

# ABORDAGEM MORFOPEDOLÓGICA APLICADA AO DIAGNÓSTICO E PREVENÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO RIO DA CASCA, MT

Joaquim Corrêa RIBEIRO <sup>1</sup> & Fernando Ximenes de Tavares SALOMÃO <sup>2</sup>

- (1) Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso. Avenida Fernando Corrêa, s/nº Coxipó. CEP 78.060-900. Cuiabá, MT. Centrais Elétricas Matogrossenses S.A./REDE Empresas de Energia Elétrica. Avenida Tenente Coronel Duarte, 894, Centro. CEP 78.020-450. Cuiabá, MT. Endereço eletrônico: correaribeiro@terra.com.br.
- (2) Departamento de Geologia Geral, Universidade Federal de Mato Grosso. Avenida Fernando Corrêa, s/nº, Coxipó. CEP 78.060-900. Cuiabá, MT. Endereço eletrônico: xiss@pop.com.br.

Introdução

Métodos

Primeira Etapa: Compartimentação Morfopedológica Preliminar

Segunda Etapa: Caracterização dos Sistemas Pedológicos

Terceira Etapa: Representações Cartográficas

Resultados e Discussões

Compartimento Morfopedológico MP-I

Compartimento Morfopedológico MP-II

Compartimento Morfopedológico MP-III

Compartimento Morfopedológico MP-IV

Compartimento Morfopedológico MP-V

Conclusões

Referências Bibliográficas

**RESUMO** - Este artigo apresenta uma proposta metodológica embasada na morfopedologia, que foi aplicada na bacia do alto Rio da Casca (759,72 km<sup>2</sup>), situada entre 15°20' a 15°37' de latitude sul e 55°15' a 55°30' de longitude oeste. A partir de dados de pequena escala do meio físico regional, ela permitiu integrar e interpretar o funcionamento hídrico de vertentes representativas para determinar a suscetibilidade à erosão laminar e linear, visando subsidiar o planejamento, com ênfase nas potencialidades e limitações ao uso do solo. Os procedimentos utilizados envolveram o tratamento de dados secundários e interpretação de imagens LANDSAT, complementado por análise de fotos aéreas tomadas em sobrevôo de baixa altitude. Foi elaborado um mapa morfopedológico preliminar com delimitação de cinco compartimentos. Esses compartimentos foram levantados em campo e delimitados com maior rigor, buscando determinar os sistemas pedológicos dominantes. Os sistemas foram caracterizados pelo *continuum* dos horizontes de coberturas pedológicas de vertentes com determinada topografia, e pelo funcionamento hídrico pelas águas de escoamento superficial e subterrâneo, permitindo assim aplicar critérios para determinar a suscetibilidade erosiva.

**Palavras chaves:** Morfopedologia; erosão; planejamento territorial.

**ABSTRACT** - J.C. Ribeiro & F.X. de T. Salomão – *Morphopedologically approach applied to diagnosis and erosion processes prevention in the hydrographic basin of the upper Casca River, MT.* This paper presents a methodological proposal based on morphopedology, which was applied to the hydrographic basin of the upper Casca River (759,72 km<sup>2</sup>), located between 15°20' and 15°37'S and 55°15' and 55°30' W. From detailed data of the physical environment in the region, it enabled to integrate and interpret the water flow in slopes, aiming to determine the susceptibility to laminar and linear erosion, looking to subsidize planning, with emphasis on potentialities and limitations of soil use. The procedures involved treatment of secondary data and interpretation of LANDSAT images, completed by analysis of aerial photos taken by low altitude overflights. A preliminary morphopedological map was obtained, indicating five compartments. The compartments were analyzed in the field and more accurately delimited, and the dominant pedological systems could be recognized. The systems were characterized by the horizon continuum of the pedologic cover in slopes with determined topography, and by the superficial and underground water flow, in order to apply criteria to determine the erosion susceptibility.

**Keywords:** Morphopedology; erosion; territorial planning.

## INTRODUÇÃO

A ocupação inadequada verificada em Mato Grosso nas duas últimas décadas, especialmente pela exploração agropecuária, vem causando sérios prejuízos econômicos e ambientais pela intensificação dos processos erosivos e de assoreamento (Ala Filho & Paes de Barros, 1995; Castro Júnior, 1996; Vasconcelos, 1998).

A bacia hidrográfica do alto Rio da Casca (Figura 1), com área de 759,78 km<sup>2</sup>, situada no Planalto dos Guimarães, municípios de Campo Verde e Chapada

dos Guimarães, que possui atrativos turísticos pela beleza de suas paisagens naturais e é formada parcialmente por terrenos favoráveis à agricultura intensiva, constitui exemplo marcante dessa problemática ambiental.

Foram implantadas nessa bacia as usinas hidrelétricas de pequeno porte de Casca I, II e III, respectivamente, nas décadas de 20, 50 e 60, que atenderam às demandas energéticas de Cuiabá. Atualmente, a Usina Casca I encontra-se desativada e as usinas

