, por ele abranger em seu território variáveis (geologia, geomorfologia, pluviosidade, uso do solo etc.) e processos (morfogênese, pedogênese, ações antrópicas etc.) específicos e únicos, tornando-se do ponto de vista sistêmico um instrumento importante para o planejamento, gestão e pesquisa ambiental, ao permitir visualizar de maneira concreta a inter-relação das variáveis e a mensuração dos fluxos de matéria e energia dos processos internos e externos.

A bacia hidrográfica do sistema Arantes e São Domingos, localizada na região do Triângulo Mineiro, em Minas Gerais, foi escolhida como área de pesquisa por apresentar mudanças ambientais incisivas ao longo de sua história de ocupação e manejo. O avanço da agricultura comercial e suas pressões na atualidade imprimiram na área características diversas associadas à identificação de importantes processos de alteração ambiental acelerada, tais como feições erosivas, assoreamento e mudanças nos canais fluviais, perdas de solo e de seus horizontes superficiais, alteração da morfologia desses horizontes de solo, destruição da vegetação, entre outros.

Desta forma, o objetivo geral desta pesquisa é propor ou identificar indicadores que permitam avaliar e confirmar os efeitos das mudanças no uso do solo na área de pesquisa ao longo dos últimos 50 anos e suas consequências na bacia hidrográfica do sistema hidrográfico Arantes e São Domingos.

Para tanto foram definidos os seguintes objetivos:

- a) Compreender e avaliar a dinâmica e a evolução da ocupação, o manejo da área de estudo e suas relações diretas com os processos de mudança acelerada visíveis. Para tanto será feito um ensaio histórico cartográfico com base em registros multitemporais de produtos cartográficos e de sensoriamento remoto (imagens de satélite), com vista a obter registros das formas de mudanças antrópicas e naturais em diversas escalas espaço-temporais.
- b) Analisar o arranjo dos elementos do meio-físico para alicerçar e subsidiar a análise dos processos atuantes (naturais ou antrópicos) mediante a sistematização cartográfica e compartimentação geomorfológica. Esse objetivo permite destacar as diferenças, em termos morfológicos, das informações do meio físico e compreender a lógica de sua distribuição numa primeira aproximação à área de estudo.
- c) Identificar os processos de mudança ambiental acelerada no sistema hidrográfico e interpretar os efeitos das ações antrópicas na dinâmica dos processos morfogenéticos, pedogenéticos e hidrológicos que modificaram o meio físico e que permitam definir indicadores para a bacia do rio Arantes e São Domingos.

CAPITULO 2 - FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS DA PESQUISA

2.1 Geoindicadores

A base teórica que fundamenta este trabalho é a proposta de pesquisa dos geoindicadores que, conforme Coltrinari (2001), possibilita a reunião de informações sobre mudanças passadas e presentes e propõe o uso de métodos simples de avaliação e controle das mudanças ambientais no ambiente tropical e em bioma tão específico como o Cerrado.

Os geoindicadores consistem em medidas que avaliam magnitude, frequência, taxas e tendências de processos e fenômenos do meio físico geográfico na superfície terrestre, que apresentem variações significativas em um curto período de tempo, inferior a 100 anos, de maneira que, em relação ao tempo geológico, sejam consideradas mudanças rápidas da paisagem. (COLTRINARI, 1996; IUGS, 1996; BERGER, SATKUNAS & HERMELIN, 2003; RODRIGUES & COLTRINARI, 2004)

Segundo Berger *et al.* (2003) os geoindicadores utilizam como apoio metodologias já utilizadas nas ciências da Terra; entre outras, geologia, geomorfologia e pedologia, e tem como principal objetivo a análise de componentes abióticos do ecossistema, sem descartar os componentes bióticos com os quais eles mantêm relação dentro do sistema ambiental. Para Canil (2006) a pesquisa e definição dos geoindicadores podem ser sintetizadas por três procedimentos de investigação: análise, diagnóstico e procedimento de monitoramento.

Com base no trabalho de Coltrinari (2001) e no reconhecimento prévio do campo, foram destacados no quadro 1, diversos processos e parâmetros sujeitos a mudança na zona tropical, especificamente no Cerrado e na escala temporal prevista, para serem considerados geoindicadores.

Processos e parâmetros	Geoindicadores a ser monitorados	Pesquisa de campo	Validar os dados da pesquisa de campo e/ou avaliar mudanças em escala e anos/decênios	Avaliação de mudanças passadas (Quaternário Superior)
<p>1. Erosão do solo por fluxos superficiais e movimentos de massa, relacionados ou não a atividades humanas conteúdo de matéria orgânica no solo, com suas conseqüências nos atributos do solo</p> <p>2. Volume e área dos depósitos tecnogênicos</p> <p>3. Morfologia dos canais fluviais devido a modificações na vazão e/ou carga sólida</p> <p>4. Sedimentação fluvial causada por processos de vertentes e fluviais, ou atividades nas planícies de inundação</p> <p>5. Degradação das florestas</p>	<p>1. Expansão das superfícies de solo nu</p> <p>2. Mudança de fluxo não concentrado a concentrado</p> <p>3. Erosão remontante nas cabeceiras</p> <p>4. Coluvionamento e aluvionamento</p> <p>5. Mudanças na morfometria e na morfologia das vertentes</p> <p>6. Taxas de movimentos de massa e sinais de futuros movimentos</p> <p>7. Mudanças nos canais</p> <p>8. Vazão e carga sólida dos rios</p> <p>9. Mudanças qualitativas e quantitativas na vegetação;</p> <p>10. Taxa de destruição das florestas</p>	<p>1. Trincheiras e vertentes de ravinas</p> <p>2. Instalação de parcelas para monitoramento dos processos geomórficos e do tempo</p> <p>3. Levantamento e amostragem de solos e materiais superficiais</p> <p>4. Mapas e perfis de vertentes</p> <p>5. Monitoramento meteorológico no andar inferior da vegetação e nas clareiras para</p> <p>6. Levantamentos de campo da vegetação</p>	<p>1. Imagens digitais de satélites para análise manual ou por computador</p> <p>2. Fotos aéreas e terrestres</p> <p>3. Interpretação e comparação entre levantamentos atuais e passados</p> <p>4. Comparação entre mapas topográficos, de vegetação, geológicos, geomorfológicos e de solos, e entre levantamentos topográficos atuais e passados.</p> <p>5. Dados meteorológicos e hidrológicos</p> <p>6. Análises físicas e químicas, estudos micromorfológicos de solos e depósitos superficiais</p>	<p>1. Análise e interpretação de produtos de sensoriamento remoto e bancos de dados relatórios científicos, técnicos, políticos, socioeconômicos que contenham diagnósticos sobre questões ambientais</p> <p>2. Dissertações de cursos de pós-graduação em geografia, geologia, meteorologia, engenharia, geoquímica, ciência do solo, climatologia, hidrologia, arqueologia, arquitetura da paisagem e outros.</p> <p>3. Dados geológicos, arqueológicos, paleontólogos e correlatos; métodos de datação aplicados a depósitos geológicos</p> <p>4. Documentos, mapas, fotografias, pinturas de paisagens - em arquivos, coleções, museus e bibliotecas oficiais e particulares</p>

Quadro 1 Processos e parâmetros a serem considerados como geoindicadores.

Fonte: Coltrinari (2001).

Para Berger (2008) a avaliação das condições ambientais (estado) são importantes para saber quais fatores ambientais: abióticos e bióticos (pressão) são responsáveis pela mudança ambiental acelerada (resposta). O autor destaca a necessidade de saber o grau de interferência antrópica no processo de mudança e se o processo está aumentando ou diminuindo.

Com a finalidade de avaliar quais indicadores sofrem influência ou não foi elaborado por Berger (1996) e modificado por Coltrinari (2001), um quadro avaliando a importância da interferência humana nos processos do meio físico representado no quadro 2.

Quadro 2 Importância relativa da ação antrópica em relação as mudanças geológicas rápida.

Geoindicador	Natural	Antrópico
Química e os padrões de crescimento Coral	S	S
Crosta e fissuras da superfície do deserto	S	P
Formação e reativação Dunas	S	P
Magnitude, duração e frequência da tempestade de areia	S	P
Atividade em solos congelados	S	P
Flutuações das geleiras	S	N
Qualidade das águas subterrâneas	P	S
Química das águas subterrâneas da zona não saturada	S	S
Nível do lençol freático	P	S
Atividade Cárstica	S	P
Nível e salinidade dos lagos	S	S
Nível relativo do mar	S	P
Sequência e a composição sedimento	S	S
Sismicidade	S	P
Posição da linha de costa	S	S
Colapso das vertentes (deslizamentos)	S	S
Erosão do solo e sedimentos	S	S
Qualidade do solo	P	S
Fluxo fluvial	S	S
Morfologia dos canais	S	S
Acumulação e carga de sedimentos nos rios	S	S
Regime da temperatura em superfície	S	P
Deslocamento da superfície	S	P
Qualidade das águas superficiais	S	S
Atividade vulcânica	S	N
Extensão, estrutura e hidrologia de áreas úmidas	S	S
A erosão eólica	S	P
Fortemente influenciado	S	
Potencialmente influenciadas pelo;	P	
Nenhuma influência substancial sobre.	N	

A possibilidade da participação do homem nos processos de modificação rápida torna os geoindicadores uma ferramenta fundamental para observação, sistematização e análise do meio ambiente e da ação dos processos antrópicos sobre sua condição de equilíbrio. Berger & Iams

(1996) destacam que o objetivo dos geoindicadores é monitorar tanto fenômenos de grande, como de baixa magnitude.

Desta forma, de acordo com Berger (1996) os geoindicadores visam fornecer informações que permitam antecipar as mudanças e ajudar a recuperar as áreas degradadas; para tanto é importante avaliar se as condições e os processos característicos/iniciais de uma área continuam atuando, se reduziram ou aumentaram suas ações e de que forma as dinâmicas natural e antrópica interferem nos processos.

2.2 – Processos morfogenéticos e geoindicadores

Os processos erosivos ou morfogenéticos promovem a retirada, transporte e deposição dos materiais originários das coberturas superficiais inconsolidadas (solos., depósitos sedimentares, etc.) (TRICART, 1977 e BERTONI & LOMBARDI, 1990) nas vertentes, pela ação de agentes (água, vento, gravidade, etc.). Para Thomes (1980) a erosão acontece quando as forças dos diversos agentes (vento, chuva, escoamentos de água) que atuam na retirada e transporte do material superficial excedem as forças que tendem a resistir à remoção. Para Tricart (1968) e Cruz (1985) os processos erosivos são os agentes principais da esculturação do relevo denominada morfogênese; quando os processos de morfogênese e pedogênese estão em equilíbrio não há modificação das formas.

De acordo com Tricart (1965) numerosos estudos sobre erosão e processos morfogenéticos estão voltados para a pesquisa das descontinuidades dessas ações no tempo (permanente, sazonal, periódico ou esporádico.) e no espaço (escoamento difuso / concentrado, torrencial etc.) por conta das dificuldades e interferências que as variações geram no tratamento quantitativo dos efeitos desses processos (erosão, transporte e acumulação), dificultando muitas vezes a sua utilização. A erosão de interesse específica neste trabalho é a gerada pelo escoamento concentrado da água e sua dinâmica na produção de feições erosivas de entalhe (sulcos, ravinas e voçorocas). Para Tricart (*op.cit.*) o processo de escoamento evolui ao longo do tempo, isto é, se inicia pela saturação do solo pela água meteórica, que promove o escoamento difuso que, por sua vez, evolui para concentrado, caso não haja obstáculos (folhas, raízes, vegetação, etc.) para a circulação superficial. Gradualmente esse fluxo aumenta até iniciar uma incisão na superfície e produzir formação de um sulco que, ao se aprofundar, evolui para uma ravina e, sucessivamente, uma drenagem de primeira ordem em uma bacia hidrográfica.

Segundo Thomes (*op.cit*) a erosão pode ser considerada, em um primeiro momento, como controlada enquanto a relação entre a espessura do solo e a taxa de remoção é controlada, isto é, a relação entre os processos de intemperismo/pedogênese e a retirada são equivalentes, originando uma curva de equilíbrio (figura 10). O processo passa a ser preocupante quando ocorre desequilíbrio e se inicia a redução da espessura do solo em detrimento de sua acumulação. O fato acima descrito ocorre pela ruptura do equilíbrio por conta de mudanças nas características dos solos, levando a variações extremamente rápidas e de grande magnitude na morfologia superficial e profunda do solo (RUELLAN & DOSSO, 1993).

Gráfico 1 A relação entre a espessura do solo, taxa de produção de material de resistência e taxa de remoção por processos de transporte.

Fonte: Thomes (1980)

O processo passa a ser denominado acelerado quando o transporte do material é tão rápido que não permite o desenvolvimento do solo. Quando esse tipo de erosão ocorre na dimensão do tempo geológico e por consequências de alterações climáticas e geológicas pode ser considerada “natural”; porém, quando acontecem no tempo histórico (humano) por pressões antrópicas é denominada de “erosão acelerada” (DERRUAU, 1967; IPT, 1990).

As definições mencionadas anteriormente apresentam, segundo Coltrinari (2002); certa imprecisão já que essas escalas de tempo coexistem no sistema terrestre, até porque o tempo histórico (humano) está contido no tempo geológico. Assim, mudanças rápidas como as feições erosivas, podem ser tanto mudanças provocadas por processos naturais na escala decenal ou secular, como processos desencadeados por efeito das alterações antrópicas na paisagem. Nesse sentido, a autora defende a importância do conhecimento dos processos e suas interações com base na integração de escalas temporais e espaciais variadas.

Cruz (1985) destaca que a concepção da paisagem e sua evolução dependem cada vez mais do entendimento dos diversos processos naturais (intempéricos, pedogenéticos e morfogenéticos) e antrópicos e de suas interações. A autora também destaca que a compreensão de processos erosivos depende da compreensão das escalas temporais e espaciais, sendo o estudo dessas escalas uma questão de método em geomorfologia. Além das autoras mencionadas vários pesquisadores abordaram a questão da escala de abordagem, entre eles TRICART (1965), AB'SÁBER (1969), MORGAN, (1979), THORNES (1980) e TRICART & KILLIAN (1982)

Para Thornes (1980) a compreensão adequada dos processos erosivos não depende apenas do entendimento dos processos mecânicos para compreensão da capacidade erosiva e das taxas de perdas mas também do entendimento da disponibilidade do solo em termos de sua reprodução, isto é, a capacidade que os processos como o intemperismo e a pedogênese têm para manter a evolução constante dos solos. O autor ainda destaca a importância do entendimento das propriedades do solo e de sua relação com os processos mecânicos, mediante a compreensão dos processos relacionados à hidrologia do solo como: infiltração, força de cisalhamento e suscetibilidade à dispersão.

Para Morgan (1986) e Lal (1988, *apud* VITTE & MELLO, 2007) o sistema erosivo da superfície terrestre é controlado por dois agentes que são respectivamente: a erosividade e a erodibilidade. A erosividade é o agente ativo, que controla a energia do sistema de erosão, já a erodibilidade é o agente passivo, que impõe resistência ao agente anterior, representado pelo solo, a cobertura vegetal e a declividade da vertente. O entendimento dos processos erosivos quanto à determinação de sua provável ocorrência e de seus impactos depende dos agentes anteriormente mencionados, que devem ser investigados em detalhe em seus aspectos e especificidades

(LOMBARDI NETO & BERTONI, 1990; MORGAN, 1996), pois segundo De Ploey (1991) é importante considerar possíveis efeitos ambivalentes de alguns fatores relativos aos agentes responsáveis pelo processo erosivo.

Vários autores como Bertoni & Lombardi (1990), VITTE & MELLO (2007), THORNES (1990), TRICART & KILIAN (1982) e MORGAN (1979) trataram e especificaram os diversos fatores que controlam os agentes erosivos no processo de instalação e desenvolvimento das feições erosivas e que são já conhecidos: a chuva, a topografia, a cobertura vegetal e o solo. Entre os geomorfólogos Kirkby (1980); Morgan (1979) Thornes (1990) e Smith & Quinton (2000) tem-se preocupado com os processos erosivos procurando nos modelos computacionais uma solução que possibilite o desenvolvimento de modelos mais realistas e menos empíricos. Nesse sentido segundo o Kirkby (*op. cit*); é necessário desenvolver pesquisas que permitam:

- a) Determinar propriedades do solo que influenciam os processos hidrológicos e permitam determinar a taxa de escoamento superficial;
- b) Identificar as propriedades do solo que determinam a resistência as forças hidráulicas.

O tópico experimental mais importante para Kirkby (1980) refere-se a necessidade de distinguir, entre as propriedades do solo, aquelas que influenciam os processos hidrológicos e determinam a taxa de escoamento superficial, e quais as propriedades que determinam a resistência às forças hidráulicas e influenciam o montante de erosão produzida por um dado volume de escoamento superficial.

CAPÍTULO 3 - ÁREA DE ESTUDO

3.1 - Sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos

O sistema hidrográfico dos Rio Arantes e São Domingos, localiza-se no quadrante definido pelos vértices de coordenadas : 19° 15'S e 50° 40'W ; 19° 35'S e 49° 35'W (fig. 3). A área de estudo situa-se na Bacia Sedimentar do Paraná, no macrocompartimento geomorfológico do Brasil, denominado Planalto Meridional (AZEVEDO, 1949; AB'SÁBER, 1950).

O território do sistema hidrográfico esta contido nos municípios de Campina Verde, União de Minas, Santa Vitória e Limeira do Oeste. O terço superior da bacia localiza-se no município de Capina Verde, já seu terço médio e inferior esta distribuido nos três municípios mencionados.

A unidade administrativa mais próxima é o bairro rural de Honorópolis pertecente a Campina Verde, acesso direto à área de pesquisa, que é limitada a norte pelo município de Gurinhatã, a sudeste por Ituiutaba, a sudoeste por Santa Vitoria, a leste pelos municípios de Comendador Gomes e Prata, e a oeste por União de Minas, a sul por Iturama e São Francisco de Sales, a sudeste por Itapajipe e a sudoeste por Carneirinho, sendo que os qutro últimos municípios fazem divisa com o Estado de São Paulo (Fig. 3).

3.2 - Geologia

A área de estudo está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, localizada no centro-leste da Plataforma Sul-Americana, que se comporta como uma unidade geotectônica autônoma. A bacia é colmatada por quase 5.000 m de sedimentos e lavas intercaladas (Fig. 4), e apresenta deformações tais como dobramento e falhas, além de movimentos epirogênicos regionais que imprimiram na bacia diversas características (IBGE, 1983).

A bacia ocupa uma área de aproximadamente 1,6 milhão de km², dos quais 1 milhão em território brasileiro, e abrange os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grasso e Mato Grosso do Sul. Denominada por Almeida *et al.* (1981) como Província Paraná, a bacia contem rochas sedimentares predominantemente horizontalizadas e às vezes sub-horizontalizadas, quando apresentam caimento em direção ao centro da bacia. O início da sedimentação está registrado em rochas do Neo-Ordovnciano até o final do Mesozóico, interrompida pelos movimentos da "Reativação Weadeniana" e abertura do Atlântico Sul. Ao longo

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Figura 3 Localização da Bacia do rio Arantes e São Domingos objeto de pesquisa

Figura 4 Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, com isolinhas de profundidade e contorno estrutural do embasamento cristalino.

Fonte: Mantesso-Neto *et al.* (2004).

desse intervalo geológico sucessivos episódios de sedimentação originaram uma coluna estratigráfica diversa quanto a sua estrutura e litologia (Fig. 5).

O relevo da área de estudo foi modelado sobre as rochas sedimentares do Grupo Bauru (Cretáceo Superior) originadas após processos diastróficos relacionados com a abertura do Atlântico, já citada, que deram origem a deformações tectônicas, intenso movimento de blocos e abertura de fisuras, que culminou com importante magmatismo de filiação alcalina (SOUSA JÚNIOR *et al.*, 1983).

Os episódios mencionados interessam à esta pesquisa já que o Grupo Bauru apresenta ter sido afetado pelos fenômenos crustais antes mencionados. Além de apresentar relações discordantes com as unidades estratigráficas inferiores, esse grupo caracteriza-se por uma sedimentação predominantemente arenosa em ambientes deposicionais continentais, fluviais e lacustres, afetados por flexuras regionais, estruturas locais e falhamentos.

Da base ao topo, o Grupo Bauru apresenta, em ordem cronológica as formações: Caiuá, Santo Anastácio, Uberaba, Adamantina e Marília (figura 5). O relevo da área objeto desse estudo foi modelado sobre as formações Adamantina, atual Vale do Peixe, e Marília, descritas a seguir em relação a sua distribuição, posição estratigráfica, litologia, estrutura, idade, paleontologia e origem (Fig. 6).

3.2.1 - Formação Adamantina - atual Vale do Rio do Peixe

A Formação Adamantina foi proposta por Soares *et al.* (1980) com o objetivo de englobar diversas fácies e litofácies que estavam desgarradas na estratigrafia do Cretáceo e apresentavam correlações em diversos pontos. A formação é uma unidade litoestratigráfica expressiva na área do Triângulo Mineiro, ocorrendo em uma faixa contínua com configuração NE-SE e SO na região onde se localiza a área de estudo (Fernandes & Coimbra, 2000). Almeida *et al.* (1980) associaram a formação à cinco unidades diferentes.

A área onde aflora a formação apresenta importante rede de drenagem, da qual fazem parte os formadores do rio Paraná, como o rio Grande e Paranaíba. O relevo se caracteriza pela ocorrência de extensos tabuleiros (chapadas com altitude superiores a 600 m) e conjuntos de colinas médias (420 a 500 m) modelados tanto na Formação Adamantina como na Formação Marília, que a recobre; os vales são estreitos. (Fig. 7).

Figura 5 Diagrama crono-estratigráfico da Bacia do Paraná, construído com base fundamentalmente em informações de sub superfície.

Fonte: Mantesso-Neto *et al.* (2004).

Key: Caiuá Gr.: **RP**=Rio Paraná Fm., **GE**=Goio Erê Fm. and **SA**=Santo Anastácio Fm.; Bauru Gr.: **VP**=Vale do Rio do Peixe Fm., **Aç**=Araçatuba Fm., **Ub**=Uberaba Fm., **PP**=Presidente Prudente Fm., **SJ**=São José do Rio Preto Fm., **Ma**=Marília Fm. (**e**=Echaporã Mb., **s**=Serra da Galga Mb. and **p**=Ponte Alta Mb.); **Tu**=Taiúva Analcimite. (After Fernandes and Coimbra 2000).

Figura 6 Estratigrafia do Grupo Bauru e suas Formações Bauru

Fonte: Fernandes *et al.* (2003).

No Triângulo Mineiro , a espessura da Formação Adamantina foi estimada em 230 m (Figura 8) entre o canal do rio São Simão e a Serra dos Patos, nos arredores do município de Gurinhatã. Na base ocorre um conglomerado capeado pela alternância cíclica de camadas areníticas, lamíticas conglomeráticas, siltico- argiliticas e carbonáticas, com espessura variável de lâminas de estratos de 10 m. Quanto ao recobrimento discordante da Formação Vale do Peixe em relação à Formação Botucatu os contatos foram interpretados como sendo por falhas, enquanto o contato com a Formação Serra Geral foi relacionado à mudanças abruptas do tipo de solo (SOUSA JÚNIOR *et al.*, 1983).

No contato da antiga Formação Adamantina , atual Formação Vale do Peixe , com a Formação Marília os arenitos argilo-carbonáticos da formação gradam para arenitos mais grosseiros e carbonáticos vermelho-róseos da Formação Marília, contato esse claro em todo os municípios do Triângulo Mineiro ,inclusive em Campina Verde , onde localiza-se parte da área de estudo (SOUSA JÚNIOR *et al.*, 1983).

