

Revista Brasileira de Cartografia (2015) N<sup>o</sup> 67/6: 1217-1230  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **MODELAGEM DINÂMICA DA PAISAGEM APLICADA À ANÁLISE DA COBERTURA E USO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO, ESTADO DE GOIÁS**

*Landscape Dynamic Modeling Applied to the Land Use Analysis in the Rio Vermelho Watershed, Goiás State, Brazil*

**Pedro Alves Vieira<sup>1</sup>, Manuel Eduardo Ferreira<sup>2</sup>  
& Laerte Guimarães Ferreira<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Estadual de Goiás – UFG**

Campus Universitário Cora Coralina  
Av. Dr. Deusdete Ferreira de Moura, s/n<sup>o</sup>, Centro, CEP 76600-000, Goiás/GO, Brasil  
gelpedrovieira@gmail.com

**<sup>2</sup>Universidade Federal de Goiás – UFG**

**Instituto de Estudos Sócio-Ambientais**  
**Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento**  
Campus Samambaia, Cx. Postal 131, CEP 74001-970, Goiânia/GO, Brasil  
{manuel, laerte}@ufg.br

*Recebido em 14 de Março, 2015/ Aceito em 06 de Junho, 2015*

*Received on March 14, 2015/ Accepted on June 06, 2015*

### **RESUMO**

A análise de bacias hidrográficas, no que tange ao acompanhamento temporal da cobertura e uso da terra, é de fundamental importância para a manutenção de recursos naturais e da biodiversidade em ecossistemas em geral. No bioma Cerrado, tal fato ganha especial atenção, dado o nível das transformações ocorridas neste ambiente desde a década de 1970, principalmente por atividades agropecuárias, ultrapassando, em muito, o seu limite de resiliência. É neste frágil contexto das bacias, e não dos limites políticos, que o efetivo ordenamento territorial da paisagem deveria ocorrer. Desta forma, e por meio de técnicas de modelagem espacial dinâmica, buscou-se neste artigo avaliar as interações entre variáveis estáticas e dinâmicas atuantes na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV), Estado de Goiás, tais como a fertilidade dos solos, proximidade de áreas convertidas, malha viária e declividade, ressaltando o peso destas no processo de ocupação, em dois momentos históricos: 1976 e 1987. A análise destes dois momentos revela que a fertilidade e a proximidade de áreas já antropizadas, além de um crescente sistema viário (0,41 km/km<sup>2</sup> e 0,92 km/km<sup>2</sup>, em 1976 e 1987, respectivamente), foram os fatores determinantes de ocupação. Neste estudo também identificou-se o potencial da BHRV para ampliar a capacidade de suporte bovino (pecuária) em áreas com uso integrado entre remanescentes e pecuária (sistemas agroflorestais), comparativamente às lotações de 0,7 a 0,9 cabeças/hectare/ano que predominam nas áreas com pastagem convencional. Até o momento, 65% da área total da BHRV (de 11 mil km<sup>2</sup>) já foram convertidos, sendo que o passivo ambiental em torno de rios, lagos e nascentes já ultrapassa os 40%. Neste sentido, um maior entendimento sobre os processos e dinâmica de ocupação desta bacia, bastante representativa de muitas outras áreas na região *core* do Cerrado, associado à práticas de manejo mais eficientes e sustentáveis, pode representar uma contribuição bastante significativa à preservação deste bioma, já bastante impactado e ainda severamente ameaçado.

**Palavras-chave:** Uso do Solo, Modelagem Dinâmica, Bioma Cerrado, Bacia Hidrográfica, Intensificação da Pecuária.

## ABSTRACT

The analysis of watersheds, regarding the temporal monitoring of land use and conservation, is instrumental for the maintenance of natural resources and biodiversity. In the Cerrado biome, this is particularly important, given the level of changes occurring in this environment since the 1970`s, mainly due to agricultural activities, already exceeding its resilience limit. It is in this context of fragility of the watersheds, which extends beyond political boundaries, and that the effective spatial planning and governance of landscapes should occur. This study, based on the use of spatial modeling and GIS techniques, aimed at evaluating the interrelationships between static and dynamic variables in the Rio Vermelho Basin (BHRV), State of Goiás, such as soil fertility, proximity to converted areas, road network, and terrain slope, emphasizing their respective weights on the occupation process of this basin, along two historical periods, 1976 and 1987. The analysis of these two key moments indicated that soil fertility and proximity to areas already under agricultural use, coupled with a growing road system (0.41 km/km<sup>2</sup> and 0.92 km/km<sup>2</sup> in 1976 and 1987, respectively), were the determinant factors explaining the massive occupation and conversion observed for the period under consideration. In this study we also confirmed the potential of the BHRV to expand its cattle support capacity for those areas already integrating grazing on planted pastures and Cerrado remnants (i.e. livestock - forestry integration), comparatively to the 0.7 to 0.9 head/hectare/year observed in conventional/extensive pasturelands. Up to now, approximately 65% of the BHRV (with a total area of about 11,000 km<sup>2</sup>) has been subject to anthropic induced changes, with an impact on rivers, lakes, and water-heads and springs above 40%. Therefore, an improved understanding on the dynamics and occupation processes in the Rio Vermelho basin, representative of many other areas in the core Cerrado region, in combination with more sustainable management practices, can be a major contribution to the preservation of this severely and still threatened biome.

