

SENSORIAMENTO REMOTO E SIG APLICADOS À AVALIAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DE BACIA HIDROGRÁFICA

Remote sensing and GIS applied to assessment of environmental fragility in the River Basin

Vitor Matheus Bacani *

Arnaldo Yoso Sakamoto **

Ailton Luchiarini ***

Hérve Quénel ****

Resumo

O objetivo deste trabalho é avaliar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Alto Rio Coxim (BAC), usando lógica fuzzy implementado em um Sistema de Informação Geográfica para propor um modelo de ordenamento físico-territorial. Os dados espaciais utilizados foram organizados em um banco de dados geográfico implementado em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). A geração do modelo de ordenamento físico-territorial foi realizada considerando o mapeamento da fragilidade ambiental e legislação da ambiental. Os resultados indicaram uma relação significativa entre as formas de relevo e seus usos: agricultura mecanizada na Chapada do São Gabriel e desenvolvimento da pecuária nas colinas Planalto Taquari. As diretrizes estabelecidas pelo tipo de proposta de uso da terra foram: áreas prioritárias para preservação, área prioritária para a recuperação e áreas de uso sustentável.

Palavras chave: Lógica fuzzy; Fragilidade ambiental; Zoneamento ambiental; Ordenamento físico-territorial.

Abstract

The Upper Coxim River Basin (UCB) has an area of approximately 1375 km² located in the municipalities of São Gabriel do Oeste and Camapuã in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. The aim of this work was to evaluate the environmental fragility of the UCB using fuzzy logic implemented in a Geographic Information System (GIS). The generation of the physical-territorial management model was carried out considering preparation of UCB relief mapping, potential natural erosion, land-use and land-cover, environmental fragility and, environmental legislation. Results indicated a significant relationship between landforms and their uses: mechanized agriculture in the Chapada of the São Gabriel and livestock development on the Plateau Taquari hills. The guidelines set out by the type of land use proposals were: Priority areas for permanent preservation, priority area for rehabilitation and preservation and areas for sustainable use.

Key words: Fuzzy logic; Environmental fragility; Environmental zoning; Physical-territorial management.

Résumé

Le bassin hydrographique de la haute rivière Coxim (BHC), d'une superficie d'environ 1375 km², est situé dans la partie nord de l'état de Mato Grosso do Sul sur les municipalités de São Gabriel do Oeste-MS et de Camapuã-MS. L'objectif de cette étude était d'évaluer la vulnérabilité de l'environnement du BHC en utilisant la méthode de logique floue dans un système d'information géographique (SIG) afin de proposer un modèle d'aménagement territorial. Les données spatiales utilisées ont été intégrées dans un SIG. La génération du modèle d'aménagement territorial a été réalisée en fonction de la cartographie de la fragilité de l'environnement et de la législation environnementale. Les résultats ont montré une relation significative entre les caractéristiques de l'espace (ex : topographie) et leurs usages: agriculture mécanisée dans la Chapada de São Gabriel et développement de l'élevage dans les collines du Plateau du Taquari. Les lignes directrices établies par le type de propositions d'aménagement étaient des secteurs prioritaires pour la conservation, secteur prioritaire pour la réhabilitation et les aires d'utilisation durable.

Mots-clés: Logique floue; Fragilité environnementale, Zonage environnemental, Aménagement territorial.

(*) Prof. Dr. da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - Campus de Aquidauana, Rua Oscar Trindade de Barros, 740, CEP: 79200-000 - Aquidauana (MS), Brasil. Tel/Fax: (+ 55 67) 3241.0412 / 3241.0400 - vitor.bacani@ufms.br

(**) Prof. Dr. da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - Campus de Três Lagoas, Av. Ranulpho Marques Leal, 3484, CEP: 79620-080, Três Lagoas (MS), Brasil. Tel: (+ 55 67) 3509.3720 - arnaldosakamoto@gmail.com

(***) Prof. Dr. da Universidade de São Paulo - Av. Prof. Lineu Prestes, 338, CEP: 05580999 - São Paulo (SP), Brasil. Tel/Fax: (+ 55 11) 30913769 Ramal: 3723/ 30913769 - aluchiar@usp.br

(****) Prof. Dr. Université de Haute Bretagne - Rennes 2, Rennes, Place du recteur Henry le Moal, 35043 - Rennes, France. Tel: +33 (0)2 99 14 20 90 - herve.quenol@uhb.fr

INTRODUÇÃO

Dados de sensoriamento remoto constituem-se atualmente numa das principais fontes geradoras de informações e alimentam banco de dados geográficos integrados em um sistema de informação geográfica para análises da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.

A transformação dos ambientes naturais em áreas de cultivo é, sem dúvida, a maior intervenção do homem no meio ambiente. A evolução da agricultura para sistema de uso intensivo ou cultivos múltiplos, onde a mesma área é cultivada ininterruptamente, com pouca atenção às suas fragilidades e vocações tem causado impactos em muitas regiões. Em decorrência das mudanças na agricultura, do crescimento demográfico, da evolução industrial, dentre outros, vários problemas foram surgindo, principalmente a partir do século 20 (SILVA, 2003).

Nesse contexto, torna-se cada vez mais urgente o planejamento físico territorial, levando-se em consideração não apenas as potencialidades, mas principalmente a fragilidade das áreas com intervenções antrópicas. A fragilidade potencial de uma determinada área é conceituada como sendo a vulnerabilidade natural de um ambiente em função de suas características físicas como a declividade e o tipo de solo, enquanto que a fragilidade emergente (ou ambiental) além de considerar as características físicas contempla também, os graus de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal sobre o ambiente (KAWAKUBO et al., 2005).

As políticas de incentivo à expansão das fronteiras agrícolas somadas às favoráveis condições edáficas da Bacia do Alto rio Coxim (BAC) têm evidenciado profundas alterações na paisagem, acarretando problemas ambientais diversos e ainda muito pouco conhecidos. Contudo, torna-se de vital importância a elaboração de um zoneamento ambiental para que se estabeleça uma política eficaz de ordenamento territorial.

O zoneamento ambiental consiste em dividir uma área em parcelas homogêneas, com características fisiográficas e ecológicas semelhantes, nas quais se autorizam determinados usos e atividades e se interditam outros (BRASIL, 1991).

A elaboração do zoneamento ambiental deve contemplar segundo Becker e Egler (1996) os seguintes aspectos:

- a) representar instrumento técnico de informações sobre o território, necessária para a sua ocupação racional e o uso sustentável dos recursos naturais;
- b) prover uma informação integrada em uma base geográfica;
- c) classificar o território de acordo com a sua capacidade de suporte ao uso e ocupação.
- d) ser condicionante de planejamento e gestão para o desenvolvimento em bases sustentáveis, colocando-se como instrumento corretivo e estimulador desse desenvolvimento.

Segundo Brasil (1991), o zoneamento ambiental possui vantagens por:

- a) permitir que se determine limite de possíveis irreversibilidades, devido a conflitos ambientais e pontos de fragilidade biológica, antes que se tomem decisões sobre o uso de cada área, que de outra forma poderiam causar danos irreversíveis; tendo, portanto, caráter preventivo;
- b) identificar as atividades antrópicas para cada setor da unidade Ambiental e seu respectivo manejo, possibilitando a descentralização de comando e decisão; e
- c) pelo fato da metodologia do zoneamento ambiental ser flexível, permite que se adapte a definição de manejo de uma zona.

Nesse sentido, o zoneamento ambiental é tido como a base principal para elaboração de um modelo de ordenamento físico-territorial e deve ser visto como um instrumento cuja finalidade é auxiliar a formulação de políticas e estratégias de desenvolvimento a serem implementadas na BAC.



