

**Produção de mapas de zonas homólogas de relevo e de uso do solo, a partir de dados de modelos numéricos de terreno e de imagem *Quick Bird*, como passos intermediários em um diagnóstico da susceptibilidade à erosão, no entorno da usina hidrelétrica Corumbá IV (GO).**

Wagner Santos de Almeida  
Newton Moreira de Souza  
José Camapum de Carvalho

Universidade de Brasília (UnB)– Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia  
Campus Universitário Darcy Ribeiro - Brasília - DF, Brasil  
{wagnersa, camapum, nmsouza}@unb.br

**Resumo:** O artigo tem o objetivo de apresentar os resultados alcançados com a produção de um mapa de zonas homólogas do relevo, utilizado no processo de reclassificação de cartas temáticas de geomorfologia, pedologia e vegetação, e de um mapa de uso do solo, em que ambos são os passos intermediários para a confecção de uma carta geotécnica de susceptibilidade à erosão. A área de estudo localiza-se no entorno do reservatório da usina hidrelétrica Corumbá IV, entre as bacias hidrográficas do Córrego Pirapitinga e do Ribeirão Sarandi, no município de Luziânia (GO). A metodologia utilizada para a confecção do mapa de zonas homólogas envolveu a aplicação de técnicas de fotointerpretação de unidades de relevo utilizando subprodutos do modelo numérico de terreno (MNT), como a curvatura, a hipsometria e a declividade e integração em 3D da imagem *Quick-Bird* com o MNT, em um ambiente ArcGis 9.2. Foram digitalizadas as zonas homólogas do relevo com cálculo de área dos respectivos polígonos. O mapa de uso de solo foi obtido a partir de uma imagem *Quick-Bird*, e foi aplicada uma metodologia que utilizou os algoritmos do Spring 4.3 para efetuar o registro da imagem, a análise de componentes principais, a filtragem “passa- baixa”, a segmentação, a classificação temática utilizando o classificador “Isoseg” e a vetorização de polígonos. Os temas do mapa de uso do solo foram associados às respectivas zonas homólogas, o que permitiu uma compreensão dos processos erosivos presentes na área de estudo.

**Abstract.** The article has objective to present the achieved results with the production of a landforms map used in the reclassification process of the geomorphology, pedology and vegetation thematic charts, and a soil use map, in which both are used like intermediaries steps for erosion process susceptibility geotechnical chart production. The study area is located a surrounding of the hydroelectric Corumbá IV’s dam, between the watersheds basins of the Pirapitinga and Sarandi streams, in Luziânia municipal city (Goiás, Brazil). The methodology carried out for landforms map production involved photo interpretation techniques using digital terrain model products like curvature model, hypsometry and slopes terrain and drape *Quick-Bird* over 3d surface in an ArcGIS 9.2. The landforms were digitizing in shapefiles format with polygon area calculation. The soil use map was obtained from *Quick-Bird* image, and was carried out a methodology that applied the following SPRING 4.3 algorithms: registration image, principal components analysis, “low-pass” filtering, image segmentation, thematic classification using “Isoseg” and raster-vector format polygons conversion. The soil use classes were associated with their respective landforms which allowed a preliminary understanding of erosion process present in the area of study.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento, processamento digital de imagem, *Quick-Bird*, zonas homólogas, uso do solo, processos erosivos, carta geotécnica de susceptibilidade à erosão.

## **1. Introdução:**

O reservatório da usina hidrelétrica (UHE) de Corumbá IV abrange uma área de 173 Km<sup>2</sup> e situa-se no curso principal do rio Corumbá, no município de Luziânia (GO), em uma área do bioma de cerrado. A geração incontrolada de sedimentos por processos erosivos devido ao uso do solo a montante do reservatório pode produzir impactos ambientais significativos e assoreamento das micro-bacias contribuintes, principalmente em regiões onde exista um relevo com acentuadas declividades e solos com alta erodibilidade. Esses sedimentos são transportados pela rede de drenagem das micro-bacias subsidiárias e depositados, principalmente, às margens do lago do reservatório, diminuindo a área de seu espelho d'água, principalmente em suas cotas mais elevadas, o que compromete a capacidade da UHE em gerar energia elétrica e a conseqüente diminuição do ciclo de vida útil do empreendimento.

