

IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DAS ÁREAS DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA CIDADE DE CORUMBÁ (MS)

IDENTIFICATION AND ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL VULNERABILITY AREAS OF THE CITY OF CORUMBÁ IN THE PARANÁ STATE, BRAZIL

Luciana Escalante Pereira

Gestora Ambiental (UFGD).

Joelson Gonçalves Pereira

Geógrafo. Doutor em Geografia Humana (USP). Professor Adjunto da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

RESUMO: Disposta sobre um sítio de topografia acidentada, a cidade de Corumbá-MS reflete a problemática engendrada pela expansão urbana no Brasil. O presente trabalho é resultado de um esforço de identificar e caracterizar as áreas de vulnerabilidade ambiental da cidade de Corumbá. O processamento e integração dos dados temáticos para mapeamento da vulnerabilidade ambiental foram realizados com o emprego do software SPRING versão 5.1.7. O emprego de sistema de informação geográfica (SIG) e a utilização da álgebra de mapas neste trabalho foram de extrema importância para facilitar o processo de identificação de áreas suscetíveis a agravos da cidade de Corumbá. A partir da classificação de vulnerabilidade ambiental da cidade e de dados do IBGE, foi possível estimar a população que se encontra inserida nas áreas de maior vulnerabilidade. A área de vulnerabilidade ambiental muito alta corresponde a 2,15% da área urbana, sendo o contingente populacional dessa região em torno de 4.375 habitantes. Enquanto a alta vulnerabilidade ambiental ocupa uma área de 8% da região urbana, respondendo por 8.368 habitantes. Em relação ao censo do IBGE de 2010 13,63% da população urbana de Corumbá está inserida em áreas de alta e muito alta vulnerabilidade ambiental.

Palavras-chave: Vulnerabilidade ambiental; Corumbá; SIG; álgebra de mapas.

ABSTRACT: Prepared on a on a site of steep topography, the city of Corumbá-MS reflects the problems engendered by urban expansion in Brazil. The present work is the result of an effort to identify and characterize the areas of environmental vulnerability of the city of Corumbá. The integration of data processing and thematic mapping of environmental vulnerability were performed with the use of version 5.1.7 software SPRING. The use of geographic information system (GIS) and use of map algebra in this work was extremely important to facilitate the process of identifying areas susceptible to damages from the city of Corumbá. From the classification of environmental vulnerability of the city and the IBGE data, it was possible to estimate the population that is inserted in the areas of greatest vulnerability. The area of very high environmental vulnerability corresponds to 2.15% of urban population, with the overall population of this region around 4,375 inhabitants. While the high environmental vulnerability occupies an area of 8% of the urban region, accounting for 8,368 inhabitants. In relation to the 2010 IBGE census 13,63% of the urban population of Corumbá is embedded in areas of high and very high environmental vulnerability.

Keywords: Environmental vulnerability; Corumbá; GIS; map algebra.

INTRODUÇÃO

A expansão urbana descontrolada e sem planejamentos que acomete as cidades brasileiras, está tornando os problemas ambientais cada vez mais recorrentes. Um dos reflexos mais significativos dessa realidade urbana brasileira é patente nos problemas relacionados ao uso e ocupação do solo, destacadamente os referentes à ocupação de áreas ambientalmente instáveis.

No Brasil, a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (BRASIL, 1979), que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, proíbe em seu art. 3º, parágrafo único, que as áreas de risco sejam loteadas para fins urbanos. Entretanto, a ocupação de áreas de riscos pela população ainda representa um grande problema para o poder público e para a sociedade.

As diversas alternativas de uso e ocupação do solo em diferentes terrenos, sejam observados em macro ou micro-escala, podem induzir, direta ou indiretamente, a desastres ou situações indesejáveis ao ser humano. Elas costumam alterar a dinâmica da paisagem, modificando a capacidade do meio em responder aos processos naturais. Se por um lado não é possível evitar determinadas forças e fenômenos da natureza, por outro, pode-se modificar, para melhor, as formas como as intervenções humanas atuam na paisagem.

O uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) representa uma ferramenta muito ágil para análises de uso e ocupação do solo, vegetação, geomorfologia, etc., que juntamente dão base a um estudo de vulnerabilidade ambiental. O emprego de tecnologias SIGs, voltado para estudos de cunho ambiental, auxilia na análise fácil e ágil quanto à vulnerabilidade do local mediante ação humana ou até mesmo diante das mudanças naturais ocorridas no próprio ambiente, permitindo o planejamento adequado para áreas de risco ambiental.

No contexto de vulnerabilidade, a análise de vulnerabilidade ambiental permite avaliar a fragilidade de sistemas ambientais frente a determinadas pressões. Essa informação é útil no planejamento ambiental, possibilitando identificar regiões onde a degradação ambiental resultante de uma dada ação tem potencial de causar maior impacto e desenvolver programas visando à redução das fontes de pressão (EMBRAPA, 2010).

Disposta sobre um sítio de topografia acidentada, a cidade de Corumbá-MS reflete a problemática engendrada pela expansão urbana no Brasil. Nela, um projeto de arruamento simétrico e quadriculado que acompanhou seu processo de expansão, incluiu quarteirões inteiros em áreas de fundo de vale e sobre as encostas íngremes dos morros que cercam sua periferia. Como conseqüência, a repetição anual dos alagamentos em áreas mal drenadas e nos quarteirões cortados por antigos talwegues, assim como a suscetibilidade de enxurradas em fundos de vale urbanizados e de queda de blocos em áreas de encosta, requer, atualmente, um esforço na constituição de recursos técnicos de apoio ao planejamento e gestão ambiental dessas áreas de vulnerabilidade.

Neste sentido, o presente trabalho constituiu num esforço de identificar e caracterizar as áreas de vulnerabilidade ambiental da cidade de Corumbá. Baseando-se no

conceito de estabilidade de unidades geoambientais e no princípio de análise ecodinâmica de Tricart (1977), adaptado por Costa *et al.* (2006), foi possível produzir, como resultado de uma análise espacial, uma carta de distribuição das classes de vulnerabilidade ambiental na área estudada, bem como, com base em dados censitários, estimar a população estabelecida em áreas de maior instabilidade, informações que constituem num importante subsídio à tomada de decisão por parte dos gestores públicos, sobretudo quanto ao planejamento e gestão ambiental das áreas suscetíveis a agravos ocasionados por escoamento superficial e movimentos de massa.

