



## Vulnerabilidade Natural e Ambiental da Bacia Hidrográfica Rio Formoso, Mato Grosso do Sul Natural and Environmental Vulnerability of the Rio Formoso Watershed, Mato Grosso do Sul

Hugo Teruya Junior<sup>1</sup>; Giancarlo Lastoria<sup>1</sup>; Liliane Candida Correa<sup>1</sup>;  
Fabrício Bau Dalmas<sup>2</sup> & Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais.  
Avenida Costa e Silva, s/n - Cidade Universitária, Campo Grande - MS, 79070-900.

<sup>2</sup> Universidade UNG. Programa de Mestrado em Análise Geoambiental. Praça Tereza Cristina, nº239, Guarulhos – SP, 07023-070  
E-mails: teruyajunior@gmail.com; g.lastoria@ufms.br; lilycorrea@gmail.com; fdalmas@prof.ung.br; antonio.paranhos@pq.cnpq.br

Recebido em: 02/10/2017      Aprovado em: 17/06/2018

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2018\\_2\\_41\\_50](http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_41_50)

### Resumo

A evolução das técnicas de sensoriamento remoto possibilitou analisar grandes regiões com custos relativamente baixos e alto grau de confiabilidade. Essa ferramenta foi aplicada na Bacia Hidrográfica do rio Formoso, Mato Grosso do Sul, com a elaboração dos Mapas de uso e cobertura do solo dos anos de 1989 e 2005. Neste período constatou-se, principalmente, um aumento das áreas destinadas à agropecuária e o declínio do Cerrado. De posse dos Mapas de Uso e Ocupação do Solo foi possível, juntamente a outras informações da área (geologia, geomorfologia e associação de solos), elaborar Mapas de Vulnerabilidade Natural e Ambiental dos anos de 1989 e 2005, com dois diferentes enfoques, definidos aqui como conservacionista e erosivo. Embora não se possa dizer qual enfoque é genericamente mais adequado para os estudos ambientais, pode-se constatar que o enfoque erosivo se mostrou consoante com as alterações de uso e ocupação do solo, relacionando de forma direta o crescimento das áreas desmatadas com o aumento da vulnerabilidade, melhor traduzindo assim as preocupações que esta mudança pode trazer nas características ambientais da região. **Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto; Uso e ocupação do solo; Álgebra de mapas

### Abstract

The evolution of the techniques of remote sensing has made possible to analyze greater regions with low cost and also high level of accuracy. This technology has been applied at the Watershed of Formoso River (State of Mato Grosso do Sul) in the elaboration of the landuse maps from 1989 and 2005. In this period has been observed an increase of the surface destined to grazing and agriculture and also the deforestation of the Biome Cerrado. Using the land use maps and other information about the area (such as geology, geomorphology and soil association) it has been elaborated the Maps of Natural and Environmental Vulnerability of 1989 and 2005 with the conservationist and the erosive approaches. Although it is not possible to affirm which approach is more suitable to the environment studies, it has been possible to observe that the erosive approach became more adequate to identify modifications on the land use, demonstrating a direct relationship between the growing of deforestation and the increasing of the vulnerability, so better translating the worries that these changes can bring to the environmental characteristics of the region. **Keywords:** Remote Sensing; Land use; Maps algebra

## 1 Introdução

A partir da década de 1970, o sensoriamento remoto possibilitou o monitoramento da dinâmica ambiental de uma região, permitindo o acompanhamento, de modo mais eficiente, da evolução dos processos antrópicos através de análises multitemporais. O uso desta ferramenta com base na análise de imagens de sensores orbitais é um dos meios que se dispõe atualmente para acelerar e reduzir custos dos mapeamentos ambientais, bem como na detecção e quantificação das mudanças ocorridas nesse meio (Grigio, 2003).

Já em 2004, o avanço dessas ferramentas ganhou grande destaque na mídia internacional quando a conceituada revista *Nature* (Gewin, 2004) afirmou que o grupo formado pelas geotecnologias, nanotecnologias e biotecnologias eram as áreas do conhecimento que mais cresciam mundialmente. Desde então, o que se viu foi apenas a confirmação e intensificação dessa afirmação (Paranhos Filho *et al.*, 2008).

A proposta desse trabalho foi de aplicar as técnicas de sensoriamento remoto na Bacia Hidrográfica do rio Formoso (BHRF), efetuando a classificação da cobertura do solo nos anos de 1989 e 2005 e a elaboração de Mapas de Vulnerabilidade Natural e Ambiental. A BHRF constitui um sistema hidrológico único, com rios subterrâneos, sumidouros e ressurgências, associados a rochas calcárias. Seus minerais solúveis, principalmente a calcita, possibilitam que as águas permaneçam límpidas mesmo em dia de muita chuva por não apresentarem impurezas, como argilas, que poderiam turvar a água (BEHR, 2001). O resultado pode ser contemplado pelo grande número de atrativos turísticos, com beleza cênica que encantam turistas e move a economia local. Seu principal rio, que dá o nome à bacia, cobre uma área de drenagem de aproximadamente 136.000 hectares e faz parte do Complexo da Serra da Bodoquena.

Além dos aspectos socioambientais do turismo, corrobora também para a importância ambiental da BHRF a sua ligação com importantes Unidades de Conservação e pontos turísticos, como o Parque Nacional da Serra da Bodoquena, o Monumento Natural do rio Formoso, a Gruta do Lago Azul (declara-

da pela Unesco como Patrimônio Natural da Humanidade) além de diversas Reservas Particulares do Patrimônio Nacional (RPPN).

O conceito de Vulnerabilidade Ambiental adotado por este trabalho é o definido por Tagliani (2003) como “a maior ou a menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer”. Toda ação que modifique o estado natural do meio, como alguns tipos de uso do solo (desmatamento, corte de barrancos e disposição inadequada de resíduos sólidos no solo), podem resultar, de acordo com as características locais aliadas à intensidade desta ação, numa grandeza de efeitos adversos, ao que se chama de vulnerabilidade (KLAIS, 2012).