Diversos estudos de fragilidade ambiental no Brasil têm sido desenvolvidos considerando as variáveis solo/relevo combinadas com tipos de uso e cobertura da terra sob a abordagem da álgebra de mapas booleana (ROSA e ROSS, 1999; SPÖRL e ROSS, 2004; MASSA e ROSS, 2012; OLIVEIRA et al., 2012), entretanto há uma grande lacuna com relação a pesquisas que adotam a lógica fuzzy, e incluem também as variáveis clima, áreas protegidas e as áreas prioritárias para conservação da biodiversidade. Para Burrough et al. (1992), a aproximação fuzzy é claramente mais flexível que os métodos booleanos para análise de aptidão das terras, porque a interseção booleana aceita apenas intervalos rígidos e muitas áreas são rejeitadas. A classificação fuzzy de uma variável contínua é claramente a melhor aproximação da realidade que a classificação booleana rígida.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a fragilidade ambiental da Bacia do Alto rio Coxim, apoiado na lógica fuzzy implementada em um sistema de informação geográfica para propor um modelo de ordenamento físico-territorial.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo é a Bacia do Alto rio Coxim (BAC), que apresenta uma área de aproximadamente 1375 km². A BAC abrange parte dos municípios de São Gabriel do Oeste e Camapuã, situados na porção Centro-Norte do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil (Figura 1).

O clima é do tipo Aw, segundo Köppen (clima de Savana), com regime pluviométrico tipicamente tropical, com 80% das chuvas concentradas entre os meses de outubro e março. A média do total pluviométrico anual na área da BAC é 1489,6 mm e evapotranspiração anual superior a 1140 mm (ABDON, 2004).

Os solos predominantes são: Latossolos Vermelhos álicos, Neossolos Quartzarênicos álicos, seguidos por Neossolos Litólicos álicos e Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos (BRASIL, 1982; BRASIL, 1997).

A BAC é constituída pela unidade geomorfológica morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná e pelas morfoesculturas da Chapada de São Gabriel e do Planalto do Taquari, seguidas respectivamente pelas formas erosivas com superfície pediplanada e formas de dissecação convexa.

As principais fitofisionomias naturais da área são compostas por Savana Arbórea Densa e Savana Arbórea Aberta, sem floresta de galeria. Entretanto, a cobertura vegetal predominante na BAC é agrícola de culturas cíclicas (BRASIL, 1982; ABDON, 2004). A área agrícola da bacia destaca-se no município de São Gabriel do Oeste, enquanto que em Camapuã, predomina a pastagem.

Procedimentos Metodológicos

A fundamentação teórico-metodológica que subsidiou o emprego das geotecnologias no diagnóstico e prognóstico ambiental da BAC se apóia na análise integrada do ambiente, pautada na concepção das Unidades Ecodinâmicas, preconizadas por Tricart (1977) e Tricart e Kiewietdejonge (1992) e Ross (2006). Este procedimento fundamenta-se na análise da fragilidade empírica proposta por Ross (1994), apoiado no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre seus componentes físicos e bióticos. As unidades de fragilidade dos ambientes naturais foram mapeadas como resultantes dos levantamentos básicos de geomorfologia (declividade), solos, clima (intensidade pluviométrica), riqueza da biodiversidade e uso da terra e cobertura vegetal. Esses elementos tratados de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais.

Os pesos estabelecidos para cada classe de fragilidade mapeada foram adaptados das propostas metodológicas de Ross (1994) e Crepani et al. (2001).

As classes de declividade foram identificadas com base em dados do radar interferométrico SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) interpolada por Valeriano (2008) com resolução es-



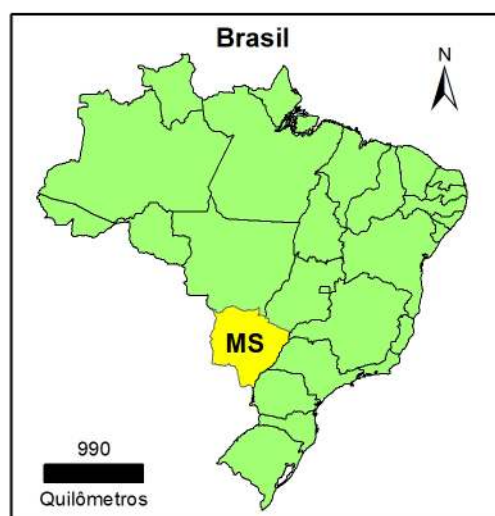
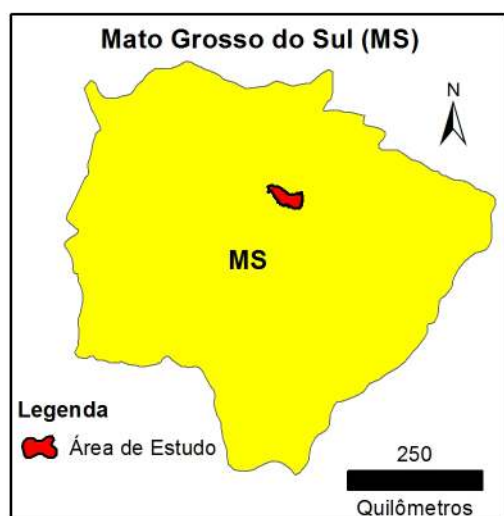
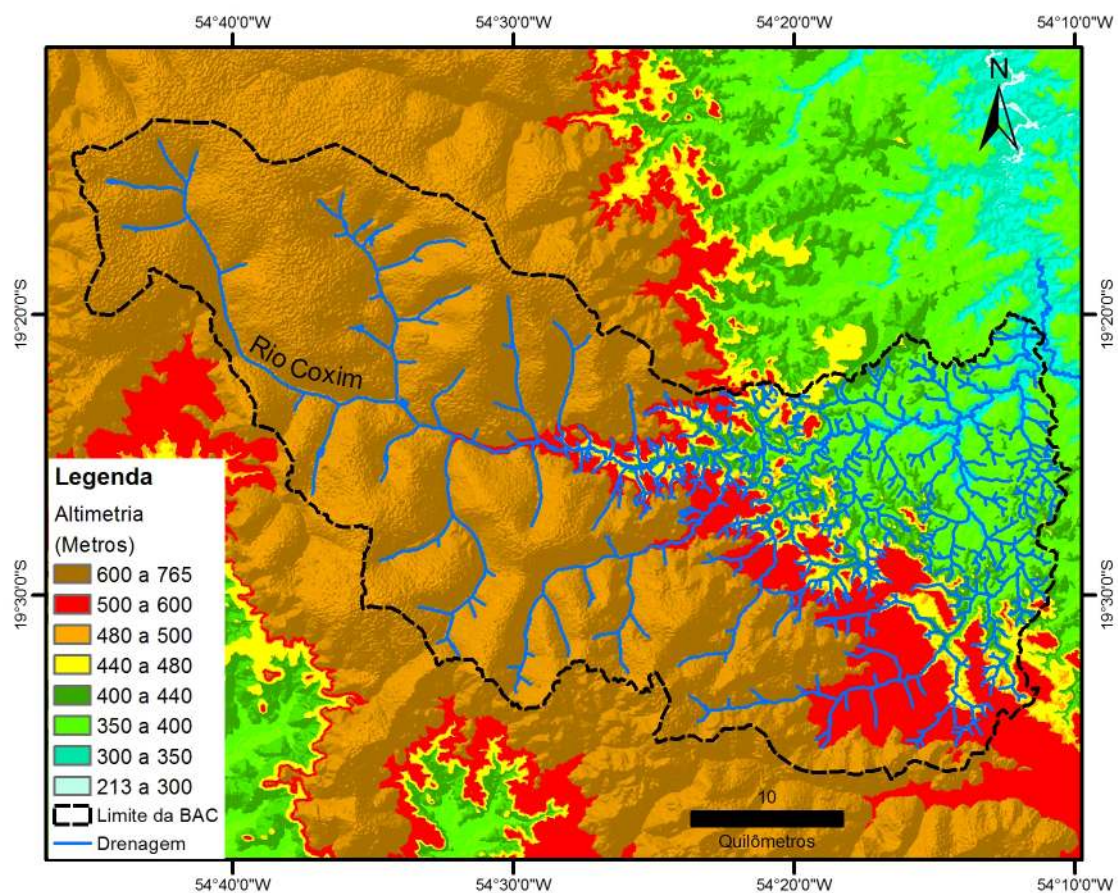


Figura 1 - Área de Estudo: Bacia do Alto Coxim-MS

pacial de 30 metros na horizontal e 1 metro na vertical, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e reclassificadas de acordo com graus de fragilidade propostos por Ross (1994), (Tabela 1).