A produção de cartas geotécnicas para diagnosticar a susceptibilidade à erosão utiliza algoritmos de processamento de imagens digitais de sensores remotos e de geoprocessamento, em um ambiente computacional de um sistema de informações geográficas (SIG). Essas cartas representam o diagnóstico obtido por análise espacial, com aplicação de álgebra de mapas, em uma integração lógica de dados oriundos das unidades de relevo, de sua geomorfologia, de sua pedologia, de sua vegetação e do uso do seu solo e, também, um conhecimento prévio da área de estudo do ponto de vista físico, biótico e ambiental.

Dentre os produtos intermediários para a produção de uma carta geotécnica de susceptibilidade à erosão estão os mapas de zonas homólogas e de uso do solo. O mapa de zonas homólogas permite a reclassificação das características fisiográficas do terreno quanto a sua geomorfologia, a sua pedologia e a sua vegetação. Por sua vez, o mapa de uso do solo é o que melhor traduz as interferências antrópicas na paisagem, as de maior peso na gênese de processos erosivos.

## **2. Objetivo:**

O objetivo da pesquisa é a produção de um mapa de zonas homólogas do relevo e de um mapa de uso do solo, passos intermediários para construção de uma carta geotécnica de susceptibilidade à erosão, em uma área no entorno da Usina Hidrelétrica (UHE) Corumbá IV, no município de Luziânia (GO).

## **3. Área de Estudo:**

A área de estudo está situada entre as coordenadas geográficas de 16° 18' e 16° 28' de latitude sul e 048° 13' e 048° 19' de longitude oeste, entre as micro-bacias do Ribeirão Sarandi e Córrego Pirapitinga, contribuintes do reservatório da UHE Corumbá IV, localizada no município de Luziânia (GO).

## **4.0 - Materiais e Métodos:**

### **4.1 – Materiais utilizados:**

A pesquisa em pauta utilizou os seguintes materiais para a produção dos mapas de zonas homólogas do relevo e de uso do solo, descritos a seguir:

#### **4.1.1 - Materiais para Produção dos Modelos Numéricos de Terreno (MNT):**

O modelo numérico de terreno (MNT) utilizado possui dados de altitude obtidos por interferometria radar da missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), de 1999, com resoluções planimétrica de 90 metros e altimétrica de 15 metros. Esses dados, segundo Rodriguez et al. (2005), apresentam um erro absoluto em altitude menor do que 5 metros para a América do Sul.

#### **4.1.2 - Imagem digital de sensor remoto orbital:**

Foi utilizada uma imagem do satélite *Quick Bird* de 12/09/2007 referente à área de estudo, com quatro bandas espectrais de resolução espacial de dois (2) metros, e mais uma banda do canal pancromático com resolução espacial de 0,7 metro. A referida imagem foi obtida em uma situação de cota mínima do reservatório da UHE Corumbá IV, correspondente ao período de seca na região da área de estudo. As bandas multiespectrais sofreram um processo de fusão com a banda pancromática utilizando-se o sistema SPRING 4.3, conforme metodologia descrita em Almeida (2005).

#### **4.1.3 - Dados de Campo:**

Durante os trabalhos de campo na área de estudo foram determinadas coordenadas geográficas por rastreamento GPS (*Global Positioning System*) para utilização como pontos de controle para registro de imagens, além do reconhecimento de feições de interesse que caracterizam as zonas homólogas do relevo e o uso do solo.

#### **4.1.4 - Sistemas de informações geográficas (SIG) e softwares de processamento de imagens:**

A pesquisa em pauta, nas tarefas de geoprocessamento e de processamento de imagens digitais, utilizou o SIG SPRING 4.3 (INPE, 2004), desenvolvido pelo INPE e o SIG ArcGis 9.2, desenvolvido pela ERDAS.