Objetivo

O presente trabalho teve o propósito de identificar e caracterizar as áreas de vulnerabilidade ambiental da cidade de Corumbá-MS, através de técnicas de geoprocessamento, como subsídio ao planejamento ambiental urbano.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A cidade de Corumbá está localizada na porção noroeste do estado de Mato Grosso do Sul (MS), sob a coordenada de referência latitude $19^{\circ}00'33''$ Sul e longitude $57^{\circ}39'12''$ Oeste, estando a uma altitude média de 118 metros (**figura 1**). Seu perímetro urbano abrange uma área de 43 quilômetros quadrados, sendo sua população composta por 103.206 habitantes (IBGE, 2000).

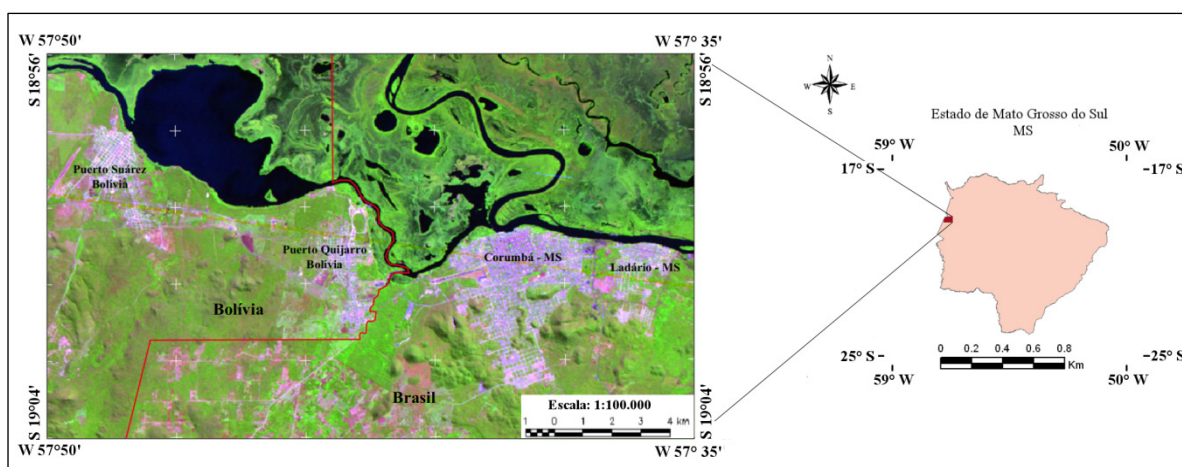


Figura 1 - Localização da cidade de Corumbá na fronteira Brasil-Bolívia.

No aspecto geológico, são identificadas duas unidades litoestratigráficas na área urbana de Corumbá: o Grupo Corumbá e Formação Pantanal. O Grupo Corumbá é representado pela Formação Bocaina com predominância de calcários dolomíticos, e Formação Tamengo, unidade de topo, em que predominam calcários calcíticos e é abundante o conteúdo fossilífero. O conteúdo fossilífero permite colocar o Grupo Corumbá na unidade geocronológica Neoproterozóico.

Segundo o levantamento geológico realizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2001), a formação Pantanal é formada por depósitos areno-argilosos continentais (fluviais, lacustres e/ou fluvio-lacustres) com a deposição iniciada com a abertura da “Depressão do rio Paraguai” e que continua até o presente. Correa *et al.* (1976) subdividiram a Formação Pantanal em três unidades, representadas pelos símbolos Qp1, Qp2 e Qp3 que tem sua litologia descrita como: Qp1- Sedimentos areno-conglomeráticos semi-consolidados; Qp2- Sedimentos argilo-arenosos semi-consolidados; Qp3- Sedimentos areno-argilosos semi-consolidados. Sendo que a mais antiga Qp1 representa a planície aluvial antiga, com sedimentos de natureza arenosa e conglomerática; a segunda, Qp2, aflorante nas zonas alagáveis do pantanal, mais argilosa; e a terceira, Qp3, é restrita às calhas dos principais drenos da planície, sendo predominantemente areno-argilosa.

Na área há o predomínio de solos litólicos, rasos, pouco desenvolvidos, de textura argilosa e de baixíssima porosidade, os quais acabam por impor severas limitações ao seu potencial de infiltração, condicionando um maior escoamento superficial das águas pluviais (MONTEIRO, 1997). A **figura 2** representa a espacialização das classes de geologia presentes na área urbana de Corumbá, utilizando por base documento da CPRM desenvolvido através do Projeto Corumbá (Carta Geológica - Folha Corumbá, 1998).

A geomorfologia da cidade pode ser descrita em nível de quarto, quinto e sexto táxon, conforme sistema de classificação topográfica proposta por Ross (1992). No sistema de classificação de Ross a representação geomorfológica foi apresentada em seis níveis taxonômicos têmporo-espaciais, tendo por principio a dimensão das formas na perspectiva tridimensional (tamanho, gênese e idade). Sendo a taxonomia representada da seguinte maneira: 1° táxon - Unidades morfoestruturais; 2° táxon – Unidades morfoesculturais; 3° táxon – Unidades morfológicas ou Padrões de formas semelhantes; 4° táxon – Tipos de formas de relevo; 5° táxon – Tipos de vertentes; e 6° táxon – Formas de processos atuais.

Para tanto, foram empregados dados de declividade gerados a partir de modelos digitais de elevação fornecidos por dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) reamostrados para 30 metros de resolução espacial e complementados por levantamentos de

campo. O processamento dos dados em sistema de informações geográficas (SIG) permitiu a identificação de seis compartimentações topográficas dominantes no sítio urbano de Corumbá, quais sejam: fundos de vale, depressões relativas, áreas pediplanares, *inselbergues*, modelado de acumulação e encosta ribeirinha.