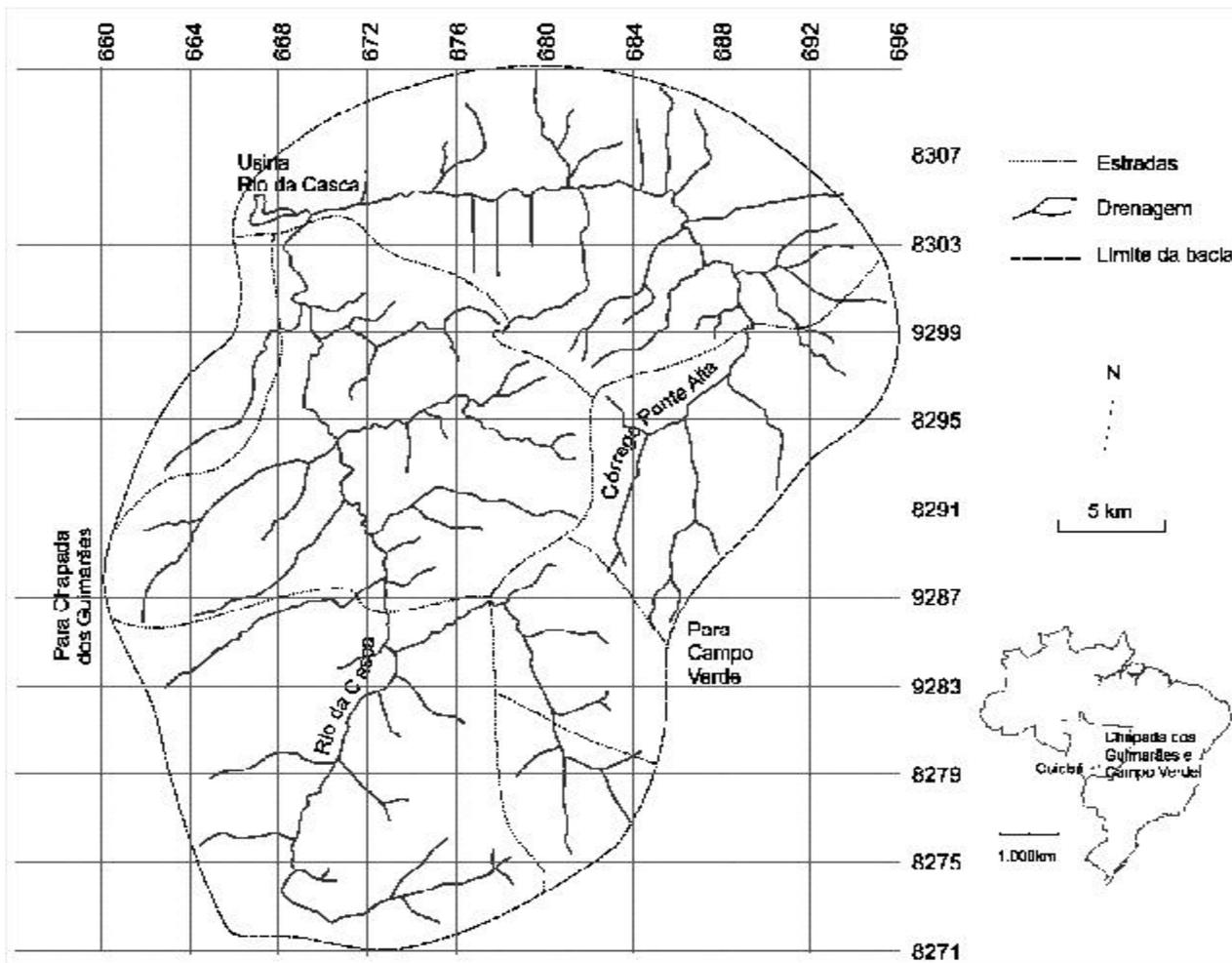


FIGURA 1. Localização da Bacia do Alto Rio da Casca.

Casca II e III têm geração comprometida, em função da alta concentração de sedimentos em seus reservatórios. Encontra-se em operação a Usina do Manso, recentemente implantada a jusante dessa mesma bacia, a qual poderá no futuro ser também afetada por assoreamento, em consequência da intensificação dos processos erosivos (CEMAT, 1991, 1997).

A área de estudo apresenta clima caracterizado por seis meses secos com variações de extremo quente a frio seco, e por seis meses chuvosos e úmidos; a temperatura média é de cerca de 24°C, enquanto média máxima de 32° C ocorre no Planalto dos Guimarães, no compartimento denominado Chapada dos Guimarães pelo RADAMBRASIL (1982), como com cotas de 700 a 450 m de altitude, comportando rochas sedimentares pertencentes às formações Furnas, Botucatu, Ponta Grossa e Bauru, e cobertura detrito-laterítica.

A morfopedologia, desenvolvida por Tricart & Kilian (1978), permite cartografar unidades relativamente homogêneas, produtos da inter-relação entre substrato geológico, relevo e solos, que *constituem*

*unidades tempororo-espaciais e intrínsecas do meio físico reconhecíveis em médias e grandes escalas* (Castro & Salomão, 2000). As unidades morfopedológicas definidas com ênfase no comportamento hídrico de vertentes permitem destacar sistemas pedológicos dominantes, caracterizados pelo *continuum* dos seus horizontes, dispostos vertical e lateralmente do topo à base dos interflúvios.

Os sistemas pedológicos envolvem, assim, vertentes com determinada conformação topográfica e seqüência pedológica, ou melhor, determinada distribuição espacial (vertical e lateral) dos horizontes, apresentando, portanto, comportamento hídrico específico (Salomão, 1994). Estudos geomorfológicos envolvendo sua caracterização de maneira a permitir sua compartimentação cartográfica, enquadram-se em níveis de conhecimentos relativos mais aprofundados, qualificados por Ab'Saber (1969) como a que permite testemunhar os processos responsáveis pela elaboração do relevo e dedução do comportamento da paisagem. Escalas espaciais da ordem de 1:50.000 ou

maiores parecem satisfazer a representação de estudos aprofundados da dinâmica da cobertura pedológica (Baize, 1986).

Salomão (1994), balizado em trabalhos voltados ao controle de erosão no Estado de São Paulo sob coordenação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1988, 1991; DAEE/IPT, 1989), mostrou como interpretar e hierarquizar os processos erosivos pluviais a partir do conhecimento dos sistemas pedológicos, isto é, do conhecimento do funcionamento hídrico de vertentes, realizado por meio de topossequências (Boulet et al., 1982; Queiroz Neto, 1998). Essa abordagem aplicada a estudos dos processos erosivos não necessita de mapas temáticos do meio físico em escalas detalhadas, que requeririam

tempo e recursos de difícil viabilização, especialmente quando se necessita de respostas para solucionar problemas que afetam drasticamente a comunidade e o ambiente, como o observado pela ação erosiva linear (ravinas e boçorocas).

É neste contexto que se insere este trabalho que pretende mostrar como, a partir de dados regionais do meio físico, em pequena escala, interpretar de maneira integrada e definir sistemas pedológicos predominantes, e como, a partir do conhecimento dos sistemas pedológicos, interpretar a dinâmica erosiva e sua hierarquia, de maneira a realmente subsidiar o controle pelo planejamento em nível de bacia. Tem, portanto, este trabalho, cunho metodológico, e vale-se da bacia do alto Rio da Casca para ensaio aplicativo.

## MÉTODOS

Três etapas de trabalho representam as atividades envolvidas neste estudo e sintetizam as técnicas e procedimentos utilizados.

### PRIMEIRA ETAPA: COMPARTIMENTAÇÃO MORFOPEDOLÓGICA PRELIMINAR

Para a compartimentação morfopedológica foram, inicialmente, utilizados materiais bibliográficos e cartográficos existentes, envolvendo cartas topográficas em escalas 1: 250 000 e 1: 100.000 e mapas geológico, geomorfológico, pedológico e de cobertura vegetal, desenvolvidos pelo RADAMBRASIL (1982) em escala 1:1.000.000. Essas informações foram tratadas e complementadas por interpretação de imagens de satélite LANDSAT-TM 7 das bandas 3, 4, 5 e 8 da rota 226-071 e passagem em 20/07/2000, que se mostraram mais favoráveis para destacar o relevo e as formas de uso do solo, e por reconhecimentos de campo.

Foi planejado e executado um sobrevôo, numa aeronave bimotor e realizado um recobrimento fotográfico, com o objetivo de identificar e mapear as ocorrências erosivas lineares e complementar informações obtidas a partir da revisão bibliográfica e da interpretação de imagens de satélite.