As característica da base citada anteriormente pode apresentar em algumas áreas conglomerado basal com aspecto brechóide com até 6 m de espessura, com matriz areno-argilosa agregando grânulos, seixos e matações angulosos de basalto e arenitos, silicificados ou não.

Na seqüência , sobre a formação basal ocorre um arenito de coloração vermelho-castanha a róseo-pardacenta com granulometria fina a muito fina, passando a média e esporadicamente grosseira, gradando em sua parte superior para Formação Marília (SOUSA JÚNIOR *et al.*, 1983, 1983; Fernandes & Coimbra, 2000).

A granulação fina dos arenitos é associado a um material bem selecionado e regular, comum na morfologia de areia, com arredondamento de médio a bom e esferecidade boa. Já as franções grosseiras apresentam arenitos com grãos de areia mal selecionados e irregulares, com grãos de quartzo subarredondados e subangulosos, agregados por uma matriz argilosa .

Os arenitos são compostos basicamente de quartzo e feldspatos, com pontuações de óxido de ferro, de manganês e caulim, pelotas de argila, carbonato de cálcio (na forma de pontuações e nódulos ou como parte do cimento). Em alforamento superficiais o arenito aparece geralmente bastante silicificado, com coloração róseo-avermelhada , que dificulta a distinção de suas características litológicas. À medida em que se sobe na coluna estratigráfica , aumenta a ocorrência das intercalações siltico-argiliticas e a contribuição calcária que chega a formar lentes de 2 a 3 m de espessura. Também é observado ao longo de todo o pacote mosqueamento proveniente da dissolução carbonática ou de óxidos de ferro e manganês. A ocorrência de “pelotas de argila” é uma das feições marcantes desta unidade do Grupo Bauru, identificada em toda a área, no topo da Formação (IBGE, 1983).

As datações realizadas sobre os distritos alcalinos (basalto) do Triângulo Mineiro registraram valores ao redor de 80 milhões de anos, e permitiram relacionar as formações Adamantina – Uberaba ao período senoniano, do Cretáceo Superior. Em relação aos fósseis ,Soares *et al.* (1980) destacam que os jazigos da antiga Formação Adamantina encontram-se em sua parte superior. Segundo os trabalhos de Mezzalira (1974) essa ocorrência mostraria que devido à sua posição na formação, as ocorrências estão associadas tanto à presente formação quanto à Formação Marília, desta forma foi atribuída a todo o Grupo Bauru idade senoniana (Cretáceo Superior).

Os modelos relativos ao ambiente de sedimentação ,identificam na sua porção inferior estrutura maciça e composição lamítica características de canais meandantes e de planícies de transbordamento da Formação Anastácio (inferior) que gradualmente passariam para um sistema fluvial mais organizado e uniforme, tendo como material fonte rochas básicas da Formação Serra Geral (COIMBRA, 1976), com contribuição secundária de rochas metamórficas e retrabalhamento de sedimentos paleomesozóicos da própria Bacia Sedimentar do Paraná.

3.2.2 - Formação Marília

A unidade é rica em fósseis apresentando contornos estruturais, litológicos e topográficos bem definidos e a rede de drenagem sobre ela desenvolvida se caracteriza por entalhes pouco profundos e estreitos; a espessura dos sedimentos em outras áreas pode chegar a 200 m, porém no Triângulo Mineiro ela não ultrapassa 100 m (Fig. 7). Seus litotipos recobrem na maioria das vezes as rochas da Formação Adamantina e apresentam relevo movimentado, escarpas abruptas e topos aplainados sustentados por camadas silicificadas e conglomeráticas (fácies Itaquira) que, por vezes, recobrem camadas ricas em nódulos carbonáticos (fácies Ponte Alta) (Fig. 6). Devido ao intemperismo químico as cristas carbonáticas apresentam contornos morfológicos irregulares, comuns na área de pesquisa.

A Formação Marília é pobre em estruturas sedimentares, talvez reflexo do ambiente sedimentar fluvial com canais e planícies de inundação que apresentam de início grande competência com formação de conglomerados na base e baixa competência no resto do sistema com pequenas flutuações. Entretanto, bancos maciços por vezes mostram estratificação plano-paralela descontínua e com laminações tabulares subordinadas. Na área de pesquisa ocorrem estruturas de corte e preenchimento e dobras convolutas, assim como interrupções na sedimentação das camadas que caracterizam a ocorrência de diastemas e de concrecionamentos nodulares, principalmente na Fácies Ponte Alta.

Almeida & Barbosa (1953) descreveram de início a Formação Marília como sedimentos arenosos ricos em cimento calcífero e em fósseis sobre a então criada Série Bauru. Barcelos, Landim & Suguio (1981) propuseram no Triângulo Mineiro a subdivisão da formação em fácies Ponte Alta e Serra da Galga (Fig. 6), devido à ordem litoestratigráfica com ambientes sedimentares distintos para cada fácies. Em seguida Souza Junior *et al.* (1983) identificaram na parte superior da Formação Marília um pacote de sedimentos conglomeráticos silicificados que denominaram Fácies Itiquira.

3.2.2.1 - Litotipos

A Formação Marília (Cretáceo Superior) faz parte da coluna sedimentar da bacia sedimentar do Paraná e inclui os litotipos Serra da Galga, Itiquira e Ponte Alta (Fig. 6) que afloram na área de pesquisa. A fácies Serra da Galga na região do Triângulo Mineiro apresenta um pacote

sedimentar com espessura de 50 a 70 m (SOUSA JÚNIOR *et al.*, 1983) constituída por estratos lenticulares de espessura decimétrica com estratificação cruzada tabular a acanalada de médio e pequeno porte composta de arenito e arenitos grosseiros e conglomeráticos, argilosos intercalados e interestratificados por camadas de finos. O ambiente de sedimentação da fácies Serra da Galga, é considerada produto direto de sistemas fluviais anastomosados associados a leques aluviais em regiões próximas a arcos marginais (BARCELOS, LANDIM & SUGUIO, 1981; FERNANDES & COIMBRA, 2000).

A fácies Itiquira é constituída por sedimentos, conglomerado petromítico, intraformacional com matriz arenosa grosseira, silicificada, agregando grânulos, seixos e matacões. A visualização do contato desta fácies com a fácies Ponte Alta (fácies inferior) é rara. A fácies Ponte Alta é constituída por arenitos muito calcíferos com lentes e nódulos de calcário conglomerático ou brechóide subordinado englobando também níveis irregulares de arenito conglomerático, conglomerados e níveis incipientes de siltitos e argilitos. (SOUSA JÚNIOR *et al.*, 1983). O ambiente de sedimentação desta fácies foi considerado lacustre em clima árido, depositada em uma grande lagoa alongada no sentido SE-NO (BARBOSA *et al.*, 1970). Para Suguio *et al.* (1977) o clima era semi-árido com regime torrencial e deposição de pavimentos detriticos, cimentados por carbonato tipo caliche.

3.3 - Geomorfologia

Para Azevedo (1949) e Ab'Sáber (1950) a área de estudo se localiza no macro compartimento do Planalto Meridional. Já segundo o levantamento de recursos naturais do projeto RADAM (MAMEDE *et al.*, 1983), situa-se no compartimento denominado Planalto Setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná, enquanto na nova compartimentação do relevo brasileiro proposta por Ross (1989) a área faria parte da macro unidade denominada Planalto e Chapadas da Bacia do Paraná.

De acordo com Ab'Sáber (1977; 2005) a área de pesquisa localiza-se na área dos maciços de planaltos de estruturas complexas com superfícies aplainadas de cimeira. Um conjunto significativo dos planaltos é de origem sedimentar e apresenta variação altimétrica entre 300 a 1.500 m, sendo que são similares quanto à sua forma e estrutura, mas apresentam diferenças de detalhe em particular quanto ao padrão da drenagem das sub-bacias.

Do ponto de vista geomorfológico a área integra o Domínio Morfoclimático do Cerrado (fig 8) com presença de chapadões e chapadas tropicais interiores com cerrado e floresta-galerias. (AB'SÁBER, 1970) Na área se identificam três compartimentos topográficos.

Com amplitudes altimétricas maiores aparecem as chapadas nas cabeceiras das redes de drenagem da rede hidrográfica mencionada, com ocorrência de pequenas elevações com relevo ruiformes e concreções ferruginosas, cobertas no passado segundo Ab'Saber (2003) e Rizzini (1997) por cerrado e cerradões. Essas formações vegetais, atualmente apresentam apenas fragmentos, pois foram desmatadas para instalação de pastagens de pequenas represas nos bordos das cabeceiras de drenagem para abastecimento animal. Os interflúvios, formados pelas chapadas e chapadões e as vertentes suaves da base, com interflúvios entalhados e alongados, apresentam o predomínio da formação vegetal de cerrado e cerradões; com ocorrência de solos do tipo Latossolo (AB'SÁBER, 1970). O nível altimétrico inferior da área é o que Ab'Sáber (1970) denomina calhas aluviais e planícies aluviais, em geral sem meandros com florestas-galerias que ocupam diques marginais. As calhas dos rios nos centros das planícies da unidade anterior aparecem como um corredor contínuo homogêneo e alongado.

Segundo Mamede *et al.* (1983) na folha Goiânia (SE 22) a macrounidade do Planalto Setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná apresenta-se como a unidade mais significativa, por sua extensão, que representa de 66% da área mapeada pelo projeto com uma extensão de 185.534 km².

Devido à sua extensão a área foi subdividida em dois compartimentos: Planalto Setentrional da Bacia do Paraná o mais extenso, onde se localiza a bacia de interesse do presente projeto, e o Planalto de Maracajú, menos extenso (MAMEDE *et al.*, *op cit.*).

O projeto RADAM Brasil (MAMEDE *et al.*, 1983) classifica como superfície erosiva tabular do ponto de vista geomorfológico a unidade topográfica superior, com ocorrência de relevo residual de topo aplainado, provável testemunho de antigas superfícies de erosão e geralmente limitado por escarpas, com altitudes superiores a 580 m. A geologia dessa unidade faz parte do Grupo Bauru, mais especificamente da Formação Marília, com arenitos finos a grosseiros, mal selecionados, de coloração vermelha, róseos e esbranquiçados e conglomerados comumente desagregados, com níveis lenticulares e ocorrência de concreções calcáreas (MAMEDE *et al.*, 1983).

Os solos do topo das chapadas são uma associação Podzólico Vermelho-Amarelo distróficos em relevo ondulado e suavemente ondulado e Latossolo Vermelho em relevo plano. Segundo o projeto RADAM é uma região de savana (cerrado) com floresta estacional decídua alterada antropicamente para pastagem.

Figura 8 Domínios morfoclimáticos brasileiros e suas áreas nucleares.

Fonte: Ab'Sáber (1970).

No segundo nível altimétrico, com altitudes variando de 440 a 520 m, e na base das chapadas aparecem interflúvios largos e alongados com vales entalhados com ocorrência de concreções no topo dos interflúvios (AB'SABER, 2003). Há também terraços cascalhentos, mal definidos junto a base das chapadas, com stone lines nos materiais superficiais. Nessa área aparece o cerrado com pastos naturais e também veredas; nas áreas com concreções ferruginosas ocorre cerrado pouco evoluído (*substander*). (AB'SABER, 2003).

Segundo Mamede *et al.* (1983) a área é caracterizada como relevo com formas de dissecação com topos convexos com diferentes ordens de grandeza média, intensidade de aprofundamento de drenagens fraca, eventualmente separadas por vales de fundo plano. Do ponto de vista geológico, o embasamento desse compartimento também faz parte do grupo Bauru, porém sua formação denominada anteriormente Adamantina (hoje Vale do Peixe) caracteriza-se por arenitos muito finos, de coloração creme e cinza, com presença de siltitos e argilitos. Sua estratificação é plano-paralela e cruzada de pequeno à médio porte. Há ocorrência de níveis conglomeráticos e carbonáticos, concreções e pelotas de argila.

A alteração dessas rochas pode formar extensos e espessos areiais e os solos identificados são: Latossolos Vermelhos álicos de textura argilosa e Areias Quartzosas de textura arenosa, em relevo plano e suave ondulado. Nos relevos ondulados com vertente de maior declividade e próximos ao sopé da chapada ocorrem os Podzólicos Vermelho Amarelo de textura média arenosa. A vegetação é do tipo savana, com floresta estacional alterada antropicamente em pastagem.

Mamede *et al.* (op.cit.) descrevem esse último nível altimétrico, de 340 a 400 m, como um relevo plano e sujeito a inundações periódicas devido à dificuldade de escoamento, com pequenas planícies e terraços fluviais arenosos, com ocorrência local de cascalhos. Há também depósitos de sedimentos finos hidromórficos.

No embasamento predomina a Formação Vale do Peixe, com ocorrência de sedimentos holocênicos na faixa de meandros. Além dos depósitos aluvionares podem ocorrer solos Glei Pouco Húmicos e Húmico eutróficos com textura argilosa à muito argilosa e Lateritas Hidromórficas relacionadas normalmente a florestas-de-galeria com vegetação arbórea alta com espécies higrófilas e palmeiras buriti; normalmente essa floresta se destaca no domínio do Cerrado devido ao seu porte e beleza.

Baccaro (2007) considera que a região do Triângulo Mineiro apresenta sistemas geomorfológicos complexos tanto por sua estrutura como em seu funcionamento. As ações antrópicas vêm introduzindo nesse sistema, novos e intensos fluxos de energia e matéria, fatos que a autora destaca junto com a necessidade de promover um conhecimento integrado dos

elementos e processos naturais (abióticos e bióticos) e antrópicos para possibilitar uma interação menos impactante.

3.4 - Pedologia

Segundo Novaes *et al.* (1983) no relatório do Projeto RADAM a área de estudo caracteriza-se predominantemente por um relevo plano e suave ondulado que despertou o interesse na ocupação para diversas atividades agropastoris. Entre outros fatores os autores destacam a relação importante entre a variação das classes de solos e a diversidade de feições geomorfológicas e litológicas:

“Observou-se que a relação entre o material geológico e os agrupamentos de solos é muito grande nesta paisagem, havendo uma importância mútua no mapeamento geológico e pedológico, fato este comprovado por Zebino Pacheco do Amaral Filho em 1982 no trabalho: “Influência da Pedologia no Mapeamento Geológico do Triângulo Mineiro”, ainda não publicado.” (NOVAES *et al.* 1983).

No mapa de reconhecimento dos solos do Triângulo Mineiro (EMBRAPA, 1980) e na folha Goiânia (SE. 22) (IBGE, 1983) os Latossolos são os solos de maior ocorrência seguidos dos Podzólicos e Cambissolos, destacando-se por seu potencial agrícola o Podzólico Vermelho eutrófico e os solos originados do basalto como o Latossolo Roxo e a Terra Roxa Estruturada.

No relatório do RADAM Novaes *et al.* (1983) destacam que sua área de abrangência envolvia o Planalto Central Goiano, o Planalto dos Guimarães (Alcantilados), a Depressão do Araguaia e os Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná, essa última representada na região pelo Planalto Setentrional da Bacia do Paraná, onde está localizada a área desta pesquisa.

O Planalto Setentrional da Bacia do Paraná abrange praticamente toda a parte sul do mapeamento do projeto RADAM Brasil, esculpido sobre diversos materiais sedimentares, que deram origem a solos geralmente arenosos. Aqueles desenvolvidos sobre os arenitos da Formação Botucatu são bastante arenosos, como as Areias Quartzosas, e secundariamente Latossolos Vermelho-Escuro, Latossolos Vermelho-Amarelo e Podzólico Vermelho-Amarelo, todos com textura média.

Os basaltos da Formação Serra Geral deram origem a Latossolo Roxo, Terra Roxa Estruturada latossólica e, nos bordos dos planaltos ou proximidades de afloramentos de rochas, os

solos Litólicos e Cambissolos, todos apresentando como características marcantes e herdadas deste material originário o alto teor de óxido de ferro (Fe_2O_3) e forte atração das partículas de solos pelo imã.

Já sobre os arenitos do Grupo Bauru, que cobrem toda a área da bacia do sistema Arantes - São Domingos originam predominantemente Latossolo Vermelho-Amarelo e Solos Litólicos nas áreas de influência calcífera, todos com textura média ou arenosa, como é o caso das Areias Quartzosas, que podem estar relacionadas a sedimentos.

Destacam-se também as áreas de formação ferruginosa ou constituídas por uma cobertura detritico-laterítica, citada por vários autores do projeto RADAM nas áreas onde são encontrados Latossolos Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, ambos de textura argilosa e muito argilosa.

3.5 - Bioma do cerrado

Segundo Ab'Sáber (2003), Fonseca (2005) e Ribeiro (2005) o bioma do cerrado ocupa uma área nuclear ou "core" no Brasil Central (Fig. 8). Em relação à superfície ocupada pelo cerrado a bibliografia consultada apresenta discrepâncias: para Rizzini (1997) a área é de 1,5 milhões de km^2 aproximadamente, já Ribeiro (2005) estima em torno de 2,04 milhões de km^2 , enquanto Ab'Sáber (2003) considera um polígono de 1,7 a 1,9 milhão de km^2 de extensão. A discrepância em relação à área de ocupação pode estar relacionada com a inclusão ou não das áreas de transição (AB'SÁBER, 1977; RIZZINI, 1997; RIBEIRO, 2005). Segundo Ab'Sáber (1977) essas áreas caracterizam-se por um inter-espaco de transição ou contato com alteração fisionômica (figura 10) predominantemente vegetacional.

Essas áreas aparecem como corredores de largura variável, com combinações ou mistura de elementos florísticos diversos entre as diferentes áreas nucleares adjacentes ou de contato (AB'SÁBER, 1977; RIBEIRO, 2005).

Os autores acima citados concordam em que o cerrado é o representante na América do Sul da savana africana, guardadas as especificidades de cada tipo. Ab'Sáber (2003) enfatiza que a diferença deve-se ao arranjo das formações, já que o cerrado apresenta formações de cerrado e cerradão distribuídos aleatoriamente enquanto a savana africana apresenta caráter transicional homogêneo. Para Rizzini (1997) a diferença deve-se ao seu porte mais baixo que a representante africana, isto é, com uma estratificação inferior, com estratos arbóreos e herbáceos inferiores em tamanho e porte. O autor ainda cita mais três fatos que destacam a característica mais xérica da

savana africana, que são: árvores de lenho mais suculento e deciduidade, e ervas de ocorrência anual. Essa informação é validada por Ferri (1963 apud AB'SÁBER, 2003) que declarou que o cerrado apresenta uma aparência xeromórfica falsa.

Para Ab'Sáber (*op. cit*) a interiorização da Mata Atlântica e sua tendência longitudinal (Fig. 8), impediu o domínio leste-oeste do cerrado no Brasil, restringindo sua ocupação à região central do país, enquanto Ribeiro *et al.* . (2005) enfatiza o alto endemismo de espécies do cerrado assinalando que sua distribuição e formação estão relacionadas diretamente com aspectos abióticos (solo, clima e características hídricas).

Finalmente Lima & Silva (2005) enfatizam que o domínio do cerrado, guarda em seu território as nascentes de seis bacias hidrográficas brasileiras e internacionais (Amazônica, Atlântico Norte/Nordeste, São Francisco, Atlântico leste e Paraná/Paraguai), portanto importante do ponto de vista hidrológico continental (Fig. 9). Em relação à bacia do Paraná/Paraguai o cerrado ocupa 48% da área da mesma e contribui com 71% da vazão média dessa bacia.

Figura 9 Representação dos limites do Cerrado em relação às bacias hidrográficas do Brasil.

Fonte: Lima & Silva (2002)

Para os autores supracitados a preocupação com esse bioma se justifica também por serem áreas de baixa capacidade de suporte e deveriam, portanto ser alvo de estudos mais detalhados com o objetivo de melhor gerir este recurso e pela área que pode ser afetada pelo seu uso incorreto.

Ab'Sáber (2005) destaca de maneira simplificada a ocorrência das veredas como uma formação herbácea situada nos bordos de planícies de inundação colocando-as como similares à mata galeria. Já a Embrapa (1982) as caracteriza como um ambiente de vegetação arbóreo-arbustiva com ocorrência da palmeira buriti no núcleo dessa formação enquanto Fonseca (2005) aponta que as veredas podem apresentar formação vegetal com espécies herbáceas paludosas e também com ocorrência de faixas de buritis (*Mauritia flexuosa*).

Ferreira (2008) detalha melhor a geomorfologia e esclarece que o sistema localiza-se nas planícies de cimeira à jusante das chapadas e chapadões, em interflúvios amplos com ocorrência de solo hidromórfico, e tem seu sistema hídrico controlado pelo regime climático sazonal típico desse domínio morfoclimático. Carvalho (1991) destaca a importância e a fragilidade deste subsistema do cerrado cuja importância deve-se ao seu desempenho no equilíbrio hidrológico ao armazenar água proveniente das chapadas, e é responsável pela perenização da água superficial de rios e córregos do bioma. Sua fragilidade deve-se à baixa resiliência e portanto a dificuldade em retrogradar à condição original de equilíbrio após alterações ambientais.

Conforme citado anteriormente o bioma em questão apresenta uma sazonalidade com duas estações bem marcadas. Com o período de chuvas variando de seis a sete meses (de outubro a abril) e o período de seca de cinco a seis meses (de maio a setembro), com precipitações variando de 600 a 2000 mm e com temperaturas médias de mínimas com variação de 20° a 26°C (AB'SÁBER, 2005; LIMA & SILVA, 2005). Segundo Reatto & Martins (2005) a precipitação apresenta no bioma distribuição desigual (Figura 10), com variação de 600 a 800 mm no contato com o bioma da caatinga e 2000 a 2200 mm na proximidade com o domínio amazônico, segundo os autores citados, responsável pela variabilidade dos solos e graus de intemperismo.

Segundo o IBGE (1983) a área abordada no relatório apresenta dois domínios climáticos marcantes; um ao norte, com período seco de 5 meses, e outro ao sul, com 3 à 4 meses de seca. Os dados pluviométricos indicam totais anuais oscilando entre 1300 mm e 1750 mm, com diminuição nos totais pluviométricos em direção sudeste, que ocorre no período de maio à setembro em toda a área (IBGE, *op cit.*). Quanto à temperatura média, varia de 18° a 20°C durante o ano. No período de maio à agosto as médias declinam de 20°C e, mesmo em alguns locais, chegam a menos de 18°C; as máximas absolutas são altas, de 35°C a 40°C e a média mínima fica entre 16°C e 18°C. DE maio a agosto elas estão abaixo de 15°C, caracterizando quatro meses de frio, nunca porém atingindo menos de 10°C. (IBGE, *op cit.*).

Figura 10 Principais fitofisionomias do bioma do cerrado

Fonte: Ferreira *et al.* (2006)

O RADAM (IBGE,1983) assinala a variação sazonal marcada pela umidade relativa do ar, com uma média mensal em torno de 50% a 60% nos meses mais secos, e superior somente na estação das chuvas e que ultrapassa 80%.

Figura 11 Distribuição desigual dos Índices pluviométricos no bioma do Cerrado

Fonte: Assad et al. , 1998

CAPITULO 4 - MATERIAIS E MÉTODOS

A realização do estudo voltado à análise das mudanças ambientais aceleradas no sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos (MG) partiu do interesse na proposta dos geoindicadores e teve como referência as publicações de Coltrinari (1996; 2001), Rodrigues & Coltrinari (2004) e Canil (2007). Esses trabalhos foram, por sua vez, resultado de discussões sobre as mudanças globais de curto prazo em eventos realizados entre 1994 e 2003 onde se formularam as bases teóricas e metodológicas dessa linha de pesquisa sobre as mudanças globais de curto prazo e as interações entre os elementos naturais e os elementos antrópicos; entre os autores cabe citar Berger & Iams (1996), Berger (1998; 1999), Berger & Hodge (1998) e Berger, Satkunas & Hermelin (2003).