**Keywords:** Land Use, Dynamic Modeling, Cerrado Biome, Watershed, Livestock Intensification.

## 1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, com uma área aproximada de dois milhões de km<sup>2</sup> (quase 22% do território nacional), atrás em extensão, na América do Sul, apenas da Amazônia. Este bioma também é reconhecido no mundo como um dos mais ricos ambientes de savana, em face da sua peculiar biodiversidade, tipos de solos (RATTER *et al.*, 1997; MYERS *et al.*, 2000) e recursos hídricos (COSTA *et al.*, 2003; LIMA; SILVA, 2008).

Dentre os estados da federação, Goiás, com 340 mil Km<sup>2</sup>, aparece quase que integralmente inserido no limite do Cerrado (perfazendo aproximadamente 20% da área total do bioma). Levantamentos do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO/Cerrado (SANO *et al.*, 2008) apontam para uma redução de sua área nativa na ordem de 40% (~ 800 mil km<sup>2</sup>); tal ocupação ocorreu em apenas algumas décadas, fato este que reforça a condição de “hotspot” para a conservação da biodiversidade (MYERS *et al.*, 2000).

Sobre este processo de ocupação no

Cerrado, seu início se dá com os “bandeirantes” (desbravadores pioneiros) no século XVII, e com a descoberta de ouro no século XVIII (SILVA, 1982; ESTEVAM, 1998). Neste primeiro momento, a fertilidade do solo, a topografia e a pequena distância das frentes de lavra foram os fatores determinantes da ocupação pela pecuária e agricultura de subsistência.

A bacia hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV) – nosso objeto de análise – reproduz essa ocupação inicial, baseada na mineração. Solos enriquecidos em elementos menos solúveis (Fe, Al, Si) – os Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho (EMBRAPA, 2013) – predominam nesta bacia. As atividades de mineração ocorreram principalmente em áreas de aluvião (i.e. depósitos de sedimentos clásticos, como areia, cascalho e/ou lama), associadas ao sistema hidrológico, ocupando as calhas dos principais rios (Vermelho, Ferreira, Bugre e Uva). Estes rios têm suas nascentes drenando a porção alta da bacia, área sustentada por uma paisagem sobre rochas cristalinas com alto potencial aurífero e relevo movimentado (TEIXERA, 1981; MONTALVÃO, 1985; TOMAZZOLI, 1985;

FORTES, 1995; RESENDE, 1998; HARDY *et al.*, 2005), com solo predominante da classe dos Cambissolos. Paralelamente a esta ocupação de fundo de vale, as áreas de interflúvios também foram sendo progressivamente ocupadas pela agricultura.

Inevitavelmente, o processo de ocupação passou a ocorrer em áreas de alta vulnerabilidade natural, acarretando já naquela época grandes transformações que prejudicavam, principalmente, o sistema pedológico e hidrológico, através do aumento do aporte de sedimentos por processos erosivos na calha fluvial (VIEIRA *et al.*, 2014).

Devido a uma cobertura Detrítica Laterítica que dá sustentação a um terraço fluvial suspenso, que acompanha os principais cursos de água ao longo de toda bacia (HARDY *et al.*, 2005), o sistema fluvial apresenta padrões de estabilidade lateral dos canais, evidenciando, assim, o predomínio de erosão da bacia e sedimentação do canal. Esta dinâmica difere do curso médio do Rio Araguaia, onde deságua o Rio Vermelho, o qual apresenta trechos com padrões distintos de instabilidade lateral do canal e o predomínio da sedimentação sobre os processos de erosão (BAYER, 2002; MORAIS, 2006; LATRUBESSE *et al.*, 2009).

Assim, este trabalho tem por referência o entendimento de que a dinâmica dos diferentes níveis de uso, a história da ocupação e os processos morfogenéticos estão intrinsecamente associados à dinâmica de evolução natural da superfície terrestre (CHISTOFOLLETI, 1979). Além disso, há um entendimento de que a paisagem é reflexo da combinação de elementos físicos (geologia, relevo, tectônica, pedologia) (CHISTOFOLLETI, 1999; TRICART; KILIAN, 1982), biológicos e antrópicos, numa determinada porção da superfície geográfica (BERTRAND, 2004), somada à interdependência de alimentação e retroalimentação entre as inúmeras variáveis envolvidas no processo de construção da paisagem natural (CREPANI e DIAS, 2004).

