

# MAPA DE CLASSES DE ERODIBILIDADE DE PARTE DA REGIÃO DO RIO TAQUARI BASEADO EM IMAGENS TM-LANDSAT<sup>1</sup>

PAULO VENEZIANI, ATHOS RIBEIRO DOS SANTOS, EDISON CREPANI,  
CÉLIO EUSTÁQUIO DOS ANJOS<sup>2</sup> e ROSANA OKIDA<sup>3</sup>

**RESUMO** - O trabalho apresenta a contribuição dos estudos geológicos complementados com dados geomorfológicos para a obtenção de mapas de classes de erodibilidade. Faz parte do Projeto Mulpan (dados multissensores para levantamentos do meio físico no Pantanal), desenvolvido dentro do Convênio de Cooperação Técnico-Científica INPE/Embrapa. Escolheu-se como exemplo a Folha Pedro Gomes (escala 1:100.000 - SE.21 ZB-II MIR 2401), que abrange parte da bacia do Rio Taquari. O objetivo principal é evidenciar a relação entre a erodibilidade e a geologia-geomorfologia da área estudada, e mostrar que os dados geológicos-geomorfológicos podem ser obtidos de forma indireta, com a interpretação de imagens TM-LANDSAT. Deu-se ênfase às propriedades físico-químico-mecânicas dos diferentes litotipos, tais como: permeabilidade, ruptibilidade-plasticidade, infiltração, escoamento e movimentação de massa, bem como o reconhecimento das formas de relevo e análise da declividade. Embora os dados sobre solos e clima tenham grande importância para elaboração de mapeamentos de classes de erodibilidade, neste trabalho não foram consideradas propositalmente para que, desta forma, se conseguisse uma noção exata sobre a contribuição da avaliação geológica. Como resultado, obteve-se a compartimentação da área em sete classes de erodibilidade e três classes de acumulação.

Termos para indexação: erosão, geologia, sensoriamento remoto, bacia do Taquari.

## MAP OF ERODIBILITY CLASSES OF PART OF TAQUARI RIVER BASIN, BASED ON TM-LANDSAT IMAGES

**ABSTRACT** - This work discusses the contribution of the geologic and geomorphologic data from TM-LANDSAT images to obtain a erodibility classes map of the part of Taquari River Basin. This research is one of the approaches of Mulpan Project (evaluation of the potentiality of the data obtained from different sensor systems for Pantanal Mato-Grossense of physical environment surveying). This Mulpan Project has been performed under the scientific co-operation between INPE and Embrapa. The results are exemplified in this paper by the erodibility classes map from Pedro Gomes Sheet (1:100,000 scale). To the purpose of determining the relationships between erosion and geologic-geomorphologic data (indirectly obtained by interpretation of TM-LANDSAT images), the following physical, chemical and mechanical properties of the lithologic types were specially analyzed: ruptibility-plasticity, water infiltration, runoff and landslide, complemented with identification of relief type and declivity. Intentionally, the soil and climatic data were not considered in this work with the objective to permit a good evaluation about the effective contribution of the geologic-geomorphologic data in this erosion study. This analysis allows to define 7 different erosion classes and 3 accumulation classes.

Index terms: erosion, geology, remoto sensing, Taquari River Basin.

## INTRODUÇÃO

Existem vários critérios metodológicos para elaborar trabalhos com o intuito de definir o potencial erosivo de uma determinada região. Dentre estes critérios, destacam-se aqueles que estudam e avaliam os solos, o relevo, a drenagem e a pluviosidade, e

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 5 de fevereiro de 1998.

<sup>2</sup> Geólogo, D.Sc., Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Av. dos Astronautas, 1758, Caixa Postal 515, CEP 12227-010 São José dos Campos, SP. E-mail: paulo@ltid.inpe.br

<sup>3</sup> Geólogo, Programa de Mestrado em Sensoriamento Remoto, INPE. Bolsista da CAPES

requerem a confecção de mapeamentos e a realização de medidas e ensaios "in situ" e em laboratório. Evidentemente, apesar de os resultados serem satisfatórios, os custos financeiros são bastante elevados, bem como a demanda de tempo. Por outro lado, tais critérios não enfatizam os fatores geológico-estruturais, relegando-os a segundo plano, embora estes sejam de importância primordial.