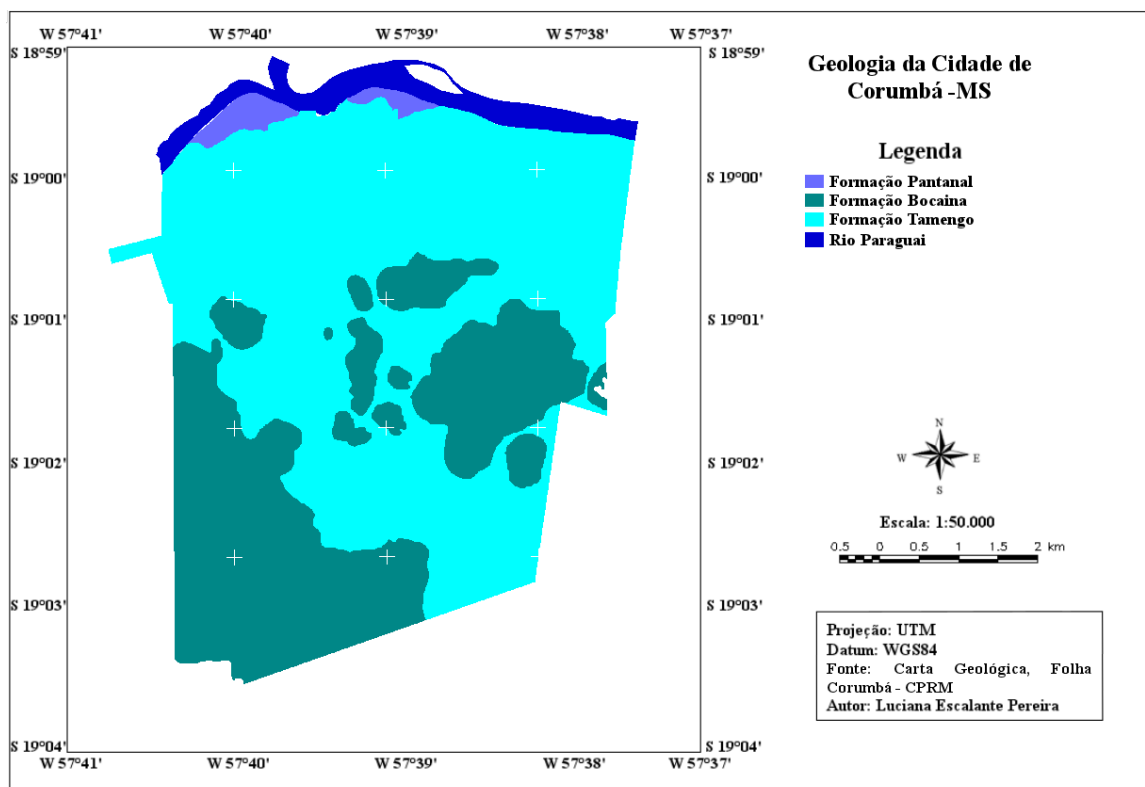


Figura 2 - Geologia da área urbana de Corumbá.

As áreas de fundo de vale correspondem a trechos sob a influência de talvegues com grau de aprofundamento de drenagem variando de médio a acentuado e que, dadas essas características são capazes de concentrar grande vazão e energia no escoamento superficial de águas pluviais.

As depressões relativas constituem locais onde o predomínio de um relevo plano, associado aos efeitos da urbanização, como a implantação de infraestrutura em nível superior à cota do terreno e a impermeabilização por áreas construídas e pavimentação, impuseram sérias limitações tanto à infiltração como à drenagem superficial da água pluvial, o que contribui para a retenção do escoamento superficial proveniente das áreas mais altas do terreno, propiciando a ocorrência de alagamentos em períodos de altas precipitações pluviométricas.

As áreas pediplanares ou pediplano constituem uma extensa superfície aplainada, com declividades inferiores a 5%, interposta entre o rio Paraguai e os *inselbergs* da Formação Bocaina (CUNHA & GUERRA, 2003).

Os *inselbergs* correspondem às elevações colinosas da Formação Bocaina, remanescentes de processos de pediplanação e pedimentação. Ocupam a porção sul da cidade, possuindo altitudes variando de 150 a 453 metros e declividades superiores a 30%.

O modelado de acumulação fluvial corresponde ao terreno aplanado ocupado pela formação Pantanal e que se estende por toda região ribeirinha da área urbana, estando submetido ao regime de cheias sazonais do rio Paraguai e canal do Tamengo.

Por fim, a encosta ribeirinha equivale ao terreno escarpado que se estende por toda orla ribeirinha da área urbana, possuindo declividade superior a 50% e altura variável de 20 a 30 metros, marcando uma transição abrupta entre as áreas pediplanares e o modelado de acumulação fluvial. O elevado gradiente de declividade associado à estrutura geológica representada predominantemente pela formação Tamengo, constituída por calcário calcítico intercalado por folhelhos e siltitos, condicionam essa unidade a uma alta suscetibilidade a erosão (figura 3).

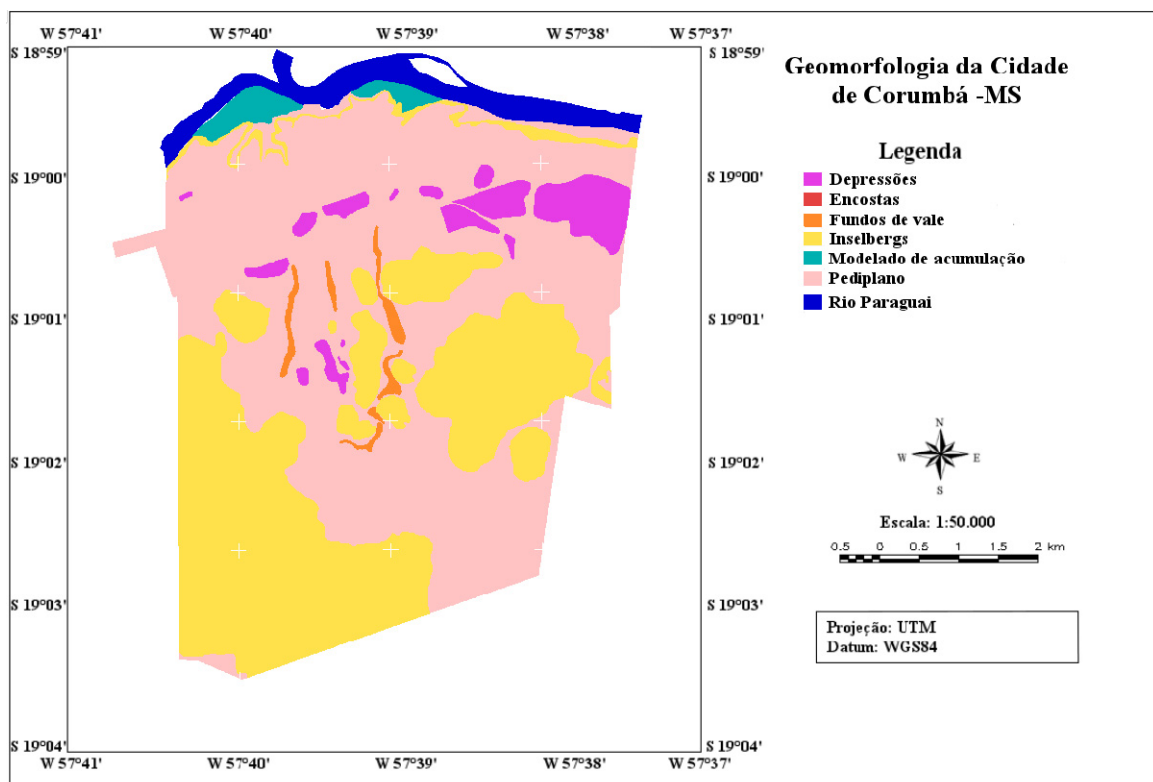


Figura 3 - Geomorfologia da área urbana de Corumbá.