O recobrimento fotográfico resultou em 440 fotografias sequenciais, tanto digitais como convencionais, tendo as fotos digitais sido obtidas com máquina Sony, resolução de 640×480 pixels, 720 dpi e composição RGB de 24 bits, aproximando-se da escala 1:5.000, baseada na metodologia proposta por Politano (1998) e Disperati (1991). Essas fotos serviram de base fundamental de informação na interpretação do registro da vegetação, de ocorrência das erosões lineares (ravinas e boçorocas), na interpretação do uso e ocupação, bem como para a delimitação precisa dos compartimentos morfopedológicos.

Nessa etapa, foi elaborado um mapa-base, em escala de 1:50.000, consubstanciando informações topográficas, rede de drenagem e estradas, e definidos critérios de delimitação de áreas homogêneas quanto aos aspectos do meio físico, além do cadastramento de erosões lineares representativas da área.

O cadastro das erosões realizou-se no campo em ocorrências selecionadas para as diferentes condições de meio físico existentes, utilizando-se ficha de cadastro adaptada de DAEE/IPT (1989), que se mostrou de importância capital para a compreensão da dinâmica erosiva e relações com aspectos/atributos geológicos, geomorfológicos e pedológicos. Isso permitiu destacar compartimentos do meio físico predispostos a processos de ravimentos por ação exclusiva do escoamento concentrado das águas superficiais, e compartimentos sensíveis ao desenvolvimento de fenômenos de *piping* pela ação das águas de escoamento subterrâneo, além da definição de critérios para a delimitação desses compartimentos.

Essas informações permitiram, após levantamento de campo em nível de reconhecimento, elaborar o mapa morfopedológico preliminar da área de estudo, na escala de 1:125.000, pela superposição cartográfica de mapas em mesma escala do substrato (litológico), do relevo (morfológico) e dos solos, e delimitação de unidades relativamente homogêneas.

### SEGUNDA ETAPA: CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS PEDOLÓGICOS

As atividades desenvolvidas na primeira etapa permitiram destacar a existência de diferentes sistemas pedológicos, que têm *coberturas pedológicas com diferenciações lateral e vertical que repetem sistematicamente na paisagem* (Salomão, 1994). Atividades desenvolvidas na etapa anterior permitiram destacar, para cada compartimento morfopedológico,

vertentes representativas que foram levantadas em campo, buscando caracterizar sua geometria (características topográficas por meio de clinômetro) e seqüência pedológica.

Esses levantamentos conduziram, assim, ao reconhecimento dos sistemas pedológicos e interpretação do funcionamento hídrico, além de critérios para a delimitação mais segura dos compartimentos morfo-pedológicos. Essa atividade realizou-se ao longo das estradas existentes e mapeamento sistemático com auxílio das cartas temáticas anteriormente confeccionadas do substrato geológico, relevo e solos, e de imagens e fotos aéreas. Sondagens a trado e descrição de trincheiras e de perfis de solo em taludes de estradas foram realizadas, privilegiando posições de vertentes selecionadas. Isso permitiu a identificação das variações laterais dos horizontes e tipos pedológicos.

Observações de características morfológicas dos horizontes, tais como textura, estrutura, porosidade, níveis de concreções e couraças ferruginosas, evidências de gleização, mostraram-se fundamentais na ponderação do funcionamento hídrico (Salomão, 1994; Vasconcelos, 1998). Dessa maneira, foi possível deduzir, para cada sistema pedológico, o comportamento das águas de chuva, em nível da infiltração e escoamento superficial e subsuperficial e do lençol freático, com relação a sua ocorrência e localização nos diferentes setores da vertente.

As amostras coletadas em trincheiras representativas dos diferentes horizontes pedológicos foram analisadas dentro dos parâmetros físicos, químicos, ataque sulfúrico e quanto à granulometria, utilizando métodos recomendados pela Empresa Brasileira e Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo (SNLCS, atual Embrapa Solos) (EMBRAPA/CNPS, 1995).

Os levantamentos de campo e a interpretação dos resultados das análises dos solos permitiram a classificação conforme o novo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999).

O entendimento dos sistemas pedológicos com relação às suas características topográficas, pedológicas e de funcionamento hídrico, permitiu a definição dos processos erosivos e a diferenciação das classes de suscetibilidade, utilizando-se critérios estabelecidos por Salomão (1999).

Para erosão laminar, as classes de suscetibilidade foram definidas com base na interação entre a erodibilidade dos solos e as declividades das vertentes.

O Quadro 1 apresenta cinco classes de erodibilidade, definidas por Salomão (1999) para os principais solos encontrados no Estado de São Paulo e que também ocorrem com predominância no Estado de Mato Grosso.

O Quadro 2 apresenta o critério adotado na definição das classes de suscetibilidade da erosão laminar, por meio da relação erodibilidade x declividade.

QUADRO 1. Classes de erodibilidade.

Classes de erodibilidade	Unidades pedológicas
1 – Muito Alta	Cambissolos / Neossolos Líticos / Plintossolos / Chernossolos Argissolos / Nitossolos / Vertissolos / Planossolos (abruptos, textura arenosa / média) / Neossolos Quartzarênicos
2 – Alta	Argissolos / Alissolos / Luvisolos (não abruptos, textura média / argilosa e textura média)
3 – Média	Argissolos / Alissolos (de textura argilosa)
4 – Baixa	Latossolos (de textura média) / Latossolos (de textura argilosa)
5 – Nula	Gleissolos / Organossolos / Plintossolos / Chernossolos / Espodosolos (em relevo plano)

Fonte: Adaptado de Salomão (1999).

QUADRO 2. Critério adotado na definição das classes de suscetibilidade à erosão laminar, por meio da relação erodibilidade x declividade.

		Declividade (%)			
		I (>20)	II (12 a 20)	III (6 a 12)	IV (<6)
Erodibilidade	1	I	I	II	II
	2	I	II	II	III
	3	II	III	III	IV
	4	III	IV	IV	V
	5	Não Existe	Não existe	Não existe	V

Fonte: Salomão (1999).

Essas classes de suscetibilidade, em número de cinco, apresentam, conforme Salomão (1999), uma relação com as classes de capacidade de uso das terras (Lepsch et al., 1983):

1. *Classe I: extremamente suscetível* - corresponde às classes VII e VIII de capacidade de uso das terras, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação; indicados para preservação ou para reflorestamento.
2. *Classe II: muito suscetível* - corresponde à classe VI de capacidade de uso das terras, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação; parcialmente favoráveis à ocupação por pastagens, sendo mais apropriados para reflorestamento.
3. *Classe III: moderadamente suscetível* - corresponde à classe IV de capacidade de uso das terras, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação; indicados para pastagens e culturas perenes.
4. *Classe IV: pouco suscetível* - corresponde à classe III de capacidade de uso das terras, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação; mais indicados a pastagens e culturas perenes e, eventualmente, a culturas anuais, porém exigindo práticas intensivas mecanizadas de controle de erosão.
5. *Classe V: pouco a não-suscetível* - corresponde às classes I, II e V de capacidade de uso das terras. A classe I de capacidade de uso corresponde a terrenos sem problemas especiais de conservação, podendo ser utilizados com qualquer tipo de cultura. A classe II corresponde a terrenos com problemas simples de conservação, podendo também ser utilizados com qualquer tipo de cultura, porém exigindo práticas simples de controle de erosão. A classe V corresponde a terrenos sem problemas de conservação, mas exigindo técnicas especiais de cultivo, por se constituírem de solos encharcados.