Tal fato é decorrente do hermetismo da "linguagem geológica", que muitas vezes é incompreensível para os pesquisadores de outras áreas de recursos naturais e ciências da terra, o que acarreta subutilização de dados essenciais, indispensáveis para uma correta avaliação dos fenômenos geodinâmicos.

Neste trabalho pretende-se demonstrar que o estudo geológico é a base para compreender os fenômenos erosivos. Os fatores morfogenéticos, como o clima e a tectônica recente, funcionam praticamente como "agentes externos", que modelam os estratos rochosos de forma destrutiva (erosão) e construtiva (acumulação).

É necessário, portanto, o conhecimento do estrato rochoso, mais especificamente dos diferentes litotipos que o compõem. Este conhecimento é obtido pelo mapeamento geológico e a conseqüente avaliação das propriedades físico-químico-mecânicas dos referidos litotipos.

Para exemplificar o relacionamento entre litotipo/fator morfogenético/erosão, avalia-se a seguinte situação. Em uma área hipotética onde ocorrem dois tipos distintos de rocha: granito maciço e arenito friável, ambas submetidas às mesmas condições climáticas. O arenito será desagregado e erodido com muito maior facilidade.

Em função do exposto, fica evidente que para a elaboração do trabalho faz-se necessário o mapeamento geológico, o conhecimento das propriedades dos litotipos existentes e, como complemento, a avaliação das formas de relevo e da declividade.

Em relação ao primeiro requisito, adotou-se o mapa geológico de Brasil (1982), que, embora seja apresentado na escala de 1:1.000.000 (enquanto a do

trabalho é de 1:100.000), é o que se encontra disponível.

Para o conhecimento das propriedades dos litotipos, utilizaram-se critérios fotointerpretativos de acordo com Soares & Fiori (1976) e Veneziani & Anjos (1982).

Finalmente, os dados sobre as formas de relevo e a declividade foram obtidos a partir do trabalho de Florenzano (1998).

Desenvolveram-se critérios de sistematização e integração de dados (descritos em Material e Métodos) que permitiram a definição de sete classes de erodibilidade e três de acumulação.

Como este trabalho tem um cunho essencialmente metodológico, escolheu-se a Folha Pedro Gomes na escala de 1:100.000, pois nesta Folha ocorrem todas as classes definidas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O seguinte material foi utilizado: imagens TM-Landsat, composição colorida 3B/4R/5G e P/B nas bandas 3 e 4, na escala de 1:100.000; mapa geológico de Brasil (1982) na escala de 1:1.000.000 (Fig. 1); carta geomorfológica Pedro Gomes de Florenzano (1998) na escala de 1:100.000; folha topográfica Pedro Gomes SE.21-ZB-II-MIR 2401.

Com base nos critérios de fotointerpretação desenvolvidos por Soares & Fiori (1976) e Veneziani & Anjos (1982), realizou-se o trabalho de obter informações indiretas a respeito das propriedades físico-químico-mecânicas dos litotipos presentes na área de estudo. Estes são responsáveis diretamente pelo potencial de desagregação e erodibilidade. Sob a ação dos agentes climáticos (chuvas, ventos, insolação) e das atividades antrópicas (desmatamento, agricultura, urbanização), as condições de equilíbrio físico-químico-mecânico da associação litotipos-solos são alteradas. Deste modo, o potencial de desagregação-erodibilidade é incrementado.