Entende-se por vulnerabilidade ambiental, a suscetibilidade maior ou menor de pessoas, lugares, infraestruturas ou ecossistemas de sofrerem algum tipo de risco, perigo ou agravo. Segundo Rebelo (2005) apud Klais *et al.* (2012), a vulnerabilidade ambiental exprime o grau das consequências previsíveis geradas por um fenômeno natural e que podem afetar um alvo. Caracteriza-se pelo potencial da paisagem em absorver impactos.

Cunha *et al.* (2013) define que a vulnerabilidade se mede pela estimativa dos danos potenciais e exprime a capacidade de resistência das pessoas, lugares, infraestruturas ou ecossistemas diante de um perigo ou processo. De acordo com Grigio (2008) a vulnerabilidade natural mostra a predisposição do ambiente frente a fatores ambientais.

Carrijo (2005) diz que por conta dos distúrbios provocados nos ecossistemas, deve-se ampliar a base de informações buscando técnicas e instrumentos que reduzam custos e tempo para o reconhecimento de pontos vulneráveis. Tais pontos podem ser monitorados através de importantes ferramentas como o sensoriamento remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), pois elas permitem analisar a dinâmica da cobertura vegetal e do uso do solo e associar essas transformações às condições físicas do meio e à qualidade de vida das populações locais (LORENA *et al.*, 2001).

Neste trabalho a vulnerabilidade ambiental é produto do cruzamento dos mapas de uso e ocupa-

ção do solo e da vulnerabilidade natural. A técnica empregada para cruzamento de todas estas informações foi a álgebra de mapas, operada em ambiente computacional.

A escolha do período 1989 a 2005 foi baseada em fatos econômicos. O Município de Bonito, inserido na Bacia Hidrográfica do rio Formoso, teve nesse período um crescimento no rebanho bovino, quando saltou de 237.679 cabeças para 382.330 cabeças (IBGE, 2010). Esse aumento pode ter ocasionado uma pressão nas áreas naturais, pois a maior demanda por áreas para implantação de pastagens pode ter ocasionado, em determinados locais, avanço sobre as Áreas de Preservação Permanente às margens da hidrografia.

### 1.1 Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do rio Formoso está inserida na Bacia do rio Miranda, uma das Bacias do Alto Paraguai (Figura 1). Localizada na parte central da BHRF encontra-se a sede administrativa do Município de Bonito, área de assumida vocação turística no Estado do Mato Grosso do Sul, no Brasil e mesmo internacionalmente.

O acesso rodoviário à cidade, partindo de Campo Grande, pode ser realizado pela BR-060 passando pelos Municípios de Sidrolândia, Nioaque até chegar a Guia Lopes da Laguna, num percurso de 230 km. Depois, outros 60 km pela Rodovia MS 382 até o Município de Bonito.

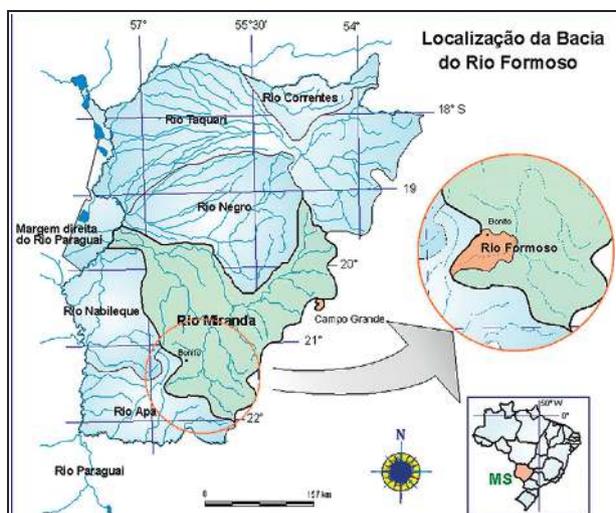


Figura 1 Localização da Bacia Hidrográfica do rio Formoso (Torres *et al.*, 2006).

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo

O par de imagens definido para a classificação foi Landsat TM, de 1989 e 2005, já georreferenciados. A estação do ano também influenciou na escolha, pois, segundo Paranhos Filho *et al.* (2016), imagens de satélites obtidas na estação seca permitem uma melhor discriminação das classes de cobertura do solo do cerrado de Mato Grosso do Sul.

O tipo de classificação adotada nas imagens foi a automática supervisionada, executada no aplicativo Erdas Imagine 9.1 (Erdas, 1999). Para a seleção das áreas de treinamento da classificação supervisionada foram tomadas como base as chaves de classificação discutidas por Paranhos Filho *et al.* (2008).

Posteriormente, essas chaves foram validadas e adaptadas para a BHRF por meio de controle de campo. Os pontos de controle levantados para a identificação da cobertura e controle do georreferenciamento da imagem podem ser visualizados na Figura 2. A legenda utilizada nas cartas de uso e ocupação do solo, elaborada a partir da imagem de 1989 e 2005, foi do Projeto Corine (CORINE, 1992; Heymann *et al.*, 1994; Paranhos Filho, 2000).