A proposta dos geoindicadores teve como base a identificação e avaliação dos processos ambientais por intermédio das feições erosivas comumente relacionadas com os processos geomorfológicos que ocorrem na superfície terrestre e estão sujeitos a alterações significativas e rápidas em curto período de tempo. A proposta de indicadores ambientais é importante mas, de acordo com Berger, Satkunas & Hermelin (2003), é fundamental a observação dos seguintes critérios para garantir sua objetividade: a) ter validade científica; b) contar com dados disponíveis para sua avaliação e monitoramento; c) ter um foco geográfico nacional regional ou local; d) possibilitar respostas às alterações ambientais; e) ser suficientemente representativo, f) ser de fácil compreensão e de utilidade para usuários potenciais (BERGER & IAMS, 1996; BERGER, 1998).

Coltrinari (1996; 2002) destacou a dificuldade de formular diagnósticos adequados em relação aos processos ambientais quando associados à ausência de dados. Ainda para a autora essa ausência dificulta o conhecimento dos processos e suas interações, variações temporais, espaciais e de magnitude. O desconhecimento dos processos associados às ações humanas que introduzem no ambiente pressões que alteram limiares de estabilidade ainda não conhecidos prejudica a compreensão e avaliação dos geoindicadores.

Tomando as informações acima como premissa optou-se por desenvolver um estudo fundamentado na análise espacial da área de pesquisa. A decisão foi pautada nas informações espaciais registradas em cartas topográficas e imagens de satélite ao longo de pelo menos 50 anos, que permitiram avaliar a variação da ocupação e uso do solo na região estudada, bem como a evolução da paisagem e dos processos relevantes nessas mudanças, ou seja, sua evolução. No quadro 2, segue de maneira sintética a proposta metodológica.

4.1 - Materiais

Com a finalidade de atingir o objetivo proposto (QUADRO 2), foram utilizados diferentes materiais:

- Informações teóricas, conceituais e técnicas referentes à área de estudo, obtidas no levantamento bibliográfico e cartográfico;
- Informações relativas ao tratamento e interpretação digital e analógica de imagens de satélites baseados nos trabalhos de Novo (1989), Amaral (1990), Quintanilha (1990), Richards (1995), Meneses & Madeira Netto (2001), Jensen (1996), Florenzano (2002) e Chuvieco (2002);
- Cartas topográficas do IBGE, na escala 1:100.000 folhas: São Domingos (SE-22-Z-C-I), Cachoeira Porto Feliz (SE-22-Z-C-II), Iturama (SE-22-Z-C-V), Cachoeira da Mutuca (SE-22-Z-C-IV); e 1:250.000 folha: Iturama (SE-22-Z-C);
- Imagens de satélite multitemporais da área de estudo dos seguintes instrumentos: LANDSAT 1, 2, 3, 5 e 7 ; CBERS 2 e 2B; e SRTM. As imagens serão obtidas junto ao catálogo de imagens do INPE e da NASA;
- Imagens MDT obtidas a partir do instrumento SRTM disponibilizada pelo site da Embrapa do projeto “Brasil em relevo”, INPE no projeto “TOPODATA”;
- Dados do meio físico: geológico, geomorfológico e pedológico, fotográfico e descritivo, obtido em campo, com emprego de equipamentos técnico adequado, para controle de foto, interpretação e para análise de laboratório;
- Uso do GPS *Garmin Map76 CSx* para registro dos pontos de coleta e observação;
- *Softwares* utilizados para geocodificação, manipulação e modelização das informações: IDRISI Kilimanjaro v. 14.2, ENVI 4.5, ARCGIS 9.2, Google Earth Pro 5.2.1., GVSIG móbil e SPRING 5.2

4.2 - Etapas da pesquisa

Conforme descrito de maneira sintética no quadro 2, para o desenvolvimento da pesquisa foram definidas 3 etapas para análise das mudanças ambientais na bacia do sistema hidrográfico Arantes – São Domingos descrita de maneira detalhada nos itens que seguem.

4.2.1 - Cartografia histórica do uso do solo

A etapa em questão está associada ao primeiro objetivo específico e pretendeu gerar informações para compreender e avaliar a dinâmica e evolução do uso do solo na área de estudo, marcada de maneira significativa pela supressão da vegetação e sua relação direta com os processos de mudança acelerada da paisagem.

Para Lepsch *et al.* (1991) a finalidade do mapeamento do uso do solo é registrar a forma de ocupação do espaço geográfico, considerando os aspectos naturais (formações vegetais) e as atividades humanas, num determinado momento (tempo). Este procedimento de mapeamento foi fundamental, pois determinou a forma e estimou a intensidade do uso dos recursos naturais de uma área (vegetação, solo, recursos hídricos etc).

Para tanto buscou nessa etapa construir um modelo cartográfico histórico do uso do solo e seu manejo em diferentes momentos históricos da área de pesquisa (estudo multitemporal) com base em diversos materiais e procedimentos:

1 – Levantamento bibliográfico e cartográfico específico sobre a área de estudo, buscando possíveis registros históricos, junto aos diversos órgãos dos municípios situados na área de pesquisa, como Universidades. Além de documentos e levantamentos elaborados por diversos órgãos públicos como, por exemplo, IBGE.

2 – Levantamento, tratamento e mapeamento do uso do solo tendo como base produtos cartográficos e de sensoriamento remoto como:

- a) Cartas topográficas da área de estudo do IBGE na escala 1:100.000;
- b) Seleção de imagens de satélite em diversas datas, disponibilizadas pelos catálogos do INPE e NAA dos instrumentos: LANDSAT, CBERS e SRTM;
- c) Definição de parâmetros e categorias do uso do solo para interpretação dos produtos de sensoriamento remoto.

3 – A partir das bibliografias específicas relacionadas ao tratamento digital de imagens foram definidos os parâmetros, critérios e categorias de uso do solo a serem aplicados e analisados sobre os produtos de sensoriamento.

4 – Inicialmente optou-se por digitalizar, utilizando-se o software ARCGIS 9.3, o uso do solo impresso nas cartas topográficas 1:100.000 do IBGE, pois são o registro do uso do solo interpretados a partir de fotos aéreas de 1964 da área de estudo e registraram o uso do solo deste período.

Objetivo geral	Objetivos específicos	Etapas	Procedimentos	Produto obtido
	Compreender e avaliar a dinâmica e a evolução da ocupação, o manejo da área de estudo e suas relações diretas com os processos de mudança acelerada visíveis	Cartografia histórica da supressão de vegetação do uso solo e seu manejo	a) Levantamento bibliográfico e cartográfico; b) Levantamento, tratamento e cartografia dos dados do uso do solo com base nos produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas e imagens de satélite); c) Definição de parâmetros e categorias de uso do solo e manejo; d) Sistematização do material em um SIG.	Indicador cartográfico das mudanças antrópicas em escalas espaço-temporais diferentes
Propor e identificar indicadores, que avaliem e confirmem os efeitos das mudanças no uso do solo na no sistema hidrográfico Arantes-São Domingos nos últimos 50 anos	Analisar o arranjo dos elementos do meio-físico para alicerçar e subsidiar a análise dos processos atuantes (naturais ou antrópicos) mediante a sistematização cartográfica e compartimentação geomorfológica.	Sistematização dos elementos do meio físico	a) Levantamento bibliográfico e cartográfico dos elementos do meio físico (geológicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos e bióticos) b) Levantamento, reconhecimento e detalhamento dos elementos do meio físico destacados no campo. c) Sistematização das informações levantadas num SIG com a respectiva análise.	Diagnóstico e compartimentação do sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos
	Identificar os processos de mudança ambiental e interpretar os efeitos das ações antrópicas na dinâmica dos processos morfogênicos que, modificaram o meio físico e definir indicadores	Sistematização das informações sobre processos da dinâmica acelerada	a) Identificar e cartografar as feições erosivas resultado processos e respectivos parâmetros relacionados com as modificações rápidas da paisagem b) Elaborar um banco de dados georreferenciado dos compartimentos identificados e as mudanças neles registradas Cartografar a relação entre os processos identificados e os efeitos das mudanças antrópicas e seus atributos	Proposta de geoindicadores para a bacia do sistema hidrográfico Arantes – São Domingos

Quadro 3 Síntese da proposta metodológica para o estudo de Geoindicadores para a bacia do rio Arantes em Minas Gerais

5 – As imagens de satélite LANDSAT 1 do instrumento MSS com resolução espacial de 80 m e do LANDSAT 5 com instrumento TM (Thematic Mapper) de resolução espacial de 30 m disponibilizadas pelo catálogo de imagens do INPE foram selecionadas levando-se em consideração sua qualidade de cobertura e serem do período de seca. Foram selecionadas as seguintes imagens: LANDSAT 1 de 1973 (28/08/1973) (ANEXO 1) e as imagens do LANDSAT 5 de 1985 (24/08/1985), 1996 (06/08/1996) e 2010 (29/08/2010) (ANEXOS 2, 3 e 4).

6 - Na sequência, as imagens digitais passaram por processos de tratamento digital conforme os procedimentos definidos com bibliografia selecionada: Novo (1989), Amaral (1990), Quintanilha (1990), Richards (1995); Meneses & Madeira Netto (2001); Jensen (1996), Chuvieco (2002).

- a) Optou-se pela utilização do *software* ENVI 4.5 para tratamento das imagens de satélites. Inicialmente elas foram georreferenciadas com base nas cartas topográficas do IBGE na escala 1:100.000 no sistema de coordenadas UTM e projeção Córrego Alegre. Em seguida elas passaram pelo processo de pré-processamento, para eliminação do efeito da atmosfera, a partir do método da subtração dos *pixels* escuros, seguindo o proposto por Quintanilha (1990) e Richards (1995).
- b) Realizou-se o processo de classificação supervisionada de máxima verossimilhança (MAXVER), método que avalia a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes utilizando modelos estatísticos, segundo Richards (1995); Jensen (1996); Meneses & Madeira Netto (2001); Chuvieco (2002).
- c) Foram realizados, para validação desses produtos digitais e finalizar o mapeamento do uso do solo, diversos trabalhos de campo. Optou-se nessa etapa pela definição de apenas duas classes: a de uso antrópico e a de cobertura vegetal.
- d) Em seguida o resultado foi exportado para o *software* ARCGIS 9.3 onde elas foram transformadas de *raster* para formato vector e introduzidas na sistematização do banco de dados.

4.2.2 - Organização dos dados do meio físico

Esta etapa está associada ao segundo objetivo e visou registrar os elementos do meio físico e seus componentes como meio de subsidiar a análise da dinâmica natural e antrópica, mediante a análise dos elementos e de sua relação sistêmica, sendo nesta etapa realizada uma sistematização dos elementos do meio físico.

Segundo Tricart & Killian (1972) o ambiente (meio-físico) modifica-se, devido à dinâmica relacionada à interação de diversos elementos; portanto, para utilizar o ambiente de forma adequada e sustentável, devem-se conhecer seus elementos e suas dinâmicas e compreender sua interdependência.

Assim foi realizada nessa etapa a sistematização cartográfica dos elementos do meio físico e de suas interações, a partir dos seguintes materiais e procedimentos:

1 - Levantamento bibliográfico e cartográfico dos elementos do meio físico (geológicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos e bióticos) que teve como ponto de partida o Projeto RADAM BRASIL (IBGE, 1983), documento com sistematização dos elementos do meio físico, além de artigos, dissertações e teses;

2 - Levantamento, reconhecimento e detalhamento dos elementos do meio físico destacados no campo; esta etapa contou com a utilização dos seguintes recursos:

- a) Imagens de satélite, disponibilizadas pelos catálogos do INPE e NASA dos instrumentos: LANDSAT, CBERS e SRTM;
- b) Definição de parâmetros e categorias do meio físico para interpretação dos produtos de sensoriamento remoto;
- c) Utilização de técnicas e materiais de campo, como GPS para registro pontual das observações.

3 - Sistematização das informações levantadas e selecionadas e sua digitalização, que utilizou o software ARCGIS 9.3, para o armazenamento das mesmas em um SIG do sistema hidrográfico Arantes – São Domingos com base nos documentos originais.

A etapa em questão se iniciou com a análise do material do projeto RADAM e da Embrapa (1980) e sua digitalização e a construção de uma planilha de atributos iniciais da área de estudo.

4 - Com uma leitura inicial dos elementos do meio físico foram realizados os estudos dos produtos de sensoriamento remoto: imagens de satélite e de imagens do radar topográfico (SRTM – Shuttle Radar Topography Mission) a partir do material disponibilizado no projeto TOPODATA (VALERIANO, 2008; INPE, 2010 e VALERIANO & ALBUQUERQUE, 2010).

Para a cartografia dos elementos destacados foram utilizados para foto interpretação e análise digitais os critérios propostos por Doorkamp & Cooke (1971), Tricart (1972), Amaral & Audi (1972), Girard & Girard (1975), Coltrinari (1992), Girard & Girard (1999), Chuvieco (2002), Crepani & Medeiros (2004) e Liu (2006), dentre outros autores.

- a) Foram gerados nessa etapa modelos digitais do terreno (MDT) a partir dos produtos do SRTM disponibilizados pelo projeto TOPODATA mencionado anteriormente e os tratados e

analisados no software ARCGIS, a partir do qual foram gerados os mapas: hipsométrico, clinográfico e de orientação de vertentes. Também foi utilizada, do projeto TOPODATA, a imagem de forma de relevo baseada nos critérios propostos por Valeriano (2008) e Valeriano & Albuquerque (2010).

- b) Foram utilizadas as imagens de satélites LANDSAT 5 para interpretação e classificação dos solos idiomórficos em primeira aproximação, utilizando como critérios para sua classificação os conceitos e proposições de Menezes & Madeira Netto (2001) e os pontos de observações de campo; em seguida a classificação foi digitalizada utilizando o software ARCGIS 9.3.
- c) Sistematização das informações obtidas no SIG: foi elaborada uma análise com fins de estabelecer a compartimentação topográfica e o diagnóstico do meio físico do sistema hidrográfico estudado, com base nos princípios de Tricart & Killian (1972) e na experiência de Capellari (1996) e Capellari *et al.* (1996).

4.2.3 - Sistematização dos processos de modificação

A terceira e última etapa teve como objetivo registrar os processos antrópicos para avaliação inicial dos efeitos de sua dinâmica mediante uma reflexão sistêmica dos processos de alteração ambiental acelerada que permita compreender seus estados e ter uma idéia , ainda que qualitativa, dos seus efeitos na área estudada.

Segundo Berger (2006) a alteração da dinâmica ambiental é um fato devido às várias tensões introduzidas naturalmente ou por ação humana; caberia o conhecimento das mudanças mediante os geoindicadores para a compreensão e a formulação de ações que evitem colapso e possibilitem a minimização dos seus efeitos.

Com base neste pressuposto já foram propostas as etapas anteriores que permitirão compreender, mediante o conhecimento da ação humana e do ambiente, o cenário de fundo para as modificações empreitadas.

O produto desta etapa foi o mapeamento das feições erosivas e suas relações com os diversos atributos. Nesse intuito foram realizadas as seguintes atividades:

- 1 - Identificação e mapeamento, com uso do ARCGIS 9.3 no formato vetorial das formas erosivas relacionadas a processos de modificações da paisagem com base em imagens CBERS 2B instrumento HCR com 2,5 m de resolução obtidas do catálogo do INPE, especificamente dos anos de 2007 a 2008, e controle de interpretação com base nas imagens de alta resolução disponibilizadas pelo GOOGLE EARTH e no controle de campo.

2 - Transformação das informações lineares das feições erosivas em pontos e sua sobreposição aos vários temas mapeados (classes altimétricas, declividade, orientação de vertentes, forma do terreno, solos, geologia e geomorfologia, diversos mapas de uso do solo, solos hidromórficos em 1ª aproximação)

3 - Criação de um banco de dado relacional das feições erosivas com os diversos temas para uma planilha de análise gráfica; com a finalidade de compreender a distribuição espacial das erosões por temas no software EXCEL 2007. Buscou-se interpretar e identificar as relações e inter-relações espaciais entre os processos de modificação, os elementos do meio físico; a evolução do uso do solo e a compreensão das formas.

4 - Como resultado desta análise foi realizado um esboço das propostas de geoindicadores para a bacia do rio Arantes que permitirá contribuir para o manejo e conservação dos recursos naturais desta área.

CAPÍTULO 5 - TRIÂNGULO MINEIRO: DINÂMICA E EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO E MANEJO DA ÁREA DE ESTUDO

A evolução histórica do espaço geográfico do Triângulo Mineiro foi bem retratada por Lourenço (2010), que descreve a evolução da região do império à república e relata todo o processo de ocupação do território e sua formação econômica, social e política.

De acordo com Lourenço (2010) a região hoje denominada Triângulo Mineiro passou a integrar a comarca de Minas Gerais por volta de 1799, com a passagem de parte do território de Goiás para a então recém criada comarca de Paracatu. Segundo o autor novas subdivisões políticas aconteceram e foram registradas no Atlas do Império em 1868, tendo como limites para as subdivisões os rios e serras da região.

Ainda segundo Lourenço (*op.cit.*), com base em análise sistemática realizada por Paiva & Godoy (2002), foi possível verificar o uso de elementos econômicos e naturais para diferenciação das regiões, tal como foi individualizada cartograficamente a região do Triângulo. Porém, Lourenço informa que o termo Triângulo veio para substituir a antiga denominação da região como “Sertão da Farinha Podre”; foram os jornais da região, em 1889, os principais responsáveis pelo uso da denominação de “Triângulo Mineiro”.

Ao longo do estudo de Lourenço (2010) sobre a região pode-se perceber que a evolução do desenvolvimento econômico e social da região, bem como o processo de sua ocupação estava concentrada no setor leste da região, enquanto no setor oeste - onde se localiza a área de pesquisa, havia baixa ocupação e menor desenvolvimento. Essa condição de ocupação do setor leste do Triângulo Mineiro e o crescimento das cidades desta área são revertidos segundo Keller (1977):

“Quanto a Minas Gerais, o seu incremento urbano, que quase dobrou entre 1940 e 1960 (de 37,1% para 70,7%), vem sofrendo um arrefecimento no último decênio, tendo sido a taxa relativa de aumento 1960-1970 de 53,5%. Essa situação talvez decorra do desenvolvimento recente de algumas áreas rurais mineiras induzidas, ou por inversões governamentais na infra-estrutura viária (noroeste do Estado sobre influencia da rodovia Belo Horizonte - Brasília (BR-40) e Triângulo Mineiro, zona de passagem entre São Paulo - Brasília) ou em projetos específicos de desenvolvimento rural com na área mineira da SUDENE” (KELLER, 1977):

O trecho transcrito destaca o momento que cidades tradicionais de Minas, e inclusive do Triângulo Mineiro (setor leste), apresentaram uma redução do seu crescimento devido à projetos governamentais.

O aumento da densidade populacional no Triângulo Mineiro fica evidente na tabela 1, produto do estudo comparativo entre o crescimento da região e o Sul de Minas. Outro elemento importante foi a evolução territorial dos municípios e sua fragmentação, que pode ser mais bem compreendida no trabalho de Furtado (2007), onde o autor apresenta a evolução dos municípios de Minas Gerais (fig. 8). Pode-se observar também o aumento do número de municípios no Triângulo Mineiro ao longo do tempo e verificar a fragmentação deste setor, com destaque para o aumento considerável de municípios no setor oeste a partir de 1948 e atingindo o seu ápice em 1995.

Tabela 1 População total, densidade demográfica e taxa de crescimento anual nas regiões focalizadas nos anos de 1970, 1980, 1991 e 2000

Regiões	1970		1980		1991		2000	
	População Total	Densidade Demográfica	População Total	Densidade Demográfica	População Total	Densidade Demográfica	População Total	Densidade Demográfica
Sul de Minas	1.568.219	29,28	1.636.731	33,39	2.077.254	39,27	2.382.581	44,94
Triângulo	697.272	12,77	897.274	16,74	1.080.167	20,13	1.277.356	23,76
Taxa Geométrica de Crescimento Anual da População								
	1970/1980		1980/1991		1991/2000			
Sul de Minas	1,32		1,49		1,51			
Triângulo	2,75		1,69		1,86			

Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2000 (apud MARTINS et. al.)

Esta curta introdução busca situar o processo de ocupação da área estudada dentro da lógica de ocupação do espaço geográfico do Triângulo Mineiro para que se possa compreender em que momento inicia-se a ocupação e por que sua evolução transformou de forma significativa o sistema ambiental.

5.1 Dinâmica e ocupação do sistema hidrográfico Arantes - São Domingos

A importância de considerar a ação humana nos processos geomorfológicos é destacada por autores como: Tricart (1976; 1979; 1992), Douglas (1978), Tricart & Kilian (1982) e Bertrand (1991). Para Tricart & Kilian (*op. cit.*) é importante considerar a perspectiva cronológica do ambiente e da

ação humana para entender a ação dos processos morfogenéticos, e em relação à segunda, concluem que:

(...) El segundo intervalo de tiempo a considerar: un intervalo mucho más corto, que se expresa en años y que coincide con la experiencia humana. Es el de los fenómenos de degradación" (O segundo intervalo de tempo é muito mais curto, é expresso em anos e coincide com a ação humana. É o dos fenômenos de degradação) (TRICART & KILIAN, 1982)

Para os autores supracitados os processos morfogenéticos são resultados das interações energéticas que produzem fluxos de matéria. Nesse sentido destacam a cobertura vegetal como principal obstáculo para a ação dos processos morfogenéticos mecânicos ao possibilitar o predomínio da evolução da pedogênese e dos materiais superficiais (TRICART & KILIAN, 1982).

Para os mesmos as atividades do meio rural afetam diretamente a cobertura vegetal e, na sequência, os solos ou coberturas superficiais, ativando desta forma os processos morfogenéticos.

Neste sentido os resultados que seguem apresentam a avaliação do desmatamento ou supressão vegetal promovida pelo processo de ocupação humana com fins à produção rural na bacia estudada.

O resultado revela a primeira fase de mudança acelerada, tornando-se o primeiro indicador de modificação do estado ambiental e, portanto, fixa o processo que marca a ruptura de equilíbrio para a instabilização dos materiais e instalação dos processos morfogenéticos.

5.1.1 Uso antrópico e cobertura vegetal nas cartas topográficas do IBGE.

Com base nas cartas topográficas (escala 1:100.000) foram extraídos por digitalização os elementos referentes ao uso do solo e à cobertura vegetal da área de estudo e seu entorno. As cartas topográficas foram escolhidas por apresentarem registros do uso do ano de 1964, pois foram restituídas a partir de fotos aéreas deste período.

O resultado do mapeamento do uso do solo pode ser observado claramente nos mapas 1 e 2 (APÊNDICE 1 e 2). O primeiro mapa representa o uso do solo e a cobertura vegetal do ano de 1964, com as várias classes de uso; já o segundo mapa funde ou agrega as classes em apenas duas. A primeira agrega as formações vegetais naturais: Cerrado e Mata; e a segunda funde os diversos tipos de uso do solo agrícola na classe de uso antrópico.

O APENDICE 1 apresenta a distribuição dos diversos usos do solo, e permite observar que a ocupação do sistema hidrográfico estudado ocorreu preponderantemente pelos canais dos rios principais e seguiram a partir destes pelos seus afluentes.