Para obter informações a respeito do potencial anteriormente mencionado e definir classes de erodibilidade pelos critérios fotointerpretativos e pelas análises dos mapas geológico e geomorfológico, avaliaram-se os parâmetros seguintes:

### Densidade de drenagem e permeabilidade

A densidade de drenagem é observada nas imagens TM-Landsat de forma direta. A relação densidade-

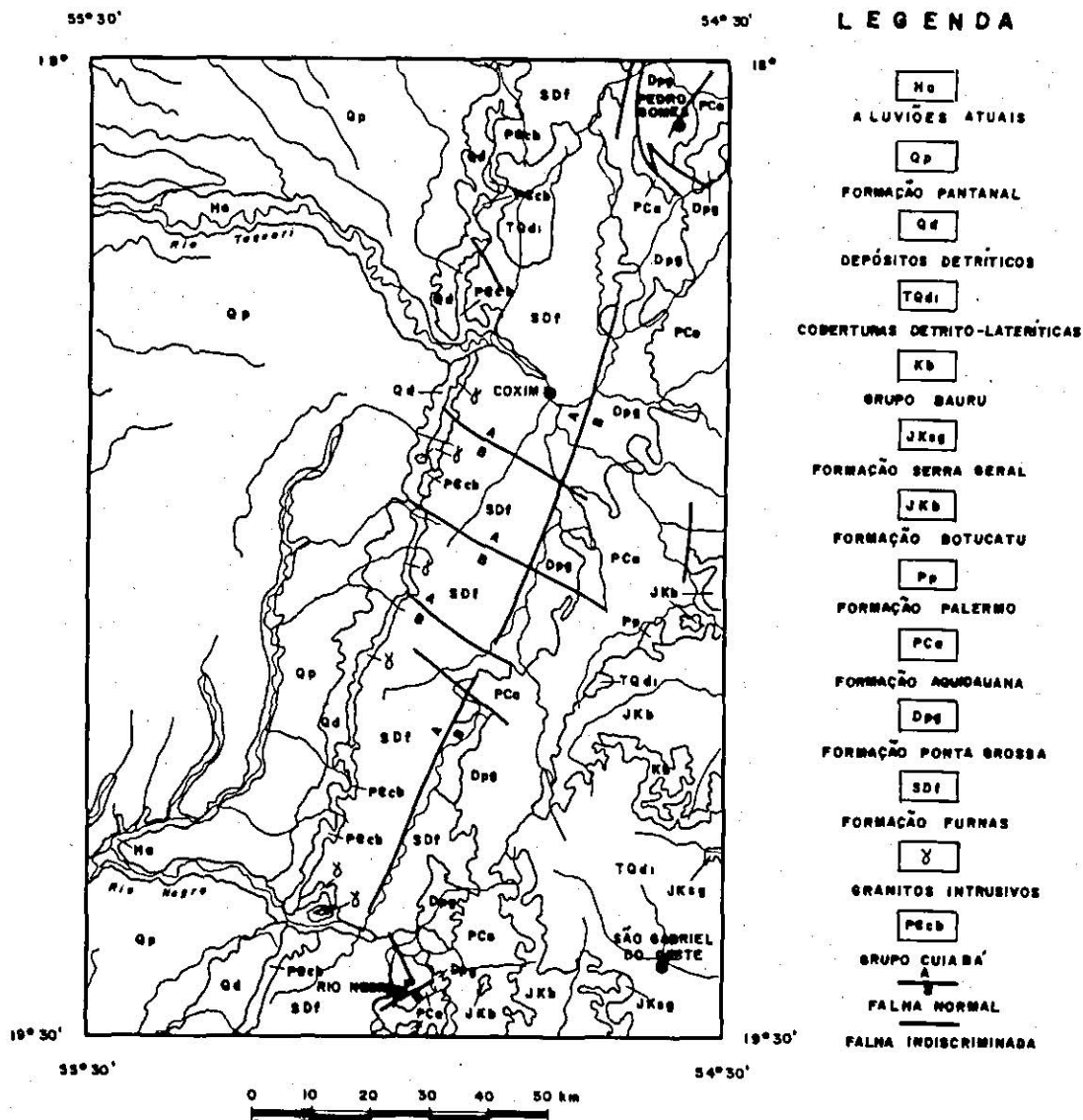


FIG. 1. Mapa geológico da área de trabalho (Brasil, 1982).