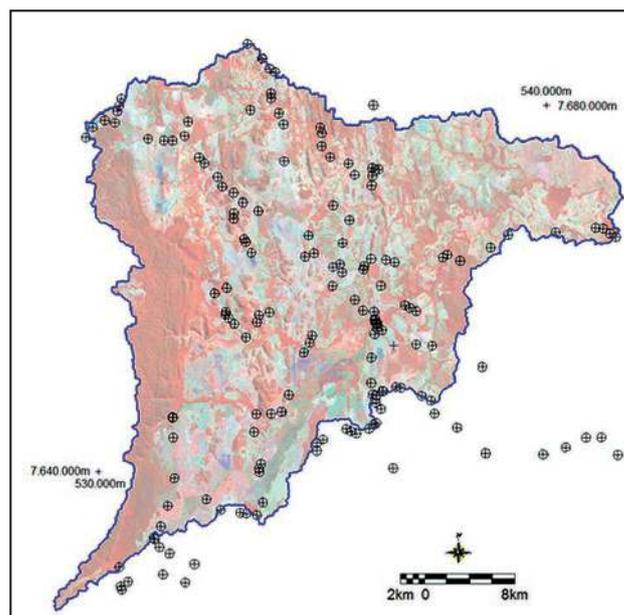


Figura 2 Pontos de controle de campo efetuados em 2006 na Bacia do rio Formoso, locados sobre a imagem Landsat de 2005.

## 2.2 Mapeamento da Vulnerabilidade Natural e Ambiental

Neste trabalho a vulnerabilidade natural foi elaborada através do cruzamento dos mapas base de geologia (Tabela 1), geomorfologia (Tabela 2) e associação de solos (Tabela 3), considerando, num primeiro momento, aspectos ligados apenas ao meio físico. Os remanescentes de vegetação e os outros tipos de coberturas identificadas no Mapa de Uso e Ocupação do Solo foram considerados quando este foi cruzado com a Vulnerabilidade Natural, dando origem assim a Vulnerabilidade Ambiental.

Uma vez georreferenciados esses mapas base, houve a inserção destes em ambiente SIG para a vetorialização e atualização dos contatos. Para as três cartas utilizou-se como base para a atualização a fotointerpretação sobre uma banda pancromática Landsat ETM+ (Landsat ETM+, 2001). De forma

Legenda	Descrição
Egi	Depressão do Rio Paraguai, Formas Erosivas: Egi (inselberg-grupamento).
Ep, Egi	Planalto da Bodoquena, Formas Erosivas: Ep (superfície pediplanada) e Egi (inselberg-grupamento) e relevos específicos de região cárstica.
c12	Planalto da Bodoquena, Formas de Dissecação: c (formas convexas).
t21	Depressão do Rio Paraguai, Formas de Dissecação: t (formas tabulares).
c23	Planalto da Bodoquena, Formas de Dissecação: c (formas convexas) e relevos específicos de região cárstica.
c21	Planalto da Bodoquena, Formas de Dissecação: c (formas convexas).
c21	Planalto da Bodoquena, Formas de Dissecação: c (formas convexas) e relevos específicos de região cárstica.

Tabela 2 Unidades de Geomorfologia presentes na BHRF (RADAMBRASIL, 1982).

Legenda	Descrição
Q2a	Depósitos aluvionares: areia, areia quartzosa, cascalho, silte, argila e localmente turfa. Ambiente deposicional continental fluvial;
Q2x	Formação Xaraiés: tufa calcária, travertino e conglomerado com cimento calcífero.
C2P1a	Grupo Itararé; Formação Aquidauana: arenito vermelho a róseo, médio a grosso, diamictito, arenito esbranquiçado, conglomerado, siltito, folhelho e arenito fino laminado, vermelho a róseo, intercalações de diamictito e folhelho de cor cinza-esverdeado. Ambiente deposicional continental, fluvial e lacustre, associação em direção ao sul da bacia, com depósitos glaciais;
NP3ced	Grupo Corumbá; Formação Cerradinho, calcário dolomítico: paraconglomerado, arcósio, arenito arcossiano, arenito com lâminas de argilito, folhelhos predominantes de domilítico. Ambiente de planície deposicional de maré litorânea, com retrabalhamento distal dos leques aluviais.
NP3bod	Grupo Corumbá; Formação Bocaina, dolomito maciço silicoso com níveis de silexito: mármore dolomítico, dolomito estromatolítico colunar a pseudo colunar, rochas fosfáticas (microfosforito, estromatólitos e laminações algáceas fosfatizadas), brecha carbonática, dolomito laminado e estratificado e <i>psoid rudstone</i> ; dolomito maciço silicoso com níveis de silexito.
NPpu	Grupo Cuiabá; Formação Puga: diamictito associado à paraconglomerado, arenito, siltito e folhelho.
NPcum	Grupo Cuiabá; Subunidade Carbonática: mármores calcíticos e dolomíticos com filitos subordinados.
NPcugqt	Grupo Cuiabá; Subunidade Psamítica: matagrauvaca e quartzitos.
NPcufiq	Grupo Cuiabá; Subunidade Pelítica: filitos quartzíticos com matagrauvas subordinadas.
NPcuqt	Grupo Cuiabá; Subunidade Psamítica: quartzito com filitos e xistos subordinados.
NPcucg	Grupo Cuiabá; Subunidade Conglomerática: quartzitos conglomeráticos e metaconglomerado.
NPcufil	Grupo Cuiabá; Subunidade Pelítica: filitos com quartzitos subordinados, além de xistos, metarenito e mármores.
NP3cec	Grupo Corumbá; Formação Cerradinho, calcário calcítico: paraconglomerado, arcósio, arenito arcossiano, arenito com lâminas de argilito, folhelho predominantes de calcário calcítico. Ambiente deposicional de planície de maré litorânea, com retrabalhamento distal dos leques aluviais.
NP3boc	Grupo Corumbá; Formação Bocaina, calcário calcítico, dolomítico, intraclástico e oolítico: mármore dolomítico, dolomito estromatolítico colunar a pseudo colunar, rochas fosfáticas (microfosforito, estromatólitos e laminações algáceas fosfatizadas), brecha carbonática, dolomito laminado e estratificado e <i>psoid rudstone</i> ; calcário calcítico, dolomítico, intraclástico e oolítico. Ambiente deposicional de plataforma marinha sujeito a <i>upwellings</i> .
NP3t	Grupo Corumbá; Formação Tamengo: calcário calcítico cinza escuro, com brecha carbonática intraformacional.