Tabela 1- Relação entre os graus de fragilidade e as classes de declividade da BAC

Graus de Fragilidade	Classes de Declividade
Muito baixa	0 a 6 %
Baixa	6 a 12 %
Média	12 a 20 %
Alta	20 a 30 %
Muito Alta	> 30 %

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

O mapa pedológico utilizado foi compilado do Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP) (BRASIL, 1997) e reclassificado segundo a Tabela 2.

Tabela 2 - Relação entre os graus de fragilidade e os solos da BAC

Graus de Fragilidade	Tipos de Solos
Muito baixa	Latossolo Vermelho, textura argilosa; Nitossolo Vermelho eutrófico, textura muito argilosa.
Baixa	Latossolo Vermelho, textura média.
Média	*
Alta	Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico e distrófico Ta e Tb abrupto e não abrupto A moderado textura arenosa/média relevo + Cambissolo distrófico Tb A moderado textura média + Neossolos Quartzarênicos álicos distróficos A moderado + Neossolos Litólicos distróficos A moderado textura média. Neossolos Quartzarênicos álicos, A moderado.
Muito Alta	Neossolos Litólicos álicos A moderado textura indiscriminada relevo forte ondulado + Argissolo Vermelho-Amarelo álico Tb A moderado textura arenosa/média relevo suave ondulado e ondulado + Neossolos Quartzarênicos álicos, A moderado; Neossolos Quartzarênicos álicos, A + Neossolos Litólicos álicos, A moderado textura média + Argissolo Vermelho-Amarelo álico Tb, A moderado textura arenosa/média.

(*) Nenhuma classe de solo da BAC se enquadra nesta categoria.

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

A determinação dos graus de fragilidade da biodiversidade apoiou-se no levantamento das áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade realizado por Brasil (2007), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Relação entre os graus de fragilidade e áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade da BAC

Graus de Fragilidade	Graus de prioridade
Muito baixa	Não prioritária
Baixa	*
Média	*
Alta	*
Muito Alta	Extremamente Alta

(*) Classes não encontradas na BAC.

Fonte: Adaptado de Brasil (2007).



A variável climática analisada foi a intensidade pluviométrica, definida como a relação entre a média de precipitação anual e o número de meses chuvosos ao longo do ano.

O mapa de variabilidade espacial da intensidade pluviométrica da BAC foi elaborado a partir de médias anuais pluviométricas disponíveis ao longo dos últimos 30 anos (1970 a 2007). Utilizou-se dados pluviométricos de oito estações meteorológicas da Agência Nacional das Águas- (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O valor médio de precipitação anual de cada estação foi dividido por nove, pois segundo Crepani et al. (2001) é o número de meses chuvosos na área de estudo (Tabela 4).

Tabela 4 - Precipitação média anual e Intensidade pluviométrica das estações meteorológicas na BAC

Estação	Precipitação média anual (mm)	Intensidade Pluviométrica (média anual em mm/ número de meses chuvosos)
São Gabriel	1289,8	143,31
Fazenda Carandá	1179,7	131,07
Camapuã	1406,9	156,32
Confluência do Rio Jauru-Coxim	924,6	102,6
Rio Negro	917,8	101,97
Rio Verde de MT	1480,7	164,52
Bandeirantes	1587,6	176,4
Jauru - Coxim-MS	1397,5	155,2

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001).

Para representação cartográfica da espacialização da intensidade pluviométrica empregou-se o método geoestatístico de interpolação, denominado Inverso do Quadrado da Distância (IQD) ou The Inverse Distance Weighted (IDW), que é um interpolador determinístico univariado de médias ponderadas. A interpolação pelo IQD supõe explicitamente que as feições mais próximas são mais semelhantes do que as mais separadas. Esta suposição é coerente com a modelagem de dados geográficos e está embutida na base de vários processos de modelagem natural e ambiental (BURROUCH e McDONNELL, 1998). De acordo com este método quanto mais distante um ponto observado estiver do estimado, menor será seu peso, ou seja, menor será sua influência sobre o valor de inferência.

O mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal foi realizado com base no método de interpretação visual de imagem de satélite Resourcesat-1, sensor LISS III, bandas 3, 4 e 5 com 23.5 m de resolução espacial, de 21/08/2012, segundo procedimentos de tratamento digital de imagem descrito em Jensen (2005) e Novo (2008). A definição das classes de fragilidade segundo os diferentes tipos de uso e cobertura da terra foram adaptados de Ross (1994), segundo Tabela 5.

Tabela 5 - Relação entre os graus de fragilidade e os diferentes tipos de uso da terra e cobertura vegetal BAC

Graus de Fragilidade	Classes de Uso e Cobertura
Muito baixa	Mata Ciliar
Baixa	Agropecuária (assentamento rural) e Cerrado
Média	Pastagem e Silvicultura de Eucaliptos
Alta	Agricultura: culturas de ciclo curto com práticas conservacionistas
Muito Alta	Muito Alta

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Após a reclassificação efetuou-se a normalização das variáveis ambientais de entrada em uma escala de 0 a 1, com base no algoritmo de fuzzificação MSLarge disponível no software ArcInfo/ ArcMap 10.1, que calcula a associação ao conjunto fuzzy com base na média e desvio padrão dos

dados de entrada, de modo que grandes valores de entrada são associados a altos valores fuzzy, assim valores próximos a 1 apresentam os mais elevados graus de fragilidade, conforme Figura 2.

O mapa de fragilidade potencial foi elaborado com base nos mapas de declividade, solos, biodiversidade e intensidade pluviométrica, combinados segundo método de sobreposição de soma algébrica fuzzy que considera importante as múltiplas variáveis de entrada como relevantes, ou seja, quando a evidência combinada é mais importante do que qualquer evidência individual.

O mapa de fragilidade ambiental foi produzido a partir da combinação dos mapas de fragilidade potencial com o de uso da terra e cobertura vegetal também pelo método de sobreposição de soma algébrica fuzzy. A partir da interpretação de imagens orbitais e trabalhos de campo foram mapeados 43 pontos de feições erosivas na BAC. As classes de fragilidade potencial e ambiental foram definidas em cinco classes, segundo o método de classificação de natural Breaks (Jenks).

Para elaboração do zoneamento ambiental que deu origem ao mapa de ordenamento físico-territorial, além da cartografia da fragilidade ambiental foi necessário espacializar as Áreas de Preservação Permanente (APPs), segundo as leis ambientais presentes no Código Florestal Brasileiro, Lei Federal 12.651/2012, e as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente 302 e 303/02. Este procedimento de elaboração do zoneamento ambiental está fundamentado na proposta de Ross (2006). As zonas de conservação de desenvolvimento sustentável foram definidas com base na divisão do mapa de fragilidade ambiental em três classes, segundo o método de classificação de intervalos iguais, em baixo, médio e alto grau de restrição de uso da terra. A zona urbana caracteriza-se pela área mapeada como área construída. A zona de proteção inclui as Áreas de Preservação Permanente definidas pela legislação ambiental brasileira e as áreas protegidas, denominada Área de Proteção Ambiental Rio Cênico Rotas Monçoeiras. A zona de recuperação foi definida com base no método de álgebra de campos booleana, que consistiu na combinação das áreas de uso antrópico com as de restrições legais (APPs), de modo a identificar as áreas que obedecem ou não a legislação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa de fragilidade potencial da BAC evidencia os cinco principais graus de fragilidade potencial, ou seja, considerando apenas os aspectos naturais, sem considerar as atividades antrópicas (Figura 3).