-permeabilidade é inversamente proporcional, isto é, quanto maior a primeira, menor é a segunda. Tais propriedades possuem relações com a porosidade, que por sua vez é dependente do grau de cristalização, da granulometria e da existência de fissuras nos litotipos. Destes fatos deriva a seguinte conclusão: quanto maior o volume de espaços vazios no litotipo maior será a facilidade de desagregação. Portanto, a análise da permeabilidade pode fornecer os primeiros indícios do potencial de erodibilidade. A

densidade de drenagem foi classificada em: muito alta, alta, alta a moderada, moderada a baixa, baixa e muito baixa. A permeabilidade foi subdividida em: muito baixa, baixa, baixa a moderada, moderada, moderada a alta, alta e muito alta.

**Formas de relevo e declividade**

Os fatores morfogenéticos são responsáveis pela esculturação das formas de relevo e de drenagem. A

modelagem do terreno é função da estrutura geológica e dos agentes modeladores externos (meteorização, erosão fluvial, eólica, marinha, glacial, etc.) e internos (processos tectônicos atuais). Assim, as formas atuais estão intrinsecamente ligadas com a natureza físico-química dos litotipos, com a sua estrutura e a atuação dos fatores morfogenéticos. Genericamente, as formas atuais foram divididas em dois grandes grupos: o das formas potencialmente erodíveis e o das formas cumulativas. Considerando os fatos mencionados, observa-se que as formas são indicadores importantes do potencial erosivo e do potencial cumulativo. Foram considerados os seguintes tipos de relevo: escarpa, colina, tabuleiro, rampa, planície e planície inundada.

A declividade é outro fator muito importante, pois quanto maior seu valor, maior é a energia potencial de erosão. Os seguintes intervalos de declividade foram considerados: >40%, 20 a 40%, 10 a 20%, 5 a 10%, 2 a 5% e <2%.

Os dados a respeito das formas de relevo e declividade foram obtidos de Florenzano (1998).

#### **Grau de coesão dos litotipos**

O grau de coesão está ligado com a cristalinidade e/ou cimentação do litotipo. Outros fatores que influenciam este grau são a plasticidade e a ruptibilidade (capacidade do litotipo, quando submetido a tensões, de desenvolver dobras e foliações ou romper-se). Consideraram-se os seguintes graus de coesão: coesivo, moderadamente coesivo e não coesivo.

As informações sobre a coesão foram obtidas a partir das descrições dos litotipos encontrados no trabalho de Brasil (1982), e a análise da densidade de traços de fraturas e foliações foi feita diretamente nas imagens.

#### **Estrutura geológica**

Cerca de 80% da área em estudo está recoberta por rochas pertencentes à bacia sedimentar do Paraná (formações Aquidauana, Ponta Grossa e Furnas), estruturada com pequenos mergulhos para SW e intensamente afetada por falhamentos verticais e horizontais. O restante compõe-se por rochas metamórficas do grupo Cuiabá, sedimentos detríticos, sedimentos inconsolidados da formação Pantanal e intrusões graníticas relacionadas ao granito Coxim.

Segundo Okida & Veneziani (1994), um dos principais fatores que controla deslizamentos e quedas de blocos está diretamente ligado à densidade, à distribuição e ao arranjo espacial de fraturamentos e foliações em rochas coesas e seus respectivos solos de alteração. Desta forma, é evidente que fraturamentos agem como fatores desagregadores e,

portanto, o aumento de sua densidade de ocorrência e a tropia (propriedade que indica a orientação em diferentes direções) contribuem para o incremento do potencial de desagregação dos litotipos. Analisaram-se, neste trabalho, o grau de fraturamento (alto, moderado e fraco) e a sua tropia (multidirecional, tridirecional, bidirecional e unidirecional).