Tabela 1 Unidades de Geologia presentes na BHRF de acordo com o Projeto Radambrasil (RADAMBRASIL, 1982) e a CPRM (CPRM, 2006).

Legenda	Descrição
RZ1	Rendzina.
TSLe2	Terra Roxa Estruturada Similar Eutrófica latossólica.
RZ2	Rendzina.
REa2	Regossolo álico.
LEa8	Latossolo vermelho-escuro álico.
HGHVe	Glei húmico eutrófico vértico.
HLSe2	Laterita hidromórfica eutrófica solódica.

Tabela 3 Unidades de Associação de Solos presentes na BHRF (RADAMBRASIL, 1982).

auxiliar, foram utilizados para a geologia os Mapas no formato raster da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (CPRM, 2006) e vetor do Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai - PCBAP (PCBAP, 1997).

Uma vez constituída a base digital com os mapas necessários, houve a definição dos pesos para cada unidade temática na área da bacia. Para isto, adotou-se o conceito de vulnerabilidade ambiental de Tagliani (2003), a maior ou a menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer.

Optou-se como base a metodologia ecodinâmica de Tricart (1977). O grau de vulnerabilidade estipulado para cada classe foi distribuído em uma escala de 1,0 a 3,0. Para valores próximos a 1,0 prevalece a pedogênese, próximos a 2,0 existe um equilíbrio entre a pedogênese e a morfogênese e próximos a 3,0 prevalece à morfogênese. Este critério foi utilizado para os mapas de unidades geomorfológicas, de geologia e de associação de solos inspiradas na técnica estabelecida por Grigio (2003). A relação completa dos pesos para as unidades geomorfológicas, de geologia e de solos são apresentadas nas Tabelas 4 a 6.

Geomorfologia	Pesos
t21	1
c12	2
c23	2
c21	2
Egi	3
Ep, Egi	3

Tabela 4 Pesos atribuídos pelo grau de vulnerabilidade às unidades geomorfológicas.

A etapa da aplicação das técnicas de geoprocessamento se iniciou com a atribuição de pesos a

Geologia	Pesos	Geologia	Pesos	Geologia	Pesos
NPcugqt	1	NPcum	2	NP3t	2,5
NPcuqt	1	NPcufi	2	NP3ced	3
NPcucg	1	NP3boc	2	C2P1a	3
NPpu	1,5	NP3bod	2,5	NP3cec	3
Q2a	1,5	NPcufiqt	2,5	Q2x	3

Tabela 5 Pesos atribuídos pelo grau de vulnerabilidade às unidades da geologia.

Solos	Pesos
TSLe2	1
HGHVe	1
HLSe2	1
RZ1	2
RZ2	2
LEa8	2
REa2	3

Tabela 6 Pesos atribuídos pelo grau de vulnerabilidade às classes de solos.

cada classe dos mapas temáticos. Após a atribuição dos pesos, todos os critérios (mapas temáticos) foram padronizados na extensão Fuzzy Overlay do programa Arc GIS, versão 10 (ESRI, 2011), numa escala em byte, entre zero e um (EASTMAN, 2006). A análise multicritérios aplicada foi realizada na extensão Weighted Sum do programa Arc GIS, versão 10 (ESRI, 2011).

Num primeiro momento pode-se considerar vulnerável uma determinada área que tenha unidades importantes, no quesito biodiversidade, para serem conservadas. Nesse enfoque, denominado aqui como conservacionista, remanescentes de mata e cerrado são mais vulneráveis, conforme pode ser visto na Tabela 7.

Uso e Ocupação do Solo (Enfoque Conservacionista)	Pesos
231 – Agricultura	1
322 – Área Urbana	1
511 – Mineração	1
311 – Pastagens	1,5
211 – Área Úmida	2
512 – Rios	2,5
411 – Lagoas	2,5
112 – Mata	3
131 - Cerrado	3

Tabela 7 Pesos para o Uso e Ocupação do Solo, no enfoque conservacionista.

Todavia, um segundo ponto de vista pode interpretar como vulnerável uma área que esteja desprovida de cobertura vegetal, pois nessa situação há o favorecimento do arraste de partículas do solo, contribuindo com a erosão do terreno e em determinados casos com grandes escorregamentos. Os pesos considerando essa abordagem estão apresentados na Tabela 8.

Uso e Ocupação do Solo (Enfoque Erosivo)	Pesos
231 – Agricultura	3
322 – Área Urbana	3
511 – Mineração	3
311 – Pastagens	2,5
211 – Área Úmida	2
512 – Rios	2
411 – Lagoas	2
112 – Mata	1
131 – Cerrado	1

Tabela 8 Pesos para o Uso e Ocupação do Solo, no enfoque erosivo.

### 3 Resultados

Obtiveram-se 12 valores crescentes de vulnerabilidade natural (variando de 1,0 a 3,0). Este resultado pode ser rerepresentado com a redistribuição dos 12 valores obtidos em cinco classes distintas, variando de muito baixo a muito alto, conforme a

metodologia adotada por Grigio (2003) e Carrizo (2005). O mapa da vulnerabilidade natural pode ser visualizado na Figura 3.

Considerados os mapas de Geologia, Geomorfologia e Associação de Solos é possível observar a maior porcentagem, em área, com vulnerabilidade entre média e alta. A primeira, contemplando valores entre 1,8 e 2,2, detém mais da metade da área e o somatório com a segunda perfaz 86,1% da BHRF.