As classes de suscetibilidade à erosão linear foram definidas baseadas na análise da paisagem, ponderando-se o comportamento das águas e a incidência de ravinas e voçorocas em relação aos fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos.

Esse método envolveu as seguintes atividades:

1. Mapeamento das ocorrências erosivas lineares, distinguindo ravinas de voçorocas. Esse mapeamento foi realizado a partir da interpretação de fotografias aéreas de sobrevôo e reconhecimento de campo.
2. Sobreposição do mapa de ocorrências erosivas com o mapa morfopedológico, situando as erosões em relação aos compartimentos morfopedológicos. Com esse procedimento pode-se ter um enten-

dimento preliminar das diferentes suscetibilidades dos compartimentos.

3. Levantamentos de campo, buscando-se identificar o comportamento diferenciado dos fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos, em relação ao desenvolvimento de ravinas e voçorocas. Essas observações privilegiaram o comportamento hídrico diferenciado das vertentes, em relação ao desenvolvimento das ravinas e voçorocas.
4. Definição de critérios de distinção de classes de suscetibilidade, contemplando diferentes níveis de predisposição dos terrenos em relação a ravinamento e voçorocamento e de sensibilidade à ocupação do solo, destacando-se as seguintes:
  - extremamente suscetível a ravinas e voçorocas: são áreas muito favoráveis à instalação de fenômenos de *piping*, onde os processos de voçorocamento se desenvolvem logo após a destruição da cobertura vegetal natural, independentemente das formas de ocupação. Isso se deve à existência nesses locais de gradientes hidráulicos subterrâneos elevados, associados a materiais da zona de percolação do lençol freático com características que permitem a remoção e transporte das suas partículas. Em geral, essas áreas situam-se em nascentes, fundo de vales e cabeceiras de drenagens, especialmente se essas cabeceiras têm formas de anfiteatros côncavos. São incluídos também setores de vertentes que apresentam nível d'água do lençol freático subflorante, passíveis de desenvolver sulcos e ravinas com o simples desmatamento. Com o aprofundamento dessas erosões o lençol freático pode ser interceptado, desenvolvendo fenômenos de *piping*;
  - muito suscetível a ravinas e pouco suscetível a voçorocas: são áreas favoráveis à concentração de fluxos d'água, onde os processos de ravinamento se desenvolvem em função da ocupação do solo, a partir de pequena concentração das águas de escoamento superficial. Fenômenos de *piping*, condicionando o desenvolvimento de voçorocas, somente são observados quando as ravinas se aprofundam, interceptando o lençol freático. Em geral, essas áreas situam-se em terrenos com certa declividade, que permite a fácil concentração das águas de escoamento superficial, associadas a solos caracterizados por alto gradiente textural entre os horizontes superiores do perfil, como o observado nos Argissolos de textura arenosa/média ou de textura arenosa/argilosa;
  - moderadamente suscetível a ravinas e pouco suscetível a voçorocas: são áreas de dispersão dos fluxos d'água, bem drenadas e com elevadas permeabilidades até grandes profundidades, facilitando

a rápida infiltração das águas de chuva. Entretanto, a cobertura pedológica, constituída por solos pouco coesos, permite a fácil remoção das partículas por escoamentos das águas superficiais. Os processos erosivos por ravinamentos ocorrem condicionados a grandes concentrações das águas de escoamento superficial, devido a determinadas formas de ocupação que as favorecem, como, por exemplo, estradas, arruamentos, caminhos de serviço, trilhas de gado e cerca etc. Fenômenos de *piping*, desenvolvendo voçorocas, somente ocorrem quando o aprofundamento das ravinas intercepta o lençol freático, situação comum nas posições inferiores das vertentes, próximas a fundos de vales e a cabeceiras de drenagem. São áreas, em geral, com declividades suficientes para permitir o escoamento de águas superficiais, constituídas por solos de textura arenosa e textura média, como as Neossolos Quartzarênicos e Latossolos de textura média. Essas áreas apresentam comumente solos muito profundos; assim, quando aí se instalam ravinas ou voçorocas, podem apresentar grandes dimensões;

- suscetível a ravinas e não suscetível a voçorocas: são áreas favoráveis à concentração dos fluxos d'água, com cobertura pedológica apresentando profundidades relativamente pequenas, e com ausência de lençol freático. Os processos erosivos por ravinamento ocorrem especialmente condicionados à declividade das encostas e a determinada forma de ocupação, favorecendo a concentração das águas de escoamento superficial. Em geral, as ravinas são pouco profundas, com maior incidência de sulcos, tendo em vista a resistência ao aprofundamento da erosão. Em geral, as áreas de ocorrência dessa classe de suscetibilidade são caracterizadas por declives relativamente elevados, permitindo com relativa facilidade, a concentração das águas pluviais, associadas a solos pouco profun-

dos, como, por exemplo, cambissolos, Nitossolos e Neossolos litícos;

- não suscetível a ravinas e voçorocas: são áreas de agradação, constituídas por terrenos com declividade praticamente nula, impossibilitando o escoamento das águas superficiais, mesmo quando submetidas a diferentes formas de ocupação. Apresentam gradiente subterrâneo muito baixo, incapaz de gerar fenômenos de *piping*. Em geral, essas áreas situam-se nas margens de cursos d'água, constituindo-se de planícies de inundação.

### TERCEIRA ETAPA: REPRESENTAÇÕES CARTOGRÁFICAS

Para expressar a síntese principal dos resultados deste trabalho, foi elaborado o mapa morfopedológico, contemplando as ocorrências erosivas. Esse mapa foi elaborado em escala 1:50.000 e ilustrado neste trabalho em tamanho reduzido.

A finalização cartográfica do mapa morfopedológico, precisou de incorporação das informações obtidas durante as etapas anteriormente descritas, utilizando-se para tal o programa Microstation 5.0, que permitiu o armazenamento no banco de dados das seguintes informações: delimitação da área de estudo, rede de drenagem, curvas de nível espaçadas de 40 em 40 m, ocorrências erosivas, escarpas, cabeceiras de drenagens e os diferentes compartimentos morfopedológicos.

Essas informações foram processadas através de programas de vetorização ajustado ao programa Autocad 14, permitindo, dessa forma a delimitação de áreas relativamente homogêneas em relação à litologia, relevo e solo. Dessa forma, foi possível obter o Mapa Morfopedológico, com legenda explicativa de seis diferentes compartimentos.