#### **Morfodinâmica**

A morfodinâmica está diretamente relacionada com os graus de infiltração e escoamento das águas meteóricas e os movimentos de massa (quedas de blocos e deslizamentos). Quanto menor o grau de infiltração e maior a declividade, maior será a rapidez do escoamento. Como consequência, ao considerar uma alta capacidade de desagregação dos litotipos, a erosão e o transporte de material serão intrinsecamente altos. Os seguintes aspectos foram analisados: grau de infiltração (muito fraco, fraco a moderado, moderado, moderado a alto, alto e muito alto), escoamento (muito rápido, rápido a médio, médio, médio a lento, lento e muito lento) e movimento de massa (queda de blocos e deslizamentos).

As informações sobre a morfodinâmica foram obtidas das imagens utilizadas após a avaliação dos parâmetros discutidos nos subitens anteriores.

#### **Vegetação**

A existência de vegetação natural, principalmente a de grande porte e densa, constitui-se em um fator de contenção dos processos erosivos. Por outro lado, a ausência da cobertura vegetal, causada por desmatamentos indiscriminados e o uso do solo, tanto para urbanização como para agricultura, feito de forma inadequada, provocam e acentuam os processos erosivos. Classificaram-se a vegetação e a atividade antrópica como: presente ou ausente.

As informações a respeito dos fatores relativos à cobertura e ausência de vegetação foram obtidas a partir da interpretação das imagens utilizadas.

#### **Classes de erodibilidade**

Após a análise de todos os parâmetros descritos nos subitens anteriores, foi possível discriminar as classes de erodibilidade em: 7 - muito forte, 6 - forte, 5 - forte a moderada, 4 - moderada, 3 - moderada a fraca, 2 - fraca, 1 - muito fraca, e A - acumulação.

Nas classes de erodibilidade, as subclasses de cada parâmetro estão sempre de acordo com sua capacidade de influenciar os processos erosivos, isto é, indicam um potencial decrescente da primeira para a última. Citam-se dois exemplos:

a - densidade de drenagem muito baixa; permeabilidade muita alta; planície inundada; declividade menor que 2%; litotipo não coesivo e não fraturado; grau de infiltração muito alto e escoamento muito lento: Área de Acumulação;

b - densidade de drenagem muito alta; permeabilidade muito baixa; escarpa; declividade maior que 40%; litotipo moderadamente coesivo; grau de fraturamento alto e tropia multidirecional; grau de infiltração muito fraco e escoamento muito rápido; queda de blocos; vegetação ausente: classe de erodibilidade: Muito Forte.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 2 representa o Mapa de Classes de Erodibilidade da Folha Pedro Gomes. Em relação ao Mapa Geológico (Fig. 1), localiza-se na porção superior à direita. Na Folha em questão, discriminaram-se sete classes de erodibilidade e três de acumulação.

### Classe de Erodibilidade Muito Forte (Unidade 7)

Esta classe distribui-se essencialmente na porção oeste da Folha, estendendo-se na direção N-S como uma faixa de largura quilométrica, e corresponde ao limite da serra do Pantanal com a planície pantaneira propriamente dita. Coincide com área de escarpas, correlacionáveis essencialmente às rochas do grupo Cuiabá e aos granitos eo-cambrianos. Apresenta permeabilidade muito baixa, declividade predominante acima de 40%, grau de coesão moderado a alto, grau de fraturamento moderado e escoamento rápido. Embora ainda apresente cobertura vegetal natural, pelas características mencionadas, possui um potencial erosivo muito alto e, evidentemente, qualquer alteração nesta cobertura irá desencadear uma aceleração dos processos erosivos, envolvendo deslizamentos e quedas de blocos.

Menos expressivas são as ocorrências da classe 7 na região centro-norte da Folha, localizadas a leste e oeste da Rodovia BR-163. Distribui-se em faixas orientadas N-S com largura quilométrica. Correspondem a escarpas sustentadas pelos sedimentos da Formação Furnas (a oeste da BR-163) e provavelmente da Formação Ponta Grossa (a leste da BR-163).