Tal qual na Vulnerabilidade Natural também foi realizado, para todos os quatro Mapas de Vulnerabilidade Ambiental (1989 e 2005 no enfoque conservacionista e 1989 e 2005 no enfoque erosivo), a redistribuição dos valores de vulnerabilidade em classes. O critério foi adotado a todos os valores resultantes do cruzamento redistribuídos em 5 intervalos: Muito Baixo (valor de vulnerabilidade entre 1 e 1,3), Baixo (entre 1,4 e 1,7), Médio (entre 1,8 e 2,2), Alto (2,3 e 2,5) e Muito Alto (entre 2,6 e 3). As Figuras 4 e 5 apresentam os Mapas de Vulnerabilidade Ambiental no ano de 1989 com o enfoque conservacionista e erosivo, respectivamente.

Na Figura 6 e 7 observam-se os Mapas de Vulnerabilidade Ambiental no ano de 2005, nos enfoques conservacionista e erosivo, respectivamente.

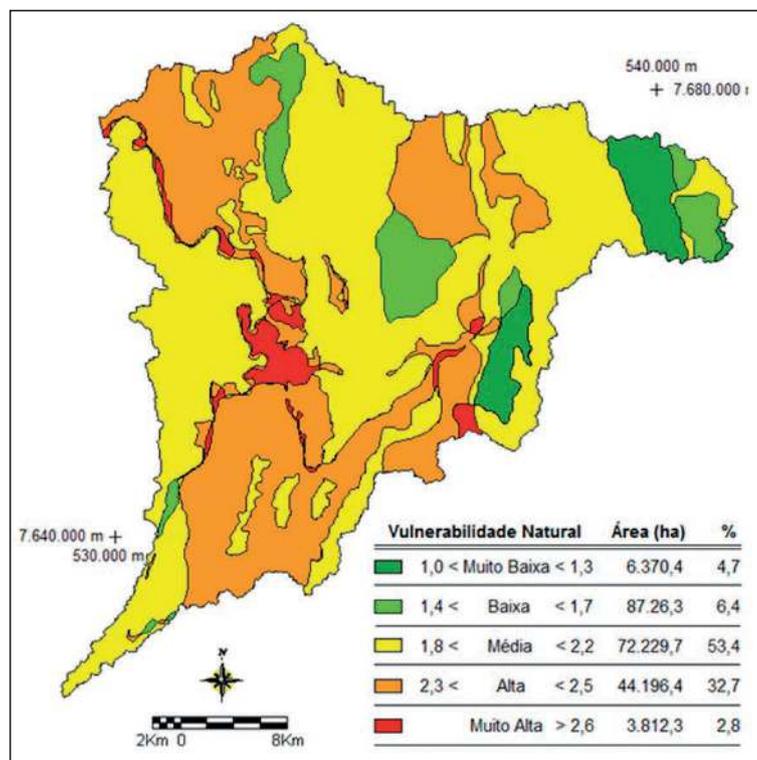


Figura 3 Mapeamento da vulnerabilidade natural da Bacia Hidrográfica do rio Formoso.

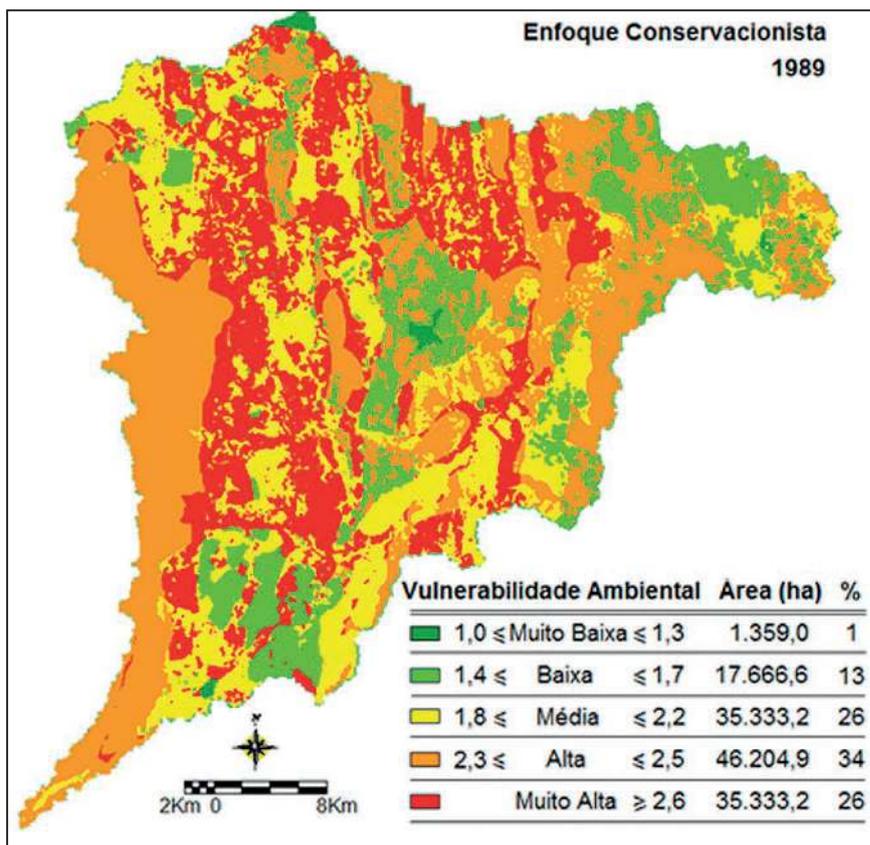


Figura 4 Vulnerabilidade Ambiental da BHRF, enfoque conservacionista (1989)