A classe de fragilidade potencial muito baixa predomina em aproximadamente 50% da área, no entanto há um percentual de aproximadamente 35 % da área mapeada como pertencente a fragilidades alta e muito alta (Figura 4).

Cada classe apresentou os seguintes intervalos: a) muito baixa (0 a 0,07473), b) baixa (0,07473 a 0,2727), c) média (0,2727 a 0,4745), d) alta (0,4745 a 0,6613) e, e) muito alta (0,6613 a 0,9528). A média das classes mapeadas foi 0,1367, que equivale à baixa fragilidade potencial e o desvio padrão foi de 0,2276.

O mapeamento da fragilidade potencial nos traduz que a BAC apresenta um potencial à utilização muito significativo, entretanto aponta uma ocupação com certa cautela em razão de aproximadamente um terço da área apresentar naturalmente elevados índices de fragilidade.

O mapa de fragilidade ambiental da BAC apresenta os cinco principais graus de fragilidade incluindo a ação antrópica, considerando além das vocações e fragilidades naturais os diferentes tipos de uso e cobertura da terra, que evidenciam os processos erosivos atuantes na área (Figura 5).

Foram mapeados 43 pontos de erosão na BAC. Constatou-se que na unidade geomorfológica dos morros e colinas do Planalto do Taquari, onde domina o desenvolvimento da pecuária, predomina a instalação de processos erosivos, em especial a erosão laminar e as ravinas. A grande maioria dos problemas relacionados à erosão na BAC foi constatada no Planalto do Taquari, associados aos arenitos da Formação Piramboia, destacadamente nas áreas de alta e muito alta fragilidade ambiental, o que valida o modelo de fragilidade.



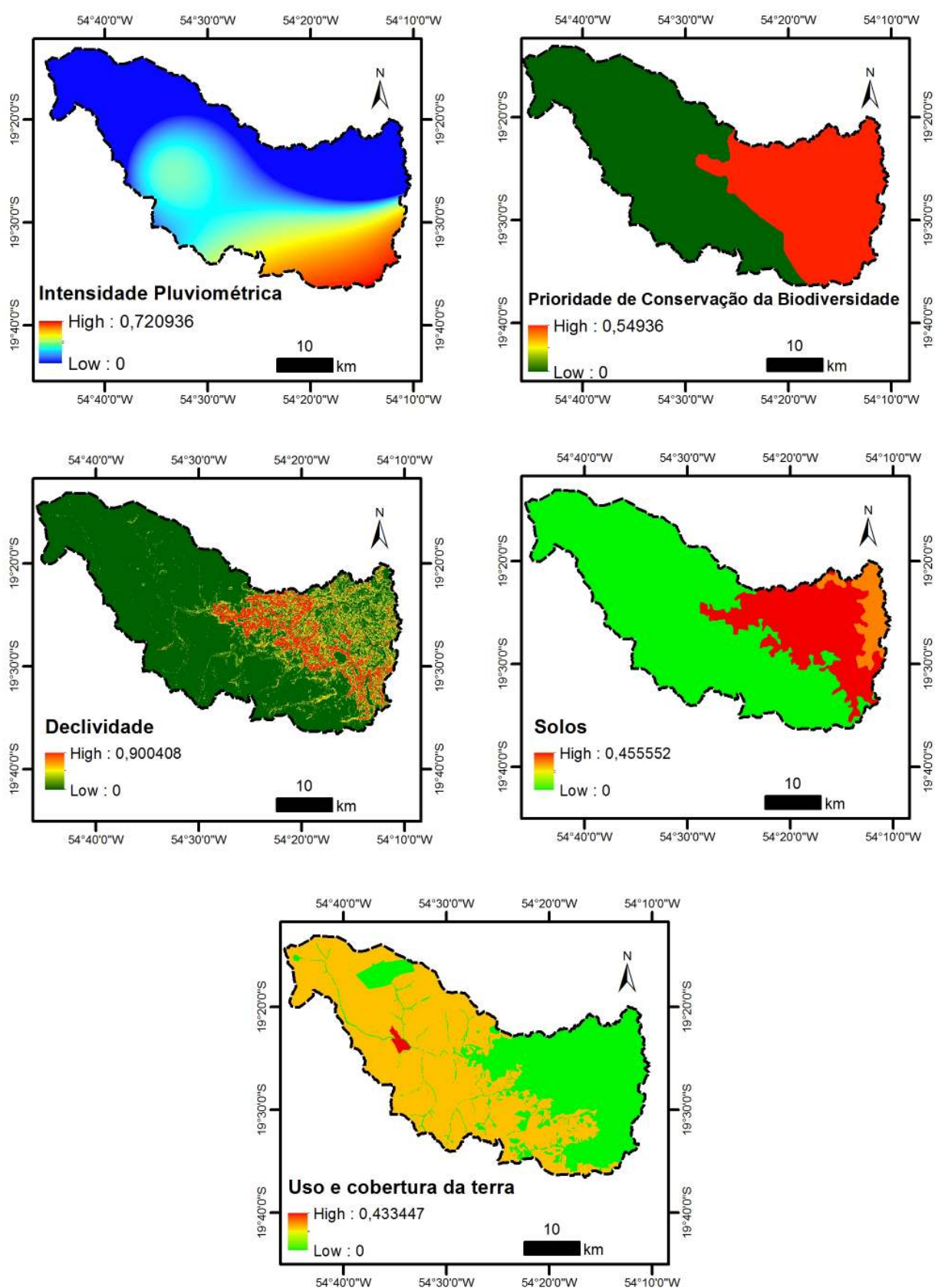


Figura 2 - Variáveis fuzzy utilizadas na geração dos mapas de fragilidade potencial e ambiental.