Cada compartimento morfopedológico foi interpretado em relação às interações com o substrato geológico, os tipos de solos, formas e feições de relevo, além da interpretação do funcionamento hídrico e da suscetibilidade à erosão laminar e linear.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 apresenta o mapa morfopedológico da bacia do alto Rio da Casca, com as delimitações de cinco diferentes compartimentos e distinção das ocorrências erosivas lineares.

Cada compartimento morfopedológico apresenta características particularizadas sobre formas de relevo, solos, litologias, formas de uso e ocupação e ocorrências erosivas de ravinas e voçorocas, conforme representado no Quadro 3. O Quadro 4 apresenta uma síntese do comportamento erosivo dos compartimentos morfopedológicos e os principais critérios utilizados na classificação da suscetibilidade à erosão laminar e à erosão linear.

### COMPARTIMENTO MORFOPEDEOLÓGICO MP-I

Corresponde a 40% da área estudada, com 309,10 km<sup>2</sup>. Tem relevos aplanados e de colinas amplas, com topos praticamente planos, largura em torno de 1.500 m, e amplitudes variando de 5 a 30 m. As vertentes têm a forma predominantemente retilínea, sendo muito longas, superiores a 500 m, e declividades muito baixas, variando de 0 a 3% na porção superior (topo das colinas) e aumentando gradativamente a jusante, atingindo no máximo em torno de 6% no terço inferior da vertente. A cobertura pedológica é dominada por Latossolo Vermelho e Latossolo Amarelo de textura

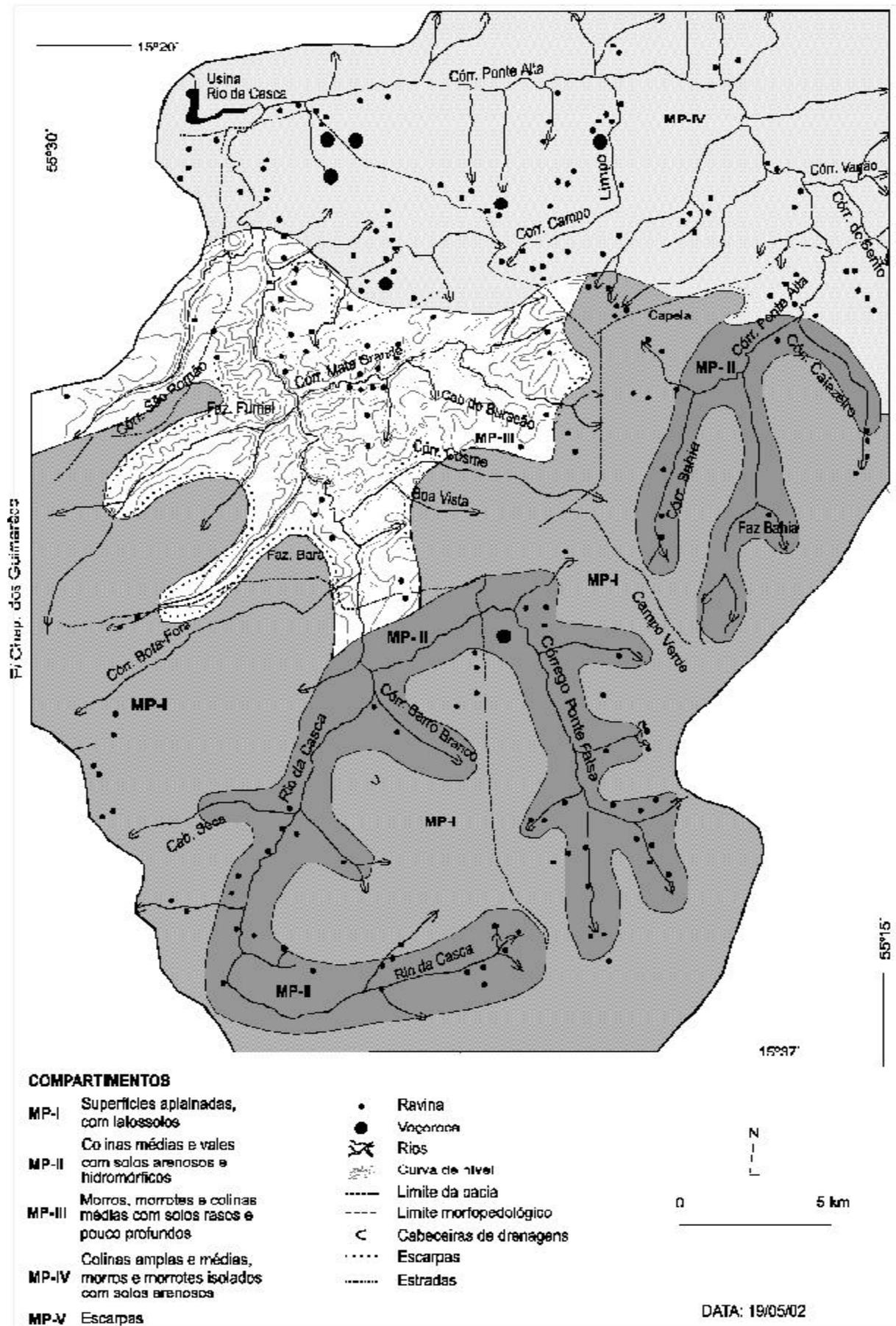


FIGURA 2. Mapa morfopedológico da bacia do alto Rio da Casca.

QUADRO 3. Resumo das principais características dos compartimentos morfopedológicos.

Características		Compartimentos Morfopedológicos				
		MP-I	MP-II	MP-III	MP-IV	MP-V
Área	km <sup>2</sup>	309	127	96	199	7,80
	%	40,42	16,47	15,14	26,02	1,02
Formas de relevo		Superfícies aplainadas	Colinas médias e fundo de vales	Morros, morrotes e colinas médias	Colinas amplas e médias, morros e morrotes isolados	Escarpas
Solos predominantes		Latossolos	Solos Gleissolos e neossolos quartzarênicos	Cambissolos e neossolos líticos	Neossolos quartzarênicos	Neossolos líticos e afloramentos de rochas
Litologia		Coberturas detrítico-laterítica	Coberturas detrítico-lateríticas	Formação Ponta Grossa (arenitos finos e argilosos)	Formação Botucatu (arenitos)	Formação Ponta Grossa (arenitos finos e argilosos)
Formas de uso		Culturas anuais e pastagens	Culturas anuais, pastagens, piscicultura e vegetação savana	Culturas anuais, pastagens e vegetação savana	Pastagens, vegetação savana	Vegetação de transição, savana aberta para savana fechada
Ocorrências erosivas	ICV*	-	-	-	3,54	-
	ICR**	11,07	29,06	27,82	34,84	38,46
Funcionamento hídrico da vertente		Predomínio da infiltração em relação ao escoamento; lençol freático profundo	Em colinas, predomínio da infiltração em relação ao escoamento; lençol freático profundo; Em vales, lençol freático pouco profundo, com predomínio do escoamento superficial e subsuperficial	Predomínio do escoamento superficial e subsuperficial em relação à infiltração; ausência de lençol freático	Predomínio da infiltração em relação ao escoamento; lençol freático profundo	Predomínio do escoamento superficial em relação à infiltração; ausência do lençol freático; surgências de lençol suspenso durante período chuvoso

ICV – Índice de ocorrências de voçorocas

ICR – Índice de ocorrências de ravinas

\* ICV = N<sup>o</sup>. de voçorocas x 100      Área do compartimento

média a argilosa, que ocupam praticamente toda a vertente, somente na sua porção terminal, junto ao fundo do vale, pode-se observar a passagem para Gleissolos.