### **4.2 - Metodologia:**

#### **4.2.1 - Produção dos Modelos Numéricos de Terreno (MNT):**

O MNT originado com dados SRTM forneceu sub-produtos, em formato de grade ou imagem, utilizados na definição das zonas homólogas do relevo da área de estudo, tais como a curvatura, a hipsometria, a declividade e a sua integração à imagem *Quick-Bird* georeferenciada, produzindo uma visão em tridimensional do relevo.

#### **4.2.2 - Determinação das zonas homólogas:**

Em um processo de produção de uma carta geotécnica de susceptibilidade à erosão, a determinação das zonas homólogas é essencial para a reclassificação em cartas temáticas que representam cartograficamente a geomorfologia, a pedologia e a vegetação de uma área de estudo. Normalmente, essas cartas temáticas são confeccionadas no País em pequenas escalas, menores do que 1:250.000 e, por isso, não representam certas peculiaridades essenciais no diagnóstico da susceptibilidade à erosão em uma área de interesse quando estudada em maior detalhe. Assim, a determinação das zonas homólogas, baseada em um critério de re-interpretação desses temas em função das unidades de relevo, permite a sua melhor adequação em função da realidade da paisagem local.

As zonas homólogas do relevo da área de estudo foram digitalizadas em formato *shapefile* no ArcGis 9.2, a partir de uma análise sintética baseada em critérios de fotointerpretação contidos em Brink *et alli* (1966). Nesse processo de digitalização utilizou-se os subprodutos do MNT obtidos no ArcGis 9.2, a saber: a) curvatura do terreno obtida pela alocação de uma

superfície, calculada *pixel-a-pixel*, por meio de um ajuste polinomial de 4ª ordem; b) declividade do terreno, principal influência em um escoamento superficial principalmente em movimentos de descida de vertentes; e c) integração da imagem *Quick-Bird* georeferenciada e o MNT, utilizando para isto o aplicativo *ArcScene* do ArcGis 9.2.

Na digitalização das zonas homólogas o relevo é dividido em unidades, em função das suas propriedades e relações dos atributos, previamente escolhidos, de acordo com as características dos componentes do meio físico analisado e foram definidas em seis classes, a saber: a) fundo de vale; b) vertentes; c) escarpa; d) escarpa arrasada; e) platô, e, f) crista de relevo. As zonas homólogas dos tipos “escarpa” e “escapa arrasada”, na realidade, tratam-se da mesma unidade de relevo que, para fim metodológico, foram distinguidas entre si em virtude da última apresentar processos de desmatamento intenso e significativas áreas de solo exposto. Para cada feição de zona homóloga digitalizada, exceto a “crista de relevo”, foram calculados seu respectivo perímetro e sua área.

A Figura 1 apresenta um desenho esquemático que representa as zonas homólogas determinadas pela análise sintética de avaliação do terreno.

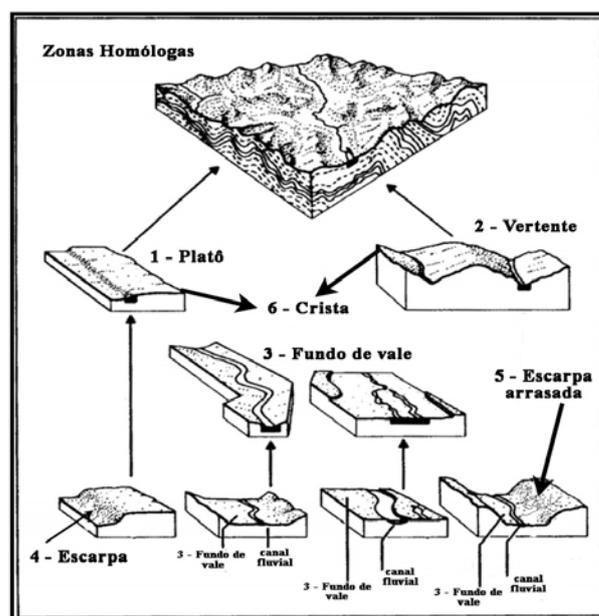


Figura 1 - Aplicação da técnica de avaliação de terreno por zonas homólogas  
Fonte: Modificado de Brink *et alli*, 1966.