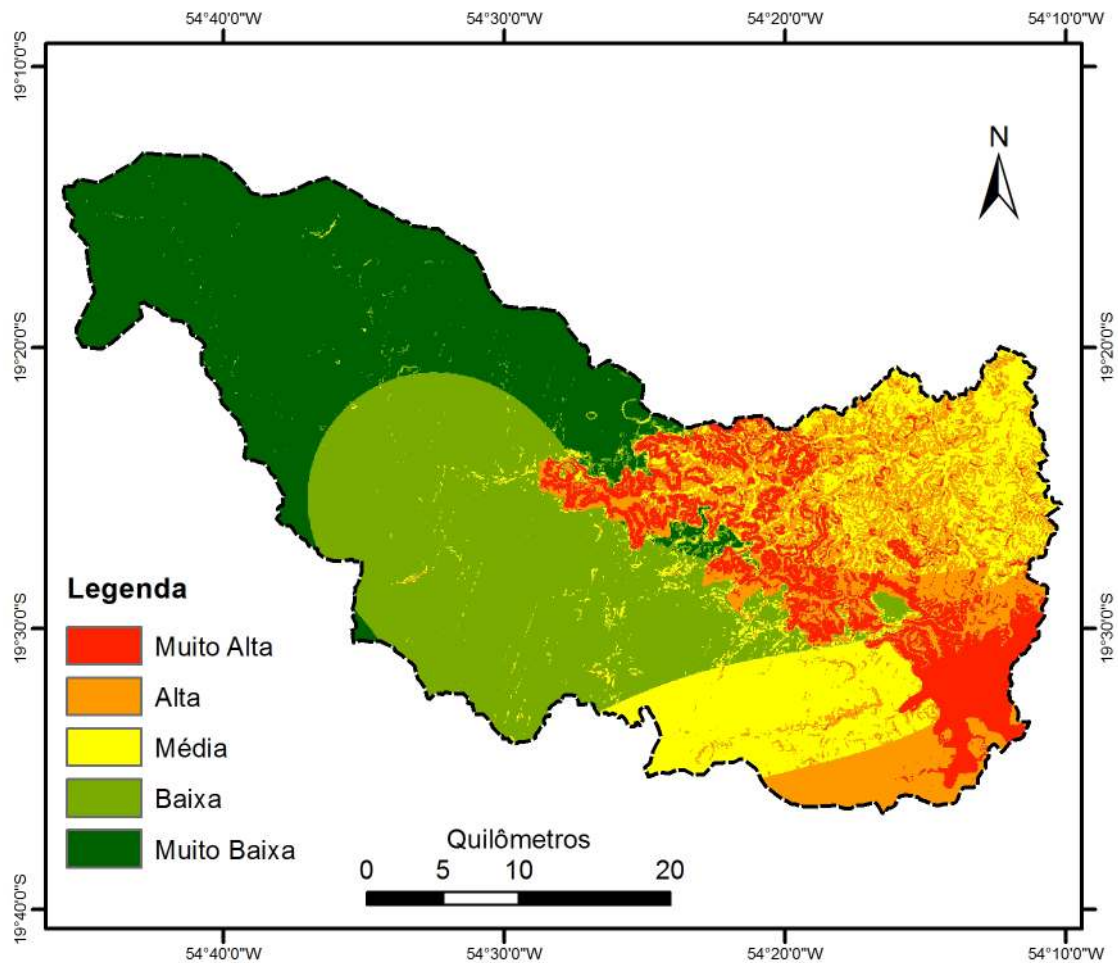


Figura 3 - Mapa de fragilidade potencial da BAC

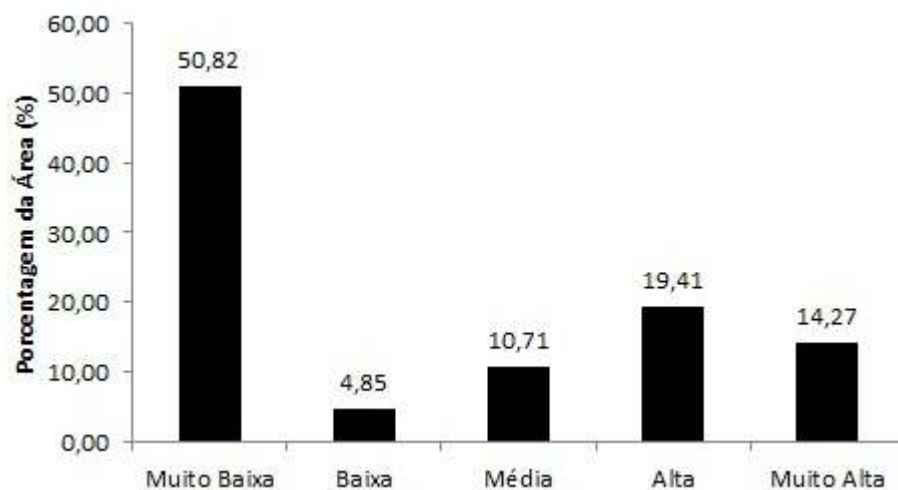


Figura 4 - Distribuição de área em porcentagem das classes de fragilidade potencial da BAC

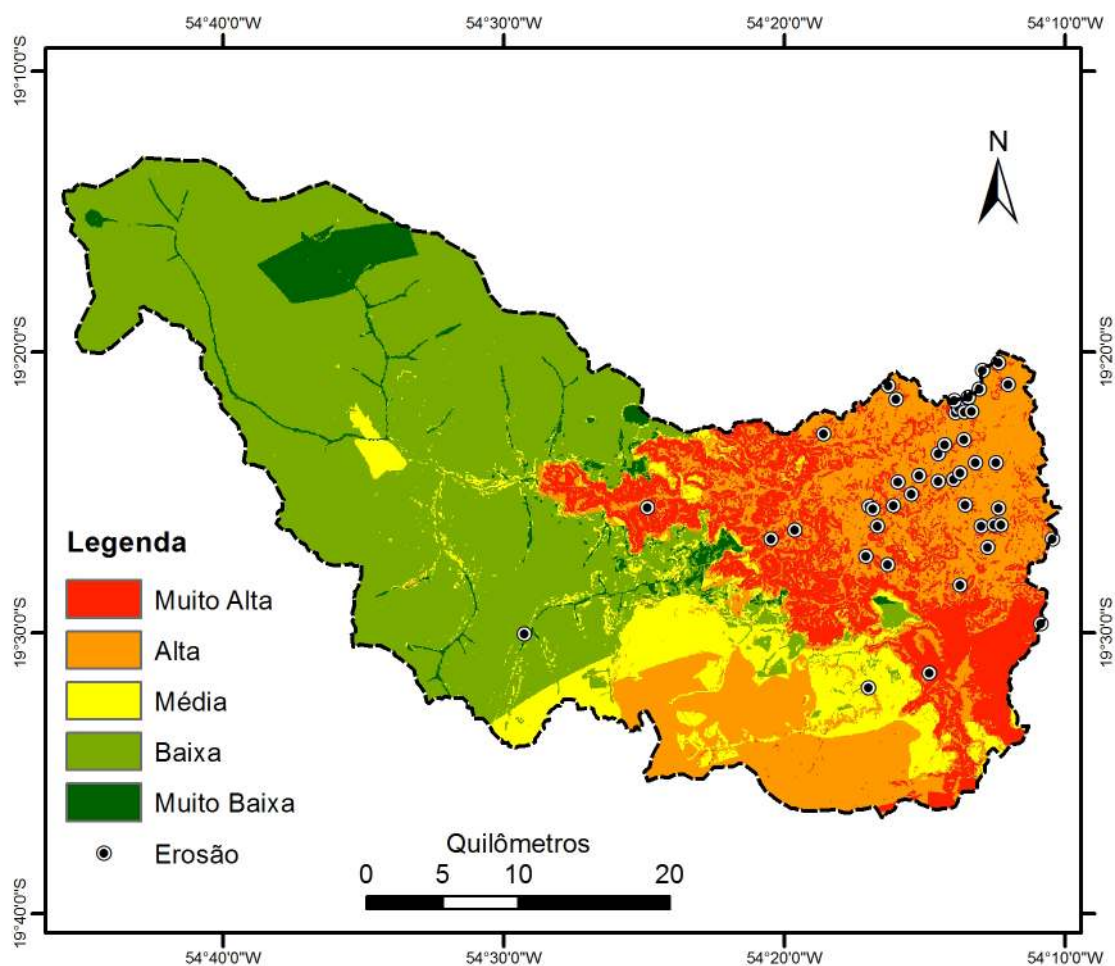


Figura 5 - Mapa de fragilidade ambiental e feições erosivas da BAC

Os processos erosivos normalmente são associados à agricultura. Conforme descrito em Basseggio et al. (2006) o município de São Gabriel do Oeste-MS, devido às condições favoráveis de solo e topografia, a partir da década de 1970, experimentou um acelerado processo de ocupação das terras com culturas anuais, que comprometeu seriamente a cobertura vegetal nativa, inclusive quanto às áreas de Reserva Legal e de Preservação Permanente. Como consequência, surgiram processos erosivos, inclusive voçorocas. Na chapada de São Gabriel do Oeste nascem os cursos d'água que formam o rio Coxim, afluente do rio Taquari, reconhecido pelo drástico assoreamento que vem sofrendo, com impactos sobre o Pantanal.

Embora se tenha apresentado na literatura especializada impactos negativos significativos da agricultura, a mesma revelou que quando desenvolvida respeitando-se as práticas conservacionistas, como ocorre predominantemente na área agrícola da BAC, a degradação por erosão é menor quando comparada à pecuária.

A classe de fragilidade ambiental que predominou em extensão territorial foi a classe baixa (36,4 %), entretanto as classes de fragilidade alta e muito alta quando somadas ultrapassam 46 % do total da BAC (Figura 6). Este resultado chama atenção para a pressão do uso antrópico, pois uma área que naturalmente apresentava apenas um terço de áreas com elevadas fragilidades, quando considerada a ocupação antrópica aumenta para quase a metade da área.