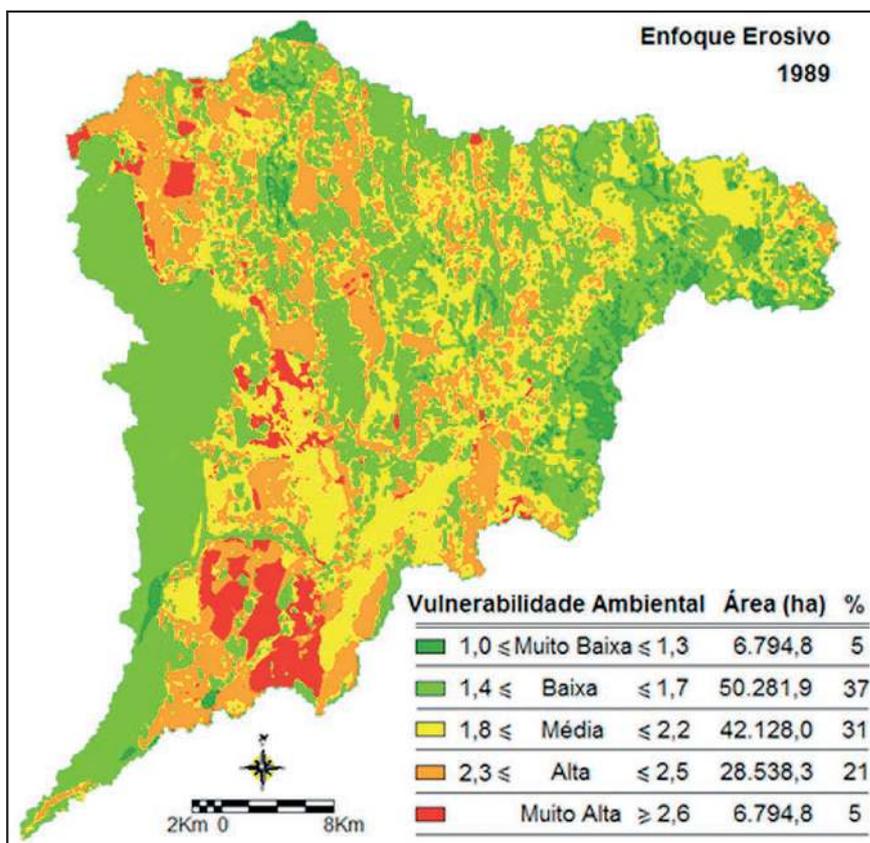


Figura 5 Vulnerabilidade Ambiental da BHRF, enfoque erosivo (1989).

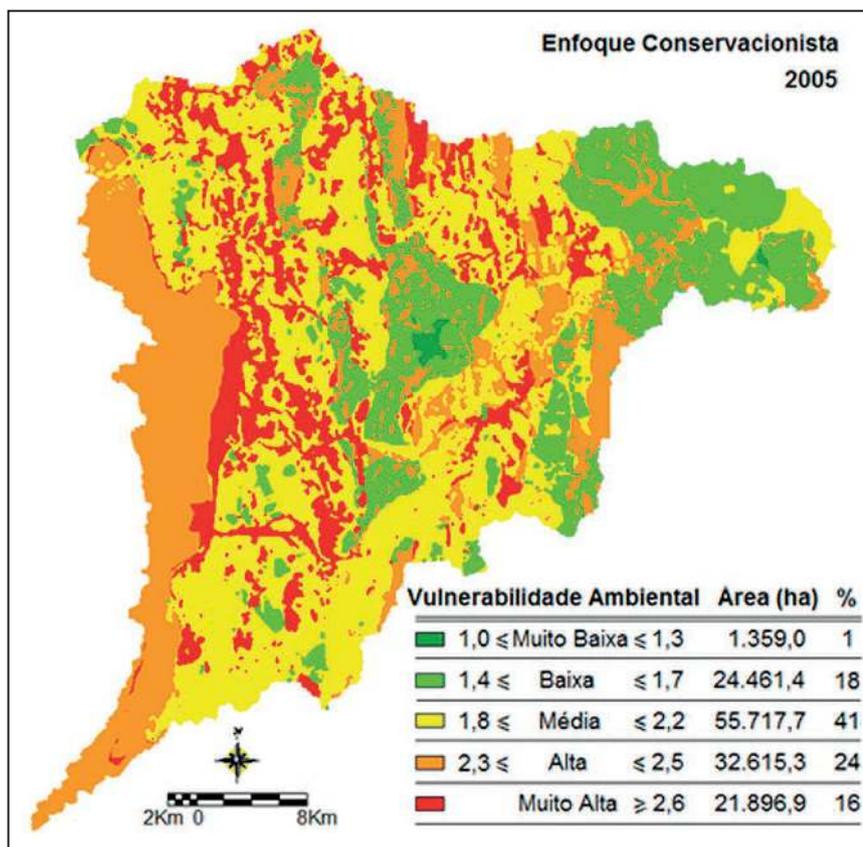


Figura 6 Vulnerabilidade Ambiental da BHRF, enfoques conservacionista (2005).