#### 4.2.3 - Mapa temático de uso do solo:

A produção de um mapa temático de uso de solo é um dos basilares para o diagnóstico da susceptibilidade a processos erosivos. A metodologia aplicada utilizou a imagem *Quick-Bird* para produção do mapa temático de uso do solo, cujos princípios de funcionamento dos algoritmos em um SIG estão explicitados em Schowengerdt (1983) e em Almeida et al. (2008) e constou das seguintes etapas realizadas no SPRING 4.3:

- Registro das imagens: executado utilizando-se as coordenadas geográficas dos pontos de controle medidas durante trabalho de campo;
- Análise de componentes principais: a imagem georeferenciada foi submetida ao algoritmo de análise de componentes principais e utilizou-se a banda espectral resultante, denominada CP-1, por possuir mais de 85% das informações espectrais das bandas originais;

- Filtragem espectral “passa-baixa” – com vistas à redução de ruídos no processo de segmentação da imagem foi aplicado o filtro espacial linear “passa-baixa” sobre a banda CP-1, que acarretou a sua suavização, a atenuação das altas frequências e minimizou os ruídos existentes;
- Segmentação da imagem: a banda CP-1 foi submetida ao processo de segmentação com a opção de crescimento de regiões, em que os parâmetros de área de pixel e similaridade utilizados foram iguais a 10. A imagem segmentada contém as regiões com os polígonos de uso e cobertura do solo, obtidos durante a sua classificação temática;
- Classificação temática da imagem: a partir da imagem segmentada e utilizando-se a banda CP-1 filtrada, foi realizada a classificação temática por região, com o classificador “Isoseg”. Os temas de uso e cobertura do solo foram agrupados nas seguintes classes temáticas, verificadas durante os trabalhos de campo: a) reservatório; b) açudes; c) cerradão; d) mata de galeria; e) campo sujo; f) solos expostos; g) solos preparados para cultura agrícola; h) cultura agrícola tipo I; i) cultura agrícola tipo II; j) cultura agrícola tipo III; l) área de queimada; m) área de pastagens; e, n) estradas;
- Vetorização da imagem classificada: A imagem classificada temática resultante foi vetorizada e, em seguida, cada classe temática foi associada ao seu respectivo polígono, produzindo um mapa temático de uso e cobertura do solo, para o ano de 2007, na escala de 1/10.000.

## 5.0 – RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES:

### 5.1 – Produção do mapa de zonas homólogas:

Foram digitalizadas as zonas homólogas para a área de estudo, baseada em técnicas de fotointerpretação a partir da imagem de curvatura, da hipsometria, da declividade do MNT e da integração em três dimensões entre o MNT e a imagem *Quick-Bird*. A Figura 2 apresenta duas imagens utilizadas no processo de digitalização das zonas homólogas, a da curvatura do MNT e um trecho da integração em três dimensões entre o MNT e a imagem *Quick-Bird*.