Para o levantamento do uso e ocupação do solo urbano, foram empregadas imagens CBERS-2B HRC e CCD (2010), datadas, respectivamente, de março e julho de 2008, adquiridas gratuitamente através do catálogo de imagens do INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais).

O processamento dos dados de sensoriamento remoto incluiu o processo de fusão das imagens CCD e HRC, a partir da conversão IHS - RGB, possibilitando a constituição de uma imagem em composição colorida falsa cor. Em outras palavras esta técnica consiste na transformação da imagem multiespectral do sistema de cores RGB para o IHS. Neste último, as cores são representadas através de três componentes: intensidade (*Intensity - I*), matiz (*Hue - H*) e saturação (*Saturation - S*).

A fusão das imagens CCD e HRC potencializou o processo de interpretação visual, permitindo maior acuidade no procedimento de classificação dos padrões de uso e ocupação do solo urbano. A aplicação desta técnica permitiu o mapeamento em escala de detalhe compatível com levantamentos na área urbana de Corumbá.

No processo de fusão de imagens é necessário que o tamanho do pixel de todas as imagens envolvidas no processo seja o mesmo. Sendo assim, a imagem CCD foi processada para que o tamanho do seu pixel fosse reduzido de 20 m para 2,5 m. Segundo Fonseca, citado por Curtarelli & Arnesen (2010), através da combinação de técnicas de restauração e interpolação é possível gerar imagens com uma melhor resolução e com um menor tamanho de pixel. No presente trabalho as imagens das bandas 2, 3 e 4 do sensor CCD com resolução de 20 m foram restauradas e interpoladas para uma grade com pixels de 10 m. Em seguida, foi realizada uma re-amostragem das bandas restauradas para uma grade com pixels de 2,5 m, para a qual foi utilizado o método de interpolação bi-linear.

Após tornar a imagem CCD compatível com a imagem HRC foi realizada a fusão das imagens por meio do método da Transformação IHS/RGB, o que permitiu a composição colorida em falsa cor, facilitando o processo de interpretação visual. Durante a transformação IHS-RGB a imagem intensidade foi substituída pela imagem pancromática HRC, ou seja, após a conversão de sistemas, a componente Intensidade (I) é substituída pela imagem pancromática.

Após o término da etapa de fusão de imagens, foi realizada a etapa de segmentação para poder realizar posteriormente a classificação supervisionada. A classificação supervisionada serviu como subsídio para identificação do uso e ocupação do solo no perímetro urbano da cidade.

A segmentação de imagem é um procedimento adotado antes da fase de classificação, que tenta solucionar possíveis falhas na fase de treinamento sobre a

subjetividade na aquisição do pacote de treinamento. Tradicionalmente a segmentação de imagem tem sido vista como um estágio prévio de processamento para reconhecimento ou análise. No início do processo de segmentação, a região pode ser um pixel ou um conjunto de pixels. Para o processo de segmentação foi usado o método de crescimento por regiões, utilizando-se das bandas RGB, com índice de similaridade 1 e trabalhando com o valor 5 para a área (pixels).

A classificação por regiões consiste em identificar e rotular, como uma classe, os polígonos que apresentam mesma similaridade de níveis de cinza. Para cada classe o algoritmo atribui uma cor específica. O emprego do método de classificação supervisionada, com a utilização do classificador Bhattacharrya e limiar de aceitação de 99,9%, permitiram o mapeamento semi-automático dos padrões de uso e ocupação do solo urbano. Devido à impossibilidade de distinguirem-se os corpos hídricos da imagem na área urbana, os padrões de uso e ocupação do solo foram distinguidos em três classes, a saber:

- Vegetação arbórea: predomínio de cobertura florestal densa, constituída por floresta estacional decidual submontana e que propiciam alto potencial de infiltração da água no solo, concomitante à redução do potencial de erosão laminar;
- Vegetação rasteira: áreas constituídas por terrenos baldios, vazios urbanos, capoeira, canteiros e gramados, parques e solo exposto, as quais condicionam a uma redução gradativa do potencial de infiltração da água no solo, com acréscimo nas taxas de escoamento superficial e erosão laminar;
- Áreas construídas: coberturas predominantemente ocupadas por edificações, infraestruturas, áreas pavimentadas e compactadas, as quais propiciam alto índice de impermeabilização do solo, potencializando o escoamento superficial (**figura 4**).

Mapeamento da vulnerabilidade ambiental e quantificação da população

O processamento e integração dos dados temáticos para mapeamento da vulnerabilidade ambiental foram realizados com o emprego do SIG SPRING versão 5.1.7, software desenvolvido pelo INPE. A utilização de SIGs como suporte à análise ambiental vem ganhando grande abrangência nos últimos anos. Essas ferramentas têm se mostrado muito úteis no estudo do meio ambiente, de modo que o seu emprego neste trabalho é de extrema importância para facilitar o processo de identificação de áreas suscetíveis a agravos da cidade de Corumbá.

Para a definição dos valores de vulnerabilidade aplicada às categorias temáticas mapeadas foi considerada a condição de estabilidade de cada variável classe, por sua vez definida com base no conceito de análise ecodinâmica de Tricart (1977), adaptado por

Costa *et al.* (2006). Nestes termos, a estabilidade pode ser classificada em três unidades: Estável, correspondente às variáveis onde prevalece a pedogênese; moderado, nas situações onde há o equilíbrio entre pedogênese e morfogênese; e instável, relacionados às classes temáticas em que prevalece a morfogênese. O grau de vulnerabilidade, ou peso atribuído a cada variável/classe foi expresso pelo seu nível de estabilidade, por sua vez, relacionado aos processos ecodinâmicos dominantes (**quadro 1**).