O substrato geológico não foi identificado em afloramentos, tendo em vista a pronunciada espessura dos solos, sendo considerado como pertencente à cobertura detrítico-laterítica. Originalmente, esse compartimento morfopedológico foi coberto por vegetação de Savana Arbórea Aberta, com Floresta de Galeria, conforme o RADAMBRASIL (1982).

Foram identificados neste compartimento 27 cabeceiras de drenagens. Essas cabeceiras apresentam forma de anfiteatros côncavos, com rupturas de declive e ligeiro aumento de declividade em relação à porção superior da vertente, favorecendo, em função disso, o escoamento concentrado das águas de chuva. Essas condições permitem o desenvolvimento de processos erosivos, quando essas áreas de cabeceira são desmatadas (Foto 1).

Quanto ao funcionamento hídrico desse compartimento, observa-se um predomínio de infiltração das águas pluviais em profundidades consideráveis, devido



FOTO 1. Vista aérea mostrando exploração agrícola intensiva em parte de uma cabeceira de drenagem do Compartimento MP-I.

a alta porosidade do latossolo, elevada permeabilidade e grande homogeneidade dos horizontes, com poucas possibilidades de escoamento superficial e subsuperficial das águas de chuva e, conseqüentemente, em relação ao desenvolvimento de erosões lineares,

QUADRO 4. Suscetibilidade à erosão e critérios utilizados.

Compartimento Morfopedológico	Posição na vertente	Erosão laminar			Erosão linear	
		Classes de Suscetibilidade	Critérios utilizados		Classes de Suscetibilidade	Principais critérios utilizados
			Declividade (%)	Erodibilidade		
MP – II Colinas	Terço superior	Muito suscetível	< 6	Muito alta	Moderadamente suscetível a ravina e pouco suscetível a voçoroca	Ravinas condicionadas a intenso escoamento superficial devido a determinadas formas de ocupação; <i>piping</i> , após interceptação do lençol freático a grandes profundidades
	Terço médio	Muito suscetível	6 a 12			
	Terço inferior	Extremamente suscetível	12 a 20			
MP – II Colinas	Terço superior	Muito suscetível	< 6	Muito alta	Moderadamente suscetível a ravina e pouco suscetível a voçoroca	Ravinas condicionadas a intenso escoamento superficial devido a determinadas formas de ocupação; <i>piping</i> , após interceptação do lençol freático a grandes profundidades
	Terço médio	Muito suscetível	6 a 12			
	Terço inferior	Extremamente suscetível	12 a 20			
MP – II Vales	Terço superior	Extremamente suscetível	12 a 20	Muito alta	Extremamente suscetível a ravina e voçoroca	Favoráveis a fenômenos de <i>piping</i> , independentemente das formas de ocupação; ravinas e voçorocas logo após o desmatamento
	Terço médio		6 a 12			
	Terço inferior	Muito suscetível	6 a 12			
MP – III	Terço superior	Muito suscetível	< 6	Muito alta	Suscetível a ravina e não suscetível a voçoroca	Ravinas condicionada a alta declividade de encostas, solos pouco profundos e ausência de <i>piping</i> ; ravinas pouco profundas logo após o desmatamento
	Terço médio		6 a 12			
	Terço inferior	Extremamente suscetível	12 a 20			
MP – IV	Terço superior	Muito suscetível	< 6	Muito alta	Em colinas: moderadamente suscetível a ravina e pouco suscetível a voçoroca	Ravinas condicionadas a intenso escoamento superficial devido a determinadas formas de ocupação; <i>piping</i> após interceptação do lençol freático a grandes profundidades
	Terço médio		6 a 12			
	Terço inferior	Extremamente suscetível	12 a 20		Em morros e morrotes: suscetível a ravina e não suscetível a voçoroca	Ravinas condicionadas a alta declividade de encostas, solos pouco profundas e ausência de <i>piping</i>
MP – V	Terço superior	Extremamente suscetível	> 20	Muito alta	Suscetível a ravina e não suscetível a voçoroca	Ravinas condicionadas a alta declividade de encostas, solos pouco profundas e ausência de <i>piping</i> ; ravinas pouco profundas logo após do desmatamento.
	Terço médio		12 a 20			
	Terço inferior		6 a 12			

somente observadas quando associadas a estradas e trilhas de gado.

Mesmo em se tratando de compartimento pouco suscetível à erosão, foram encontradas 34 ravinas, todas localizadas no terço inferior das vertentes e causadas por águas de escoamento concentrado provenientes de estradas.

#### COMPARTIMENTO MORFOPEDELÓGICO MP-II

Corresponde a 16,47% da área estudada, com 127,14 km<sup>2</sup>, situando-se ao longo do Rio da Casca, numa faixa de aproximadamente 4 km de largura.

Duas formas de relevo predominam nesse compartimento morfopedológico: colinas médias e amplos vales. As colinas médias apresentam topos relativamente estreitos, ligeiramente convexos, com largura máxima de 200 m e encostas com amplitude em torno de 60 m, e declividades do terço superior inferiores a 6%, e de 6 a 12% nos terços médio e inferior. Os vales constituem-se de superfícies praticamente planas em porções mais à jusante das colinas médias. Uma ruptura nítida de declive marca a passagem das vertentes de colinas médias para os vales amplos, com aumento significativo de declividade. A cobertura

pedológica, tanto em vertentes das colinas médias como dos vales amplos, é dominada por solos essencialmente arenosos do tipo Neossolos Quartzarênicos.

Foram identificadas nesse compartimento morfo-pedológico 11 cabeceiras de drenagens, associadas às colinas médias. Essas cabeceiras de drenagens têm a forma de anfiteatros ligeiramente circulares, contornados por nítidas rupturas de declive, onde a vertente adquire aumento brusco de declividade (Foto 2). Esse fato, aliado à ocorrência de solos arenosos, favorece a instalação de processos erosivos na forma de ravinas e voçorocas quando esses setores de cabeceiras são desmatados. Comumente, essas cabeceiras de drenagens apresentam ecossistema de veredas, sendo, nesses casos, ainda mais sensíveis a processos de voçorocamento, tendo em vista a presença do lençol freático a pequena profundidade, que, sendo interceptadas por ravinas, permitem manifestação de fenômenos de *piping*.