A principal atividade humana modificadora em termos de área no período foi a pecuária com 22% da área e as demais atividades ocupavam de 2 a 4% da área (tabela 2 e gráfico 1).

Tabela 2 Área em hectares dos diferentes usos do solo e coberturas vegetais no sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos, referente ao período de 1964.

Uso do solo/Cobertura vegetal	Área (hectare)	Área (%)
CERRADO	236720.8737	67%
MATA	9471.6464	3%
AGRICULTURA	15316.8829	4%
ARROZ	6703.8653	2%
AREA ABERTA	7708.7524	2%
PASTO	76285.7012	22%
TOTAL	352207.7219	100%

Gráfico 2 Distribuição da porcentagem dos usos do solo e coberturas vegetais referente ao período de 1964.

Uma atividade que deve ser ressaltada é a produção de arroz, que confirma as informações levantadas em campo com base na coleta de testemunhos de fazendeiros e moradores locais sobre o cultivo deste cereal na década de 60. Segundo eles o cultivo do arroz ocorria em áreas alagadas,

seja nas áreas inundadas das amplas várzeas dos rios Arantes e São Domingos, seja em áreas planas e alagadiças, com solo “acinzentado e barrento” nas cabeceiras de drenagem dos afluentes do sistema, como pode ser observado no mapa (APENDICE 1).

O mapa ainda destaca o registro de uma classe de uso que foi denominada pelo foto intérprete do IBGE como “área aberta”, sem um uso declarado, que pode estar hipoteticamente associado a um processo ainda em andamento de ocupação da área. Quanto a formações vegetais naturais o registro cartográfico denota o predomínio do Cerrado (67%) em detrimento ao que foi denominado Mata (3%), que ocupam de forma majoritária as cabeceiras de drenagem dos afluentes.

Cabe destacar que segundo Magalhães (1966, *apud* ALONSO, 1977) a região do Triângulo Mineiro apresenta os “Cerradões” mais desenvolvidos da região sudeste do Brasil. Segundo Alonso (*op.cit.*) esta formação apresenta as seguintes características:

“O Cerradão é estruturalmente formado por três estratos: o primeiro e o superior, arbóreo, chega a atingir 8 a 12 metros em média, podendo em alguns locais aparecer espécies emergentes com 20 metros. (...) O segundo estrato arbustivo, com elementos de 1 a 3 metros de altura, mais ou menos densos (...). Finalmente o terceiro estrato herbáceo, mais ralo, pois a penetração de luz torna-se difícil, tem seu porte bastante reduzido (...)”

A autora, bem como Rizzini (1997) e Ribeiro (2005), destacam que esta formação de Cerrado necessita de condições favoráveis de solo (boa fertilidade) e de recursos hídricos (água abundante) para se desenvolver. Ainda assinalam a possibilidade de ocorrência de espessa camada de matéria orgânica no solo proveniente da densidade foliar.

Os elementos antes citados são fundamentais, pois corroboram a condição inicial ou “background”, das informações contidas no mapa 2 (APÊNDICE 2), como representante de uma condição de maior preservação do sistema hidrográfico Arantes - São Domingos na década de 60, a partir da qual se iniciou a transformação da área e dos processos morfogenéticos.

Optou-se pela fusão dos usos dos solos e das coberturas vegetais, em duas classes: a) usos antrópicos e b) cobertura vegetal. Os motivos estão relacionados à dificuldade de definir com precisão a variedade dos usos antrópicos nas imagens de satélite.

Desta forma em sua condição inicial (*background*) o sistema hidrográfico Arantes – São Domingos apresentava 70% de formação vegetal densa (tabela 3 e gráfico 2) em contrapartida a um uso antrópico de 30%.

Tabela 3 Área em hectares da cobertura vegetal e do uso antrópico no sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos, referente ao período de 1964.

Uso do solo/Cobertura vegetal	Área (hectare)	Área (hectare)
Cobertura vegetal	246192.5201	70
Uso antrópico	106015.2018	30
TOTAL	352207.7219	100

Gráfico 3 Distribuição da porcentagem dos usos do solo e coberturas vegetais referente ao período de 1964.

Esta condição inicial permitia uma estabilidade com predomínio de processos pedogenéticos em relação aos processos morfogenéticos. Desta forma esta transformação antrópica pode ser considerada um agente fundamental para iniciar os processos de mudança acelerada, já que conforme Tricart & Kilian (1982) essa ação do homem ocorre em um período de tempo mais curto, distinto dos processos do meio físico em um ambiente tropical com taxas de operação dos processos mais intensos (DOUGLAS, 1978).

5.1.2 - Uso antrópico e cobertura vegetal com base nas imagens de sensoriamento remoto.

A primeira imagem analisada refere-se ao primeiro sistema sensor LANDSAT 1, lançado em 1972 (ANEXO 1), com o objetivo de estudar e acompanhar o estado da superfície do planeta mediante um sistema de inventário e gestão dos recursos da Terra (NASA, 2010). A imagem

foi captada no dia 28 de agosto de 1973 pelo instrumento MSS (*Multispectral Scanner System*) com 4 bandas espectrais e resolução espacial de 80 metros. Essa imagem foi classificada com base nas duas classes já mencionadas, de uso antrópico e cobertura vegetal, e está representada no mapa 3 (APÊNDICE 3).

O resultado da classificação e quantificação está representado na tabela 4 e o gráfico 5 e apresenta cobertura vegetal de 52% em área em contrapartida aos 48% de uso antrópico. Isso denota à princípio que teria havido redução de 18% da cobertura em relação com o registro, antes citado, das cartas topográficas do IBGE.

Durante a análise das imagens foi possível observar vários registros do processo de queimada como técnica utilizada no período para abertura de novas áreas para produção agropecuária. A imagem denota o procedimento ou técnica de desflorestamento que ocorria no contato de áreas já abertas em períodos anteriores ou seguia as drenagens dos rios por ser o acesso mais fácil, devido à densidade da vegetação encontrada na área (fig. 8), confirmada pelos fazendeiros mais velhos que habitam a região do sistema hidrográfico em estudo.

Tabela 4 Área em hectares da cobertura vegetal e do uso antrópico no sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos, referente ao período de 1973.

Uso do solo/Cobertura vegetal	Área (hectare)	Área (%)
Cobertura vegetal	185457, 2449	52: %
Uso antrópico	170160, 7948	48: %
TOTAL	355618, 0397	100: %

Gráfico 4 Distribuição da porcentagem dos usos do solo e coberturas vegetais referente ao período de 1973.

Figura 12 Detalhe da imagem LANDSAT 1, com composição falsa cor (bandas 4,5 e 6), destacando os processos de queimadas que ocorriam em 1973 nos afluentes e no rio São Domingos para abertura de novas áreas, que foram classificadas como uso antrópico.

As demais imagens analisadas são do sistema sensor LANDSAT 5, lançado no ano de 1984 e em operação até hoje, tendo o mesmo objetivo dos demais sensores da família LANDSAT, que é o sistema que acumulou maior quantidade de registros da superfície da Terra e por longo período de tempo. A diferença entre o LANDSAT 1 e o LANDSAT 5 está no instrumento sensor que, no caso deste último, é o Thematic Mapper (TM), e na resolução espectral e espacial, com 7 bandas espectrais e resolução espacial de 30 metros (NASA, 2010).

Do grande conjunto de imagens deste sistema foram escolhidos três momentos históricos diferentes - no caso, o mês de agosto dos anos de 1985, 1996 e 2010 (ANEXO 2, 3 e 4). Este conjunto de imagens apresenta mudanças importantes na relação entre as duas classes definidas. A imagem de 1985 permitiu gerar o mapa 4 (APÊNDICE 4) que, segundo a tabela 5 e gráfico 6, apresentou 75% de uso antrópico e 25% de cobertura vegetal, com uma redução de 27% da cobertura vegetal em relação a 1973 e de 45% em relação a 1964.

Tabela 5 Distribuição da porcentagem dos usos do solo e coberturas vegetais referente ao período de 1985.

Uso do solo/Cobertura vegetal	Área (hectare)	Área (%)
Cobertura vegetal	87654, 1717	25: %
Uso antrópico	267963, 1919	75: %
TOTAL	355617, 3696	100: %

Gráfico 5 Distribuição da porcentagem dos usos do solo e coberturas vegetais referente ao período de 1985.

O mapa 5 (APÊNDICE 5), produto da classificação da imagem de 1996, apresentou uma relação de 18% de cobertura vegetal e 82% (tabela 5 e gráfico 6) de uso antrópico, com redução de 7% de cobertura vegetal registrada no período anterior somando, em relação ao período mais antigo, 52% de perda, valor que amplia o uso antrópico para 82%.

Tabela 6 Área em hectares da cobertura vegetal e do uso antrópico no sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos, referente

Uso do solo/Cobertura vegetal	Área (hectare)	Área (%)
Cobertura vegetal	64625.8831	18%
Uso antrópico	290993.7834	82%
TOTAL	355619.6665	100%

Gráfico 6 Distribuição da porcentagem dos usos do solo e coberturas vegetais referente ao período de 1996.

O mapa 6 (APÊNDICE 6), resultado da imagem de 2010, apresentou uma relação inversa da tendência do desflorestamento calculado nos períodos de 1985 e 1996, com redução e inversão do processo, apresentando cifras brutas com 21% de cobertura vegetal e 77% de uso antrópico (tabela 6 e gráfico 7), com um aumento da cobertura vegetal de 3% em relação ao período anterior mantendo uma perda total, em relação a 1964, de 49%.

Tabela 7 Área em hectares da cobertura vegetal e do uso antrópico no sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos, referente ao período de 2010.

Uso do solo/Cobertura vegetal	Área (hectare)	Área (%)
Cobertura vegetal	75669.4274	79%
Uso antrópico	279946.2363	21%
TOTAL	355615.6637	100%

Gráfico 7
de 2010.

Distribuição da porcentagem dos usos do solo e coberturas vegetais referente ao período

CAPITULO 6 - ANÁLISES DOS PROCESSOS ATUANTES

O resultado dos processos erosivos atuantes em uma área é representado pelas feições geomorfológicas herdadas, que registram na superfície do terreno os elementos para a investigação. A compreensão da origem dessas formas geradas por processos de entalhamento por escoamento concentrado (sulcos, ravinas e voçorocas) é fundamental para compreender sua evolução e morfogênese.

O levantamento e a análise sistemática das variáveis ou parâmetros morfológicos, morfométricos e de materiais, e suas relações causais no processo de formação das feições erosivas de interesse, permitem avaliar e compreender o estado e a resposta dos fenômenos morfodinâmicos e suas implicações no meio, relativas à relação homem e ambiente.

Nesse sentido o presente capítulo terá a finalidade de apresentar a síntese da compartimentação topográfica e a distribuição em suas unidades dos elementos morfológicos, morfométricos e de materiais levantados e elaborados ao longo da pesquisa. A síntese é fundamental para construção de um alicerce de análise que permita estabelecer uma base de discussão em torno da área de estudo e como síntese da base de dados fomentada e sistematizada em um SIG (Sistema de Informação Geográfico). Em um segundo momento serão apresentadas as feições erosivas e sua distribuição na bacia hidrográfica dos rios Arantes e São Domingos e nas unidades da compartimentação topográfica.

Por fim será apresentada, mediante uma análise quantitativa espacial, a distribuição das feições erosivas registradas e seus vínculos causais com as variáveis selecionadas relacionadas a uma compartimentação de unidades morfológicas, para compreender a lógica sistêmica numa primeira aproximação da área de estudo.

6.1 - Compartimentação topográfica

A apresentação do resultado da compartimentação topográfica a seguir está fundamentada na proposta de Tricart, Rochefort & Rimbert (1967) associada à individualização e compartimentação de unidades do relevo. Conforme os autores citados a função desta pesquisa seria apresentar uma análise da distribuição das variáveis morfométricas, morfológicas e dos materiais identificados na área de pesquisa e definir os compartimentos que, em sua diversidade, refletem a evolução do relevo na bacia do sistema hidrográfico em estudo.

Esses procedimentos permitiram dividir a área em cinco unidades ou conjuntos morfológicos distintos no sistema hidrográfico dos rios Arantes - São Domingos, representado no mapa 7, (APÊNDICE 7) de montante para jusante.

6.1.1 - Localização das unidades da compartimentação

Unidade 1: localizada à leste da bacia hidrográfica estudada, a unidade em questão caracteriza-se pelo estreitamento dos divisores fluviais, onde se encontram os maiores remanescentes de chapadas interligados e os maiores desníveis altimétricos, com vales que são encaixados com formas em “V” e com a presença de interflúvios estreitos e de pequena extensão, ligados ao sopé das chapadas e perpendiculares à drenagem principal. Nessa unidade se localizam as fumas ou cabeceiras de drenagem dos rios Arantes e São Domingos. Apesar de subdividida em duas partes essa unidade mantém características topográficas e morfológicas análogas.

Unidade 2: localizada imediatamente à jusante da unidade anterior, está situada no centro-leste da parte central da bacia. Apesar de conter elementos morfológicos semelhantes à descrita anteriormente, apresenta diferenças em sua forma e tamanho: há fragmentos de chapadas contínuos orientados de forma predominante de leste-oeste ao norte, e colinas amplas de topo aplainado ao sul. Divisores fluviais da bacia, fragmentos de chapadas descontínuos no centro da unidade atuam como divisores dos rios Arantes e São Domingos. Colados a essas chapadas ocorrem interflúvios largos e extensos, quase perpendiculares à drenagem principal. Essa segunda unidade apresenta desnível altimétricos em relação à primeira;

Unidade 3: localizada na parte central da bacia e à oeste das anteriormente descritas, a presente unidade mostra ao norte fragmentos longilíneos com extensão leste-oeste como divisores ao norte da bacia, enquanto amplas colinas com divisor de topo plano se localizam ao sul da bacia. Em sua área central, mas especificamente no interflúvio entre o rio Arantes e o São Domingos, aparecem pequenos fragmentos de uma chapada dismantelada que conserva sua morfologia. Essa unidade apresenta próximos aos fragmentos de chapadas (norte) e as colinas amplas (sul), amplos interflúvios quase perpendiculares à rede de drenagem principal, com orientação norte-sul. Essa unidade apresenta níveis altimétricos mais reduzidos que as unidades anteriores.

Unidade 4: Localizada à jusante da anterior e na confluência dos rios Arantes e São Domingos é limitada ao norte por fragmentos de chapadas e à leste e sul por colinas amplas de topo plano. Essa unidade é marcada por amplas planícies de inundação nos dois rios formadores da bacia e apresenta níveis altimétricos inferiores ao anterior sem a ocorrência de fragmentos de chapadas no interflúvio dos rios Arantes e São Domingos, formado por colinas amplas.

Essa unidade foi subdividida em duas, a primeira ao norte com predomínio de amplos e extensos interflúvios e com uma rede de drenagem pouco ramificada, enquanto no sul a rede de drenagem é mais densa.

Unidade 5: Se localiza a jusante da confluência do rio Arantes e São Domingos e a montante do deflúvio do rio Arantes no rio Paranaíba. Apresenta os menores níveis altimétricos e um estreitamento marcado por uma dissimetria clara entre os divisores ao norte e ao sul. Ao norte os divisores são colinas de topo convexo, com interflúvios estreitos e curtos, enquanto ao sul os divisores correspondem a colinas de topo convexo com interflúvios alongados.

Cabe ressaltar que além dos elementos morfométricos tradicionais a presente compartimentação levou em conta a análise da influência desses elementos nas sub-bacias da área estudada, elemento fundamental na descrição do meio físico que se seguirá.

6.1.2 . - Mapa hipsométrico

A análise do mapa hipsométrico (APÊNDICE 8) sugeriu o critério fundamental para a compartimentação da área e permitiu estabelecer as relações entre cada compartimento e seus perfis topográficos:

Unidade 1 – À montante da bacia essa unidade apresenta uma orientação de leste para oeste, com amplitude altimétrica que varia de 680 m a aproximadamente 500 m (fig. 13 e 14). Corresponde à área mais elevada da bacia e com amplos divisores, denominados localmente de chapadas com patamares altimétricos que variam de 680 m a 640 m, que também são responsáveis pela separação entre os rios Arantes e São Domingos. A análise hipsométrica permitiu verificar que esse compartimento apresenta uma relação distal menor dos interflúvios situados na base das chapadas, com altitudes que variam de 560 a 520 m, do seu prolongamento até a drenagem, além de serem aparentemente mais dissecados e com vales mais profundos. Quanto à altitude dos leitos fluviais é possível verificar que, no

rio Arantes é de 530 m, enquanto o São Domingos está a 500 m, ou seja, 30 metros mais baixos.

Unidade 2 – Esse compartimento localiza-se à jusante do compartimento anterior tendo a mesma orientação leste-oeste, apresenta uma amplitude altimétrica que varia de 640 a 440 m do topo da chapada mais alta ao leito do rio Arantes (fig. 15). Os divisores da bacia do rio Arantes e São Domingos apresentam uma dissimetria bem marcada com presença de chapada ao norte com altitude de 640 m e colinas amplas ao sul com altitudes de 540 m. Já no interflúvio que separa o rio Arantes do São Domingos encontramos chapadas residuais com altitude máxima de 600 m, enquanto os interflúvios alongados atingem altitudes inferiores, que variam de 500 a 480 m. Quanto à altitude da drenagem verifica-se que o rio Arantes é mais profundo com uma altitude de 440 m, enquanto o rio São Domingos apresenta uma altitude de aproximadamente 450 m, com uma diferença vertical de 10 m, 550 m a 400 m (fig. 15), com alguns pontos elevados de 600 a 630 m. Nesse compartimento as chapadas são estreitas e isoladas do conjunto localizado à leste. Apresenta uma topografia suavizada a partir da base da chapada, com interflúvios mais alongados com colinas baixas e amplitudes inferiores a 25 m

Unidade 3 – Localizada na parte central da bacia essa unidade apresenta a mesma dissimetria identificada na unidade anterior entre os divisores. Ao norte se localizam chapadas com altitudes de 640 m, enquanto ao sul aparecem amplas colinas com 540 m. Na área central da unidade, mas especificamente no interflúvio que divide o rio Arantes do São Domingos encontramos fragmentos residuais de chapadas com altitudes variando de 560 a 520 m. Os interflúvios amplos e alongados apresentam variação altimétrica de 520 a 440 m. Nessa unidade os rios Arantes e São Domingos apresentam o mesmo nível altimétrico de 420 m (fig. 16).

Unidade 4: Situado à jusante da unidade anterior, essa unidade apresenta ao contrário dos anteriores, níveis altimétricos semelhantes nos divisores da bacia investigada, com altitudes médias de 520 m. Os amplos interflúvios dessa unidade apresentam altitudes que variam de 480 a 420 m. Os interflúvios localizados na área central divisor dos rios Arantes e São Domingos apresentam altitudes que variam de 480 a 460 m. A presente unidade apresenta uma inversão altimétrica da drenagem com 390 m para o Rio Arantes e 380 metros para o rio São Domingos, com diferença de 10 m agora em favor do São Domingos. Conforme destacado anteriormente o perfil topográfico confirmou a diferença na unidade, o setor norte apresenta interflúvios menos entrecortados por drenagem (fig. 17).

À jusante nessa unidade ocorre a confluência dos rios Arantes e São Domingos e se verifica dissimetria importante entre os interflúvios do setor norte (mais curtos e baixos) com altitude de 460 m e os do setor sul (mais longos e altos) com altimetria variando de 460 a 530 m. Nesse setor o leito do rio Arantes apresenta altitudes inferiores a 380 m.

Unidade 5 - O setor em questão localiza-se especificamente no trecho final da bacia em seu deflúvio no rio Paranaíba e apresenta o menor comprimento norte - sul e dissimetria bem marcada entre os extremos norte e sul da unidade. O setor norte apresenta interflúvios curtos com altitudes que variam de 460 a 400 m, enquanto o setor sul apresenta divisores alongados entre 470 e 420 m. Nesse setor o leito do Arantes está a 360 m.

À jusante do compartimento 2 o relevo apresenta amplitude entre 500 m e aproximadamente 300 m (fig. 18); corresponde à área mais à jusante da bacia, onde ocorre a confluência dos rios Arantes e São Domingos, nesse trecho a bacia toma a direção noroeste (NO). Apresenta interflúvios alongados com colinas médias, com amplitudes variando de 25 a 50 m. A partir da confluência, o rio se estende com a toponímia cartográfica do IBGE, como São Domingos, até sua confluência com o rio Paranaíba do qual é importante tributário. Cabe esclarecer que, segundo a toponímia local, ele segue como Arantes até o deflúvio no rio Paranaíba.

6.1.3 - Mapa clinográfico

A construção do mapa clinográfico e a definição das classes de declividade seguiram os elementos definidos por De Biasi (1970, 1992) e apresentaram a seguinte distribuição nos compartimentos (APÊNDICE 9):

Unidade 1 – Nessa unidade predominam no topo das chapadas declividades de 1 a 6°, já nas áreas próximas ao rebordo da chapada (faixa de ruptura) aparecem declividades de 6 a 8°. Algumas chapadas apresentam degraus estruturais no topo, podendo apresentar declividades de 8 a 14°, freqüentemente associadas a camadas mais resistentes da formação Marília e a concreções ferruginosas.

Na faixa de ruptura na borda da chapada encontram-se áreas com declividades elevadas entre 18 a 24° e trechos com 24 a 30° podendo chegar a valores superiores a 30°. Já na base dos relevos e nos topos dos interflúvios encontram-se declividades de 1 a 3°; nas vertentes próximas às drenagens predominam valores entre 3 a 6°, podendo em alguns

locais ocorrerem rupturas com declives de 8 a 14° associadas possivelmente a couraças ferruginosas.

Unidade 2 - A unidade apresenta a mesma seqüência de distribuição de declividade da unidade 1, devendo apenas destacar as áreas amplas, próxima as chapadas e nos topos dos interflúvios onde ocorrem áreas extensas com declividades inferiores a 1°; além dessas, ocorrem várias rupturas com declives de 8 a 14° associadas a couraças ferruginosas.

Unidade 3 - Nesta unidade predominam declividades baixas devido à preponderância dos interflúvios alongados com topo amplo e plano, com declividades inferiores a 1° e entre 1 a 3°. Na área central da unidade (interflúvio entre os rios Arantes e São Domingos) e ao sul, essa morfologia aparece em áreas pequenas e médias; porém, no setor norte ocorre em áreas médias e grandes. Próximo à drenagem as vertentes apresentam declividades de 3 a 6° e as áreas de ruptura de declive (8 a 14°) associadas a couraças ferruginosas diminuem consideravelmente. Ao norte da unidade, próximo à chapada no divisor da bacia a seqüência da unidade 1 volta a se repetir.

Unidade 4 – Essa unidade apresenta de forma predominante declividades de 1 a 6°, com exceção de pequenos fragmentos de chapada ao norte da unidade com declividades de 18 a 45°. Ao norte da unidade em questão ocorre aumento das áreas planas associadas a baixas declividades (1 a 3°), já observadas na unidade anterior (3); o mesmo ocorre na área central e sul da unidade. As faixas de rupturas de declive (8 a 14°) associadas a couraças ferruginosas também diminuem nessa unidade, mas aparecem concentradas em alguns locais.

Unidade 5 - A unidade em questão repete a seqüência da unidade 4, porém as rupturas próximas à drenagem estão associadas a afloramentos de basalto da formação Serra Geral.