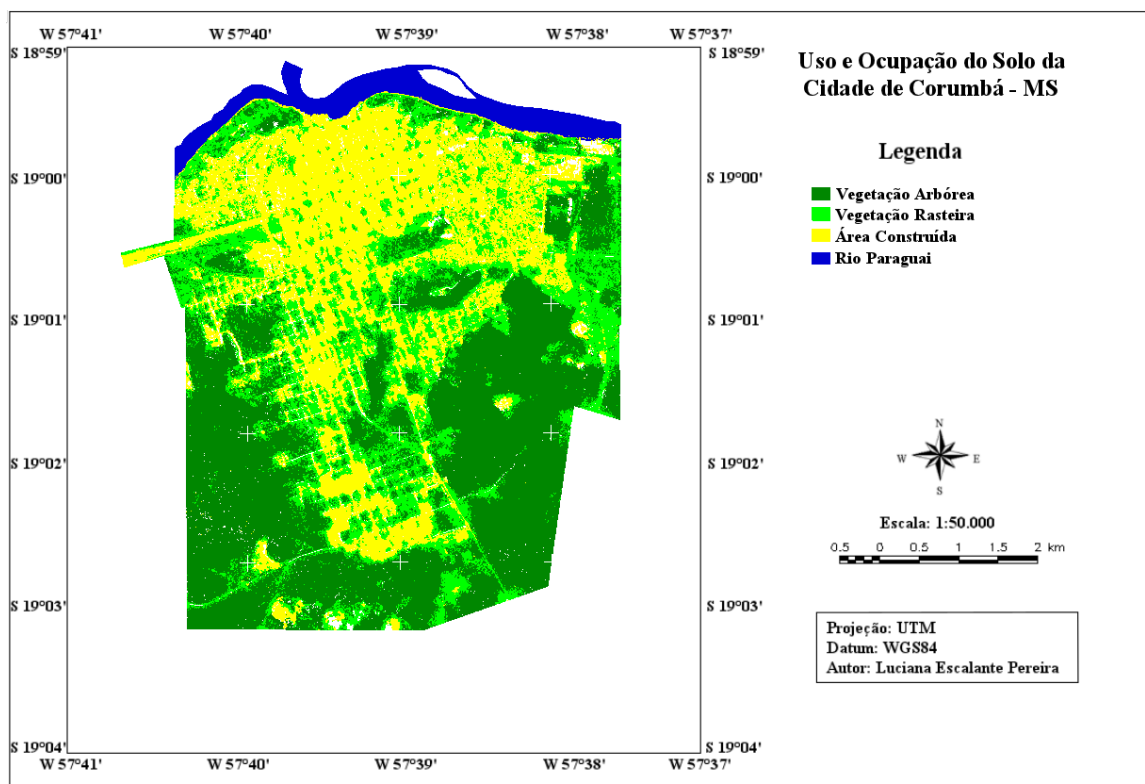


Figura 4 - Uso e ocupação do solo urbano na Cidade de Corumbá, ano 2010.

Com o emprego da Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) do SPRING, utilizada para operações de álgebra de mapas, foi feito o cruzamento de informações das categorias temáticas geologia e geomorfologia, o que permitiu a geração do contexto da vulnerabilidade natural, sendo classificada em: alta, média, e baixa vulnerabilidade.

O termo "Álgebra de Mapas" é utilizado na literatura de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para denotar o conjunto de operadores que manipulam campos geográficos (imagens, mapas temáticos e modelos numéricos de terreno).

Muitas implementações de álgebra de mapas pressupõem a existência de um modelo de dados adicional que pode ser chamado Booleano, por sua natureza binária.

Resultados de operações booleanas são os campos obtidos a partir da comparação entre valores locais de outros campos quantitativos ou qualitativos, baseados em relações de ordem ou igualdade.

Processos ecodinâmicos dominantes	Categoria morfodinâmica	Grau de vulnerabilidade	Variáveis temáticas relacionadas		
			Geologia	Geomorfologia	Uso do solo
Pedogênese	Estável	1	Formação Bocaina	Pediaplano	Predomínio de cobertura florestal
Equilíbrio pedogênese/morfogênese	Moderado	2	Formação Pantanal	Depressões relativas; Modelado de acumulação	Predomínio de vegetação rasteira
Morfogênese	Instável	3	Formação Tamengo	<i>Incelbergs</i> (terrenos colinosos); Encostas; Fundos de vale;	Predomínio de área construída

Quadro 1 - Avaliação das categorias morfodinâmicas Fonte: Adaptado de Costa *et al.* (2006) e modificado de Tricart, (1977).

Com base no mapa de vulnerabilidade natural, foi realizado um segundo cruzamento com os dados de uso e ocupação do solo. O resultado do segundo cruzamento gerou os dados de vulnerabilidade ambiental da área, a partir dos aspectos geológico-geomorfológicos e de uso e ocupação da área de estudo. A vulnerabilidade ambiental foi quantificada em cinco classes: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. A **figura 5** representa a linguagem computacional (LEGAL) utilizada no cruzamento da categoria vulnerabilidade natural com uso e ocupação do solo.