Assim, busca-se neste artigo avaliar as possíveis relações e contribuições entre as diferentes variáveis que compõem a paisagem natural na BHRV, bem como as influências que variáveis orientadoras, tais como fertilidade

do solo, malha viária, uso do solo, declividade e áreas convertidas têm no processo de ocupação desta região do bioma Cerrado, em dois períodos: tempo T1 (ano de 1976) e T2 (ano de 1987), quando foram observadas as transformações mais intensas na BHRV (VIEIRA *et al.*, 2014).

Especificamente, a partir da integração destas variáveis orientadoras, espera-se obter um melhor entendimento acerca da interdependência entre as variáveis naturais e antrópicas e o processo de ocupação. Esta interdependência, de caráter dinâmico, pode ser interpretada com base na probabilidade de transição de cada unidade (célula) da paisagem em atividade antrópica, ao longo do tempo e do espaço, conforme metodologia de SOARES FILHO *et al.* (2002) e FERREIRA *et al.* (2013).

## 2. BASE DE DADOS E MÉTODOS DE ANÁLISE

A bacia hidrográfica do Rio Vermelho, localizada no limite oeste do Estado de Goiás, ocupa uma área de 10.824,60 km<sup>2</sup> entre os municípios goianos da Cidade de Goiás (alta bacia) e Aruanã (baixa bacia), com Latitudes 14°55' e 16°20' Sul e Longitudes 50°00' e 51°30" Oeste. Intersectam seus limites os municípios de Goiás, Aruanã, Matrinchã, Britânia, Jussara, Santa Fé de Goiás, Fazenda Nova, Novo Brasil, Buriti de Goiás, Faina e Itapirapuã (totalmente inserido na bacia) (Figura 1).

Inicialmente, e considerando a totalidade da área abrangida pela bacia hidrográfica do Rio Vermelho, foi organizada uma base de dados geográfica vetorial (ex. limites políticos, drenagens, estradas, solos) e satelitária (Landsat 5 - TM, cenas 222/70, 222/71, 223/70 e 223/71, obtidas em agosto de 1987, e Landsat 1, 2 e 3 - MSS, cenas 239/70 e 239/71, para o ano de 1976), a partir das quais foram elaborados os mapas de cobertura e uso da terra para estes dois momentos (Figura 1). O processo de classificação e interpretação visual das imagens, auxiliado por visitas a campo (junho, novembro e dezembro de 2010), resultou na identificação e discriminação das seguintes classes: agricultura, água, bancos de areia, pastagem, perímetro urbano, pivôs e vegetação natural.