Em função da metodologia utilizada não foi possível, nestes locais de relevo escarpado, declividade acentuada e com pouca expressão em área, avaliar com perfeição as características físico-

-químicas que distinguiram os litotipos cristalinos dos sedimentares. No entanto, tal distinção existe e, com certeza, em condições idênticas de clima, de cobertura vegetal e antropização, as áreas da unidade 7 que correspondem aos terrenos sedimentares sempre serão mais facilmente erodíveis, envolvendo deslizamentos e quedas de blocos.

### Classe de Erodibilidade Forte (Unidade 6)

Áreas relacionadas a esta classe ocorrem na região centro-norte da Folha Pedro Gomes e a leste da cidade homônima.

Caracterizam-se por apresentar relevo colinoso a escarpado e classes de declividade que variam de 10 a 20% e 20 a 40%. Localizam-se em área de ocorrência das formações Furnas e Aquidauana.

Mostram propriedades específicas quanto a: permeabilidade (baixa), grau de coesão dos litotipos (moderado), grau de fraturamento (moderado), grau de infiltração (fraco) e escoamento (rápido), que levaram à classificação quanto ao potencial erosivo como sendo forte. Deslizamentos e quedas de blocos podem ocorrer.

Os litotipos que predominam nas áreas de ocorrência da unidade 6 são essencialmente areníticos, moderadamente coesos, finos e fraturados com o predomínio de duas direções.

Quanto à vegetação natural, observa-se que existem áreas desmatadas, onde o potencial erosivo é incrementado exatamente devido à ausência da citada vegetação.

### Classe de Erodibilidade Forte a Moderada (Unidade 5)

Esta classe aparece distribuída do terço superior da Folha Pedro Gomes até o paralelo 18°30' Sul, ocupando área essencialmente a oeste da Rodovia BR-163.

Apresenta relevo colinoso e ocorre principalmente em área da Formação Furnas. A permeabilidade é baixa, a declividade varia entre 10 e 20%, a coesão dos litotipos é moderada, o grau de fraturamento é alto e o escoamento é rápido a médio. Estas características, apesar de serem indicativas de um potencial erosivo muito forte (na sua maioria), são atenuadas em função da classe de declividade predominante e também pela ausência de atividades antrópicas.