Os intervalos de classes mapeados foram os seguintes: a) muito baixa (0 a 0,1488), b) baixa (0,1488 a 0,3968), c) média (0,3968 a 0,5914), d) alta (0,5914 a 0,7555) e, e) muito alta (0,7555 a 0,9730). O valor médio das classes foi 0,2343, que corresponde à baixa fragilidade ambiental e o desvio padrão foi de 0,2860.

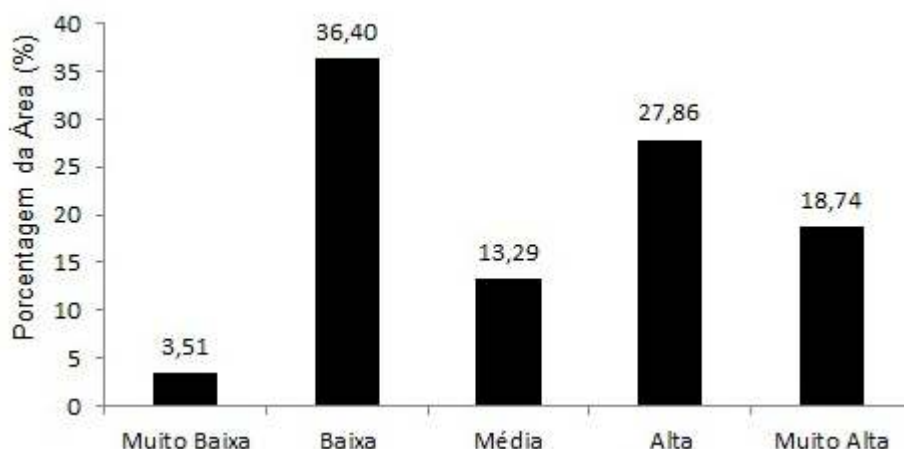


Figura 6 - Distribuição de área em porcentagem das classes de fragilidade ambiental da BAC

O mapa de ordenamento físico-territorial apresenta quatro zonas ambientais, denominadas: a) Zona de Proteção; b) Zona Urbana; c) Zona de Conservação e Desenvolvimento Sustentável e, d) Zona de Recuperação (Figura 7).

A Zona de Proteção corresponde às APPs e às áreas de vegetação natural. A inclusão desta última deve-se ao fato da área mapeada caracterizar-se por forte grau de antropização, associada ao desflorestamento.

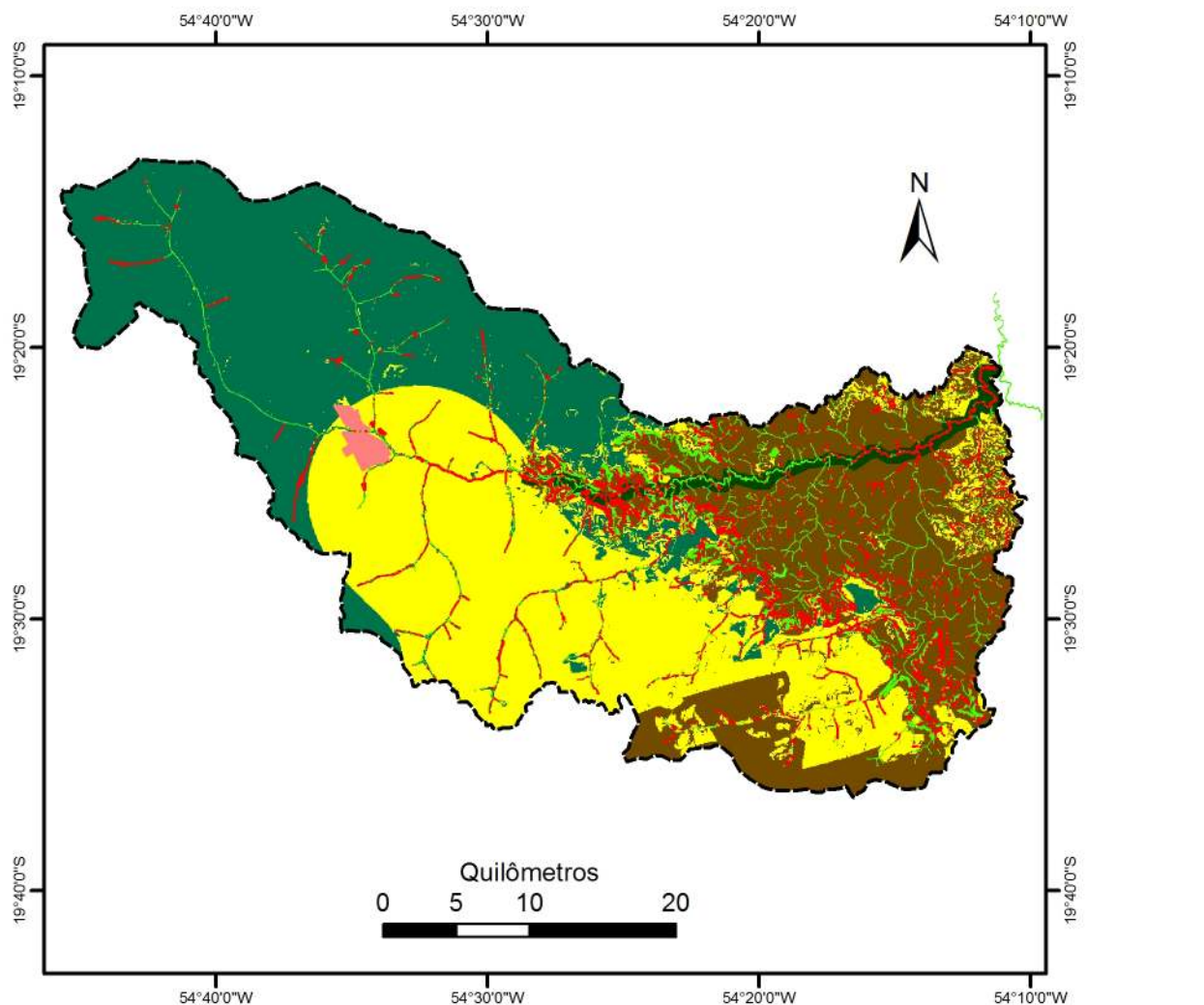
A Zona Produtiva Rural foi compartimentada em três categorias, quanto ao grau de restrição do meio físico à ocupação, definida pelos intervalos de fragilidade de 0 a 0,3243 (baixa restrição), de 0,3243 a 0,6487 (média restrição) e de 0,6487 a 0,9730 (alta restrição a ocupação).

A classe definida como de baixa restrição, corresponde, genericamente, as vertentes convexas da Chapada de São Gabriel, dominada por declividades inferiores a 6%, e classificada como área de muito baixo potencial natural à perda de solo e fragilidade ambiental. Contudo, a baixa restrição à ocupação não isenta a necessidade da utilização de técnicas conservacionistas e a correção da fertilidade dos solos, que embora sejam, via de regra, Latossolos Vermelhos de textura argilosa, necessitam de correções tais como a calagem para redução da acidez e a adubação para reposição de macro e micro nutrientes do solo.

As áreas correspondentes ao médio grau de restrição à exploração, constituem-se áreas de baixo a médio potencial à erosão e fragilidade ambiental, e apresentam declividades entre 6 e 20%. Abrange as áreas marginais das APPs ou fundos de vales encaixados na Chapada e as áreas de Colinas do Planalto do Taquari e predominantemente sobre o Planalto de Maracaju-Campo Grande, que embora apresente topos tabulares e não tenha declividades tão acentuadas, trata-se de uma área onde dominam arenitos vermelhos e róseos, de granulação média a grosseira do grupo Bauru, e solos predominantemente arenosos (Latossolo Vermelho com associação de Neossolo Quartzarênico).

A Zona de Conservação e Desenvolvimento Sustentável enquadrada na modalidade de alta restrição compreende as áreas mais sensíveis à ocupação, porém podem ser exploradas. Caracterizam-se por apresentar declividades superiores a 20%, elevados graus de fragilidade ambiental e potencial natural à erosão, classificados entre médio a muito forte. Além das acentuadas declividades, que impedem o emprego da mecanização agrícola dessas áreas, soma-se a baixa fertilidade dos solos quando, comparados aos da Chapada.