6.1.4 - Esboço morfológico

O esboço morfológico da bacia apresenta as principais formas encontradas na bacia e seus compartimentos na escala 1:100.000 e destaca as rupturas abruptas superiores a 45° (*Cliff*), eixos de alongamento dos interflúvios e formas dos vales, como segue (APÊNDICE 10):

Unidade 1 - Apresenta relevo plano a suavemente ondulado no topo da chapada, com ruptura abrupta de 45 a 90° no limite superior da escarpa; nas áreas côncavas dessas rupturas ocorrem declives de 45 a 90° normalmente associados a cornijas, denominadas

localmente de “Furnas” e, nas áreas convexas, há declividades entre 20 a 45°, que funcionam como divisores entre as “Furnas”.

A base da chapada apresenta também uma ruptura, com passagem de declividades de 14 a 18° para 3 a 6°. Essa ruptura marca a passagem para os interflúvios localizados nas bases das chapadas.

Os interflúvios nesta unidade são curtos com extensão variando de 1 a 2 km. Os vales dos rios deste compartimento são bem definidos e encaixados próximo às chapadas e com perfil em “V”. Passam de forma gradual para vales mais abertos, adquirindo próximo ao deflúvio perfil de vales chatos.

Unidade 2 – Esta unidade apresenta, em relação à chapada, a mesma descrição da unidade anterior. Já em relação à base observa-se a mesma ruptura porém com declive de 14 a 18° para 1 a 3°, marcando a passagem para os interflúvios que nesta unidade são alongados com topos planos apresentando extensão de 2,5 a 3,5 km em média no contato com a unidade anterior e chegando a extensões de 5 a 7,5 km à medida que se afastam da unidade anterior. Os vales dos rios seguem o padrão da unidade 1.

Unidade 3 – A unidade em questão apresenta ocorrência de chapadas apenas ao norte com pequena extensão e seguindo o padrão de morfologia das unidades anteriores. Neste caso predominam interflúvios alongados com topo plano, com extensão média variando de 9 a 12 km. Os vales seguem os padrões das unidades anteriores em “V” a montante e “chato” próximo ao deflúvio; em algumas áreas próximas aos divisores ao norte e ao sul aparecem no deflúvio pequenos leques aluviais. Cabe destacar que nesta unidade inicia-se a formação de uma planície ou várzea bem marcada no rio Arantes com início de meandração.

Unidade 4 – Apresenta pequenos fragmentos de chapadas a norte, com padrão já descrito. Apresentando como principal característica a diminuição e variação da extensão dos interflúvios. São mais compridos à leste e à medida que se aproximam da confluência dos rios Arantes e São Domingos diminuem a sua extensão. Também é possível verificar a distinção entre os setores norte, central e sul. O setor norte apresenta interflúvios alongados e amplos à leste que diminuem sua extensão e amplitude para oeste, apresentando uma extensão que varia de 8 a 4 km, o mesmo acontece no setor central com variação de 8 a 6 km de leste para oeste. Esse setor apresenta como diferencial um interflúvio com direção leste-oeste na confluência dos rios principais da bacia, sendo que a direção padrão em toda a bacia é norte-sul ou sul-norte; já no setor sul aparecem interflúvios com a maior extensão da bacia, entre 21 km à leste e 9 km à oeste

O padrão dos vales dos interflúvios repete aquele já mencionado nas unidades anteriores, com o acréscimo , no final da drenagem , de pequenos leques na calha dos rios principais. Nessa unidade, tanto o Arantes como o São Domingos, apresentam uma várzea ou planície alargada, com a formação de meandros até a passagem para próxima unidade.

Unidade 5 – Apresenta variações na forma dos interflúvios, sendo eles curtos ao norte e alongados ao sul, porém sem um padrão definido; o rio Arantes torna-se o rio principal, com leito bem encaixado, sem meandros e com corredeiras nos afloramentos rochosos.

6.1.5 - Mapas das Formas de Relevo – Vertentes

Devido à variedade de formas identificadas no campo optou-se pela análise das formas predominantes (APÊNDICE 11):

Unidade 1 – No topo da chapada ocorre o predomínio das formas convergente - retilínea e divergente - convexa (VALERIANO, 2008; VALERIANO & ALBUQUERQUE, 2010); já na escarpa e ao longo da drenagem ocorrem as formas convergente-côncava e convergente-retilínea. Nos interflúvios menores predominam formas divergente-retilínea e planar-retilínea.

Unidade 2 – As formas anteriores ocorrem também nesta unidade, porém aumenta nos interflúvios o tamanho das áreas com formas divergente-retilínea e planar- retilínea.

Unidade 3 – Ocorre a mesma seqüência da unidade 2, com aumento junto à drenagem da forma convergente - retilínea e restrição da convergente-côncavo nas margens do leito das drenagens.

Unidade 4 – Essa unidade apresenta a seqüência anterior, porém com aumento, em alguns interflúvios mais amplos, de áreas planar – retilínea no topo dos mesmos.

Unidade 5 – Nesta última unidade ocorre a mesma distribuição da anterior (unidade 4)

6.1.6 - Mapa Geológico

A identificação das rochas do embasamento da área de pesquisa se baseia nos mapas ao milionésimo do RADAM Brasil (APÊNDICE 12):e da CPRM; as diferentes formações geológicas foram retiradas do mapa da CPRM, com definições mais recentes e feições tectônicas tiradas do RADAM (APÊNDICE 12) pela sua diversidade e detalhes.

Quanto ao embasamento da área de pesquisa e dos compartimentos nela identificados, as ocorrências são:

Unidades 1 e 2 - Nas chapadas predominam arenitos da formação Marília e nos interflúvios, arenitos da formação Rio do Peixe. As drenagens principais estão relacionadas com lineamentos importantes.

Unidades 3 e 4 - As unidades apresentam predomínio absoluto da formação Rio do Peixe com pequenos fragmentos residuais desmantelados da formação Marília. Ao longo das drenagens dos interflúvios e dos rios principais há evidências de falhamentos.

Unidade 5 - Ocorre a formação Rio do Peixe com afloramento, no trecho final da unidade, da formação Serra Geral próximo ao deflúvio com o rio Paranaíba. Ao longo das drenagens dos interflúvios e dos rios principais aparecem alguns falhamentos.

6.1.7 - Mapa Geomorfológico

O mapa Geomorfológico aqui descrito foi compilado do projeto RADAM Brasil (APÊNDICE 13);, que define inicialmente grandes unidades geomorfológicas que depois foram subdivididas em unidades menores, individualizadas por suas características de forma (morfologia) e altitude e associadas a indicadores de processos morfogenéticos (RADAM, 1982).

Unidade 1 - Corresponde à unidade Et, associada às chapadas, descritas como relevos residuais de topos tabulares, delimitados por escarpas e classificados com potencial erosivo muito forte e intensamente dissecado, seguidas pela área dos interflúvios localizados na base das chapadas (unidades c22 e c32) que são caracterizadas respectivamente como potencial erosivo forte com relevo dissecado (c22) e fraco com relevo mediantemente dissecado (c32)

Unidade 2 - O compartimento corresponde aos divisores da bacia ao norte e no centro a unidade Et, descrita anteriormente e associada às chapadas. No contato com a unidade anterior à leste, ocorrem fragmentos das unidades c22 e c32 , que nesta unidade se apresentam numa seqüência topográfica de montante para jusante nos interflúvios. Os demais interflúvios desse compartimento estão associados, à nordeste, à unidade t31 que se caracteriza por formas tabulares com topo aplanado com potencial erosivo médio e relevo mediantemente dissecado. Ao sul se encontra a unidade t32, com relevo tabular com potencial erosivo fraco e relevo mediantemente dissecado. Na calha do rio São Domingos, a leste ocorre a t41 com relevo tabular com potencial erosivo fraco e relevo mediantemente

dissecado, unidade que apresenta, junto à calha do rio Arantes, formas de acumulação (Apf) na forma de planície fluvial periodicamente alagada, com potencial erosivo extremamente fraco.

Unidade 3 – De norte a sul do compartimento há predomínio da unidade t32, que apresenta relevo tabular com potencial erosivo fraco e relevo medianamente dissecado. As unidades t31 e t41, já descritas, aparecem em pequenas manchas ao N e S, respectivamente, da calha do rio São Domingos. Essa unidade apresenta, como na anterior, a unidade Apf do Radam junto à calha do Arantes; são formas de acumulação na forma de planície fluvial periodicamente alagada, com potencial erosivo extremamente fraco.

Unidade 4 – Aqui ocorrem as unidades tabulares t32 e t51. A primeira apresenta uma mancha à norte e noroeste com concentração ao sul, já a segunda ocorre ao norte sobre interflúvios alongados e amplos, e na região central próximo à confluência dos rios São Lourenço e Arantes. Se caracteriza por apresentar formas tabulares com potencial erosivo muito fraco e relevo conservado ou pouco dissecado. A unidade de acumulação (Apf) ocorre na calhas dos rios Arantes e São Domingos e na confluência dos dois rios.

Unidade 5 – O compartimento em questão apresenta à nordeste e no deflúvio do Arantes no Paranaíba a ocorrência da unidade t51 com formas e topo aplanado e baixo potencial de erosão e de dissecção. À oeste e sul ocorre a unidade t 32, com potencial fraco de erosão e medianamente dissecado. A unidade Apf de acumulação aparece nesse compartimento restrito a um pequeno trecho à leste, próximo à confluência dos rios Arantes e São Domingos.

6.1.8 - Mapa de Reconhecimento dos Solos.

A distribuição dos solos nos compartimentos tem por base o mapa de reconhecimento dos solos do Triângulo Mineiro (EMBRAPA, 1980) recortado a partir dos limites do sistema hídrico estudado (APÊNDICE 14) e apresenta a seguinte distribuição.

Unidade 1 e 2 -: No topo das chapadas é encontrada a unidade LEa4 que se caracteriza pela associação entre Latossolo Vermelho Escuro (LE) com Litólicos (LI); já no sopé da chapada e nos interflúvios aparece, mais próxima à chapadas a unidade de Podzólicos Vermelho Amarelos (PV) que na descrição detalhada das unidades apresenta: Podzólico Vermelho Amarelo (PV) e mais a leste, nos interflúvios junto à transição da unidade 2 aparecem os Latossolo Vermelho Escuro (LE).

Unidade 3 – Nessa unidade ocorrem Podzólicos Vermelho Amarelo (PV) com presença de Podzólico Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho Escuro. Nos interflúvios alongados foi verificada a presença do LEa1, isto é, preponderância do Latossolo Vermelho Escuro, enquanto no setor sul foi verificado a presença da unidade LEa1 no topo dos interflúvios e a unidade LEa3 na proximidade com o canal de drenagem, tendo como diferença o relevo mais ondulado na última unidade. Num morro testemunho baixo da chapada no centro do interflúvio Arantes - São Domingos foi encontrado Podzólico Vermelho Amarelo (PV). No compartimento em questão, ao longo de toda a extensão do canal do rio Arantes, é identificada a unidade HGd2 que apresenta associação de solo Gley húmico com Gley pouco húmico e solos Aluviais em sua planície

Unidade 4 - Nessa unidade ocorrem Podzólicos Vermelho Amarelo (PV) associados aos fragmentos de chapadas, com presença de Latossolo Vermelho Escuro nos interflúvios. Nessa unidade, dominando um dos interflúvios alongado e amplo, foi localizada uma mancha extensa de Areia Quartzosa (AQ). No setor central da unidade, no interflúvio divisor entre os rio Arantes e São Domingos, predomina o Latossolo Vermelho escuro álico (LEa1), com pequena mancha de Latossolo Vermelho Escuro distrófico associado a Latossolo Vermelho escuro álico (LEd5). Nesse compartimento, ao longo de toda a extensão do canal do sistema Arantes - São Domingos é encontrada a unidade HGd2 que apresenta associação de solo Gley húmico com Gley pouco húmico e solos Aluviais em sua planície

Unidade 5 – No topo dos interflúvios junto ao divisor de águas encontra-se o domínio do Latossolo Vermelho Escuro álico; já na base dos interflúvios próxima ao rio Arantes há uma mancha restrita de Latossolo Roxo distrófico ou álico (LRd2) e no deflúvio do rio Arantes no rio Paranaíba, encontramos uma mancha de Latossolos Vermelho Escuro distrófico (LEd4).

6.1.9 - Identificação em 1ª de Hidromorfismo

O mapeamento do processo de hidromorfismo (APÊNDICE 15): foi realizado com base no tratamento de imagens do sensor remoto LANDSAT 5, com subtração das áreas de vegetação em 20 pontos de observação de campo, sendo necessário um estudo mais detalhado com um espaço amostral mais denso, bem como descrição detalhada e análise para sua definição precisa.

Unidade 1, 2 e 3 – As ocorrências dos processos de hidromorfismo nessas unidades estão associadas de forma freqüente ao sopé da chapada com declividade de 0 a 3°, com a formação de Vertissolos hidromórficos; já nos interflúvios este processo ocorre normalmente no terço inferior da vertente com declividades de 3 a 6° e próximo a drenagem com declividade de 1 a 3° ocorrem pseudo Gleys e Gleys.

Unidade 4 e 5 – O processo de hidromorfismo nessas unidades ocorre também nos interflúvios e segue o descrito na unidade anterior. Ocorre uma mancha extensa de solos Gleys (EMBRAPA, 1980) nos terraços sedimentares e meandros dos rios Arantes e São Domingos.

6.2 - Feições morfológicas erosivas na bacia hidrográfica dos rios Arantes e São Domingos

Durante a pesquisa foi realizado , com base nas imagens de satélite do CBERS 2B do instrumento HCR, com câmera pancromática de alta resolução e com apoio a interpretação das imagens fornecidas pelo GOOGLE EARTH, também de alta resolução e coloridas, o mapeamento de diferentes feições morfológicas geradas pelo processo de erosão por escoamento concentrado (APÊNDICE 16 e 17):. Foram realizados diversos trabalhos de campo para avaliação da área e definição de padrões para o mapeamento e controle deste.

Esse processo permitiu verificar diferentes formas erosivas e suas associações em relação aos elementos morfométricos, morfológicos e de materiais. Com o objetivo de permitir um entendimento preciso das feições instaladas na área de estudo, a descrição e os comentários sobre a mesma levaram em consideração:

- Feições associadas preferencialmente à origem humana sendo descartadas as feições geradas por escoamento concentrado nas faces das escarpas, pois são consideradas resultado do recuo natural das vertentes das chapadas, evidente mesmo em áreas preservadas; e
- A necessidade de realizar a descrição da posição topográfica das feições erosivas de montante para jusante, seguindo, portanto a lógica sistêmica dos fluxos de energia e matéria na bacia hidrográfica.

6.2.1 - Feições erosivas nas chapadas.

Foram identificados 3 tipos diferentes de feições localizadas no topo da chapada, associadas à alteração da cobertura vegetal, intervenção humana e ao aumento do escoamento concentração do fluxo hídrico. As duas feições iniciais descritas a seguir estão associadas à feições erosivas que apresentaram evoluções distintas relacionadas com as condições dos materiais.

O primeiro caso (foto 1) foi localizado nas “Furnas do rio São Domingos”, mais especificamente em uma das cabeceiras de drenagem que contribuem para o rio citado, cujas coordenadas UTM são: x: 611.927,991 m; y: 7.837.507,662 m. Em termos morfométricos esta feição situa-se a uma altitude de 600 m, na classe hipsométrica de 580 a 600 m, com declividade de 3 a 6° e orientação da vertente para norte, cuja morfologia é convergente retilínea.

Em relação aos atributos do meio físico essa feição encontra-se dentro da unidade geomorfológica Et do RADAM, associada às chapadas descritas como relevos residuais de topos tabulares, delimitados por escarpas classificadas como potencial erosivo muito forte e intensamente dissecado. Quanto ao embasamento, a feição se desenvolveu na formação Marília, sendo identificada em campo pela presença de arenitos com textura arenosa grossa a fina com coloração amarela (foto 1), sem conglomerados. Em relação aos materiais pedológicos situa-se na unidade LEa4 que se caracteriza pela associação entre Latossolo Vermelho Escuro (LE) com Litólicos (LI). O solo foi classificado em campo como Litólico (foto 1), por apresentar um horizonte “A” pouco desenvolvido, diretamente relacionado sobre o material de origem, arenito amarelo de textura fina, com afloramento de água no contato com o arenito. Quanto à classificação geomorfológica usual no Brasil essa feição é uma voçoroca, pois atinge a água sub - superficial (freático).

Foto 1 Voçoroca sobre arenito inconsolidado da formação Marília localizado na chapada.

Foto 2 Solo Litólico (Neossolo) localizado próximo no topo da chapada

A segunda feição (foto 3) também ocorre na área das cabeceiras do rio São Domingos e se localiza na coordenada UTM: 612.897,010; y: 7.838.330,138. Quanto aos atributos morfométricos se encontra a uma altitude de 603 m e na classe de 580 a 600 m, com declividade de 3 a 6° e orientação da vertente para norte; quanto à morfologia, se encontra entre duas formas convergentes

côncavo - convexas. Em relação aos atributos do meio físico esse entalhe se encontra dentro da unidade geomorfológica Et, a mesma da anterior já descrita. Quanto à geologia se localiza na formação Marília, sendo identificada em campo a ocorrência de material conglomerático no fundo do entalhe, onde foram encontrados clastos de quartzo e quartzito com nódulos carbonáticos, lamito marrom (foto 4) com fraca matriz arenosa.

. Em relação aos materiais pedológicos o entalhe se localiza na unidade LEa4 que se caracteriza pela associação entre Latossolo Vermelho Escuro (LE) com Litólicos (LI). O solo foi classificado em campo como Latossolo Vermelho (foto 4), por apresentar um pacote vertical de 1,7 m de material homogêneo, bem pedogenizado com textura areno -argilosa com areia fina; foi desenvolvida provavelmente sobre arenito pois não foram encontrados relíquias do material conglomerático, aparecendo o mesmo na base do perfil com uma ruptura.

O entalhe apresentava fundo chato com material conglomerático, que restringe seu aprofundamento e leva ao avanço lateral da forma, sendo a área afetada maior que na forma antes descrita. Pela inexistência de afloramento de água proveniente do freático no fundo da mesma pode-se classificá-la como ravina.

Foto 3 Feição erosiva sobre arenito inconsolidado da formação Marília, localizada na chapada.

Foto 4 Latossolo Vermelho Escuro e material conglomerático encontrado no fundo da ravina, na forma de um piso

A terceira feição (fotos 5 e 6) ocorre em todos os tipos de materiais e normalmente nas fazendas situadas no topo das chapadas. Devido à posição topográfica essas áreas apresentam pouca disponibilidade de água superficial; este fato introduziu na região a prática de construir pequenos reservatórios nas concavidades próximas às bordas das chapadas, para suprir o gado com água no período da seca. Os materiais de uso frequente na construção destes diques ou barragens são os encontrados na área; usualmente foram achados pedaços de couraças ferruginosas e fragmentos de rocha sedimentar cimentada por calcário. Essas intervenções são, com frequência, responsáveis pela instalação de ravinas e voçorocas quando ocorre rompimento devido à sua instalação precária. Além disso, causam a perda de volumes importantes de água e energia que contribuem para o aumento das feições erosivas localizadas nas áreas planas do sopé da escarpa, com desníveis em média de 100 a 150 metros.

Foto 5 Área onde foi construído o dique para formação do reservatório que sofreu rompimento no período das chuvas.

Foto 6 Exemplos de ravinamento localizado à montante do dique e do reservatório

Foto 7 Material concrecionário encontrado nas chapadas e utilizado como matéria-prima para construção de barragens.

6.2.2 - Feições morfológicas erosivas instaladas no sopé das chapadas.

Ao longo da pesquisa foi identificado um importante número de feições erosivas situadas na base das chapadas (fotos 8).

Foto 8 Feições erosivas instaladas próximo ao sopé da escarpa da chapada, sobre Vertissolos hidromórficos.

Esses entalhes estão associados ao fluxo de água captado na superfície quase plana (declividade de 1 a 6°) do topo das chapadas, que se concentra em concavidades próximas às bordas do topo e descem pela escarpa, com desníveis de 100 a 150 m aproximadamente com declives acentuados superiores a 30° (foto 9) Apresentam, portanto, grande energia cinética, que é transformada em energia potencial ao encontrar as rupturas do sopé da escarpa (foto 10) que apresenta uma mudança brusca em relação ao declive anteriormente citado, para declives de 0 a 3°, e potencial erosivo importante.

Foto 9 Vista da chapada e dos elementos morfológicos descritos (topo, rupturas e sopé) e das características altimétricas e clinográficas

Foto 10 Vista da ruptura de declive na borda da chapada, com vista para a base, à esquerda da foto, onde estão instaladas as feições erosivas sobre vertissolo

Além dos indicadores mencionados, esses fluxos de água concentrados normalmente encontram os materiais arenosos da formação Vale do Peixe e os solos desenvolvidos sobre eles, que são os Latossolos Vermelho Escuro friáveis e com grande suscetibilidade erosiva e os Vertissolos hidromórficos (foto 11), mais frequentes nessa posição topográfica. Devido ao desmatamento, os materiais arenosos se desagregam no período da seca com a perda de umidade e se formam gretas de contração ou craqueamento, tornando-se suscetíveis à erosão por escoamento concentrado no verão (período das chuvas).

Foto 11 Vertissolo hidromórfico típico das áreas planas próximas ao sopé das chapadas, com declividade de 1 a 3°.

As feições visitadas ao longo do trabalho de campo sobre Vertissolo apresentam como característica morfológica sua pequena largura, provavelmente associada à sua resistência ao desmantelamento e poder de agregação. (foto 12)

Foto 12 Feição sobre Vertissolo com largura estreita e grande profundidade, atingindo o freático.

Ao longo da pesquisa e dos trabalhos de campo também foi possível verificar fenômenos de abatimento (foto 13) associados à formação de *pipings*, responsáveis também pelas feições erosivas. Segundo Bull & Kikby (1997) são dutos formados pela extração de material fino associado frequentemente à grande velocidade de infiltração e contatos abruptos do solo com o embasamento rochoso, que promovem o escoamento horizontal do freático e potencializa este tipo de formação.

Foto 13 Abatimento do terreno provavelmente associado a formação de “piping” na áreas planas próximas a chapadas.

Foi possível verificar que nas áreas próximas às chapadas, o arenito da formação Vale do Peixe, composto fundamentalmente por arenito muito fino à fino, e posicionado à no máximo a 2,5 m de profundidade, promove um contato abrupto com a cobertura pedológica. Esse fato pode contribuir para os processos de *piping* e instalação de feições erosivas (foto 14) nas áreas próximas ao sopé da chapada; esse processo é responsável pelo abatimento do solo em Vertissolo hidromórficos (foto 15), próximos ao sopé da chapada.

Foto 14 Feição erosiva instalada no contato entre o Vertissolo hidromórfico e os arenitos finos a muito finos da formação Vale do Peixe.

Foto 15 Detalhe do afloramento de arenito da Formação Vale do Peixe no funda da feição destacada na foto anterior.

6.2.3 - Feições erosivas instaladas nos interflúvios

Os interflúvios ocupam a maior parte da área da bacia dos rios Arantes - São Domingos e também são as áreas de maior interesse para a produção agropecuária. Devido à sua topografia favorável e de baixa declividade foram as áreas que sofreram a maior interferência ao longo do

período de 46 anos analisado nesta pesquisa; tal fato já potencializa esta área em termos de intensificação de processos superficiais e conseqüentemente de feições erosivas. Ao longo do estudo foi possível perceber que as formas de entalhe por escoamento concentrado nesta área estão associadas a 2 processos distintos que são: a ampliação da rede de drenagem e a dinâmica hidrológica da vertente com afloramentos de água e escoamento rápido. É importante destacar que todos os processos erosivos estudados têm relação direta com a pressão exercida pelo processo de supressão da vegetação que alterou de maneira substancial os processos de escoamento superficial e sub superficial.