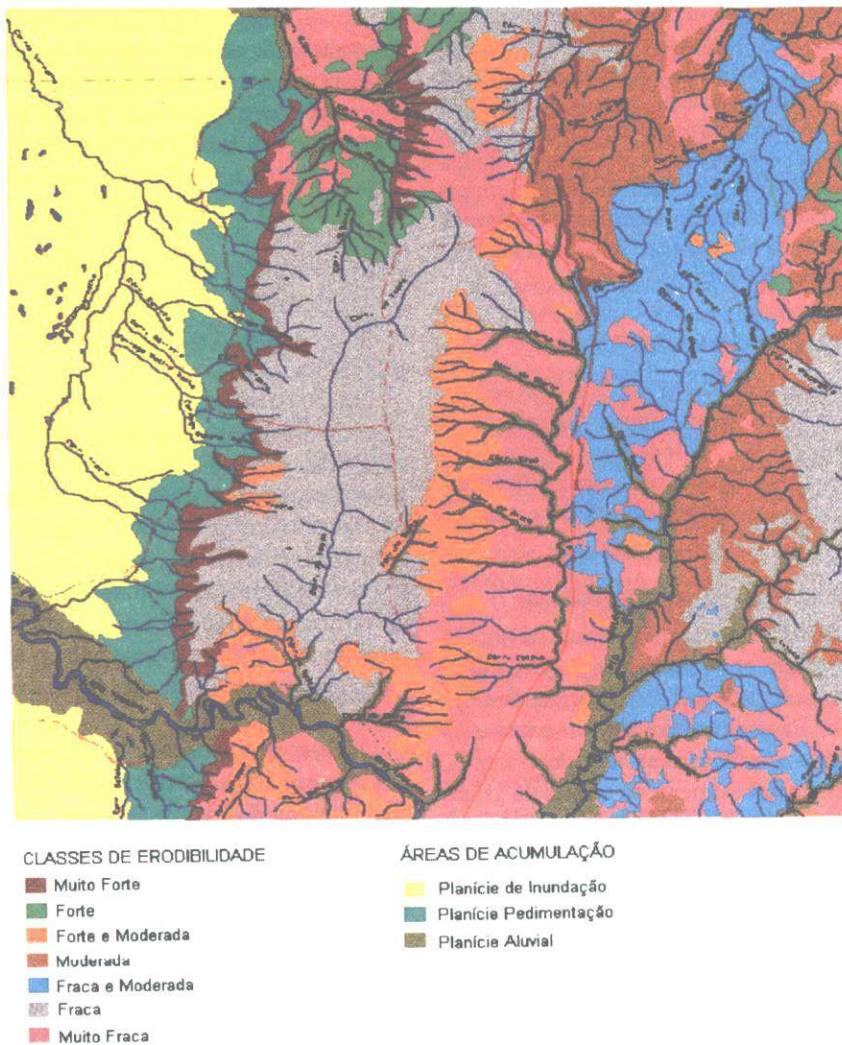


Fig. 2. Mapa de classes de erodibilidade.

#### Classe de Erodibilidade Moderada (Unidade 4)

Esta classe distribui-se de norte a sul da Folha Pedro Gomes, na sua totalidade a leste da Rodovia BR-163. Constituem áreas que variam desde dezenas até poucos quilômetros quadrados.

Ocupa áreas de ocorrência das formações Ponta Grossa e Aquidauana.

O tipo de relevo predominante é colinoso com declividade incluída na classe de 10 a 20%.

As características de permeabilidade moderada, dos graus moderados de coesão dos litotipos, de fraturamentos e de infiltração permitiram classificá-la como uma classe moderada de erodibilidade.

Apresenta manchas de vegetação natural interrompidas por atividades antrópicas, que são responsáveis pela aceleração dos processos erosivos que levam à ocorrência de deslizamentos e quedas de blocos em vertentes utilizadas de modo inadequado.

#### Classe de Erodibilidade Moderada a Fraca (Unidade 3)

As unidades desta classe, como a anterior, distribuem-se de norte a sul da Folha, essencialmente a leste da Rodovia BR-163, em áreas com dezenas a poucos quilômetros quadrados.

Caracterizam-se por relevo do tipo tabuleiro e inserem-se na classe de 5 a 10% de declividade. Ocupam áreas de ocorrência das formações Ponta Grossa e Aquidauana.

Suas características relativas à permeabilidade (alta), ao grau de coesão dos litotipos (moderadamente coesivos), grau de infiltração (moderado a alto) e escoamento lento conferem um potencial erosivo moderado a fraco.

A vegetação natural é ausente e a atividade antrópica é intensa. Esta última, se desenvolvida de modo inadequado, pode desencadear processos erosivos, apesar da baixa declividade.

#### **Classe de Erodibilidade Fraca (Unidade 2)**

As unidades desta classe distribuem-se de maneira generalizada por toda a área da Folha Pedro Gomes. Caracterizam-se por apresentar relevo do tipo tabuleiro e declividades inclusas nas classes de 2 a 5% e 5 a 10%.

Mostram permeabilidade alta, litotipos moderadamente coesivos, grau de infiltração alto, ausência de vegetação natural e intenso uso do solo.

As maiores extensões das ocorrências desta classe de erodibilidade fraca encontram-se associadas a arenitos e solos detríticos lateríticos das formações Furnas e Aquidauana.

Embora o potencial erosivo da classe em questão seja fraco, o uso do solo de maneira inadequada, principalmente em seus limites com as unidades 4, 5, 6 e 7, provoca recuo das vertentes, com erosão acentuada.