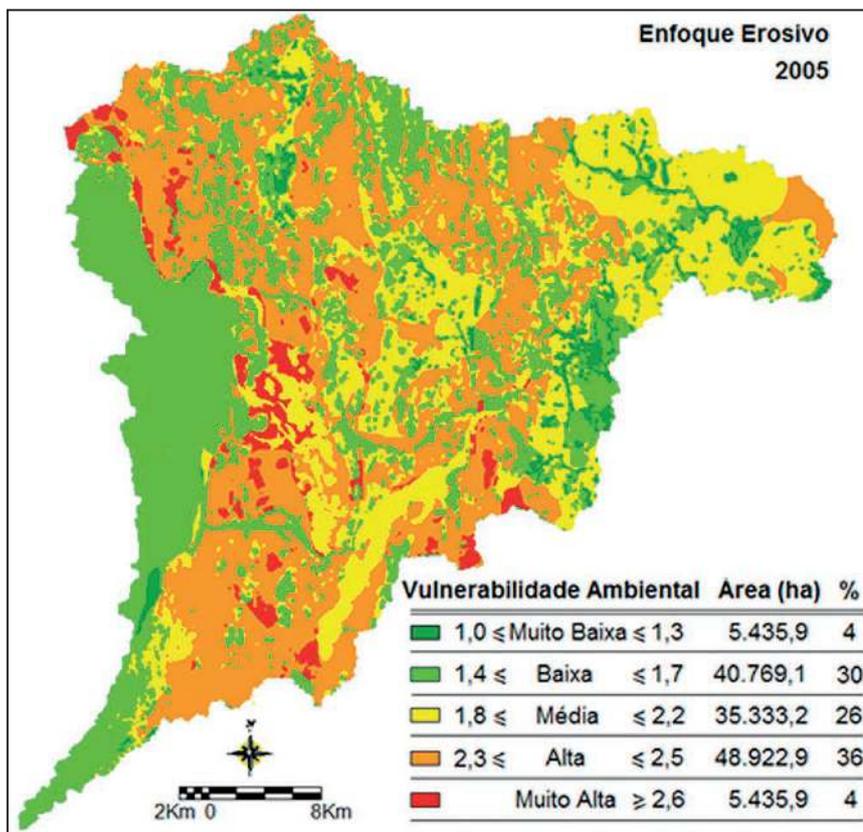


Figura 7 Vulnerabilidade Ambiental da BHRF, enfoques erosivo (2005).

Comparando os Mapas de Vulnerabilidade Ambiental obtidos com enfoques diferentes pode-se perceber facilmente a presença de resultados contrastantes no que tange a evolução da vulnerabilidade ambiental da BHRF. Pelas Figuras 4 e 6, conclui-se que as áreas classificadas com vulnerabilidades alta e muito alta, no enfoque conservacionista, diminuíram em 10%, no intervalo entre 1989 e 2005. Situação contrária pode ser verificada nas Figuras 5 e 7, com aumento de 14% nas áreas com classes de vulnerabilidades alta e muito alta, no enfoque erosivo, no período entre 1889 e 2005.

Convém ressaltar que o enfoque citado acima pode levar a falsas interpretações quando comparados dois períodos distintos da mesma região. Como, por exemplo, sobre uma melhora na bacia, já que no período 1989 - 2005 houve uma queda da vulnerabilidade alta e média (enfoque erosivo) com o aumento de áreas com vulnerabilidade baixa. Entretanto, frisa-se que deste ponto de vista a diminuição de áreas com vulnerabilidade alta é preocupante, porquanto mostra uma queda nas áreas com vegetação nativa.

Esta aparente contradição com os dados de uso e ocupação do solo, fruto de uma visualização superficial dos mapas no enfoque conservacionista, não é repetido quando consideramos vulneráveis áreas com maior disposição a sofrer ações erosivas. Consoante ao aumento de porções desmatadas no período de 1989 a 2005, temos o aumento das áreas com média e alta vulnerabilidade com o decréscimo da porcentagem de vulnerabilidade baixa.

Assim, a rápida visualização dos mapas finais 1989 – 2005, no enfoque erosivo, já demonstram que o aumento das áreas antrópicas, principalmente de pastagens, ocasionou um aumento da vulnerabilidade da área. Por isso, o enfoque erosivo aparenta combinar melhor com análises multitemporais de uso e ocupação do solo. Seus mapas finais traduzem por si só o aumento da vulnerabilidade ocasionado pela mudança da cobertura vegetal.

Contudo, a simples visualização superficial dos mapas no enfoque erosivo também pode incorrer a simplificações errôneas ao se considerar que uma área com baixa vulnerabilidade é naturalmente propícia a empreendimentos com alto potencial de-

gradante, quando na realidade esta deve continuar preservada para não passar a condição de vulnerabilidade mais elevada.

#### 4 Conclusões

Em todas as etapas deste trabalho, o uso de geotecnologias foi eficiente atendendo as expectativas quanto a sua aplicabilidade. Na classificação do uso e ocupação do solo, poucas intervenções manuais foram necessárias na classificação final, sendo todas referentes a inclusão de algumas poucas áreas destinadas a agropecuárias. Esta intervenção se fez necessária pela confusão espectral, oriunda das limitações do sensor TM em distinguir entre culturas e pastagens.

Na geração de cartas de cobertura do solo usando sensores de média resolução, o controle de campo é imprescindível, na aquisição ou adaptação das chaves de cobertura e por fim, para eliminar dúvidas causada pela confusão espectral.

Sobre a vulnerabilidade ambiental, uma vez que o termo vulnerabilidade por si não esclarece todos os aspectos do método aplicado, torna-se importante frisar a necessidade da interpretação de seus resultados de acordo com sua metodologia. Espera-se assim que distorções sejam evitadas. Ambos os enfoques utilizados aqui podem contribuir como ferramenta de suporte a tomada de decisão.

Especificamente sobre a BHRF, as alterações na cobertura do solo constatadas pelas cartas de uso e ocupação, entre os anos de 1989 e 2005 são preocupantes, principalmente, para toda a população local. O aumento intensificado das áreas destinadas a agropecuária e o decréscimo das áreas de matas e cerrado, além de diminuir a fauna e flora da bacia, pode trazer sérias consequências para os rios da região. O aumento indiscriminado dos sedimentos carregados para o leito dos rios aumenta a turbidez, prejudicando em muito a limpidez das águas que deram fama internacional a Bonito. Essa preocupação fica mais evidente no enfoque erosivo, por sua ligação direta com os dados de uso e ocupação do solo, já que o aumento das áreas desmatadas explica o aumento da vulnerabilidade entre 1989 e 2005. Por isso, dada a realidade da BHRF, o enfoque erosivo associa-se melhor com a análise multitemporal.

## 5 Agradecimentos

À Fundect-MS (Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul) pelo apoio financeiro. Ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa de A.C. Paranhos Filho (Processo 304122/2015-7).