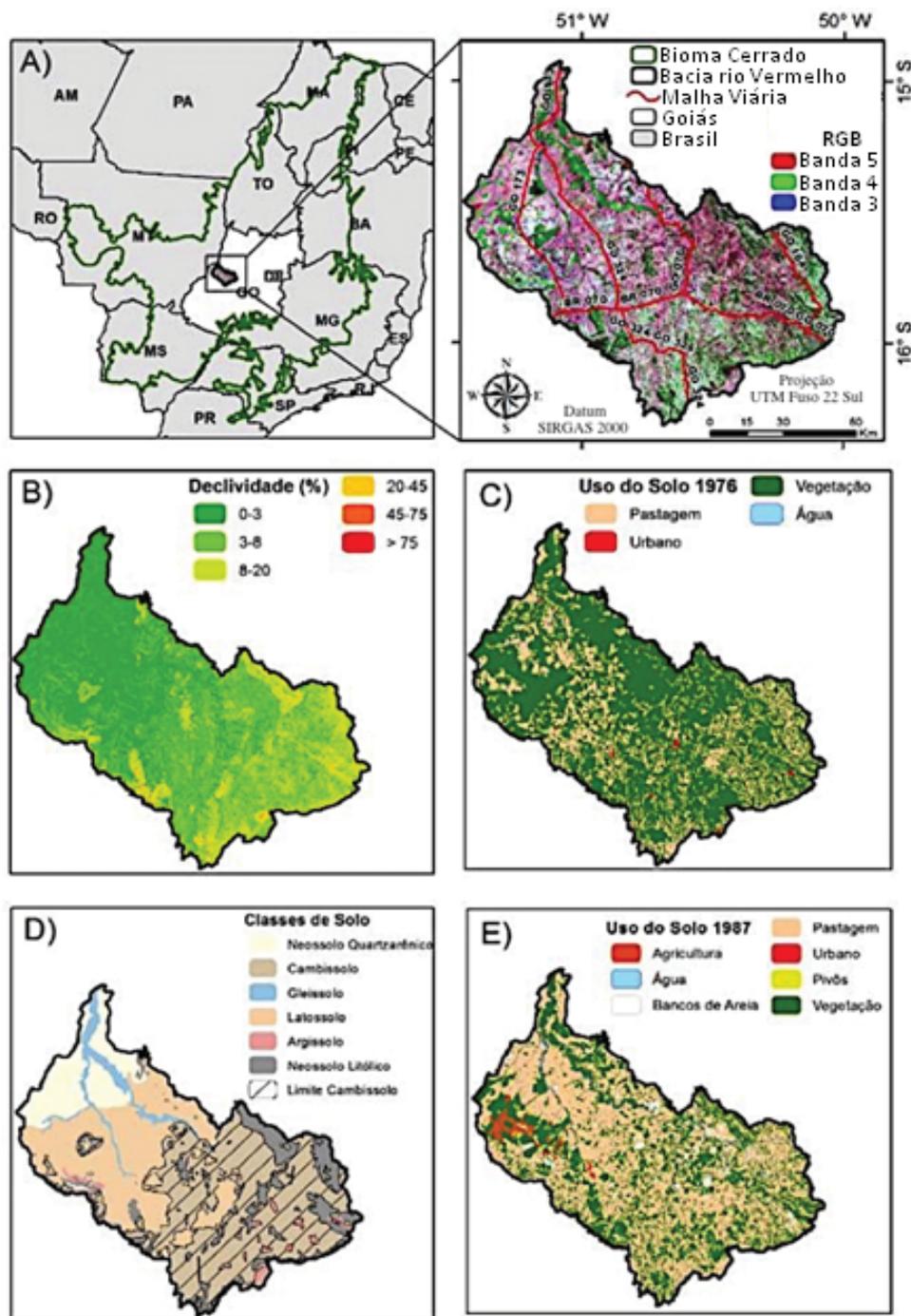


Fig. 1 - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (A), com destaque para as variáveis declividade (B), solo (D), uso do solo em 1976 (C) e 1987 (E).

Para fins de análise física, e tendo por base a relação direta entre hipsometria, declividade, geomorfologia e arcabouço geológico, a bacia do Rio Vermelho foi dividida em quatro domínios principais de aplainamento: Superfície de cimeira (800 a 1.050 metros), sustentada pelos *Greenstone belts* de Santa Rita e quartzitos da Serra Dourada; Superfície de aplainamento SA1 (600 a 800 metros), com relevo ondulado a fortemente ondulado, sob forte controle

tectônico, definida pelos gnaisses, colúvios do *Hogback* da Serra Dourada, metultramáficas e partes arrasadas dos *Greenstonebelts*; Superfície de aplainamento SA2 (450 a 600 metros), definida por granitos, gnaisses, cobertura detrito-laterítica e Superfície de aplainamento SA3 (220 a 450 metros), associada às coberturas detrito-lateríticas e sedimentos arenosos da Formação Araguaia, bem como sedimentos inconsolidados de idades holocênicas da planície aluvial (Figura 2).