A partir da classificação de vulnerabilidade ambiental da cidade e de dados do IBGE, foi possível estimar a população que se encontra inserida nas áreas de maior vulnerabilidade, conforme metodologia proposta por Jensen (2009). Para tanto, recorreu-se aos dados de média de moradores por domicílios, em nível de bairro, disponibilizado pelo censo IBGE 2000, os quais uma vez aplicados à quantificação dos imóveis em cada polígono de vulnerabilidade permitiram estimar o contingente populacional mais suscetível a agravos ambientais em relação ao total da população urbana de Corumbá, considerando o Censo 2000.

```

1 | {
2 | //Definindo as variáveis e suas categorias
3 | Tematico vulnerabilidade2("vulnerabilidade2"), usosolo("usosolo"), usogeo("usogeo");
4 |
5 | //Recuperando planos
6 | usosolo=Recupere (Nome = "usosolo");
7 | vulnerabilidade2=Recupere (Nome = "vulnerabilidade2");
8 |
9 | //Criando novo plano
10 | usogeo=Novo(Nome="usogeo", ResX=20, ResY=20, Escala=20000);
11 |
12 | //Definindo as relações entre classes
13 | usogeo = Atribua (CategoriaFim = "usogeo")
14 | {
15 |     "vulne_muitoalta": (vulnerabilidade2.Classe == "alta" && usosolo.Classe == "area_constr"),
16 |     "vulne_alta": (vulnerabilidade2.Classe == "alta" && usosolo.Classe == "veg_rasteira"),
17 |     "vulne_alta": (vulnerabilidade2.Classe == "media" && usosolo.Classe == "area_constr"),
18 |     "vulne_media": (vulnerabilidade2.Classe == "alta" && usosolo.Classe == "veg_arb"),
19 |     "vulne_media": (vulnerabilidade2.Classe == "media" && usosolo.Classe == "veg_rasteira"),
20 |     "vulne_baixa": (vulnerabilidade2.Classe == "media" && usosolo.Classe == "veg_arb"),
21 |     "vul_muitobaixa": (vulnerabilidade2.Classe == "baixa" && usosolo.Classe == "veg_arb"),
22 |     "vulne_media": (vulnerabilidade2.Classe == "baixa" && usosolo.Classe == "area_constr"),
23 |     "vulne_baixa": (vulnerabilidade2.Classe == "baixa" && usosolo.Classe == "veg_rasteira")
24 | };
25 | }

```

Figura 5 - Programação em LEGAL do Spring, aplicado na álgebra de mapas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da vulnerabilidade ambiental urbana

O mapeamento do uso e ocupação do solo permite demonstrar espacialmente o atual estágio da pressão antrópica/demográfica presente no sítio urbano. Além disso, evidencia as limitações da cidade em se expandir em todas as direções do seu perímetro, em função de fatores geofísicos representados, sobretudo, pelo rio Paraguai e modelado de acumulação fluvial ao norte, depressões relativas a leste e pelos terrenos colinosos da formação Bocaina (*inselbergs*) a sul e oeste. A pressão da expansão urbana, verificada nas últimas décadas, sobretudo em direção às colinas da formação Bocaina, vem permitindo a ampliação da condição de vulnerabilidade para demais áreas da cidade.

A integração das categorias temáticas indica como vulnerabilidade muito alta as áreas correspondentes a encostas ribeirinhas desenvolvidas sobre a formação Tamengo, assim como os *inselbergs* da formação Bocaina e os fundos de vale ocupados por área construída. A condição de vulnerabilidade dessas áreas está associada a suscetibilidades a agravos relacionados a movimentos de massa e enxurradas (figura 6).

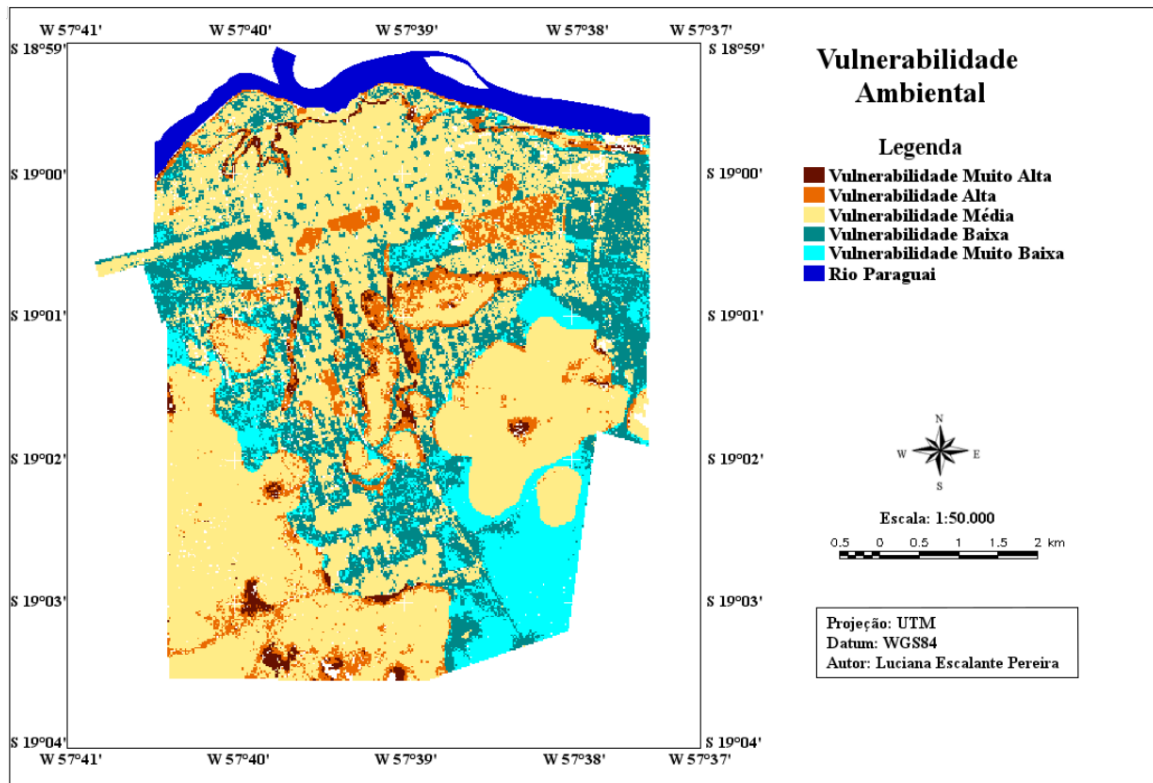


Figura 6 - Vulnerabilidade ambiental da área urbana de Corumbá, ano 2010.

As áreas de vulnerabilidade alta são representadas predominantemente pelas depressões relativas da formação Bocaina coincidentes aos locais com predomínio de áreas construídas, sendo relacionadas às áreas suscetíveis a alagamentos, em função da deficiência do escoamento superficial, agravado pela ausência de infraestrutura de drenagem. Esta mesma classe de vulnerabilidade aparece associada à classe de uso área construída verificadas sobre a formação Bocaina, estando a vulnerabilidade, neste caso, relacionada à suscetibilidade a quedas de blocos soltos existentes nas encostas dos morros.

As áreas de média vulnerabilidade correspondem à classe mais expressiva presente na cidade. Corresponde aos locais com predomínio de áreas construídas localizadas sobre as áreas pediplanares. Estendem-se pela porção norte e central da cidade, onde coincidem com a área urbana consolidada. Na porção sul as áreas de média vulnerabilidade encontram-se predominantemente associadas aos terrenos colinosos da formação Bocaina (*inselbergs*), recobertos pela vegetação arbórea constituída pela floresta estacional decidual submontana.