## 6 Referências

- Behr, M.F.V. 2001. *Serra da Bodoquena: história, cultura, natureza*. Editora Free. 143p.
- Carijo, M.G.G. 2005. *Vulnerabilidade Ambiental: o caso do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais*. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande. Dissertação de Mestrado. 120p.
- Corine Land Cover. 1992. *Coordination of Information on the environment*. Commission of European Communities, Bruxelas. 163p.
- Costa, F.H.S.; Petta, R.A.; Lima, R.F.S. & Medeiros, C.N. 2006. Determinação da Vulnerabilidade Ambiental na Bacia Potiguar, Região de Macau (RN), Utilizando Sistemas de Informações Geográficas. *Revista Brasileira de Cartografia*, 58(2): 119 - 127.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil - CPRM. 2006. Mapa Geológico do Estado de Mato Grosso do Sul. Rio de Janeiro, RJ
- Crepani E.M.; Hernandez Filho J.S.; Florenzano P.; Duarte T.G. & Azevedo V. 1996. Uso de sensoriamento Remoto no Zoneamento Ecológico-econômico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Resumos expandidos. Salvador. p. 267 – 273.
- CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2006. Mapa Geológico do Estado de Mato Grosso do Sul. Rio de Janeiro, RJ.
- Cunha, E.R.; Bacani, V.M. & Ayach, L.R. 2013. Geoprocessamento aplicado à análise da fragilidade ambiental. *Revista da ANPEGE*, 9(12): 89-105.
- Eastman, J.R. 2006. *Guide to GIS and Imaging Processing: Idrisi Andes Manual*. Worcester, MA, Clark Labs of Clark University. Version 15.0.
- Erdas Inc. 1999. Erdas Imagine version 9.1. Erdas Inc Atlanta – Geórgia.
- ESRI. 2011. *Arc View version 10. Environmental Systems Research Institute Inc*. New York.
- Gewin, V. 2004. Scientists who can combine geographic information systems with satellite data are in demand in a variety of disciplines. *Revista Nature*, 427: 376 - 377.
- Grigio, A.M. 2003. *Aplicação do sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do Município de Guamaré (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera*. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Dissertação de Mestrado. 200p.
- Grigio, A.M.; Castro, A.F.; Souto, M.V.S.; Amaro, V.E.; Vital, H. & Diodato, M.A. 2006. Use of Remote Sensing and Geographical Information System in the Determination of the Natural and Environmental Vulnerability of the Municipal District of Guamaré - Rio Grande do Norte - Northeast of Brazil. *Journal of Coastal Research. Special Issue*, 39: 1427-1431.
- Grigio, A.M. 2008. *Evolução da paisagem do baixo custo do Rio Piranhas-Assu (1988-2024): Uso de autômatos celulares em modelo dinâmico espacial para simulação de cenários futuros*. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Campo Grande. Tese de doutorado. 205p.
- Heymann Y.; Steenmans C.; Croisille G. & Bossard M.C. 1994. *Land Cover Project – Technical Guide. European Commission, Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, ECSC-EEC-EAEC, Brussels – Luxembourg*. 136p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Produção da Pecuária Municipal. Brasil. Ministério da Agricultura; IBGE. Diretoria de Agropecuária, Recursos Naturais e Geografia Rio de Janeiro, 61p.
- Klais, T.B.A.; Dalmas, F.B.; Morais, R.P.; Atique, G.; Lastoria, G. & Paranhos Filho, A. . 2012. Vulnerabilidade natural e ambiental do município de Ponta Porã, Mato Grosso do Sul, Brasil. *Revista Ambiente & Água, Taubaté*, 7(2): 277-290.
- LANDSAT. 2005. Imagem de satélite, sensor TM. Canais 1,2,3,4,5 e 7. Órbita/Ponto: 226/075.
- LANDSAT. 2001. Imagem de satélite, sensor ETM+. Canais 1,2,3,4,5 e 7. Órbita/Ponto: 226/075.
- Lorena, R.B.; Santos, J.R.; Shimabukuro, Y.E.; Sant’anna, H.M.; Sant’anna, H.S.S. & Menezes, R.S. 2001. Dados multitemporais de sensoriamento remoto para análise da dinâmica do solo e da cobertura da terra na região do Peixoto (AC). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, FOZ DO IGUAÇU. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p. 1653-1656.
- Paranhos Filho, A.C. 2000. *Análise Geoambiental Multitemporal: O estudo de Caso da Região de Coxim e Bacia do Taquarizinho*. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal do Paraná. Tese de Doutorado. 213p.
- Paranhos Filho, A.C.; Lastoria, G. & Torres, T.G. 2008. *Sensoriamento Remoto Ambiental Aplicado: Introdução às Geotecnologias*. Campo Grande – MS. Editora UFMS. 198p.
- Paranhos Filho, A.C.; Mioto, C.L.; Marcato Jr, J. & Catalani, T. G. T. 2016. Geotecnologias em Aplicações Ambientais. Campo Grande, MS. Editora UFMS. 383p.
- RADAMBRASIL. Ministério das Minas e Energias. Secretaria Geral. 1982. *Folha SF 21 Campo Grande: geologia, geomorfologia, solos*. Levantamento de Recursos Naturais, 28. Rio de Janeiro.
- Tagliani, C.R.A. 2003. Técnica para Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Ambientes Costeiros Utilizando um Sistema Geográfico de Informação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Belo Horizonte, *Anais*, p. 1657 - 1664.
- Torres, T.G.; Paranhos Filho, A.C.; Teruya J, H.; Corrêa, L.C.; Garcez, A.J.S. & Copatti, A. 2006. Utilização dos dados SRTM na geração dos limites da bacia hidrográfica do rio Formoso (Bonito, MS). In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1, Campo Grande. Anais do 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária. CD ROM. p.145 - 154.
- Tricart, J.J.L (Coordenador). 1977. *Ecodinâmica. Rio de Janeiro*: IBGE/SUPREN, Recursos Naturais e Meio Ambiente. 97p.