#### **Classe de Erodibilidade Muito Fraca (Unidade 1)**

As ocorrências da unidade 1 encontram-se principalmente na região central da Folha com extensões de vários quilômetros e, secundariamente, dispersas com áreas menores.

Caracterizam-se por relevo do tipo tabuleiro e declividades variando de 2 a 5% e menores que 2%.

Apresentam permeabilidade muito alta, litotipos moderadamente coesivos, infiltração muito alta, vegetação natural ausente e intenso uso do solo.

As ocorrências da unidade 1 localizam-se principalmente na área de ocorrência da Formação Furnas e secundariamente distribuídas indiscriminadamente nos locais de exposição das demais

unidades geológicas na região, com exceção do grupo Cuiabá e das intrusões graníticas.

#### **Classes de Acumulação (Unidade A1, A2 e A3)**

Identificaram-se três tipos de áreas acumulativas: a principal, A1, é a planície de inundação (Pantanal); a segunda constitui-se dos depósitos de pedimentos ao longo da rampa que limita as escarpas e o Pantanal (A2), e a terceira constitui-se em planícies aluvionares (A3). Todas caracterizam-se pelo caráter não coesivo dos materiais que as preenchem e por declividades menores que 2%.

#### **Comparação com Trabalho Anterior**

A aferição dos resultados foi feita através da comparação com o trabalho de Del'Arco (1992). Existe compatibilidade entre os dois trabalhos, apesar de os enfoques metodológicos terem sido diferentes. A principal diferença é decorrente da escala. Del'Arco (1992) usou a de 1:1.000.000, e este trabalho, a de 1:100.000, que consiste em maior detalhamento (subdivisão das classes de Del'Arco, 1992).

### **CONCLUSÕES**

1. O material e os critérios metodológicos empregados mostram-se bastante adequados e eficientes, tendo em vista que se conseguem resultados mais detalhados quando comparados aos pré-existentes, guardadas as devidas ressalvas em relação às escalas dos trabalhos.

2. Há necessidade de verificação de campo, pelo menos para definir mais corretamente os limites entre as unidades mapeadas; com o auxílio do mapa elaborado tal verificação é muito mais simples, o que acarreta redução de custos.

3. Observam-se certas dificuldades relativas à utilização do mapeamento geológico pré-existente na determinação correta das propriedades físico-químico-mecânicas dos litotipos; tal fato não invalida os critérios metodológicos empregados, e pode ser facilmente resolvido com a utilização de mapas geológicos mais detalhados.

4. A elaboração de mapas de classes de erodibilidade segundo os critérios adotados é rápida, otimiza a relação custo benefício e prove o planejador de informações que permitem a tomada de

decisões preventivas e preservacionistas que auxiliarão no uso e na ocupação da área de modo racional.

5. A elaboração de mapas de classes de erodibilidade baseada em informações geológicas mostra-se bastante favorável e adequada; complementada com dados pedológicos e climáticos resulta em produtos de qualidade excepcional.

### REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. Folha SE.21 Corumbá. Rio de Janeiro, 1982. 448p. (Levantamento de Recursos Naturais, 27).
- DEL'ARCO, D.M. (Coord.). Susceptibilidade à erosão da macrorregião da Bacia do Paraná. Campo Grande: IBGE/MS, 1992. 277p.
- FLORENZANO, T.G. Imagens TM-Landsat e HRV-SPOT na elaboração de cartas geomorfológicas de uma região do rio Taquari, MS. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.33, Número Especial, p.1721-1727, out. 1998.
- OKIDA, R.; VENEZIANI, P. Caracterização de área de riscos associadas a escorregamentos e inundações através de técnicas de sensoriamento remoto: uma proposta metodológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Camboriú. *Boletim de Resumos Expandidos...* Camboriú: SBG, 1994. p. 451-452.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícias Geomorfológicas*, Campinas, v.6, n.32, p.71-104, 1976.
- VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. São José dos Campos: INPE, 1982. 61p.