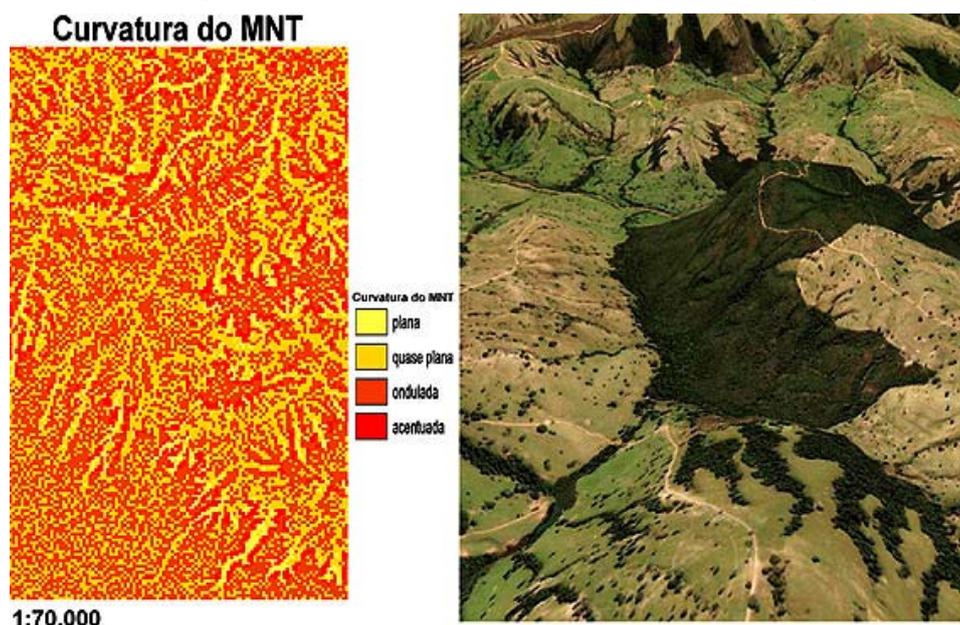


Figura 2 – Curvatura do MNT e imagem integrada *Quick-Bird*-MNT utilizadas no processo de digitalização das zonas homólogas.

A Tabela 1 apresenta sua respectiva quantidade, área e perímetro total para a área de estudo.

Tabela 1 – Áreas e perímetros das zonas homólogas determinadas para a área de estudo

| Zona Homóloga    | Quantidade de Feições | Área Total (Km <sup>2</sup> ) | Perímetro (Km) |
|------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|
| Fundo de Vale    | 65                    | 43,76                         | 402,86         |
| Vertente         | 72                    | 43,90                         | 453,99         |
| Escarpa          | 77                    | 28,18                         | 275,13         |
| Escarpa Arrasada | 30                    | 10,38                         | 110,04         |
| Platô            | 18                    | 55,86                         | 223,19         |

Observa-se na Tabela 1 que o número elevado de escarpas e vertentes aponta para uma área de intensa variação em seu relevo, com muitas declividades que servem para escoamento natural dos sedimentos transportados, por ação das chuvas, das zonas homólogas de maior altitude no terreno, os “platôs” (entre 1100 a 990 metros), para as zonas homólogas de menores altitudes, os “fundo do vale”. Observa-se também que a zona homóloga denominada “platô”, apesar de possuir o menor número de feições foi a que apresentou a maior área, indicando um relevo relativamente plano nas altas altitudes.

A Figura 3 apresenta o mapa resultante que contém as zonas homólogas da área de estudo que, no escopo metodológico mais abrangente do diagnóstico da susceptibilidade a processos erosivos, contido em Almeida et al. (2008), foi utilizado no processo de reclassificação dos temas de geomorfologia, pedologia e vegetação.

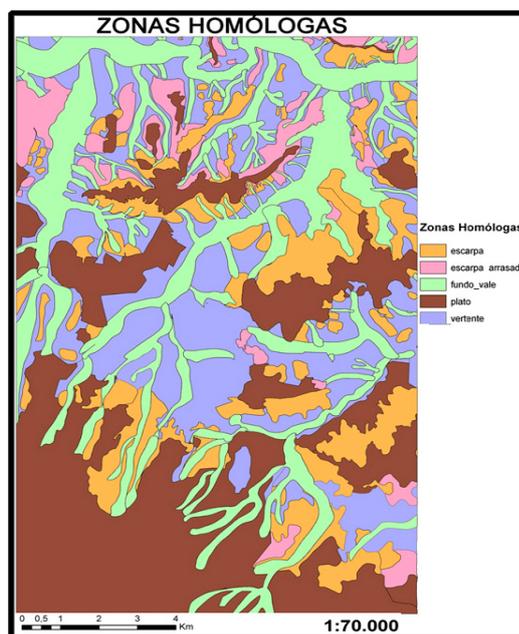


Figura 3 – Mapa de zonas homólogas para a área de estudo.