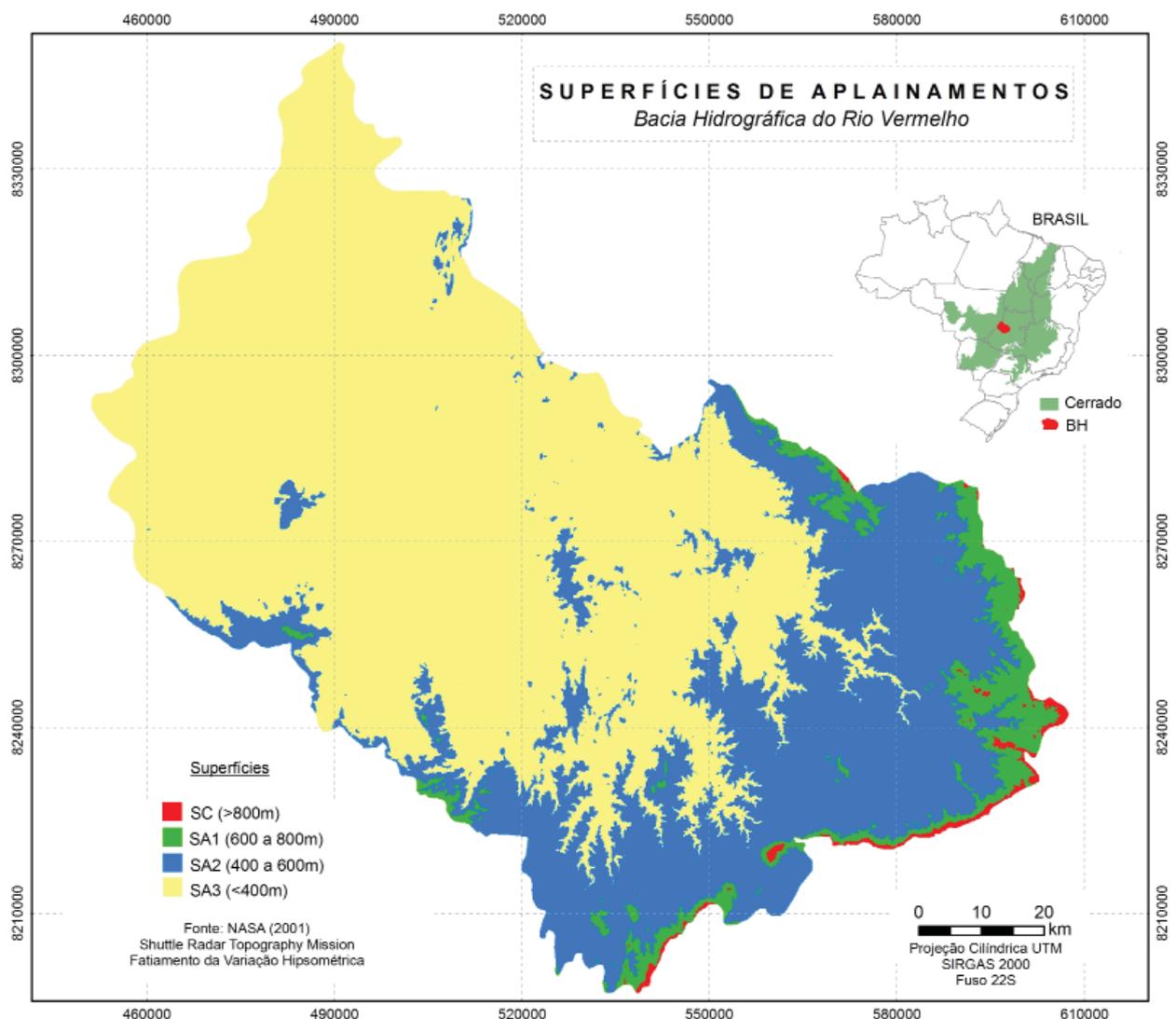


Fig. 2 - hipsometria na bacia do Rio Vermelho (dados SRTM), ilustrando as quatro superfícies principais de aplainamento.

Em relação à declividade, esta foi dividida, com base em imagens SRTM com 90 metros de resolução espacial (conforme MEDEIROS *et al.*, 2009), nas seguintes classes: de 0 a 3%, 3 a 8%, 8 a 20%, 20 a 45%, 45 a 75% e >75% (Figura 1B), onde hipsometria, declividade e superfícies de aplainamento se relacionam da seguinte forma: predomínio de declividades de 0 a 8% na faixa hipsométrica baixa e processos erosivos relacionados à Superfície de Aplainamento mais recente – SA3; declividades de 8,1 a 20% relacionadas principalmente à hipsometria média e Superfície de Aplainamento SA2; declividades de 20,1 a 45% relacionadas à hipsometria alta e Superfície de Aplainamento SA1; declividades >45%, relacionadas às áreas com altos valores hipsométricos e superfícies de cimeira (Figuras 1B e 2).

Ressalta-se a significativa vulnerabilidade natural (instabilidade) das paisagens situadas nas superfícies S1 e cimeira, nas quais predominam a agricultura de subsistência e alguma atividade residual de mineração. Já nas superfícies de aplainamento mais recentes (S3 e S2) predominam as grandes propriedades comerciais de pecuária extensiva (VIEIRA *et al.*, 2014).

Ainda com base nos dados SRTM e informações de campo, procedeu-se à análise da estruturação da bacia, cujo principal rumo e sentido dos processos geomorfológicos ocorrem de sudoeste para nordeste, em concordância com a tectônica apresentada por VIEIRA (2003), VALENTE (2007) e BAYER (2010), com predomínio dos processos denudacionais (erosivos), conforme destacado por LATRUBESSE *et al.* (2006). O sistema

pedológico foi estabelecido a partir de dados do IBGE (1999), refinado com dados de campo, e dividido em seis classes: Cambissolo, Latossolo, Neossolo Quartzarênico, Argissolo, Gleissolo e Neossolo Litólico (Figura 1D).

Por fim, procedeu-se à avaliação sobre a influência das variáveis fertilidade do solo, malha viária e distâncias das áreas convertidas sobre a dinâmica de ocupação e intensidade do uso do solo, e implicações decorrentes das diferentes classes de vulnerabilidade natural, considerando a sustentabilidade socioeconômica e ambiental nas diferentes paisagens que compõem este sistema geográfico.