As áreas classificadas como vulnerabilidade baixa e muito baixa estão relacionadas às áreas com predomínio de vegetação arbórea e rasteira que recobrem áreas pediplanares da formação Tamengo. Constituem as áreas de maior estabilidade do sítio urbano, ocupando, predominantemente, as áreas mais periféricas correspondentes aos

segmentos da área urbana não consolidada. A taxa de ocupação em hectares e porcentagens das áreas de vulnerabilidade ambiental para a cidade de Corumbá é apresentada no **quadro 2**.

Vulnerabilidade ambiental	Área (ha)	(%)
Muito baixa	459,61	11,15
Baixa	829,36	20,7
Média	2.328,61	58
Alta	323,55	8
Muito alta	85,94	2,15
TOTAL	4.027,07	100

Quadro 2 - Extensão das classes de vulnerabilidade na cidade de Corumbá.

Estimativa populacional das áreas de maior vulnerabilidade

Apesar da classe de vulnerabilidade muito alta ocupar uma área correspondente a apenas 2,15% do território urbano, esta dispõe de uma expressão demográfica significativa, em função de sua alta concentração populacional composta por 4.375 habitantes residentes em áreas de elevada instabilidade geofísica associadas à suscetibilidade a enxurradas e movimentos de massa. Este contingente, que representa 5,07% da população urbana encontra-se distribuído em nove bairros, a saber: Aeroporto, Arthur Marinho, Beira Rio, Centro América, Generoso, Jardim dos Estados, Nossa Senhora de Fátima, Nova Corumbá, Popular Nova, e Popular Velha.

A estimativa populacional correspondente aos 8% do território urbano identificado como de alta vulnerabilidade ambiental, predominantemente associado a terrenos suscetíveis a alagamentos, é de 8.368 pessoas, o que equivale a 9,71% da população urbana. Esta população encontra-se distribuída em 15 bairros da cidade: Aeroporto, Arthur Marinho, Beira Rio, Centro, Centro América, Cristo Redentor, Dom Bosco, Generoso, Guarani, Jardim dos Estados, N. Sra. de Fátima, Nova Corumbá, Popular Nova, e Popular Velha. A **figura 7** apresenta os bairros de vulnerabilidade alta e muito alta.

Segundo dados do IBGE a população urbana de Corumbá no ano 2000 era de 86.144, e em 2010 de 93.452. A média e o percentual de população inseridas em áreas de alta e altíssima vulnerabilidade ambiental são apresentados no **quadro 3**.

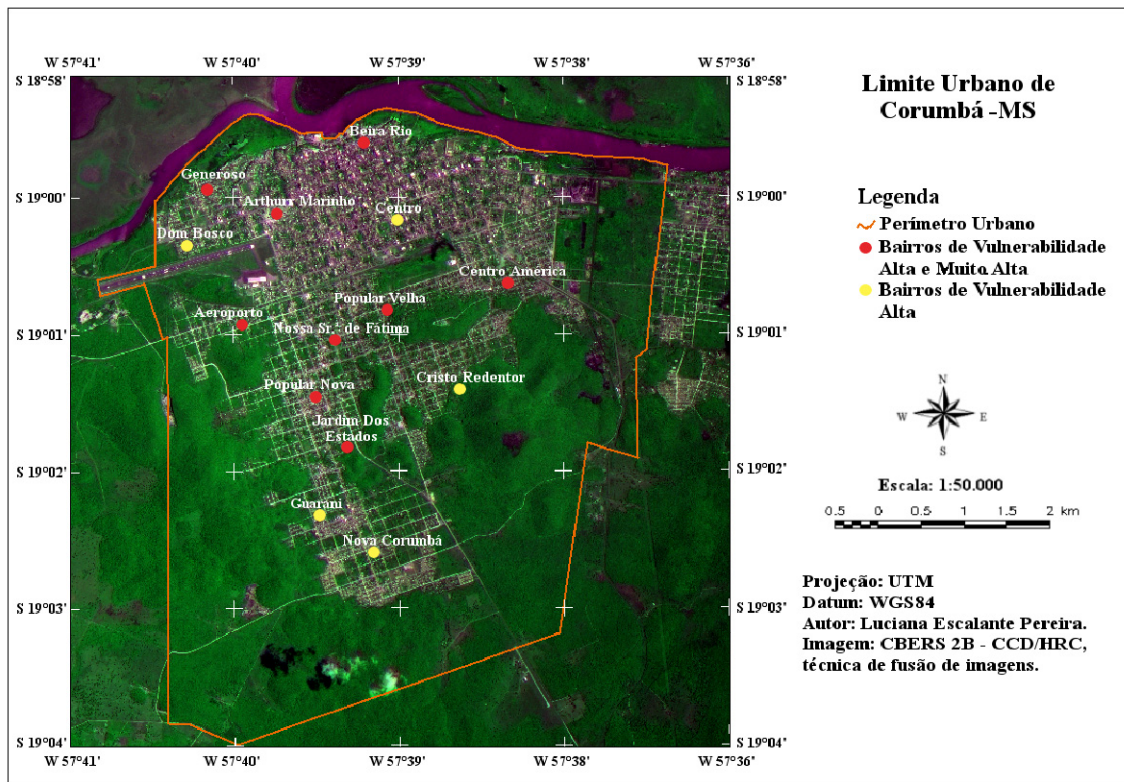


Figura 7 - Bairros da Cidade de Corumbá, com incidência de áreas de vulnerabilidade alta e muito alta, ano 2010.

Vulnerabilidade ambiental	População	(%) da população em relação ao censo 2000	(%) da população em relação ao censo 2010
Alta	8.368	9,71	8,95
Muito alta	4.375	5,07	4,68
TOTAL	12.743	14,78	13,63

Quadro 3 - Estimativa da população inserida em áreas de maior vulnerabilidade na cidade de Corumbá

Ações propositivas às áreas de vulnerabilidade

As classes correspondentes à vulnerabilidade muito alta, por constituírem terrenos altamente instáveis, são inapropriadas para a ocupação humana, em função de sua grande suscetibilidade a ocorrência de agravos ambientais. Nestas condições, um plano de ação ideal recomendado para essas áreas poderia contemplar a realocação da população estabelecida nesses locais, uma vez que a demanda de altos investimentos necessários à implantação de projetos de urbanização com vistas à redução da instabilidade e risco para os moradores residentes não seriam compensados. A melhor possibilidade é a implantação

de loteamentos urbanizados para o re-assentamento desta mesma população em outras áreas que sejam livres da condição de vulnerabilidade.