Esta parte se inicia pelos processos erosivos associados à ampliação ou reativação da rede de drenagem (fotos 16 e 17). O caso escolhido está localizado na unidade 2 da compartimentação mais especificamente nas coordenadas UTM: x: 595.989,745; y: 7.852.415,043. A erosão situa-se em uma área de cabeceira que apresenta baixas declividades entre 1 a 3° e inferiores a 1°, situada na classe altimétrica de 460 a 480 m, com vertente orientada para o norte, e com forma de terreno convergente côncava. Quanto aos atributos do meio físico a feição se localiza na unidade t32 do mapa geomorfológico, que é caracterizada como um relevo mediantemente dissecado com potencial de erosividade fraco e com a presença de solos da classe LEa1 que se refere à Latossolos Vermelho Escuro álicos, sobre arenitos finos a muito finos da formação Vale do Peixe.

Foto 16 Aprofundamento da rede de drenagem sob cobertura de mata ciliar degradada.

Foto 17 Prolongamento de entalhe na cabeceira de drenagem que atinge o Latossolo Vermelho Escuro.

Considerando os elementos da paisagem descritos, a área deveria apresentar baixa suscetibilidade à erosão, porém quando se avaliam as informações relacionadas ao uso do solo e à cobertura vegetal, verifica-se que houve desmatamento nas cabeceiras de drenagem onde há formas convergentes côncavas que concentram o fluxo e captam importante volume de água para o processo de entalhe, é possível prever a ocorrência de fluxos concentrados com potencial erosivo. Além disso, a ocorrência de hidromorfismo ou pseudo hidromorfismo que devido à alteração da cobertura sofre transformações em suas propriedades pedológicas também contribui para desenvolvimento de entalhes. O quadro descrito apresenta então elementos fundamentais para o entendimento do processo erosivo e a instalação das formas de entalhe; o sistema de variáveis descrito é um indicador importante para a previsão e controle dos processos de erosão.

O caso tratado a seguir se refere às feições erosivas instaladas no terço inferior da vertente nas laterais dos interflúvios alongados da área e perpendiculares à vertente. Esta área situa-se no compartimento 2, mais especificamente na coordenada UTM: x: 603.538,726; y: 7.852.027,699. Como já mencionado, é uma seqüência de feições erosivas instaladas (foto 18), no terço inferior e perpendiculares à drenagem tributária do rio Arantes. O entalhe se localiza no terço inferior da vertente e atinge o início do terço médio, de jusante para montante. A feição situa-se numa vertente do interflúvio; apresenta orientação norte, com declividade de 3 a 6° e na classe altimétrica de 440 a 460 m e forma convergente – côncava, sobre rochas da formação Vale do rio do Peixe, na unidade definida pelo RADAM (1982) como t31 caracterizada pelo relevo mediantemente dissecado com fraco potencial erosivo e associada à mancha de LEa1, com ocorrência de Latossolo Vermelho Amarelo.

As feições erosivas localizadas nas vertentes dos interflúvios são comuns na bacia pesquisada e, como no caso anterior, também parece não haver condições suficientes para explicar sua instalação com base no que foi descrito antes. Entretanto, exames detalhados sobre sua localização em área de desmatamento ilegal, ocorrência de solos hidromórficos do tipo Gley no terço inferior da vertente e saturação de água sub-superficial com afloramento sazonal de água e formação de pequenos filetes concentrados (foto 19) se verifica que, tal como no caso anterior, ocorrem escoamento superficial e mudanças na pedogênese associadas ao afloramento de arenitos finos e muito finos na base da vertente próxima ao rio; este funciona como nível de base para a água subsuperficial e contribui para o afloramento da água na vertente e, a seguir, a ação de processos de escoamento concentrado. Há novamente os elementos necessários para explicar os processos de erosão e as feições encontradas nesse ponto.

Foto 18 Exemplo de feição erosão do tipo voçoroca instalada na base da vertente e perpendicular ao eixo de drenagem.

Foto 19 Exemplo da saturação da água no solo hidromórfico no terço inferior da vertente nos interflúvios alongados perpendiculares à drenagem com a formação de filetes de água no período chuvoso..

6.3 - Análise quantitativa espacial: a distribuição das feições erosivas

Durante a pesquisa definiu-se como etapa fundamental a sistematização das informações sobre os elementos e processos da dinâmica acelerada. Optou-se pela utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) onde as informações coletadas, produzidas e analisadas foram organizadas em um banco de dados espaciais. Com base nesse sistema foi possível cartografar os efeitos das mudanças antrópicas e seus atributos, tendo como finalidade desenvolver propostas de geoindicadores para a bacia do sistema hidrográfico Arantes - São Domingos.

Com essa finalidade foram identificados e cartografados os efeitos dos processos erosivos instalados por escoamento concentrado (feições erosivas) e os respectivos elementos do meio físico e biótico elencado na pesquisa, relacionados ou não às modificações rápidas da paisagem. Com base no conjunto das informações coletadas e sistematizadas optou-se por definir as feições erosivas como elemento para análise, pois este tipo de feição já é um dos indicadores importantes o efeito das modificações impostas pelo processo histórico da intervenção humana na área de pesquisa.

Nesse sentido este capítulo tenciona definir, com base em análises estatísticas definir as relações entre as feições erosivas e os demais elementos ambientais selecionados e verificar as relações numéricas entre os mesmos.

6.3.1 - Análise numérica das feições erosivas na bacia do rio Arantes e São Domingos.

Com base na sistematização das informações no sistema citado foi possível correlacionar os diversos mapas elaborados ou compilados com as feições erosivas mapeadas; desta forma foi possível compreender melhor a lógica da relação entre as formas erosivas e os atributos analisados.

A primeira sistematização foi a relação entre formas erosivas e o uso da bacia hidrográfica nos diversos anos. Cabe esclarecer que as imagens utilizadas para mapeamento das feições erosivas são datadas de 2008 (CBERS) e 2009 (GOOGLE EARTH) e, portanto, com datas diferentes daquelas utilizadas para o mapeamento do uso e cobertura vegetal, já que o objetivo desta análise foi correlacionar áreas de uso com ocorrências de feições erosivas.

A tabela 8 e o gráfico 7 mostram o aumento significativo das feições erosivas associadas a áreas sem cobertura vegetal, apresentando aumento significativo até o ano de 1996 e redução com a recuperação da vegetação em 2010. O gráfico 7 confirma a evolução do desmatamento mencionada no capítulo 4 e simula, de maneira ainda que empírica, a relação entre a evolução do desmatamento e a das feições erosivas, mostrando de forma clara a relação inversa entre os dois tipos de cobertura e sua relação com a o desenvolvimento da erosão.

Tabela 8 Relação entre as ocorrências das feições erosivas e a cobertura vegetal e uso antrópico.

Feições erosivas	1964	1973	1985	1996	2010
Cobertura Vegetal	1623	1103	449	238	400
Uso Antrópico	786	1306	1960	2171	2009

Gráfico 8 Simulação hipotética da relação das formas erosivas existentes com o processo de ocupação da bacia.

A relação entre as feições erosivas e a distribuição das classes altimétricas é exemplificada na tabela 9 e no gráfico 8, onde é possível perceber uma relação já observada tanto na descrição da compartimentação quanto na descrição e análise dos tipos de feições erosivas observadas ao longo da pesquisa.

Segundo o gráfico 9 é possível verificar uma distribuição dicotômica representada pela concentração de feições erosivas nas chapadas e nos interflúvios a jusante dessas.

Tabela 9 Relação entre as classes altimétricas e a ocorrência de feições erosivas

Classe	nº de feições erosivas	%	Classe	nº de feições erosivas	%
<320	0	0.0	520-540	17	0.7
320-340	0	0.0	540-560	12	0.5
340-360	20	0.8	560-580	4	0.2
360-380	62	2.6	580-600	85	3.5
380-400	100	4.2	600-620	168	7.0
400-420	222	9.2	620-640	130	5.4
420-440	356	14.8	640-660	17	0.7
440-460	472	19.6	660-680	5	0.2
460-480	446	18.5	680-700	3	0.1
480-500	226	9.4	700-720	4	0.2
500-520	55	2.3	>720	5	0.2
				2409.0	100.0

Gráfico 9 Distribuição altimétrica das formas erosivas, com divisão dicotômica entre chapada e interflúvios.

A relação entre o mapa clinográfico e as feições erosivas destacam a predominância de erosões na bacia associadas às baixas declividades, o que evidencia ou sugere uma sensibilidade possível dos materiais em relação aos processos erosivos, pois as baixas declividades não explicariam um escoamento concentrado tão competente para gerar o grande número de formas encontradas.

O gráfico e a tabela mostram que existem 2229 feições erosivas em declividades de 0 a 6° o que corresponde a praticamente 92,5% das formas erosivas da área de estudo. Esta informação também foi verificada na compartimentação e no detalhamento dos tipos de ocorrências erosivas já apresentados.

Tabela 10 Relação entre as classes clinográficas e as feições erosivas

Classe de declividade	n° de feições erosivas	%
<1	534	22.17
1-3	743	30.84
3-6	952	39.52
6-8	114	4.732
8-14	49	2.034
14-18	13	0.54
18-24	3	0.125
24-30	1	0.042
30-45	0	0
>45	0	0
	2409

Gráfico 10 Relação entre a concentração de feições erosivas e a declividade.

A tabela 11 e o gráfico 10 destacam a baixa relação entre as feições erosivas e a orientação das vertentes. Com uma maior ocorrência nas vertentes com face norte talvez o detalhamento do mapeamento da orientação das vertentes com pontos colaterais associados à direção da chuva, poderia apontar uma maior relação, não explorada na presente pesquisa.

Tabela 11 Relação entre as ocorrências das feições erosivas e a orientação das vertentes.

Orientação da vertente	n° de feições erosivas	%
Norte	876	36.36
Leste	577	23.95
Sul	495	20.55
Oeste	461	19.14
TOTAL	2409	100

Gráfico 11 Relação entre o número das feições erosivas e a orientação das vertentes.

A morfologia é um dos elementos importantes para a caracterização do relevo e do potencial do fluxo de água superficial nas vertentes, já que o relevo é, segundo os diversos autores uma das variáveis principais para os processos erosivos. Neste caso há correlação entre as observações de campo, que associam a maior parte das feições erosivas a formas convergentes e côncavas, e o resultado da relação espacial entre as feições erosivas e o mapa morfológico (TABELA 12) que indica no gráfico 12 que 60,8 % atendem a premissa das formas convergentes como concentradoras de fluxo superficial.

Porém quando se isola a forma côncava verificamos que ela ocorre em apenas 28,6 % das feições erosivas, em quanto as formas retilíneas que, independente de convergente, planar ou divergente, ocorrem em 55% das feições erosivas associadas.

Tabela 12 Relação entre as ocorrências das feições erosivas e as formas de relevo - vertente.

Forma do relevo	n° de feições erosivas	%
Convergente côncavo	461	19.14
Convergente retilíneo	805	33.42
Convergente convexo	198	8.219
Planar côncavo	131	5.438
Planar retilíneo	252	10.46
Planar convexo	87	3.611
Divergente côncavo	97	4.027
Divergente retilíneo	269	11.17
Divergente convexo	109	4.525
TOTAL	2409	100

Gráfico 12 Distribuição setorial das porcentagens das feições erosivas e a morfologia do relevo - vertente.

A relação entre as feições erosivas e a litologia (TABELA 13) já era evidente ao longo da pesquisa, tanto nos levantamentos bibliográficos quanto nas observações de campo. Com a predominância de arenitos finos à muito finos, a formação Vale do Peixe apresenta a maior concentração de formas erosivas com 81% (tabela 13 e gráfico 14), associadas aos interflúvios alongados.

A formação Marília apresenta 18% das ocorrências de formas erosivas; este número inferior pode estar associado a alguns fatores como: a) materiais constituintes, já que por sua origem apresenta materiais mais endurecidos como paleopisos (conglomerados) e concreções ferruginosas que podem apresentar maior resistência ou funcionar como diques e certas condições; b) a ocupação mais tardia com relação aos interflúvios, c) a sua extensão mais restrita em relação ao domínio dos interflúvios.

Tabela 13 Relação entre as formações geológicas e as feições erosivas

Formação geológica	n° de feições erosivas	%
JKsg - Formação Serra Geral	32	1.328
Km - Formação Marília	426	17.68
Kvp - Formação Vale do Peixe	1951	80.99
TOTAL	2409	100

Gráfico 13 Distribuição em porcentagem das formas erosivas e as formações geológicas.

A relação entre as feições erosivas e as unidades pedológicas e seus tipos de solos (TABELA 14 e GRÁFICO 13) vão de encontro com as observações realizadas no item que descreve as feições erosivas em relação com as 3 unidades de relevo distintas, denominadas de chapada, sopé da chapada e interflúvios. As três unidades de solo que congregam 85% das feições erosivas estão distribuídas e relacionadas com estas unidades. Com 16% das feições erosivas e dominando o topo das chapadas ocorre a unidade LEa4, que se caracteriza pela associação de Latossolo Vermelho Escuro álicos com Litólico (Neossolo). Na base da chapada, descrita ao longo da pesquisa como sopé ocorrem os Podzólicos com 18% das ocorrências erosivas instaladas. O domínio espacial na bacia em área, com praticamente 51% das ocorrências erosivas a unidade LEa1, corresponde ao Latossolo Vermelho Escuro álico. As demais unidade e classes do solo apresentam baixa ocorrência de feições erosivas - que devem ser alvo de detalhamento futuro para compreender quais fatores ou indicadores podem explicar os baixos índices.

Tabela 14 Relação entre os tipos de solo e as feições erosivas

Unidades de classe pedológica	n° de feições erosivas	%
LEa1	1227	50.93
LEa2	151	6.268
LEa3	131	5.438
LEa4	385	15.98
LEa5	0	0
LEd4	0	0
LEd5	24	0.996
LRd1	0	0
LRd2	26	1.079
HGd2	24	0.996
AQa1	4	0.166
PV	437	18.14
TOTAL	2409	100

Gráfico 14 Distribuição em porcentagem da ocorrência de feições erosivas nas unidades pedológicas no mapa de reconhecimento da cobertura pedológica.

A relação entre as feições erosivas e as unidades geomorfológicas (TABELA 15, GRÁFICO 15) propostas pelo RADAM (1982) mostram inicialmente que elas estão distribuídas por todos os compartimentos, porém concentradas preponderantemente nas unidades t32 (47%) e t31 (22%) totalizando 69% das ocorrências. Destaque também para a unidade Et que refere as chapadas que

apresentam 11% do total, porém com uma área significativamente menor o que revela alta densidade de entalhes.

O resultado obtido difere da interpretação produzida pelo projeto RADAM (1982:392) onde as duas unidades de maior ocorrência são apontadas com baixo a médio potencial erosivo, todavia os dados demonstram uma alta incidência em relação aos demais compartimentos. Já as unidades c22 e c32, que apresentaram ambas 4% e portanto baixa incidência, são classificadas como de média à forte potencialidade erosiva. Por outro lado a interpretação foi assertiva na unidade Et que foi classificada como forte potencial erosivo e teve uma incidência de 11%, alta se considerarmos a sua área.

As discrepâncias podem ser interpretadas à luz de duas hipóteses iniciais: a) a interpretação não levou em conta que a convexidade encontrada na morfologia associada a solos podzólicos seria indicativa de um sistema já bem dissecado; b) ao longo do período de 1982 a 2010 o processo pode ter sido remodelado por feições erosivas indicando um processo acelerado de mudança e estabilização.

Tabela 15 Relação das feições erosivas e as unidades morfológicas do mapa Geomorfológico do RADAM Brasil

Unidades morfológicas	nº de feições erosivas	%
Apf - Forma de acumulação fluvial	22	0.913
c22 - Formas convexas	89	3.694
c32 - Formas convexas	98	4.068
t22 - Formas tabulares	36	1.494
t31 - Formas tabulares	521	21.63
t32 - Formas tabulares	1143	47.45
t41 - Formas tabulares	125	5.189
t51 - Formas tabulares	114	4.732
Et - Superfície residual tabular	261	10.83
TOTAL	2409	100

Gráfico 15 Distribuição das ocorrências em % das feições erosivas nas unidades geomorfológicas do mapa Geomorfológico do projeto RADAM Brasil.

A análise numérica das feições erosivas em relação às unidades da compartimentação geomorfológicas propostas nesse trabalho (TABELA 16 e GRÁFICO 16) mostra uma distribuição um pouco mais difusa da ocorrência das feições erosivas, entretanto confirmam que a área onde dominam os interflúvios alongados com topos aplainados - unidades 2, 3 e 4 - concentram o maior número de ocorrências 88% dos casos. A compartimentação proposta mostrou sua ineficiência por espalhar a ocorrência de chapadas por todas as unidades, diminuindo a percepção das erosões nessa unidade tão importante. Nesse sentido a compartimentação proposta pelo RADAM, mostrou-se mais efetiva.

Tabela 16 Relação das feições erosivas e as unidades da compartimentação geomorfológica proposta.

Unidades de compartimentação geomorfológica	n° de feições erosivas	%
Unidade 1	328	13.62
Unidade 2	910	37.78
Unidade 3	559	23.2
Unidade 4	519	21.54
Unidade 5	93	3.861
TOTAL	2409	100

Gráfico 16 Distribuição das ocorrências em % das feições erosivas nas unidades geomorfológicas do mapa Geomorfológico do projeto RADAM Brasil.

CAPITULO 7 - PROPOSTA DE GEOINDICADORES DOS PROCESSOS MORFODINÂMICOS PARA REGISTRO E AVALIAÇÃO INICIAL DOS EFEITOS DE SUA DINÂMICA

Os conceitos definidos ao longo de todo o processo de pesquisa foram fundamentais para elaborar uma reflexão sobre os processos ambientais do sistema hidrográfico Arantes - São Domingo, com o objetivo de compreender os processos morfodinâmicos responsáveis pelo desenvolvimento e instalação de feições erosivas no sistema.

A presente reflexão buscou levar em conta os preceitos definidos ao longo do trabalho na produção intelectual de Tricart citados ao longo desta pesquisa e que trazem em seu conteúdo elementos fundamentais para a composição dos geoindicadores e o entendimento dos processos morfodinâmicos e de sua evolução descontínua no tempo e no espaço. Assim a proposta de geoindicadores na área de pesquisa seguirá os fundamentos sugeridos e definidos nos trabalhos de Berger (1996, 2008), Coltrinari (1996, 2001), e Canil (2006), este último de importância fundamental por tratar da reflexão sobre uma bacia hidrográfica que detém a especificidade da área urbana que, entretanto, forneceu importantes dados sobre o método e a forma de sistematizar os resultados.

Optou-se ao longo do trabalho pela estruturação de um sistema de informação geográfico (SIG) construído com base em referenciais teóricos e apoiado em metodologias tradicionais da geomorfologia para o conhecimento da área de estudo e sistematização das informações de interesse. Ao longo da presente pesquisa esse sistema ainda foi pouco explorado, porém sua organização poderá fundamentar muitos estudos futuros voltados ao conhecimento das relações espaciais do sistema Arantes-São Domingos.

Neste sentido o processo de geração de informação cartográfica a partir de produtos de sensores remotos e da sistematização das existentes no SIG possibilitou uma contínua manipulação das informações que contribuíram para o entendimento da área e que, complementado com os trabalhos de campo ao longo do sistema hidrográfico, permitiu o contato fundamental com trabalhadores e proprietários de fazendas. Foram eles os que, de certa forma, introduziram as mudanças ambientais implantadas e compartilharam conosco informações importantes para a interpretação dos dados indiretos - como as imagens de satélite, bem como ajudaram a refletir sobre os geoindicadores.

É importante destacar que inicialmente Berger (1996) defendia o uso dos geoindicadores como instrumento para aplicação exclusiva a processos geológicos sem interferência humana; apesar disso diversos trabalhos foram desenvolvidos considerando a significativa influência humana nos indicadores de processos geológicos, como os de Coltrinari (2001) e Canil (2006). A discussão sobre essa questão conduziu à introdução da influência humana como segue:

Geoindicators provide a convenient summary of the non-human physical and chemical processes that can change landscapes and ecosystems in less than 100 years. Such changes have long provided the natural background for planetary and organic evolution, but now they can also be influenced by human activities. (...)

(Os geoindicadores fornecem um resumo conveniente dos processos físicos e químicos não humanos que podem mudar paisagens e ecossistemas em menos de 100 anos. Tais mudanças há muito criaram o pano de fundo natural para a evolução planetária e orgânica, mas agora podem também ser influenciadas pelas atividades humanas (...))

(...)However, since life itself began there have been interactions between organisms and soils, rocks, water and air. Humans have now become geological agents, far more potent and quick-acting than any other species in the past. The pace of geological and ecological change has increased dramatically in modern times, at least in comparison to the past 10,000 years of the Holocene time period.

(Contudo, desde o começo da vida houve interações entre organismos e solos, rochas, água e ar. Agora os humanos se tornaram agentes geológicos, bem mais poderosos e ativos que qualquer outra espécie no passado. O andamento das mudanças geológicas e ecológicas aumentou de forma dramática em tempos modernos, pelo menos em comparação com os 10.000 anos passados do período Holoceno BERGER (1996).

Essa questão é fundamental, pois ampliou a aplicação e o desenvolvimento dos geoindicadores como ferramenta de estudo e de gestão ambiental.

Apesar da proposta de classificação de Berger (1996, 2008) para geoindicadores optou-se nesse trabalho pela formulada por Canil (2006), que responde de forma mais efetiva à relação da dinâmica de uma bacia, com supressão apenas da dinâmica fluvial que, apesar de ser fundamental e ter sido avaliada positivamente, teve sua inclusão inviabilizada neste trabalho por falta de tempo. Assim foram selecionadas as seguintes categorias: a) Situação de equilíbrio; b) Intervenção antrópica c) Dinâmica das vertentes

Com base nesta classificação foram propostos geoindicadores subdivididos segundo a relação da dinâmica geomorfológica analisada e exposta nos capítulos 5 e 6. O objetivo dessa subdivisão foi considerar a variação ou descontinuidade espacial da feição erosiva, enquanto a descontinuidade temporal estará contida nas questões a serem respondidas sobre o geoindicador (IUGS, 1996; COLTRINARI, 1996; BERGER, SATKUNAS & HERMELIN, 2003; RODRIGUES C. & COLTRINARI L, 2004; CANIL, 2006).

A proposta é considerar os geoindicadores divididos nas seguintes unidades: a) chapada; b) sopé da chapada e c) interflúvios. Essa proposta tem como objetivo inicialmente distinguir e monitorar as diferenças dos processos geomorfológicos que geram as feições erosivas, pois foi

identificado ao longo do trabalho que as feições são semelhantes, mas existem diferenças na morfodinâmica. Além, é claro, de permitir processos de monitoramento, registro e acompanhamento dos indicadores de forma distinta, essa lógica permite, com base nas informações geradas, compreender a relação sistêmica e de interdependência das unidades. Além de facilitar a gestão pública e/ou privada do processo a partir de um SIG, essa aproximação pode dar respostas efetivas a esse problema, tão frequente no Brasil onde, apesar de ser conhecido ainda enfrenta dificuldades para a gestão pública e privada.

Optou-se também por adotar alguns dos indicadores estabelecidos por Canil (2006) por serem comuns a estudos de bacias, sendo suprimidos os elementos relativos à ocupação urbana e adicionados parâmetro relativos ao meio rural. Nesse sentido foram adicionados indicadores de processos pedogenéticos e hidrológicos, o primeiro devido à importância do solo para instalação dos processos erosivos já abordados no capítulo 2 e o segundo, pela interferência do processo de *piping* no voçorocamento e do voçorocamento no nível freático.