A respeito do cálculo da probabilidade de mudança na paisagem, esta foi obtida empregando-se o DINAMICA EGO (SOARES-FILHO *et al.*, 2002), uma plataforma pública para modelagem ambiental (<http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>), voltada para informações (*layers*) no formato de imagens (*raster*), georreferenciadas ou não. A figura 3 ilustra a

interface desta plataforma e o fluxograma com as fases de processamento.

A base de dados para esta plataforma foi preparada com as seguintes etapas: (1) conversão das bases de dados vetoriais (malha viária e mapas de cobertura e uso do solo em 1976 e 1987) para o formato *raster*, com tamanho de *pixel* de 0,5 km. (2) Todas as camadas de imagens receberam a mesma resolução espacial (i.e., mesmo número de linhas e colunas) e propriedades cartográficas (Projeção Geográfica, sistema de coordenadas em graus, elipsóide WGS 84). (3) Com relação à imagem de declividade, esta foi gerada a partir dos dados SRTM (90 metros), obtidos no portal de dados mantido pela EMBRAPA monitoramento por satélite (<https://www.embrapa.br/monitoramento-por-satelite>). A declividade foi então reclassificada em intervalos iguais e reamostrada para a resolução de 0,5 km. O fluxograma na ilustra a entrada de dados e procedimentos realizados no ambiente da plataforma DINAMICA EGO.

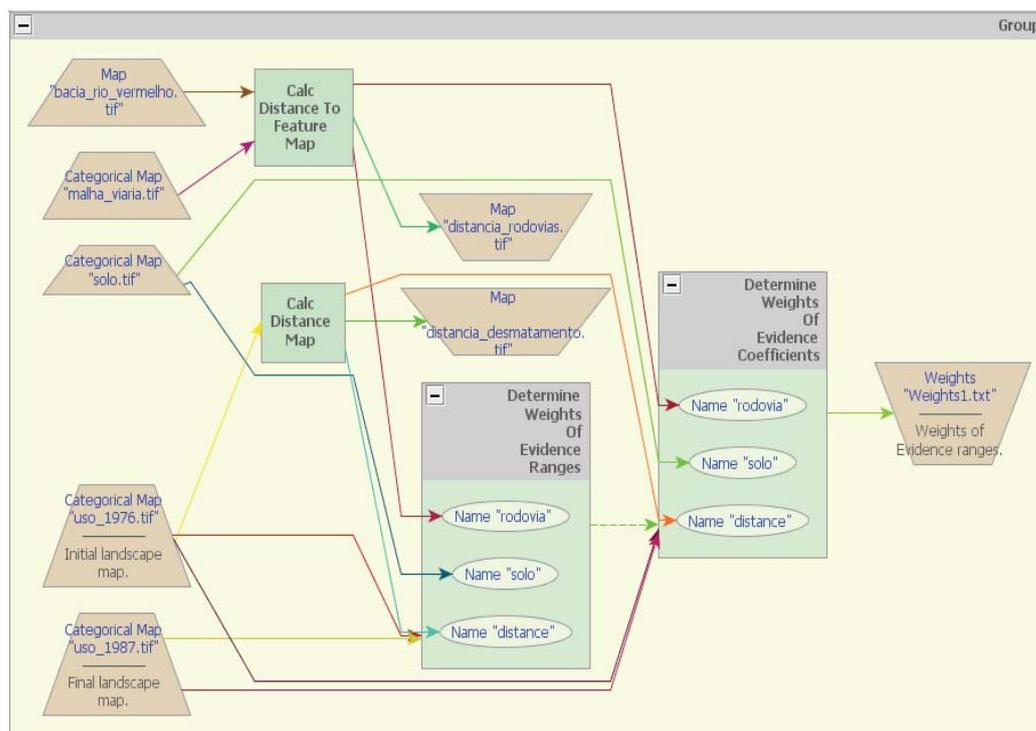


Fig. 3 - Modelo implementado na plataforma DINAMICA EGO, visando os cálculos dos coeficientes de correlação entre a conversão da bacia hidrográfica do Rio Vermelho (variável dependente) e as variáveis físicas e de infraestrutura (independentes).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na bacia do Rio Vermelho foram identificadas as seguintes classes de solo, em ordem decrescente de representatividade: Cambissolo (32%), Latossolo

(30%), Neossolo Litólico (13%), Gleissolo (4%), Argissolo (2%) e Neossolo Quartzarênico (2%) (Figura 1D).

Em geral, a ocupação da agricultura na bacia do Rio Vermelho avança sobre áreas ambientalmente

vulneráveis (i.e., calha fluvial, terraço e planície de inundação) (Figura 1, quadros C e E). Nestas áreas, contudo, e conforme depreendido da análise de imagens de sensoriamento remoto e informações de campo, o declínio na produtividade agrícola faz com que esta forma de ocupação tenda a ser substituída, em um período não superior ao de cinco anos, por pastagens manejadas, uma ocupação de menor exigência do solo e de menor impacto sobre a dinâmica evolutiva das paisagens (BERTRAND, 2004).