Segundo documento elaborado pelo Ministério da Integração Nacional (MI), a realocação de uma família implica em custos sociais que vão além de custos econômicos, porém deve ser efetuada visando à melhoria na qualidade de vida e oferecendo as condições mínimas para a construção de seu antigo habitat (BRASIL, 2005).

Dentro desse contexto, visando o bem estar e a segurança, a Lei Federal nº 12.608, de 10 de abril de 2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2012), tem como seu objetivo XI combater a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e de risco e promover a realocação da população residente nessas áreas.

Como parte dessa área de vulnerabilidade muito alta encontra-se próxima ao centro da cidade, os gestores públicos, certamente, se deparariam com a resistência da população residente quanto à eventual proposta de realocação, sobretudo em função da proximidade desses locais com os serviços e equipamentos concentrados na área central. Nesta condição, a gestão ambiental urbana pode propor, primeiramente, um programa de acompanhamento e informação, que tenha por objetivo instruir as famílias sobre o risco ambiental destas áreas. Conforme proposto na Lei nº 12.608, Art. 8º, inciso IX, compete ao município a responsabilidade de manter a população informada sobre áreas de risco e ocorrência de eventos extremos, bem como sobre protocolos de prevenção e alerta e sobre as ações emergenciais em circunstâncias de desastres.

As zonas de vulnerabilidade muito baixa se caracterizam como áreas com condições de arborização satisfatória. Nessas regiões a manutenção dessa condição natural é importante para que esta continue em seu nível de vulnerabilidade atual. O fortalecimento de instrumentos de regulamentação urbanística e de uso e ocupação do solo que possam restringir a ocupação dessas áreas, associado à eficiência da estrutura de fiscalização, permitindo maior controle social por parte do município, possibilitaria a manutenção da condição natural desses locais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da vulnerabilidade ambiental na área urbana de Corumbá com o emprego de recursos gratuitos de sensoriamento remoto e SIG permitiu evidenciar e mensurar quantitativamente a gravidade das condições de risco e insegurança habitacional em que vivem aproximadamente 12.742 moradores de áreas suscetíveis a agravos. Possibilitando por meio dessas mesmas informações geradas a tomadas de decisão, por

meio da construção de estratégias, no âmbito de planos de ação, projetos e financiamentos governamentais, que possam contribuir para a gestão, no sentido da resolução de conflitos sócio-ambientais que envolvem as áreas de maior vulnerabilidade.

A realocação das populações inseridas em áreas de vulnerabilidade muito alta é uma medida que envolve aspectos além do ambiental, mas a exposição constante da população a um alto grau de risco torna essa medida necessária. Além de que, poderia ser avaliada a possibilidade da destinação destas áreas, como áreas de parque e bosques urbanos públicos, os quais constituiriam espaços destinados à recreação e lazer da população, tais quais os modelos de parques e bosques públicos curitibanos.

O investimento em infra-estrutura seria uma premissa com vistas à redução da condição de suscetibilidade a agravos e, conseqüentemente, a melhoria da qualidade de vida da população estabelecida nas áreas de média e alta vulnerabilidade ambiental. O crescimento vertical aparece como uma alternativa de expansão na cidade.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Decreto-Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e das outras providências. **Lex: Coletânea de Legislação de Direito Ambiental**, São Paulo, p.670. Legislação Federal e marginalia.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Diretrizes ambientais para projeto e construção de Barragens e operação de reservatórios**. Brasília, DF. 2005.
- BRASIL. Lei Federal nº 12.608, de 10 de abril de 2012. **Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil**. Disponível em: <planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608>. Acessado em: 26 abr. de 2013.
- CBERS-2B, CCD/HRC – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres. Disponível em: <www.dgi.inpe.br>. Acesso em: 10 abr. 2010.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM/Minas e Energia. **Corumbá carta geológica, 1998**. Disponível em:<www.cprm.gov.br>. Acesso em: 25 maio 2011.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM/Minas e Energia. **Geologia Corumbá, 2001**. Disponível em:<www.cprm.gov.br>. Acesso em: 25 maio 2011.
- CORRÊA, J. A. *et al.* **Projeto Bodoquena – Relatório Final**. MME/DNPM/Convênio DNPM/CPRM, Goiânia, 1976.
- COSTA, F. H. S. *et al.* Determinação da vulnerabilidade ambiental da Bacia Potiguar, região de Macau (RN), utilizando sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 58/02, p. 119-127, ago. 2006.
- CUNHA, S. B., GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil**. 3ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil, 2003. 308 p.
- CURTARELLI, M. P.; ARNESEN, A. S. Fusão de imagens dos sensores HRC e CCD para a elaboração de uma carta imagem do município de Ladário, MS. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 3, 2010. Cáceres. **Anais...** EMBRAPA Informática Agropecuária/INPE, 2010. p. 858-866.

EMBRAPA Agroindústria Tropical. **Análise da vulnerabilidade ambiental**. Fortaleza, CE. 2010. 47 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA/Contagem da população 2000**. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br>. Acessado em 20 ago. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Catálogo de imagens**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/>>. Acessado em: 21 out. 2010.

JENSEN, J. R. (1949). **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestre**. Trad. sob a direção de José Carlos Neves Epiphânio. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598 p.

MONTEIRO, M. J. **Efeitos ambientais da urbanização de Corumbá-MS. 1997**. (CDU 504.064: 711.4). Dissertação (Mestrado) - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Brasília. 1997. 126 p.

ROSS, J. S. **Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo**. Rev. Geografia. São Paulo, IG-USP, p. 17-29, 1992.

SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring>. Acesso em: 10 abr. 2010.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE/Supren, 1977.

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

PEREIRA, Luciana Escalante & PEREIRA, Joelson Gonçalves. Identificação e análise das áreas de vulnerabilidade ambiental da cidade de Corumbá (MS). **Geografia (Londrina)**, Londrina, v. 21, n. 1, p. 085-101, jan./abr. 2012.
URL: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia>>

EDITOR DE SEÇÃO:

Maria del Carmen Matilde Huertas Calvente.

TRAMITAÇÃO DO ARTIGO:

✓ Recebido em 08/11/2011.

✓ Aceito para publicação em 17/05/2013.