Quanto aos parâmetros, foram adotados e compilados vários dos propostos por Canil (2006) seguindo sua proposta de criar um roteiro básico para aplicação em outras bacias hidrográficas, inclusive as rurais, com a introdução das adaptações necessárias ou relativas aos novos indicadores. Os parâmetros adotados para caracterização dos geoindicadores são: a) Descrição; b) Materiais e técnicas de levantamento e monitoramento; c) Significado geodinâmico; d) Escala de representação cartográfica.

Os geoindicadores foram sistematizados em três tabelas (QUADROS 16, 17 e 18) distintas: a primeira coloca em pauta o estado de equilíbrio e as intervenções humanas, a segunda destaca as intervenções morfogenéticas e a terceira as intervenções pedogenéticas e hidrológicas. Cabe destacar que as propostas de geoindicadores deste trabalho são uma primeira aproximação, já que vários elementos precisam ser detalhados em relação aos processos dinâmicos do meio antrópico e biótico e do meio físico e suas ocorrências.

Entre os geoindicadores propostos houve algumas mudanças nos compilados com adaptações para a área da bacia do sistema Arantes – São Domingos; por ser uma bacia estritamente rural, estão relacionados com o equilíbrio e as intervenções humanas e às mudanças em relação aos processos erosivos por escoamento concentrado.

Os geoindicadores propostos retratam a síntese dos elementos que foram analisados ao longo da pesquisa e os fatos recorrentes, incidentes em todos os compartimentos e principais formas do relevo (Chapada, Sopé e Interflúvios) observados ao longo das 15 etapas de campo executadas em diferentes épocas do ano. Fatos que reunidos de forma sistemática permitiram a proposição dos geoindicadores aos processos morfogenéticos, pedogenéticos e hidrológicos.

Quadro 4 Geoindicadores de estado de equilíbrio e de intervenções humanas.

Situação/ Intervenção	Geoindicadores	Descrição	Materiais e técnicas de monitoramento	Unidades de medida: Taxa e Frequência	Significado geodinâmico	Escalas de representação cartográfica
Situação de equilíbrio	Cobertura Vegetal (cerrado ou reflorestamento)	A cobertura vegetal aumenta a estabilidade da superfície, criando e mantendo a estrutura da camada superficial do solo. Regula o sistema físico climático , os ciclos biogeoquímicos e os processos hidrodinâmicos (de superfície e subsuperfície). Seu papel principal é promover a redução do impacto das gotas de chuva na superfície do solo (por meio do estrato arbóreo e serrapilheira). A força do atrito diminui a energia do escoamento superficial.	Cartas topográficas. Fotografias aéreas e imagens de satélite em escalas superiores à 1:25.000. Inventários fitogeográficos. Fotointerpretação (fotos e imagens), por meio de técnicas manuais e automatizadas (geoprocessamento) e análise de dados. Análise espacial da cobertura vegetal à partir de registros aerofotogramétricos de períodos distintos. Trabalhos de campo.	km² / Ano km²/década	Meio estável que favorece a permanência <i>in situ</i> dos produtos da pedogênese.	Local / Regional / Global
Intervenções antropogênicas	Área desmatada	O desmatamento contribui para o aumento do impacto da chuva na superfície do solo. A diminuição do atrito na superfície favorece a ação do escoamento superficial e transporte dos materiais. A redução do conteúdo de matéria orgânica e a desagregação de partículas caracterizam a erodibilidade do solo.	Cartas topográficas. Fotografias aéreas e imagens de satélite em escalas superiores à 1:25.000. Fotointerpretação (fotos e imagens), por meio de técnicas manuais e automatizadas (geoprocessamento) e análise de dados. Estabelecimento de parcelas de solo experimentais para controle do escoamento e transporte do material.		O desmatamento altera as condições dos processos dinâmicos da superfície. Maior atuação do processo morfogenéticos e menor atuação da pedogênese. A retirada da cobertura vegetal aumenta a amplitude térmica, modifica a umidade relativa e o albedo da superfície. Modifica o regime temporal e espacial da distribuição das chuvas e reduz a taxa de evapotranspiração.	
Intervenções antropogênicas	Campo antrópico	Vegetação Herbácea predominante com arbustos e árvores esparsas. Configura na área de estudo e com seus materiais aumento da capacidade de infiltração de água no solo e escoamento superficial consequentemente os materiais superficiais são susceptíveis à erosão.	Cartas topográficas. Fotografias aéreas e imagens de satélite em escalas superiores à 1:25.000. Foto interpretação (fotos e imagens), por meio de técnicas manuais e automatizadas (geoprocessamento) e análise de dados. Trabalhos de campo, por meio de instrumentação para controle do escoamento e transporte do material.		Predomínio da morfogênese. Alteração do comportamento físico hídrico do solo, que favorece a concentração do escoamento superficial e a formação de sulcos. Aumento da produção de sedimentos e da perda de nutrientes do solo.	
Intervenções antropogênicas	Culturas temporárias	Correspondem às terras preparadas para plantio com culturas de ciclo curto, colhidas em intervalo inferior a um ano, que ocorre nos compartimentos 4 e 5 pela acessibilidade as usinas		km² / Ano km²/década m³/ano m³/década	Predomínio da morfogênese. Alteração do comportamento físico-hídrico do solo. Acidificação do solo por lixiviação. Nos períodos entre uma colheita e outra, o solo superficial fica em exposição e sujeito à ação do escoamento superficial concentrado, provocando incisões no terreno	Local / Regional / Global - escala igual ou superior a 1: 50.000.
Intervenções antropogênicas	Superfície em exposição	Material superficial suscetível à erosão. Nesta condição observa-se o aumento da capacidade de infiltração de água no solo e do escoamento superficial. Além disso, há redução do conteúdo de matéria orgânica e desagregação de partículas de solo, caracterizando sua erodibilidade. consequências diretas em áreas rurais: contribuem para o aumento da produção de sedimentos.			Predomínio da morfogênese (erosão pluvial - escoamento difuso ou concentrado - e movimentos de massa). A produção de sedimentos varia conforme a composição dos materiais, a posição da superfície em exposição no relevo (topo/vertente/fundo de vale) e a declividade da superfície. Aumenta a possibilidade do escoamento concentrado/organizado com competência para escavar os materiais.	Local / Regional /Global - escala igual ou superior a 1:25.000.

Quadro 5 Geoindicadores de intervenção morfogenéticas

Situação/ Intervenção	Geoindicadores	Descrição	Materiais e técnicas de monitoramento	Unidades de medida: Taxa e Frequência	Significado geodinâmico	Escalas de representação cartográfica
Intervenções morfogenéticas	Forma da bacia	Exprime a relação entre a área da bacia e a área do círculo do mesmo perímetro.	Cartas topográficas. Fotografias aéreas e imagens de satélite em escalas superiores à 1:25.000. Fotointerpretação (fotos e imagens), por meio de técnicas manuais e automatizadas (geoprocessamento) e análise de dados. Aplicação da cartografia geomorfológica. Aplicação de fórmulas e modelos matemáticos.	km²	Comanda o comportamento dos processos de vertente e do tempo de concentração do escoamento superficial.	Local / Regional / Global - escala igual ou superior a 1: 100.000.
Intervenções morfogenéticas	Abatimento ou solapamentos	Feições côncavas com desnível na superfície ocorrem em áreas de topo e no terço médio de vertentes com declividades de 0 a 6° e são resultantes do escoamento subsuperficial. Processo associado a retirada de materiais finos e perda de volume com instalação de dutos subterrâneos que provocam a ruptura dos materiais (solo/rocha) quando o peso do material é maior que a resistência do duto formado	Produtos de sensoriamento remoto (fotos e imagens) com escalas superiores à 1:25.000. Fotointerpretação por técnicas analógicas ou digitais.	cm/ano m/ década	Predomínio da morfogênese Contínua retirada de material por processo subsuperficial acúmulo da água em superfície no período das chuvas e com possível deposição de material fino. O processo pode ser classificado pela profundidade, direção e sequência e forma dos abatimentos. Oferecem risco a infraestrutura rural e a perda de solo de uso rural	Local – escala superior a 1:25.000
Intervenções morfogenéticas	Erosão: sulcos e ravinas	Incisões na superfície do terreno que se caracterizam pela desagregação de partículas do solo e materiais superficiais. Resultam da ação do escoamento superficial concentrado. Ocorrem nas diversas unidades geomórficas da bacia e não atingem o freático.	Reconhecimento simples no campo verificando superfície rebaixada em relação ao entorno. Cadastramento de suas feições. Uso de produtos de sensoriamento remotos superiores a 1:25.000	m³ / ano m³ / década nº / ano nº / década	Predomínio da morfogênese. Ação do escoamento concentrado (resultando em incisões na superfície do terreno). Pode haver influência dos fluxos de água subsuperficiais acelerando a evolução e a magnitude do processo. A produção de sedimentos varia conforme os materiais, a posição da feição erosiva em relação ao relevo (topo/vertente/fundo de vale) e a declividade da superfície. Oferecem risco à infraestrutura rural e a qualidade e produtividade do recurso solo.	Local / Regional - escala igual ou superior a 1: 25.000.
Intervenções morfogenéticas	Erosão: voçoroca	Incisões na superfície do terreno que se caracterizam pela desagregação de partículas do solo e materiais superficiais. Resultam da ação do escoamento superficial e subsuperficial concentrado, podendo estar associado a solapamentos e/ou abatimentos do solo. Processo ocorre em todos os compartimentos. Não atingem a água subsuperficial	Reconhecimento simples no campo verificando superfície rebaixada em relação ao entorno. Cadastramento de suas feições. Uso de produtos de sensoriamento remotos superiores a 1:25.000	m³ / ano m³ / década nº / ano nº / década	Predomínio da morfogênese. Ação do escoamento concentrado (resultando em incisões na superfície do terreno), com influência dos fluxos de água subsuperficiais acelerando a evolução e a magnitude do processo. A produção de sedimentos varia conforme os materiais, a posição da feição erosiva em relação ao relevo (topo/vertente/fundo de vale) e a declividade da superfície. Oferecem risco à infraestrutura rural e a qualidade e produtividade do recurso solo.	Local / Regional - escala igual ou superior a 1: 25.000.

Quadro 6 Geoindicadores de intervenções pedogenéticas e hidrológicas

Situação/ Intervenção	Geoindicadores	Descrição	Materiais e técnicas de monitoramento	Unidades de medida: Taxa e Frequência	Significado geodinâmico	Escalas de representação cartográfica
Intervenção pedogenética	Ocorrência de solos hidromórficos (Podzol, Vertissolo, Gley ou pseudo Gley)	Formação de solo com redução do Ferro, associado à áreas sazonalmente úmidas, podendo se formar por ação da vegetação, com eventual formação de argila 2:1. Associado a áreas do sopé das chapadas com declividades 0 a 3°, com material barrento acinzentado na superfície; ou terço inferior das vertentes dos interflúvios com declividade 0 a 6°.	Reconhecimento do solo no campo. Uso de produtos de sensoriamento remotos hiperespectrais superiores a 1:50.000	m ³ / ano m ³ / década nº / ano nº / década	Predomínio da pedogênese. Ação do déficit de oxigênio, acompanhada por uma diminuição no Eh, retarda a evolução e as causas de humificação e promove redução do Ferro. Ação do afloramento freático ou concentração da vegetação. Redução do Ferro e influência direta do freático. Morfogênese associada a afloramento do freático no sopé da chapada e terço médio e inferior dos interflúvios.	Local / Regional - escala igual ou superior a 1: 25.000.
Intervenção pedogenética	Craqueamento ou fissuras no solo	Processo relacionado a formação de fissuras na superfície do solo associado ao ressecamento do solo tipo Vertissolo com argila 2:1. Resulta do desmatamento, alteração hidrogeológica local e exposição contínua. Importante alteração das propriedades estruturais do solo, reduzindo sua resistência ao escoamento. concentrado.	Reconhecimento do solo no campo.	m ³ / ano m ³ / década nº / ano nº / década	Predomínio da pedogênese. Ação da transformação de solos hidromórficos que apresentam salinidade e argila 2:1, perda da umidade promove formação de gretas de contração no período da seca. Morfogênese escoamento da água no período das primeiras chuvas promove a retirada dos blocos contraídos e instalação de ravinas, que podem evoluir para voçorocas.	Local / Regional - escala igual ou superior a 1: 25.000.
Intervenção pedogenética	Redução do horizonte superficial: A ou aumento do horizonte A	Processo associado a erosão laminar superficial e promove no período das chuvas retiradas de material superficial. Associados a todas unidades morfológicas (chapada, sopé e interflúvios) Ocorre normalmente em vertente retilíneas e divergentes com baixa declividade 0 a 3°. Promove a formação de solos descobertos.	Reconhecimento do solo no campo.	cm ou cm ³ / ano cm ou cm ³ / década nº / ano nº / década	Pedogênese: Ação da redução dos horizontes superficiais e perda de suas propriedades Morfogêneses ação do processo de erosão por escoamento difuso e transporte de sedimento. Processos associados às áreas desmatadas ou de campo antrópico.	Local / Regional - escala igual ou superior a 1: 25.000.
Intervenção pedogenética	Perda de matéria orgânica do solo	Processo associado normalmente a áreas desmatadas e/ou queimada. A perda da cobertura original provoca a redução constante da serrapilheira e provoca a exposição e perda da qualidade orgânica do solo e da fertilidade. Ocorre em todas as unidades geomorfológicas	Reconhecimento do solo no campo.	cm ³ / ano ou %/ano cm ³ / década ou %/ano nº / ano nº / década	Pedogênese: Ação da redução dos horizontes superficiais e perda de suas propriedades. Morfogêneses ação do processo de erosão por escoamento difuso e transporte de sedimento. Processos associados as áreas desmatadas ou de campo antrópico.	Local / Regional - escala igual ou superior a 1: 25.000.
Intervenção hidrológica	Ocorrência ou surgimento de filete de água na vertente	Processo associado a afloramento de água na vertente, relacionados a hidrologia de vertente. Formação de pequenos filetes de água, podendo ser sazonal. Associação ao desmatamento e escoamento superficial concentrado pode promover instalação de voçorocas.	Reconhecimento do solo no campo. Associado com áreas de hidromorfismo. Imagens de sensores multiespectrais 1:50.000	nº / sem nº / sem década	Predomínio dos processos hidrológicos das vertentes. Afloramento do freático na base das áreas de descargas do aquífero	Local / Regional - escala igual ou superior a 1: 25.000.
Intervenção hidrológica	Variação do nível freático	Processo de rebaixamento do freático, associado a instalação de erosões tipo voçoroca e eventual rebaixamento da calha dos rios das sub bacias que provocam a mudança do nível de base local.	Reconhecimento do solo no campo. Acompanhamento de poços locais e instalação de piezômetros	m / ano m / década nº / ano nº / década	Domínio da relação morfogênese x hidrologia da vertente. Instalação de voçorocamentos com aprofundamento do entalhe e consequente redução do freático local.	Local / Regional - escala igual ou superior a 1: 25.000.

Considerações finais

O trabalho desenvolvido mediante o método proposto, dividido em suas respectivas etapas possibilitou aprofundar o conhecimento da área, relacionar os conteúdos à instalação das feições erosivas e sintetizar, a partir dela, propostas de geoindicadores para o sistema hidrográfico Arantes - São Domingos.

A sistematização dos produtos cartográficos compilados e produzidos a partir de técnicas de interpretação digital de imagens de satélite (LANDSAT) e radar (SRTM) mostrou ser um registro fundamental dos elementos do meio físico, biótico e antrópico. Foram assim retratados de forma clara o processo de ocupação da bacia hidrográfica e sua relação com o processo histórico de ocupação do Triângulo Mineiro e foi possível avaliar o alto grau de interferência antrópica e sua relação com as mudanças ambientais aceleradas.

A compartimentação topográfica possibilitou selecionar áreas homogêneas (unidades), que permitiram o conhecimento sistemático das relações entre os diversos elementos cartografados (declividade, hipsometria, solos, geologia etc.) e a avaliação detalhada de sua distribuição, fomentando a relação sistêmica bem definida da morfologia em relação à dinâmica da geomorfologia fluvial e seu processo de esculturação.

O mapeamento das feições erosivas foi fundamental para confirmar a instalação de mudanças ambientais aceleradas, além de possibilitar a análise de sua distribuição e a relação de situação e contexto de sua instalação em relação aos diversos elementos analisados. Desta forma foi possível avaliar e compreender a descontinuidade espacial das feições e, ainda que de forma pouco clara, a descontinuidade temporal.

A análise das imagens e dos documentos compilados e sua sistematização em um sistema de informação geográfica (SIG) permitiram criar um banco de dados importante sobre a situação do sistema hidrográfico que resultará em novas pesquisas e trouxe à tona a importante função de tais sistemas, além de tornar a informação mais fluida e possibilitar análises e respostas rápidas a perguntas técnicas e científicas. Assim o SIG pode se tornar uma ferramenta importante para a sistematização de geoindicadores e seu monitoramento tornando as análises técnico-científicas mais dinâmicas.

A análise gráfica em primeira aproximação mostrou ser válida, pois permitiu conhecer numericamente a distribuição das erosões e confirmar algumas relações de causa-efeito já deduzidas. A reflexão sobre os diversos produtos idealizados nas etapas propostas associadas aos fatos de campo possibilitou a proposição dos geoindicadores, relacionados aos processos

morfogenéticos, pedogenéticos e hidrológicos, que poderão não resolver das feições instaladas e os processos já atuantes, mas permitir inicialmente um diagnóstico para um processo em andamento, bem como propor medidas que disciplinem o uso do solo na bacia estudada e em regiões frágeis, como as situadas sobre formações geológicas e pedológicas estudadas em bioma como o do cerrado.

Os geoindicadores mostram-se como uma ferramenta importante e fundamental para avaliar a dinâmica dos processos de mudanças aceleradas assim como possibilita a prevenção com o acompanhamento de processos. A questão é: como tornar o processo de monitoramento contínuo, de maneira a ter a real dimensão de sua descontinuidade?

Em relação às perspectivas de estudos futuros para a bacia do sistema hidrográfico Arantes – São Domingos e o detalhamento tanto do processo de monitoramento como o de levantamento detalhado dos processos do meio físico e sua dimensão, seria interessante desenvolver:

- a) A análise geoestatística do modelo de distribuição das erosões, já idealizado e com dados dentro presentes no SIG, já idealizado mais não concluído;
- b) Reconhecimento de vertentes (tipos e descrição de seus processos geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos);
- c) Detalhamento, mediante o método de análise estrutural da cobertura pedológica, das relações entre os materiais e o funcionamento hidrológico das vertentes em relação aos processos superficiais e sub superficiais, que mantêm na área relações importantes;
- d) Realização de estudos detalhados sobre o sistema hidrológico com dimensionamento dos processos que ocorrem nas subbacias dos diferentes compartimentos mapeados e na calha principal dos rios, e
- e) Detalhamento da influência da tectônica e neotectônica na rede de drenagem, buscando compreender possíveis tendências dos processos erosivos, bem como da dinâmica hidrológica em relação a estas interferências.

BIBLIOGRAFIA

AB'SÁBER, A. N. Regiões de circundesnudação pós-cretácea, no Planalto Brasileiro. São Paulo: Boletim Paulista de Geografia, 1:3-21, 1949.

Ab'Sáber, A. N. 1970. Províncias geológicas e domínios morfoclimático no Brasil. *Geomorfologia*, São Paulo, 20. 1970, 26 p.

AB'SABER, A. N.. Potencialidades paisagísticas brasileiras. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia: Série Geomorfologia; 55 1977

AB'SABER, A. N. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ALMEIDA, F. F. & BARBOSA, O. Geologia das Quadrículas de Piracicaba e Rio Claro. Estudo de São Paulo. Bol. Div. de Geol. e Mineralogia, Rio de Janeiro, n.143, 1953, 96p.

ALMEIDA, M. A. de; STEIN, D.P.; MELO, M.S. de; BISTRICHI, C.A.; PONÇANO, W. L.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M., de. 1980. Geologia do oeste paulista e áreas fronteiriças dos estados de Mato Grosso do Sul e Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31. Camboriú, *Anais Comburui*, SBG. V.5 1980. p. 2799-2812

ALMEIDA, F. F. M. de; DANTAS, A. S. L.; FERNANDES, L. A.; SAKATE, M. T.; GIMENES, A. F.; TEIXEIRA, A. L.; BISTRICHI, C. A. Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Bauru na região do Pontal do Paranapanema no Estado de São Paulo. In: Simpósio Regional de Geologia, 3, 1981, Curitiba. Atas Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 2, 1981. p. 77-89

AMARAL, A. Z. & AUDI, R. Fotopedologia. In: MONIZ, A. C. Elemento de Pedologia, São Paulo: Polígono, 1972. p. 429-442

AMARAL, G. *Princípios de Sensoriamento Remoto*. IN: Simpósio Brasileiro de. Geoprocessamento. 1990. Anais. São Paulo, 1990.

ANDERSON, P. S. Fundamentos para fotointerpretação. Sociedade Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v. 1, 1982. 134 p.

ANDRADE, A. C. Estudo dos processos erosivos na Bacia do Rio Grande (BA) como subsídio ao planejamento agroecológico. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 2002.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. & MASUMOTO, R. Uso de modelos numéricos na espacialização de dados pluviométricos. In: ASSAD, E. D. & SANO, E. E.(org.). Sistema de Informação Geográfica: Aplicações em agricultura. Brasília: Embrapa - CPAC, 1998.

AZEVEDO, A.. O planalto brasileiro e o problema da classificação de suas formas de relevo Bol. Paulista de Geografia, n. 2, 1949, p. 42-53.

BACCARO, C. A. D. Estudo dos processos geomorfológicos de escoamento pluvial em área de Cerrado Uberlândia – MG. 1990. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Departamento de Geografia, São Paulo, 1990.

BACCARO, C. A. D. Processos erosivos no Domínio do Cerrado. In: GUERRA, A. J.T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org). Erosão e Conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 141-168p.

BARBOSA, M. A. L. V. Os impactos ambientais causados pela monocultura da cana-de-açúcar no município deAmericano do Brasil. Monografia de conclusão Faculdade de Educação e Ciências Humanas de Anicuns – Geografia, Goiás, 2006.

BARCELOS, J.H.; LANDIM, P.M.B.; SUGUIO, K. (1981) Análise estratigráfica das seqüências cretáceas do Triângulo Mineiro (MG) e suas correlações com as do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3, Curitiba, 1981. Atas: São Paulo, SBG, v.2, p.90-102.

BERGER, A. R. and Iams, W. J., eds. Geoindicators—assessing rapid environmental changes in earth systems: Rotterdam, A.A. Balkema, 1996. 466p.

BERGER, A. R. Environmental change, geoindicators and the autonomy of nature: GSA Today, vol. 8, pp. 3-8. 1998.

BERGER, A. R., and Hodge, R. A. Natural change in the environment: a challenge to the pressure-state-response concept: Social Indicators Research, vol 44, p. 255-265. 1998.

BERGER, A. R. COGEOENVIRONMENT considers and proposes revisions to the Earth Charter: COGEOENVIRONMENT Newsletter 14, January, p. 6-8. 1999.

BERGER A, J. SATKUNAS, HERMELIN M. Los geoindicadores, una necesidad para Colombia. Gaceta Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, outubro de 2003.

BERGER, A. R. Geoindicators. The encyclopedia of Earth. Disponível em: <http://www.eoearth.org/article/Geoindicators> acesso em 26/06/2010

BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 3ª ed. São Paulo, Ícone, 1990. 355 p.