## 5.2 – Produção do mapa temático de uso do solo:

Foi produzido, então, o mapa temático de uso de solo, na situação existente em 12/09/2007, data da obtenção da imagem *Quick Bird*, com as classes temáticas definidas durante o processo de classificação da imagem (item 4.2.3). A Tabela 2 apresenta a quantidade de feições de uso do solo e área total dessas feições. Observa-se também que na Tabela 2 está associado para cada classe de uso de solo o tipo de zona homóloga presente, associação esta que é fundamental para a compreensão dos fluxos de sedimentos

transportados nas estações chuvosas que, em geral, partem dos “platôs” e são conduzidos por ação da gravidade através das “escarpas e vertentes” até os “fundos de vales”.

Tabela 2 – Classes de uso do solo para a área de estudo.

| Classe de uso do solo         | Quantidade de feições | Área Total (km <sup>2</sup> ) | Zona homóloga                          |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|--|
| Açude                         | 52                    | 0,09                          | Fundo de vale e platô                  |
| Cerradão                      | 91                    | 2,85                          | Vertentes                              |
| Mata de galeria               | 417                   | 13,55                         | Fundo de vale                          |
| Campo sujo                    | 728                   | 42,74                         | Vertentes e escarpas                   |
| Pastagem                      | 973                   | 16,98                         | Vertentes e escarpas                   |
| Cultura agrícola tipo I       | 312                   | 16,80                         | Escarpas arrasadas, vertentes e platôs |
| Cultura agrícola tipo II      | 14                    | 9,01                          | Escarpas arrasadas, vertentes e platôs |
| Cultura agrícola tipo III     | 5                     | 0,07                          | Escarpas arrasadas, vertentes e platôs |
| Solo exposto para agricultura | 864                   | 32,62                         | Escarpas arrasadas, vertentes e platôs |
| Estrada                       | 184                   | 4,98                          | Todas                                  |
| Queimada                      | 162                   | 6,13                          | Escarpas arrasadas, vertentes e platôs |
| Solo exposto                  | 1110                  | 13,69                         | Todas                                  |
| Reservatório                  | 41                    | 18,68                         | Fundo de vale e platô                  |

A Figura 4, por sua vez, apresenta o mapa temático do uso do solo para a área de estudo, obtido com a metodologia proposta, de acordo com as informações existentes em 2007.

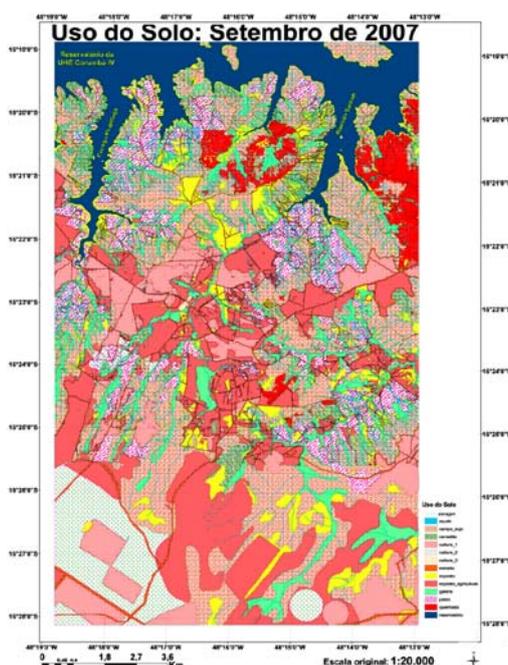


Figura 4 – Mapa temático do uso do solo para a área de estudo.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 2 e na Figura 4, a área destinada às práticas agrícolas totaliza 58,50 Km<sup>2</sup>, isto é, a soma das classes “culturas agrícolas Tipo I, II e III” e do “solo preparado para agricultura”, e é a que ocupa o maior espaço físico do uso do solo na área de estudo, ou seja, 32,8%. Essas áreas se localizam nas zonas homólogas de maior altitude, os “platôs”, mas, também, presentes nas de maior declividade, as “escarpas arrasadas e vertentes”. As “escarpas arrasadas” apresentam uma alta susceptibilidade a processos erosivos, por não possuírem mais a cobertura vegetal nativa que é a barreira natural ao transporte de sedimentos causados por ação da chuva.