Contudo, é válido ressaltar que os níveis de restrição à utilização da terra apoiam-se nas características físico-naturais da área e que, conforme aumenta o grau de restrição, aumentam-se as exigências tecnológicas de manejo para exploração de práticas econômicas específicas.



Legenda

1- Zonas de Proteção

- Zona de Proteção Especial
- Área de Proteção Ambiental

Zona de Conservação e Desenvolvimento Sustentável

- Alta Restrição ao Uso
- Média Restrição ao Uso
- Baixa Restrição ao Uso

Zona Urbana

- Área Construída

4- Zona de Recuperação

- Área de Recuperação

Figura 7 - Mapa de ordenamento físico-territorial da BAC

A Zona Urbana corresponde ao sítio urbano de São Gabriel do Oeste que se encontra assentado sobre uma área com baixa restrição à ocupação, porém situado nas margens do rio Coxim, o que sugere risco de inundação, pois a ocupação antrópica faz-se muito próxima ao curso d'água principal, por vezes comprometendo a qualidade ambiental do mesmo. Com isso, verifica-se que as áreas preferenciais à expansão urbana devem ocorrer nos sentidos norte e oeste, onde o relevo apresenta-se suavemente mais elevado e distante da área ocupada pela mata ciliar, o que diminui significativamente os impactos ambientais negativos.

A Zona de Recuperação equivale exatamente às áreas de utilização ilegal da terra, caracterizada pela exploração de Áreas de Preservação Permanente, que deveriam permanecer intocadas segundo a legislação ambiental. O problema principal reside no fato de se tratar de unidades ecodinâmicas extremamente frágeis e, portanto exigem medidas de recuperação. Constituem-se de matas ciliares, áreas de nascentes, represas e topos de morros com elevadas inclinações.

O mapa de ordenamento físico-territorial da BAC caracteriza-se como um documento de síntese das análises ambientais e estabelece diretrizes para uma utilização sustentável a partir de recomendações sugeridas. As indicações feitas estão pautadas principalmente em informações sobre a fragilidade ambiental, a legislação ambiental e o uso da terra/cobertura vegetal.

As informações presentes no mapa de ordenamento territorial apontam, de modo geral, três tipos de recomendações: áreas prioritárias à preservação permanente, áreas prioritárias à recuperação e preservação e áreas destinadas ao uso sustentável, conforme especificações indicadas a seguir:

a) Áreas Prioritárias à Preservação Permanente: recomenda-se nesta classe as áreas mapeadas como APPs e inclui-se também os remanescentes florestais, pois trata-se de uma área fortemente antropizada e com alta susceptibilidade à erosão. De acordo com o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012), a manutenção da vegetação para atenuação dos processos erosivos deve ser preservada. Em geral, toda essa área indicada como prioritária à preservação permanente encontra-se situada sobre as áreas de maior fragilidade ambiental e sua manutenção constitui-se de extrema importância para sustentar a estabilidade ecológica da região.

Um dos maiores desafios em relação ao estabelecimento desta zona é a sua manutenção, pautada numa fiscalização que deverá ser mais efetiva, sobretudo com os avanços tecnológicos apoiados nas geotecnologias incluindo o monitoramento via satélite.

b) Áreas Prioritárias à Recuperação e Preservação: corresponde exatamente a zona de conflito entre o uso da terra e as APPs. As APPs constituem-se ambientes delicados, muito frágeis e com elevado potencial natural à perda de solos, além disso, boa parte situa-se em topos de morros com declividades superiores a 30%, restringindo absolutamente a ocupação. Estas áreas caracterizam-se como de ocupação ilegal, portanto evidenciam crimes ambientais como o desmatamento de matas ciliares.

A recomendação dada para recuperação e preservação desses ambientes é restringir totalmente o uso antrópico e realizar o replantio de espécies nativas do Cerrado, caracterizado como vegetação primitiva.

c) Áreas Destinadas ao Uso Sustentável: a recomendação estabelecida às áreas de uso sustentável foi indicada a partir dos graus de restrição à utilização das zonas produtivas.

Foram mapeadas três classes destinadas ao uso sustentável: as áreas de baixa restrição foram destinadas a cultivos agrícolas; as de média restrição à exploração da pecuária; e as de alta restrição indicadas à exploração agroflorestal/silvicultura.

Nas áreas mapeadas com baixo grau de restrição natural à exploração da terra, sugeriu-se a utilização pela agricultura mecanizada, o que concorda com o uso atual em grande parte do polígono recomendado, apresentando divergência somente nas Zonas de Incongruência e em pequenas áreas sobre o compartimento geomorfológico do Planalto de Maracaju-Campo Grande, onde a litologia,



que favoreceu a origem de solos predominantemente arenosos, não propicia o desenvolvimento agrícola sem que haja elevados investimentos. A especificação da utilização do cultivo por culturas cíclicas advém da possibilidade de mecanização favorecida pelo relevo da Chapada.

A Zona de Produção com média restrição de produção rural foi recomendada à utilização agropecuária, com o cultivo de pastagens para exploração da pecuária de corte e de leite, além do cultivo de culturas perenes que requeiram um baixo grau de mecanização. Devido propriamente ao fator topográfico, a ocupação pelas pastagens se fizeram dominantes nos Planaltos Sedimentares do Taquari e de Maracaju-Campo Grande. Este último compartimento, como já apontado anteriormente, encontra-se utilizado de modo desordenado, pois não se pode atribuir a destinação de uma área agrícola somente pelo fator relevo. Nesse caso, os aspectos litológicos e pedológicos devem ser considerados. Os arenitos do Grupo Bauru, que sustentam esse relevo tabular, são constituídos, segundo Brasil (1997), por grânulos e seixos esparsos, matriz argilosa, vermelha, geralmente sili-cificados, com seixos arredondados. Os solos que ocorrem sobre este compartimento são pobres quimicamente em bases trocáveis e com significativos teores de alumínio, destacando-se o Latossolo Vermelho Álico, textura média com associação de Neossolo Quartzarênico Álico, ambos com horizonte A moderados e com ocorrência em relevo plano e suave ondulado. Logo a plantação de forrageira do tipo brachiária apresentaria provavelmente maior rentabilidade aos produtores e melhora nas condições ambientais, aumentando naturalmente a quantidade de matéria orgânica nos solos.

Scopel et al. (2009), ao analisarem a expansão das fronteiras agrícolas sobre áreas de cerrado em solos arenosos, destacam que as terras ocupadas por primeiro foram aquelas dos chapadões, que possibilitavam a mecanização, exigida pelo novo processo. As pesquisas possibilitaram o melhoramento do solo e as políticas de crédito permitiram a disponibilidade de capital para investir na produção. Com isso, a possibilidade de auferir lucros nas áreas mais propícias à agricultura, a dos chapadões, não envolvia riscos, deixando as demais áreas, aquelas de solos arenosos, na marginalidade, ou melhor, na “reserva”. Consequentemente, a pecuária avançou sobre estas áreas mais inférteis.

Em contrapartida, a possibilidade de renda, gerada pelas terras dos chapadões, fez aumentar substancialmente o seu preço e quando essas terras mais propícias estavam se esgotando ou com preço de arrendamento e compra muito alto, as terras de “reserva” passaram a ser incorporadas à produção agrícola. Por isso, nos últimos anos, a incorporação de terras mistas (arenosas) na exploração agrícola aumentou, e até mesmo a soja passou a ser cultivada em Neossolos Quartzarênicos.

Em relação às pastagens, a inovação tecnológica, com o uso de uma gramínea resistente e adaptável como a brachiária, possibilitou a sua implantação em condições adversas. Todavia, o manejo inadequado da terra e a alta pressão de pastejo determinam o seu esgotamento, em poucos anos de uso, sendo muitas áreas posteriormente abandonadas.