**FOTO 2.** Vista de colinas médias do Compartimento Morfopedológico MP-II.

Observa-se tendências de funcionamento hídrico com predomínio de infiltração das águas de chuva nas coberturas arenosas, e escoamento condicionado a aumento de declividades e, evidentemente, formas de ocupação que permitem a concentração de fluxos d'água. O lençol freático encontra-se, nas porções superiores e intermediárias das vertentes, a grandes profundidades, e, nas porções mais inferiores da vertente e nos fundos de vales, a profundidades relativamente pequenas e subaflorantes.

Foram encontradas, nas áreas de colinas deste compartimento 37 erosões em ravinas. Essas erosões ocorrem preferencialmente nos limites entre as colinas médias e os vales amplos, onde rupturas de declive acentuam a ação erosiva por mudanças bruscas da velocidade de escoamento das águas de chuva.

#### **COMPARTIMENTO MORFOPELOLÓGICO MP-III**

Corresponde a 15,14% da área, com 96 km<sup>2</sup>, está localizada na parte central da bacia, onde predomina

morros e morrotes e, secundariamente, colinas médias. O topo dessas formas de relevo é relativamente estreito, com largura máxima de 100 m, vertentes curtas com extensão máxima de 50 m, e amplitudes em torno de 80 m. No terço superior das vertentes no topo dessas formas de relevo, a declividade não ultrapassa 6%, aumentando bruscamente a jusante após ruptura nítida de declive, para declividade em torno de 20%.

A cobertura pedológica é de pequena espessura, constituída por Cambissolos e Neossolos Líticos. Afloramentos rochosos são comuns, constituídos de argilitos e siltitos da Formação Ponta Grossa.

Encontram-se distribuídas nesse Compartimento 6 cabeceiras de drenagens, em níveis altimétricos variando entre 530 e 630 m, em forma de anfiteatros côncavos e vales em estilo de *canyons* pela presença de nítidas rupturas de declive e encosta íngreme (Foto 3).



**FOTO 3.** Aspecto do relevo do MP-III, utilizado para cultura de soja em terreno declivoso.

O sistema pedológico característico do Compartimento MP-III é constituído por uma seqüência de solos rasos a pouco profundos, que passa, no fundo de vales, para solos gleizados. A seqüência mais comum é formada por Neossolos Líticos, Cambissolos e Gleissolos.

Essa seqüência pedológica favorece o escoamento superficial das águas de chuvas, que infiltram apenas no horizonte superficial (horizonte A), concentrando-se no horizonte subsuperficial, a pequenas profundidades. Com a saturação do horizonte superficial, inicia-se o escoamento das águas de chuva, com intensidade variável, em função da declividade da vertente. O lençol freático não foi observado no solo, o que não permite o desenvolvimento de fenômenos de *piping* e, conseqüentemente, de voçoroca.

#### **COMPARTIMENTO MORFOPELOLÓGICO MP-IV**

Corresponde a 26,02% da área, com 200 km<sup>2</sup>, e ocupa a parte norte da bacia do Casca, com relevo de colinas amplas e médias, com morros e morrotes isolados (Foto 4).

As colinas amplas dominam o Compartimento Morfopedológico MP-IV, apresentando topos extensos praticamente planos, e comprimento de vertentes, atingindo, em média, 1.500 m, e amplitudes variando de 60 a 80 m.

Foram identificadas no compartimento MP-IV 25 cabeceiras de drenagens, que se constituem em extensas áreas ligeiramente deprimidas, com entalhes mais significativos junto ao fundo de vales, onde é comum a presença de rupturas nítidas de declive.

No Compartimento MP-IV, predomina o sistema pedológico constituído por solos essencialmente arenosos (Neossolos Quartzarênicos), dominando a vertente e passando, somente no fundo do vale, para Gleissolos.

Os processos erosivos manifestam-se com relativa facilidade quando a cobertura pedológica se encontra desprotegida da vegetação natural ou de gramíneas. O escoamento das águas de chuva de baixa intensidade é suficiente para a remoção das partículas de areia e para promover intensos processos erosivos, que se aprofundam na forma de sulcos e ravinas. Fenômenos de *piping*, com desenvolvimento de voçorocas, somente são observados quando as ravinas se aprofundam e interceptam o lençol freático, que se encontra a grandes profundidades, em geral acima de 10 m.

Esse compartimento é dominado por pastagens, e apresenta o maior índice erosivo encontrado na bacia, sendo observadas 69 ravinas e 6 voçorocas, correspondendo a mais de 50% de todas as erosões detectadas na bacia. Em geral, as ravinas observadas

nesse compartimento estão relacionadas com estradas e trilhas de gado, e as voçorocas ocorrem essencialmente em cabeceira de drenagens, instalando-se logo após o desmatamento (Figura 6).

#### COMPARTIMENTO MORFOPEDOLÓGICO MP-V

Corresponde a 1,02% da área estudada, com 7,80 km<sup>2</sup>, caracterizando-se pela presença de relevo escarpado, que em geral contorna as vertentes e nascentes do Córrego Ponte Alta.

Esse compartimento não apresenta cabeceira de drenagem, sendo marcado por vertentes que apresentam perfis irregulares, devido a rupturas de declive e linhas de talvegue, dando a configuração de vertentes ravinadas.

A cobertura pedológica caracteriza-se por um sistema pedológico, constituído pela seqüência de solos rasos (Neossolos Líticos) e afloramento de rocha.

O funcionamento hídrico apresenta predomínio de escoamento superficial em relação à infiltração, com fluxos concentrados em momentos de chuva, permitindo o desenvolvimento de intensos processos erosivos, quando desprotegida pela cobertura vegetal.

A inexistência de lençol freático e a presença de solos rasos não permitem o aprofundamento das ravinas, nem o desenvolvimento de fenômenos de *piping* com formação de voçorocas.

Nesse compartimento, foram observadas 3 ocorrências erosivas do tipo ravina, causadas pela retirada da vegetação (Foto 5).



**FOTO 4.** Vista aérea de voçoroca na cabeceira de drenagem do Córrego Tamanduá Grande, localizada no Compartimento MP-IV.



**FOTO 5.** Aspecto da ocorrência de escarpas nos limites dos Compartimentos MP-I e MP-III.

## CONCLUSÕES

Ao utilizar a abordagem metodológica da morfopedologia, foi possível identificar e cartografar na bacia do alto Rio da Casca cinco compartimentos e interpretá-los em relação às interações entre as formas de relevo, os tipos pedológicos, os substratos geológicos.

A identificação nesses compartimentos dos sistemas pedológicos e sua interpretação quanto ao funcionamento hídrico permitiu deduzir a suscetibilidade à erosão laminar e linear nos diferentes setores das vertentes, constituindo-se, assim, em subsídios para planejamento

de uso da bacia e, conseqüentemente, para o controle preventivo da erosão.