Por sua vez, a área de solo exposto, a de queimadas e a ocupada pelas estradas, ou seja, as que tiveram a remoção da quase totalidade de sua cobertura vegetal, presentes em sua maioria nas zonas homólogas do tipo “escarpas arrasadas, vertentes e platôs”, juntas, ocupam um espaço físico considerável de 24,8 Km<sup>2</sup>. Essas áreas somadas às áreas destinadas às práticas agrícolas totalizam 83,3 Km<sup>2</sup>, ou seja, 46,7% da área de estudo. Por seu turno, a área de pastagem localizada nas zonas homólogas do tipo “escarpas e vertentes”, totalizou 16,98 Km<sup>2</sup>, ou seja, 9,5% da área de estudo, e também não apresenta mais a cobertura vegetal característica de cerrado, conforme constatado nos trabalhos de campo, onde se observou a presença de uma espécie de capim plantado, especialmente, para alimentação dos rebanhos bovinos.

Assim, as áreas destinadas às práticas agrícolas, as de solo exposto em geral e as destinadas à pastagem, totalizam 89 % da área de estudo. Esse elevado percentual não apresenta mais sua vegetação nativa o que, certamente, implicará em maior susceptibilidade à erosão, conforme diagnosticado em Almeida et al. (2008).

### **5.3. Conclusões:**

Os resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta, tanto na obtenção do mapa de zonas homólogas como do mapa de uso do solo, forneceram subsídios significativos para a compreensão das áreas que possuem maior potencial de susceptibilidade a processos erosivos, a serem representadas em uma carta geotécnica afim.

As transformações acarretadas por ações antrópicas na paisagem da área de estudo representam um aumento das áreas de uso do solo para atividades agrícolas mecanizadas e pastagem, que juntamente com a intensificação das queimadas e a abertura de estradas em direção ao reservatório da UHE Corumbá IV, contribuíram para a retirada considerável da vegetação nativa de cerrado existente. Essas atividades antrópicas transformadoras do uso do solo ocorreram em zonas homólogas com maiores altitudes (“platôs”) e de maiores inclinações do terreno (“escarpas e vertentes”), o que contribui para aceleração dos fluxos de sedimentos transportados, nas estações chuvosas, a partir dos “platôs” e são conduzidos por ação da gravidade, através das “escarpas e vertentes”, até os “fundos de vales”, utilizando-se a rede de drenagem das micro-bacias da região ou as estradas abertas em direção ao reservatório da UHE Corumbá IV.

### **Agradecimentos:**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional Científico e Tecnológico (CNPq) e a empresa Corumbá Concessões S.A., controladora da UHE Corumbá IV, pelo apoio à pesquisa em pauta.

### **Referências Bibliográficas:**

- Almeida, W.S; Camapum de Carvalho, J.; Souza, N.M. **Diagnóstico da vulnerabilidade ambiental a processos erosivos no entorno do reservatório da UHE Corumbá IV**. Brasília: Universidade de Brasília, 2008, 185 p. (G.PQ.GEOP – 02/2008).
- Brink, A.B.; Mabbutt, J.A. Webster, R. **Report of the working group on land classification and data storage**. Hampshire, UK: Military Experimental Establishment Report, N. 940, 1960. 97 p.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Manual do SPRING 4.1**. Departamento de Processamento de Imagens, São José dos Campos, 2004.
- Rodriguez, E.; Morris, C.S; Belz, J.E. **An assessment of the SRTM topographic products**. Pasadena, US, Technical Report JPL D-31639, Jet Propulsion Laboratory, 2005. 143 p.
- SCHOWENGERDT, R.A. **Techniques for image processing and classification in Remote Sensing**. Orlando, US: Academic Press, 1983. 248 p.