BLASCHKE, T.; KUX, H. *Sensoriamento Remoto e SIG: Novos sistemas sensores: Métodos inovadores*. São Paulo, Oficina de textos, 2005.

BORGONOV, Mário & CHIARINI, Jorge Vicente. Cobertura vegetal do estado de São Paulo: I - Levantamento por fotointerpretação das áreas cobertas com cerrado, cerradão e campo, em 1962. Bragantia. 1965, vol.24, n° único, p. 159-172.

BOTELHO, R. G. M. (organização). Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

BULL, L.J. & KIRKBY, M.J. Gully processes and modelling. *Progress in Physical Geography*, 21(3): 354-374. 1997.

CAPELLARI, B. Estudo das Áreas de Risco à Erosão em São Pedro, SP Trabalho de Graduação Individual. Universidade de São Paulo- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas Departamento de Geografia, 1996. 69 p.

CAPELLARI, B. & CASTRO, S. S. "Cartografia de Risco à Erosão em São Pedro, SP", Lab. de Pedologia, Departamento de Geografia, USP, Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo / Suelo, Res. Exp., Pôster, Águas de Lindóia, SP, Brasil. 1996.

CERON, A. D & DINIZ, J. A. F. O uso das fotografias aéreas na identificação das formas de utilização agrícola da terra. *Revista Brasileira de Geografia*, v.28, n.2, 160 -173, 1966.

COIMBRA, A. M. Arenitos da formação Bauru: estudo de áreas fontes. Universidade de São Paulo: Instituto de Geociências – Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Dissertação de mestrado, 2 v. 1976.

COLTRINARI, L. Geomorfologia e dinâmica quaternário no sudeste do Brasil. São Paulo: Revista do Departamento da Geografia - USP, n. 6, 8- 18, 1992.

COLTRINARI, L. Natural and anthropogenic interactions in the Brazilian tropics, p.295-310. In *Geoindicators*, A.R.BERGER & W.J. IAMS, Editors, Rotterdam: Balkema, 466p, 1996.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S. Imagens fotográficas derivadas de MNT do Projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. 39 p. (INPE-11238- RPQ/761).

DE PLOEY, J. The ambivalent effects of some factors of erosion. *Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain*, Louvain, v. 31, p.171-181, 1981.

DOORNKAMP, J. C. AND COOKE, R. U. *Geomorphology in environmental management: A new introduction*. Oxford: Clarendon Press, 410 p, 1997.

EMBRAPA -Empresa de pesquisa agropecuária. Mapa de reconhecimento dos solos do Triângulo Mineiro. Governo do estado de Minas Gerais – Secretaria da Agricultura e EMBRAPA, 1980 disponível em: <http://library.wur.nl/isric/index2.html?url=http://library.wur.nl/WebQuery/isric/21562> acesso 14/08/2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro, 1982.526 p. (Boletim de pesquisa, 1).

FERNANDES, L. A. & COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). Revista Brasileira de Geociências: 30(4) : 717-728, 2000.

FERNANDES L. A., GIANNINI P.C. F. and GÓES A. M. Araçatuba Formation: palustrine deposits from the initial sedimentation phase of the Bauru Basin. Anais da Academia Brasileira de Ciências 75(2): 173-187. 2003

FERREIRA, I. M. Cerrado: classificação geomorfológica de vereda. IX simpósio nacional do Cerrado & II Simpósio internacional de Savanas Tropicais. Brasília: DF 12 a 18 de outubro 2008.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; HUETE, Alfredo R. and PECCININI, A. A. Análise comparativa dos produtos MODIS Ecologia para o monitoramento biofísico ambiental do bioma cerrado. *Rev. Bras. Geof.* 2008.

FERRI, M. G. Contribuição ao conhecimento da Ecologia do Cerrado e da Caatinga. Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP. Botânica, nº 15/ nº12, 1955, p. 1-170.

FLORENZANO, T. G. Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FONSECA, C. P. Caracterização dos ecossistemas aquáticos do Cerrado. In: Cerrado: Ecologia, biodiversidade e conservação. Org: SCARLOT, A.; SOUZA-SILVA, J. & FELFILI, J. M.. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. Agricultura Mundial: anos hacia los 2015/2030 . Informe resumido (Em espanhol) Harrison , P. / FAO , em Roma (Itália). Departamento Económico y Social , 2002.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. Erosão DE SOLOS en América Latina; Basado en los trabajos presentados en el Taller sobre la utilización de Sistema de Información Geográfica (SIG) en la Evaluación de la y la Erosão real Predicción del Riesgo Potencial de Erosão, Santiago, Chile, 27 de julio al 1 de agosto de 1992 ; Aguas Suelos y (FAO) , FAO, Santiago (Chile). Oficina Regional para América Latina y el Caribe , 1994, p. 20/07.

FURTADO, B. EVOLUÇÃO DA DIVISÃO TERRITORIAL DE MINAS GERAIS: OS LIMITES MUNICIPAIS DESDE 1711. **Geografia**, América do Norte, 32, jul. 2008. Disponível em: <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/1437/3528>. Acesso em: 31 Mai. 2011.

GIRARD, M-C. et GIRARD, C. Applicatins de La télédétection a l'étude de la Biosphère. Paris: Masson, 186 p. 1975.

GIRARD, M-C. et GIRARD, C. Traitement des données de télédétection. Dunod: Paris, 529 p. 1999.

INPE – Instituto de pesquisas espaciais. TOPODATA – Banco de dados geomorfométricos do Brasil INPE – São Jose do Campos, disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> acesso 10/02/2010

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Folha SE-22 Goiânia: geologia, geomorfologia, vegetação, uso potencial da terra. Ed. Fac-similar. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, v. 31 – levantamento de recursos naturais, 1983.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. *Orientações para o Controle de erosão*. 2 ed. São Paulo, DAEE / IPT, 1990. 92 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. *Carta Geotécnica do Estado de São Paulo, escala 1:500.000*. São Paulo: IPT/ SCTDE / DCET. 2v.(IPT. Publicação, 2 089), 1994.

ISPN - Instituto Sociedade, População e Natureza. *Cana de Açúcar avança em áreas prioritárias para a conservação e uso sustentável do Cerrado*, 2007. Disponível em: <http://www.ispn.org.br/LevantamentoSite.pdf> acesso em: 23/12/2009.

JENSEN, J. R. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. 2nd Ed. New Jersey: Prentice-Hall; 1996.

Formatado: Fonte: Arial Narrow, Inglês (Estados Unidos)

KELLER, E.C. de S. *Atividade agrária*. In: Fundação IBGE - *Geografia do Brasil: região sudeste*. Rio de Janeiro, Dir. Divulgação, 1977. v.3 p.383-483.

KOFFLER, N. F. *Identificação da cultura da cana-de-açúcar (Saccharum spp) através de fotografias aéreas infravermelhas coloridas e dados multiespectrais do satélite LANDSAT*. Piracicaba, 1982. 234p. (Tese de Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP.

LAL, R. *Erodibility and erosivity*. In: LAL, R. et al. *Soil erosion research methods*. Washington: Soil and Water Conservation Society, p. 141-160, 1988.

LEORNARDI, M. L. A. *Economia do Meio Ambiente*. Campinas: Unicamp, 1997.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZI, R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso*. 4a aproxim., 2a imp. rev. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.

LIMA, J. E. F. W. & SILVA, E. M. da. Estimativa da produção hídrica superficial do Cerrado brasileiro. *In*: Cerrado: Ecologia, biodiversidade e conservação. Org: SCARLOT, A.; SOUZA-SILVA, J. & FELFILI, J. M.. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

LIMA, J. E. F. W. & SILVA, E. M. da. Contribuição hídrica do cerrado para as grandes bacias hidrográficas brasileiras. SIMPORH - 2º Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste. Campo Grande: MT 2002. Disponível em: <http://www.pgta.ufms.br/trabs/trab018.pdf> acesso em 12/11/2009.

LIU, W. T. H. *Aplicações de sensoriamento remoto*. Campo Grande: UNIDERP, 2006. 908 p.

LOMBARDI NETO, F; BERTONI, J. - Erodibilidade de solos paulistas. Boletim Técnico do Instituto Agrônomo. Campinas, nº 27, 12p 1975.

LOMBARDI NETO, F; BERTONI, J. Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 1990. 335p.

MAGNAGO, H; SILVA, M. T. M & FONZAR, B. C. Vegetação: As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. *In*: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Folha SE-22 Goiânia: geologia, geomorfologia, vegetação, uso potencial da terra. Ed. Fac-similar. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, v. 31 – levantamento de recursos naturais, 1983.

MAMEDE, L; ROSS, J. L. S; SANTOS, L. M. & NASCIMENTO, M. A. L. S. Geomorfologia. *In*: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Folha SE-22 Goiânia: geologia, geomorfologia, vegetação, uso potencial da terra. Ed. Fac-similar. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, v. 31 – levantamento de recursos naturais, 1983.

MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (Org.). Geologia do Continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004.

MARQUES, J. F. & COMUNE, A. E. "A teoria neoclássica e a valoração ambiental" in ROMEIRO, A. R. & REYDON, B. P & LEONARDI, M. L. A. Economia do Meio Ambiente. Campinas: Unicamp, 1997, pp. 21-42.

MARTINS, H.; BERTOLUCCI JUNIOR, L.; OLIVEIRA, Polyana. (2007)

Urbanização, Migração e Emprego: Uma análise de Municípios no Triângulo Mineiro e Sul de Minas. *Revista Pesquisa & Debate*, v. 18, n. 2 (32), 2007, p. 283-305.

MENDES, E. de P. P.. Ocupação e produção no cerrado goiano: do século XVIII ao XX IX simpósio nacional do Cerrado & II Simpósio internacional de Savanas Tropicais. Brasília: DF 12 a 18 de outubro 2008.

MENESES PR, Madeira Netto JS. Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais. Brasília: Editora UNB; 2001.

MEZZALIRA, S. Contribuição ao conhecimento da estratigrafia e paleontologia do Arenito Bauru. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico. 163p. (Boletim, 51). 1974.

MODENESI, M. C. e JORDÃO, S. A erosão acelerada em Caçapava - SP Boletim I. Geológico do Estado de São Paulo, n. 9, 31 p. 1992.

MOTTA, R. S. Manual de valoração econômica de recursos ambientais. Brasília: MMA, 1998.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). LANDSAT I. Disponível em: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/landsat1.html> acesso: 14/12/2010.

NOVAES, A. S. S; AMARAL FILHO, Z. P.; VIEIRA, P. C. & FRAGA, A. G. C. Pedologia: Levantamento exploratório de solos. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Folha SE-22 Goiânia: geologia, geomorfologia, vegetação, uso potencial da terra. Ed. Fac-similar. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, v. 31 – levantamento de recursos naturais, 1983.

NOVO, E. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São Paulo: Editora Blucher; 1989.

ORTIZ, R. A. "Valoração Econômica ambiental" in MAY, P.& LUSTOSA, M. C. & VINHA, V. Economia do Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

PLAZA, C. M. C. de A.; SANTOS, N. dos ; FARIA L. E. de. A produção dos agros combustíveis e as celeumas em face dos impactos socioambientais. Simpósio de Direito Ambiental e sociedade de risco na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC nos dias 14 a 18 de junho de 2009.

QUEIROZ NETO, J. P. Les problemes de l'erosion acceleree dans l'etat de São Paulo, Bresil. Géo-Eco-Trop. n. 2, 205 - 220. 1978

REATTO, A. & MARTINS, E. S. Classes de solo em relação aos controles da paisagem do bioma do Cerrado. *In*: Cerrado: Ecologia, biodiversidade e conservação. Org: SCARLOT, A.; SOUZA-SILVA, J. & FELFILI, J. M.. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S.; RATTER, J. A. & SOUZA-SILVA, J. C. Ocupação do bioma Cerrado e conservação da sua diversidade vegetal. *In*: Cerrado: Ecologia, biodiversidade e conservação. Org.: SCARLOT, A.; SOUZA-SILVA, J. & FELFILI, J. M.. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

RIZZINI, C. T. Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. 2ª Edição. Âmbito Cultural Edições Ltda: Rio de Janeiro. 1997.

RODRIGUES C. & COLTRINARI L. Geoindicators of urbanization effects in humid tropical environment: São Paulo (Brazil) metropolitan area. *In*: 32nd Int. Geol. Congr., , Abs. Vol., pt. 2, abs. 209-27, p. 976, 2004.

ROSA, R. Introdução ao sensoriamento remoto. EDUFI: Uberlândia, 1990.

ROSS, J. L. S. As Unidades Morfoesculturais: Nova Classificação do Relevo Brasileiro. *In*: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 3. 1989, Nova Friburgo. Anais... Nova Friburgo: UFRJ, 1989. p. 195-207.

SALOMAO, Fernando Ximenes de Tavares. Processos erosivos lineares em bauru (sp) : regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural. Tese de doutorado em Geografia Física Universidade de São – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Departamento de Geografia, São Paulo: 1994.

SANTOS, A.P.; NIERO, M.; LOMBARDO, M.A. Interpretação de dados de sensoriamento remoto no uso da terra. In: Introdução às técnicas de sensoriamento remoto e aplicação: curso de treinamento. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1980. 318p.

SMITH, R.E. & QUINTON, J.N. Dynamics and scale in simulating erosion by water. In: Schmidt Jürgen (Editor). Soil Erosion. Springer, 2000.

SOARES, P. C et al. Ensaio de caracterização estratigráfica do cretáceo no Estado de São Paulo: grupo Bauru. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 10(3): 177-185, 1980

SOUSA JÚNIOR, J. J.; FREIRE, F. A.; OLIVEIRA, F. C.; SILVA, R. H.; BONOW, C. W. & MOREIRA, H. L. Geologia: Geologia da Bacia Sedimentar do Paraná. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Folha SE-22 Goiânia: geologia, geomorfologia, vegetação, uso potencial da terra. Ed. Fac-similar. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, v. 31 – levantamento de recursos naturais, 1983.

SUGUIO K., FÚLFARO V. J., AMARAL G. & GUIDORZI L. A. Comportamentos estratigráfico e estrutural da Formação Bauru nas regiões administrativas 7 (Bauru), 8 (São José do Rio Preto) e 9 (Araçatuba) no Estado de São Paulo. In: Simp. Regional de Geologia, 1, São Paulo, Atas, 1977. p.231-247.

THOMES, J. B. Erosional processes of running water and their spatial and temporal controls: a theoretical viewpoint. In: KIRKBY, M. J. and MORGAN, R. P. C (org). Soil Erosion John Wiley and Sons Ltd. 1980.

TRICART, J. Panorama de la Géomorphologie appliquée dans le monde. Paris: Revue Générale des Sciences. Tome LXXI, 11-12: 345-361, 1964.

TRICART J. Les discontinuités dans les phénomènes d'érosion. International Association of Scientific Hydrology, 1965 .

TRICART, J "Géomorphologie et aménagement rural: exemple du Venezuela" Coopération technique, , Paris, 0, 44-45 p. 69-81: ill., graph., carte, bibliogr. p. 73, 1966.

TRICART, J. Normes pour l'établissement de la carte géomorphologique détaillée de la France. Paris: CNRS. Mém et Docum, Nouvelle série 12:37-105, 1972.

TRICART, J & KILLIAN, J. L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel. Paris: François Maspero, 326 p, 1972.

TRICART J. Ecodynamique et aménagement Rev Géomorphologie Dyn. XXV I) 19-32, 1976.

TRICART, J. Annales de Géographie Année =Volume 88 Numéro 490 =pp. 705-714 1979

TRICART J. L'analyse de système et l'étude intégrée du milieu naturel . In: Annales de Géographie., t. 88, n°490. pp. 705, 1979

TRICART J. L. F. Dangers et risques naturels et technologiques . In: Annales de Géographie. t. 101, n°565. pp. 257-288, 1992. Disponível em: http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geo_0003-4010_1992_num_101_565_21089 acesso em: 12/01/2011

VEIGA, J. E. . Desenvolvimento Sustentável - O desafio do Sec. XXI. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Garamond, v. 1, 2005.

VITTE, A. C. & MELLO, J. P. de. Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas conseqüências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico. Climatologia e Estudos da Paisagem Rio Claro - Vol.2 - n.2 - julho/dezembro, 2007.

WHATELY, M. & HERCOWITZ, M.. Serviços ambientais: conhecer, valorizar e cuidar: subsídios para a proteção dos mananciais de São Paulo: Instituto Socioambiental, 2008.

WUNDER, S. (Coordenador); BÖRNER, J. ; TITO, M. R. e PEREIRA, L. Pagamentos por serviços ambientais: perspectivas para a Amazônia Legal. 2ª ed. rev. – Brasília: MMA, 2009.

Cartas

AB'SABER, A. N, 1969. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. Geomorfologia (18), Instituto de Geografia, USP, pp.1-23.

BARBOSA, O. et al. Geologia da região do Triângulo Mineiro. Boletim da divisão de fomento da produção mineral, Rio de Janeiro (136):1-140, 1970.

BERGER A. R. Abrupt geological changes: Causes, effects, and public issues. Quaternary International, .Elsevier 1- 7, 2006. Disponível em: http://www.lgt.lt/geoin/files/abrupt_geological_changes.pdf acesso em 20/10/2010.

BERTRAND, G. La nature em geographie un paradigme de interface, geodoc, nº 34, univesité de tolouse lê mirail, 1991.

CANIL, K. Indicadores para monitoramento de processos morfodinâmicos: aplicação na bacia do Ribeirão Pirajussara (SP) Tese de Doutorado, Geografia Física Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, 2007.

CHUUVIECO, E. Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. Ed. Ariel: Barcelona, 2002

COLTRINARI, L. Mudanças ambientais globais e geoindicadores. Instituto de Geociências, UFRGS: Porto Alegre, RS -Pesquisas em Geociência. 28 (2). 307 – 314, 2001.

CRUZ, O. A Escala Temporal-Espacial nos Estudos dos Processos Geomorfológicos Erosivos Atuais: uma questão de método. Geomorfologia. São Paulo: IGEOG, 1985. No 33.

DE BIASI, M. *Carta de declividade de vertentes: confecção e utilização. Geomorfologia*. São Paulo, 21: 8-13. 1970.

DE BIASI, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. Revista do Departamento de Geografia. São Paulo, n.6, 1992.

DERREAU, M. Précis Géomorphologie. Paris: Masson et Cie, 1967.

DERRUAU, M. *Composantes et concepts de la géographie physique*. Paris: Armand Colin, 1994.

DOUGLAS, I. Tropical geomorphology: present problems and future prospects. In: EMBLETON, C., BRUNSDEN, D., JONES, D. K. C. Geomorphology: present problems and future prospects. Oxford: Oxford University Press, 1978.

FERREIRA, Manuel Eduardo; FERREIRA, Laerte Guimarães; HUETE, Alfredo R and PECCININI, Alejandro Alvarado. Análise comparativa dos produtos MODIS Ecologia para o monitoramento biofísico ambiental do bioma cerrado. *Rev. Bras. Geof.* [online]. 2006, vol.24, n.2, pp. 251-260. ISSN 0102-261X. doi: 10.1590/S0102-261X2006000200008.

GREGORY, K. J. *A natureza da geografia física*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). Carta topográfica São Domingos (SE-22-Z-C-I). Rio de Janeiro, 1970. Escala 1:100.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). Carta topográfica Cachoeira Porto Feliz (SE-22-Z-C-II) (SE-22-Z-C-I). Rio de Janeiro, 1970. Escala 1:100.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). Carta topográfica Iturama (SE-22-Z-C-V) Rio de Janeiro, 1970. Escala 1:100.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). Carta topográfica Cachoeira da Mutuca (SE-22-Z-C-IV). Rio de Janeiro, 1970. Escala 1:100.000.

KIRKBY, M.J. Modelling water erosion processes. In Kirkby, M.J. and Morgan, R.P.C. (eds), *Soil erosion*, pp. 183-216, Wiley, Chichester. 1980.

MORGAN, R. P. C. (ed.) *Soil erosion and its control*. New York, Van Nostrand Reinhold. 1986.

MORGAN, R.P.C. Soil erosion and conservation. Editora D.A. Ranidson da Universidade de Strathely, 1986, 298p.

RICHARDS, J.A., Remote Sensing Digital Image Analysis, an Introduction. Second Edition. Springer-Verlag: Berlin. 1995.

RIZZINI, C. T. Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos sociológicos e florísticos. Ambito Cultural Edições: Rio de Janeiro, 1997.

RUELLAN, A.; DOSSO, M.. L'analyse structurale de la couverture pédologique: origenes et conséquences. In: _____. Regards sur le sol. Paris: FOUCHER, 1993. p. 31-68.

THORNES, J.B.. The interaction of erosional and vegetational dynamics in land degradation: spatial outcomes. In Thornes, J.B. (ed), *Vegetation and erosion*, pp. 41-53, Wiley, Chichester, 1990

TRICART, J. As discontinuidades nos fenômenos da erosão. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, n.12, v. 6, p. 03-14, 1966.

TRICART, J. As relações entre a morfogênese e a pedogênese. *Campinas, Not. Geomorf.* 8:5-18, 1968.

TRICART, J. Classificação ecodinâmica do meio ambiente. In: *ecodinâmica*. Rio de Janeiro: fibge, 1977.

TRICART, J. E KILIAN, J.L'éco-géographie. Librairie François Maspéro, col. Hérodote, 326 p. 1979

VALERIANO, M. de M . TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais. INPE – Instituto de pesquisas espaciais, 2008, disponível em: http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/guia_utilizacao_topodata.pdf acesso em 10/02/2010.

VALERIANO, M.de M. & ALBUQUERQUE P. C. G.de . TOPODATA: processamento dos dados SRTM – . Instituto de pesquisas espaciais- INPE-16702-RPQ/854 , 2008, disponível em: http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/processamento_dados_SRTM.pdf acesso em: 10/08/2010

APÊNDICES

1. Mapa do uso do solo de 1964 elaborado a partir das cartas topográficas na escala 1:100.000 do IBGE
2. Mapa do uso do solo do ano de 1964, com legenda simplificada para duas classes.
3. Mapa do uso do solo do ano de 1973, com legenda simplificada para duas classes e elaborada a partir da imagem LANDSAT 1 -
4. Mapa do uso do solo do ano de 1985, com legenda simplificada para duas classes e elaborado a partir da imagem LANDSAT 5 -
5. Mapa do uso do solo do ano de 1996 , com legenda simplificada para duas classes e elaborado a partir da imagem LANDSAT 5 –
6. Mapa do uso do solo do ano de 2010, com legenda simplificada para duas classes e elaborada a partir da imagem LANDSAT 5 –
7. Unidades da compartimentação topográfica
8. Mapa hipsométrico do sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos.
9. Mapa clinográfico do sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos.
10. Esboço cartográfico da morfologia do sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos
11. Mapa da forma do relevo – vertente do sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos
12. Mapa geológico do sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos.
13. Mapa geomorfológico do sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos.
14. Mapa de solos do sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos.
15. Esboço cartográfico em 1ª aproximação do processo de hidromorfismo no sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos.
16. Mapa das feições erosivas instaladas no sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos.
17. Mapa dos pontos das feições erosivas instaladas no sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos.

ANEXOS

1. Imagem de satélite LANDSAT 1 da bacia do sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos do ano de 1973.
2. Imagem de satélite LANDSAT 5 da bacia do sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos do ano de 1985.
3. Imagem de satélite LANDSAT 5 da bacia do sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos do ano de 1996.
4. Imagem de satélite LANDSAT 5 da bacia do sistema hidrográfico dos rios Arantes e São Domingos do ano de 2010.