A compreensão do funcionamento hídrico dos compartimentos morfopedológicos pela interpretação dos sistemas pedológicos constituiu-se em aspecto metodológico de fundamental importância para o conhecimento da dinâmica e potencialidade erosiva. Essa forma de abordagem mostrou-se possível a partir da interpretação de sensores (imagens e fotos aéreas) e reconhecimentos de campo em vertentes selecionadas, representativas dos compartimentos morfopedológicos, voltados à identificação da cobertura pedológica e sua relação com a topografia da vertente, fornecendo assim os elementos necessários para a determinação da suscetibilidade à erosão, pela aplicação de critérios previamente estabelecidos.

Dos cinco compartimentos morfopedológicos cartograficamente delimitados, apenas o MP-I, correspondendo a 41,35% da área estudada, mostrou-se favorável à exploração agrícola intensiva, enquanto que os demais apresentam sérias restrições, pelas características desfavoráveis de solos e/ou relevos e pela elevada suscetibilidade ao desenvolvimento de processos erosivos. Foram cartograficamente identi-

ficadas 174 ocorrências erosivas de grande porte, sendo 167 do tipo ravina e 7 voçorocas. Grande parte dessas erosões, em torno de 82%, encontra-se instalada no interior de cabeceiras de drenagens e no fundo de vales.

As estradas, caminhos de serviços e trilhas de gado constituem-se nas principais causas da origem e evolução dos processos erosivos, por permitirem o escoamento concentrado das águas de chuva, vertente abaixo. Esses processos, inicialmente por ravinamentos, transformaram-se em voçorocas quando da interceptação do lençol freático, situação comumente observada em fundo de vales e em cabeceiras de drenagens, assoreando cursos d'água que se dirigem para o Rio da Casca e, conseqüentemente, transportando sedimentos para o reservatório abastecedor das usinas hidrelétricas do Casca II e Casca III, ainda em funcionamento.

O controle dos processos erosivos e de assoreamento da bacia do alto Rio da Casca somente será possível com ações voltadas ao disciplinamento e ao manejo do uso do solo, adaptadas à capacidade de uso e à suscetibilidade à erosão. Os produtos cartográficos e as recomendações resultantes servem de base para essas ações e gestões.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AB'SABER, A.N. Um conceito de Geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. São Paulo: Instituto de Geografia, USP. **Geomorfologia**, n. 18, 1969.
2. ALA FILHO, J.O. & PAES DE BARROS, L.T.L. Estudo regional da fragilidade potencial das terras das bacias hidrográficas do Estado de Mato Grosso. In: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD)/Programa de Desenvolvimento do Agronegócio (PRODEAGRO)/Fundação Estadual do Meio Ambiente de Mato Grosso (FEMA-MT). **Caracterização hidrográfica do Estado de Mato Grosso**, Cuiabá, 1995.
3. BAIZE, D. Commenteurs pédologiques, cartographie et taxonomie. **Science du Sol**, Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Sol, v. 24, n. 3, p. 227-243, 1986.
4. BOULET, R.; CHAUVEL.; HUMBEL F.X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie em pédologie. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports a la connaissance des sols. Paris: Organisation de Recherche Scientifique et Technologique d'Outre Mer, **Cahiers de l'ORSTOM**, série Pédologie, v. XIX, n. 4, p. 309-321, 1982.
5. CASTRO JÚNIOR, P.R. **Erosão atual em Chapada dos Guimarães: diagnóstico aplicado à educação ambiental**. Cuiabá, 1996. 281 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Educação/Universidade Federal de Mato Grosso.
6. CASTRO, S.S. & SALOMÃO, F.X.T. Compartimentação morfopedológica e sua aplicação: considerações metodológicas. São Paulo: Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP. **Humanitas**, n. 7, p. 27-37, 2000.
7. CEMAT - CENTRAIS ELÉTRICAS MATOGROSSENSES S.A. **A questão energética em Mato Grosso. elementos essenciais ao planejamento**. Cuiabá: REDE, 1997, 147 p.
8. CEMAT - CENTRAIS ELÉTRICAS MATOGROSSENSES S.A. **Relatório de Recuperação do reservatório da Usina Casca III**. Cuiabá: Diretoria Operação, 1991. 83 p.
9. DAAE/IPT - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA e INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Controle de erosão: bases conceituais e técnicas. Diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de voçorocas urbanas**. São Paulo: Secretaria de Energia e Saneamento, DAAE/IPT, 1989, 92 p.
10. DISPERATI, A.A. **Obtenção e uso de fotografias aéreas de pequeno formato**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná (FUPEF), 1991, 290 p.
11. EMBRAPA/CNPS - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGRONÔMICA/CENTRO NACIONAL DE PESQUISAS DE SOLOS. **Procedimentos Normativos de Levantamentos Pedológicos**. Brasília, 1995, 101 p.
12. EMBRAPA. SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO DE SOLOS Sistema Brasileiro de classificação de Solos. Brasília: EMBRAPA. **Produção da Informação**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999, 412 p.
13. IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Prevenção da erosão urbana e conservação de recursos hídricos: Projeto piloto de Bauru e Rio Batalha (2ª Fase)**. São Paulo: IPT, Relatório IPT 29.789, 1991.
14. IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Orientações para comba-**

- ter a erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Baixo Tiête. São Paulo: IPT, Relatório IPT 26.339, 1988. 3 v.
15. LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI, J.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983, 175 p.
  16. POLITANO W. **Manual do emprego de imagens aéreas na avaliação do terreno**. Jaboticabal: Fundação de Estudos e Pesquisas em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia (FUNEP), UNESP, 1998.
  17. QUEIROZ NETO, J.P. Análise estrutural da cobertura pedológica no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 21, 1998, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998, p. 415-429.
  18. RADAMBRASIL. Folha SD.21 Cuiabá: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral, **Levantamento de Recursos Naturais**, 1982, 544 p.
  19. SALOMÃO, F.X.T. **Processos erosivos lineares em Bau-ru (SP): regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano-rural**. São Paulo, 1994. 200 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
  20. SALOMÃO, F.X.T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, T.A.J.; SILVA, A.S. & BOTELHO, R.G. (Organizadores), **Erosão e Conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p. 229-265.
  22. TRICART, J. & KILIAN, J. **L'éco-geographie et l'aménagement du milieu naturel**. Paris: Livraria Française, 1978.
  23. VASCONCELOS, T.N.N. **Interpretação morfopedológica da Bacia do Rio Tenente Amaral - Jaciara/MT: condição básica para sua caracterização ambiental**. Cuiabá, 1998. 162 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Ecologia e Conservação da Biodiversidade, Universidade Federal de Mato Grosso.
  24. VASCONCELOS, T.N.N. **Interpretação morfológica da bacia do Rio Tenente Amaral, Jaciara/MT: condição básica para sua caracterização ambiental**. Cuiabá. 1998. 160 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade Federal de Mato Grosso.