A ocupação antrópica da bacia (aproximadamente 30% da sua área total, em 1987), e sua rápida intensificação (Figura 4, A e B), é também corroborada pela malha viária, cuja densidade de

estradas saltou de 0,451 km/km<sup>2</sup> (1976) para 0,920 km/km<sup>2</sup> (1987) (Figura 4, C e D); tal fato demonstra um crescimento que se dá a partir de quatro eixos rodoviários (Figura 1A), com destaque para a BR 070, que liga todo sudeste ao noroeste da bacia, e GO 324, que interliga toda parte norte ao sul.

O predomínio e intensificação da atividade pecuária na bacia (Figuras 4B e 5) pode ser associado a três padrões distintos de uso e pastagens: (a) um mosaico que associa pastagem e remanescentes para a alta bacia, (b) uma pastagem com padrão geométrico bem definido, evidenciando um uso com maior índice de tecnificação para a baixa bacia, e (c) uma zona de transição mesclando os dois padrões na média bacia.

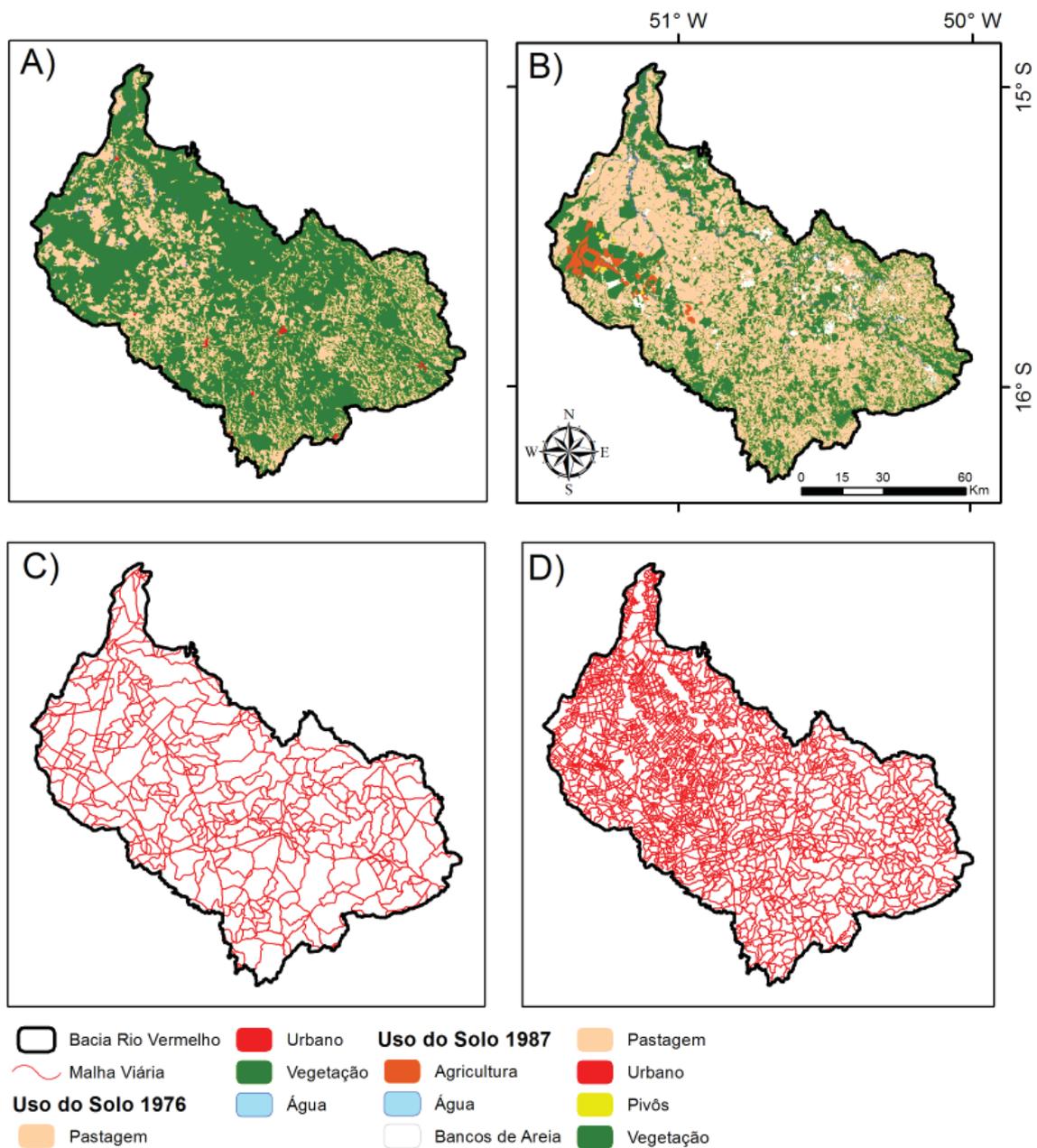


Fig. 4 - Evolução da ocupação e malha viária na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, entre 1976 (quadro A e C) e 1987 (quadro B e D).