Nesse sentido, as áreas recomendadas à utilização pecuária, devem respeitar além dos limites adequados de suporte de cabeças por hectare os cuidados com as matas ciliares e os remanescentes florestais, caso contrário ocorrerá uma forte degradação marcada pela presença de incisões erosivas lineares, voçorocas, assoreamento e secas de cursos d’água e grandes áreas de solo exposto denominados “areais”, a exemplo do sudoeste do Estado de Goiás que se encontra em alto estágio de degradação atingindo milhares de hectares. A degradação destas áreas evidencia-se pela presença de muitas incisões erosivas lineares, com voçorocas de grande porte, baixa capacidade de suporte da pastagem, assoreamento e seca de cursos d’água e grandes áreas com solo exposto.

As áreas mapeadas com alto grau de restrição foram destinadas à exploração agroflorestal pela silvicultura, com a introdução de eucalipto nas áreas com inclinações superiores a 20% e situadas em áreas de elevada fragilidade ambiental. Recomenda-se ainda, como fonte de renda alternativa, o plantio de seringueira.

Na exploração da seringueira, o longo período entre a fase de plantio e o início de exploração é um fato que desestimula a atração de investidores, sendo também a razão do manejo ineficiente em alguns plantios. Uma alternativa à solução deste problema é o emprego de sistemas agroflores-



tais que envolvam o plantio de culturas intercalares de ciclo curto e semi-perene. Na fase adulta do seringal é oportuna à consorciação com culturas perenes, a fim de adicionar receitas ao sistema explorado. Tais estratégias são eficazes por antecipar a fase produtiva, adicionar valor, permitir um melhor desenvolvimento dos cultivos e assegurar o incremento da renda na fase adulta (VIRGENS FILHO et al., 1987).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) com a seringueira, quando devidamente planejados, permitem a exploração dos recursos naturais com menores impactos ao meio ambiente. Esse fato se reveste de importância, uma vez que a agricultura comercial, quase sempre focada na produção e na renda, relega a um plano secundário a sustentabilidade dos recursos naturais.

As recomendações para a área urbana referem-se aos cuidados com relação a sua expansão, de modo a evitar a ocupação às margens do rio Coxim, a fim de se reduzir os impactos sobre o mesmo e concomitantemente evitar problemas relacionados a enchentes e inundações. Desta forma sugere-se a expansão nos sentidos norte e oeste.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia proposta para a elaboração do ordenamento físico-territorial da BAC, pautada na análise da fragilidade ambiental pela lógica fuzzy resultou num importante modelo diagnóstico que evidenciou um significativo aumento da fragilidade ambiental associada a atividade da pecuária, além de se constituir em um importante instrumento de subsídio ao ordenamento territorial rural sustentável.

As principais diretrizes de ordenamento territorial para a BAC foram:

- 1- Incluir os remanescentes florestais às áreas de preservação permanente, pois devido à intensa pressão antrópica sofrida e ao elevado potencial natural de erosão torna-se uma medida de extrema necessidade, visto que o Código Florestal Brasileiro prevê esta possibilidade de inclusão para remanescentes florestais de grande importância para a redução do potencial erosivo;
- 2 - Recuperar as áreas de uso ilegal através do apoio governamental por meio do fornecimento de mudas nativas aos proprietários rurais para o reflorestamento das áreas ocupadas ilegalmente;
- 3 - Incentivar nas Zonas de Conservação e Desenvolvimento Sustentável, as áreas de Alta Restrição com a exploração agroflorestal como alternativa de uso sustentável; e,
- 4 - Estimular nas Zonas de Média Restrição, que se encontram ocupadas por agricultura, o sistema de alternância de pastagem e agricultura e, nas demais áreas, a utilização pela pecuária leiteira e de corte.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (PROPP/UFMS).

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABDON, M. de M. **Os impactos ambientais no meio físico – erosão e assoreamento na bacia hidrográfica do rio Taquari, MS, em decorrência da pecuária**. Tese de Doutorado, Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

BASEGGIO, J.; CARAMORI, T. B. de A.; SORIANI, A. R. SIG para mapeamento do uso do solo, com ênfase nas áreas de cobertura vegetal nativa e recursos hídricos, alto Coxim, MS. In: 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande. **Anais...** Embrapa Informática Agropecuária/INPE: 2006. p. 312-320, 2006.



BECKER, B. K., EGLER, C. A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos estados da Amazônia Legal**. Secretaria de assuntos Estratégicos/Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 1996.

BRASIL. **Projeto RADAMBRASIL**: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso potencial da terra. Ministério das Minas e Energias. Secretaria Geral, Rio de Janeiro. Folha SE. 21 Corumbá e parte da Folha SE 20, 1982.

BRASIL. **Zoneamento Agroecológico do Nordeste**: diagnóstico do quadro natural e agrosocioeconômico. EMBRAPA/CPATSA, Petrolina, 1991.

BRASIL. **Plano de conservação da bacia do alto Paraguai**: análise integrada e prognóstico da Bacia do Alto Paraguai. PNMA, Brasília, 1997.

BRASIL. **Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira**: Atualização - Portaria MMA nº9, de 23 de janeiro de 2007. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília, 2007.

BRASIL Código Florestal Brasileiro. **Lei 12.651**, de 25 de maio de 2012. Brasília, Diário Oficial da União, 2012.

BURROUGH, P. A., MACMILLAN, P. A., VAN DEURSEN, W. Fuzzy classification methods for determining land suitability from soil profile observation and topography. **Journal of Soil Science**, 43 (2), 193-210, 1992.

BURROUGH, P. A., McDONNELL, R.. **Principles of geographical Information Systems**. Oxford University Press, Clarendon, 1998.

CREPANI, E., Medeiros, J. S., Filho, P. H., Florenzano, T. G., Duarte, V., Barbosa, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento territorial**. SAE/INPE, São José dos Campos, 2001.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing**: a remote sensing perspective. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, 2005.

KAWAKUBO, F. S., MORATO, R. G., CAMPOS, K. C., LUCHIARI, A., ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. **Anais...XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 2005.

MASSA, E. M., ROSS, J. L. S. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. **Revista do Departamento de Geografia – USP** 24, 57-79, 2012.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. Edgard Blücher, São Paulo, 2008.

OLIVEIRA, R. G. DE, BACANI, V. M., SILVA, V. R. DA, CUNHA, E. R. DA, FERREIRA, E. M. Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego São João-MS utilizando geoprocessamento. **Revista Brasileira de Cartografia** 64 (1), 15-24, 2012.

ROSA, M. R., ROSS, J. L. Aplicação de SIG na geração de cartas de fragilidade. **Revista do Departamento de Geografia – USP** 13, 77-106, 1999.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia** 8, 63-74, 1994.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**. Oficina de Textos, São Paulo, 2006.

SCOPEL, I., SOUSA, M. S., PEIXINHO, D. M., MARIANO, Z. F., MENEZES, B. Novas fronteiras agrícolas: solos arenosos e tecnologias atuais. **Anais... Encontro de Geógrafos da América Latina**, Montevideo, Uruguai, 2009.

SILVA, J. S. V. **Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental, estudo de caso**: bacia hidrográfica do alto rio Taquari MS/MT. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SPÖRL, C., ROSS, J. L. S. Análise Comparativa da Fragilidade Ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP - Espaço e Tempo** 15, 39-49, 2004.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. IBGE/SUPREN, Rio de Janeiro, 1977.



TRICART, J., KIEWIETDEJONGE, C. **Ecogeography and rural management**: A Contribution to the International Geosphere-Biosphere Programme. Longman Scientific & Technical, New York, 1992.

VALERIANO, M. de M. **Topodata**: guia de utilização de dados geomorfométricos locais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

VIRGENS FILHO, A.C., ALVIN, R., ARAÚJO, A.C. Plantio de cacauzeiros sob seringais adultos na região sul da Bahia. **Anais...** International Cocoa Research Conference, Santo Domingo, República Dominicana, 1987.

Trabalho enviado em julho de 2015

Trabalho aceito em agosto de 2015