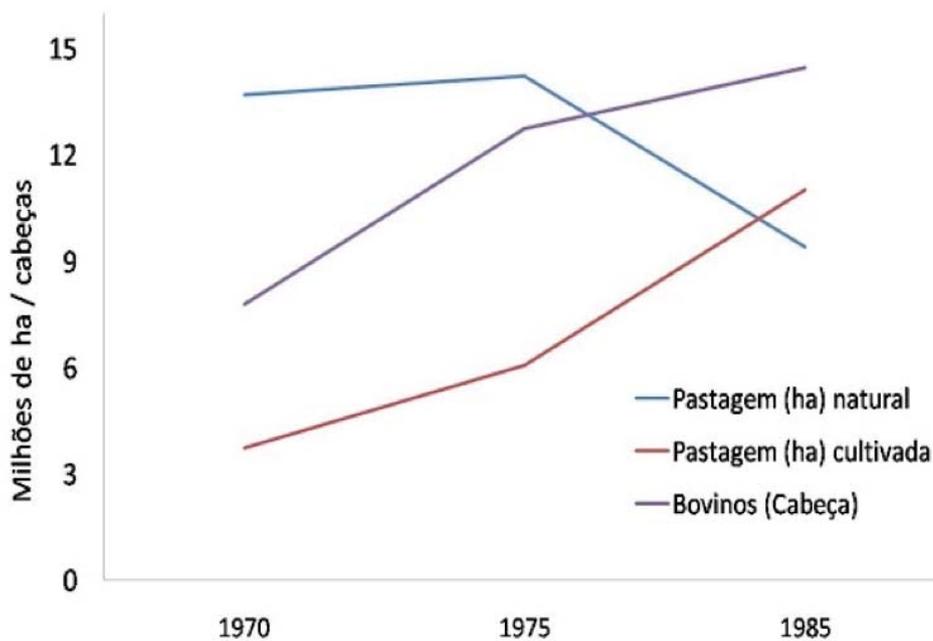


Fig. 5 - Relação entre área de pastagem e pecuária na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, em três

Conforme os mapas de cobertura e uso do solo obtidos nesta pesquisa, para o ano de 1976 predominava a vegetação remanescente, cobrindo uma área de aproximadamente 7.531 Km<sup>2</sup> (69,6% da bacia), enquanto a pastagem (cultivada e natural) ocupava 3.261 Km<sup>2</sup> (30,1%), como ilustra a Figura 1C.

Ainda com base nas imagens Landsat – MSS (1976), constatou-se que a primeira frente de ocupação na baixa bacia (em cotas inferiores a 400 metros) deu-se preferencialmente ao longo da rodovia GO 324, que liga os municípios goianos de Jussara e Britânia; a partir desta GO, apresentam-se vias secundárias com padrões geométricos retangulares (Figura 1, A e C).

Já a segunda frente de ocupação, na década de 1980, apresenta um crescimento na taxa de ocupação e uso da terra de 27% (diferença no período entre 1976 e 1987), ou de 2,45% ano<sup>-1</sup>, passando a ocupar as cotas entre 400 e 600 metros (Figura 1E).

Especificamente quanto à influência da fertilidade do solo, da hidrologia, das áreas já convertidas e do eixo viário principal neste modelo dinâmico de ocupação da bacia do Rio Vermelho, verifica-se que a conversão de novas áreas de Cerrado para o uso da agricultura e da pecuária (esta última efetivamente instalada na primeira frente de ocupação, após o declínio da mineração), ocorre com as seguintes etapas:

(A) retirada da cobertura vegetal, (B) uso para agricultura, por um período não superior a cinco anos, em solos de boa fertilidade natural e um sistema hidrológico com alta densidade de canais (i.e., padrão dendrítico), (C) empobrecimento do solo, (D) conversão para pastagem, e (E) reprodução do processo, com o avanço da agricultura sobre novas áreas de Cerrado, com solo de melhor fertilidade natural (“manchas”), neste caso Argissolos, Latossolos e Cambissolos mais espessos. No final, surge uma paisagem intercalada de remanescentes de Cerrado com pastagem cultivada, permeando as cotas entre 400 e 500 metros.

Este modelo de ocupação na bacia do Rio Vermelho também pode ser visualizado conforme o fluxograma da Figura 6, onde considera-se uma célula inicial de ocupação anterior a 1970 (CM1 = Célula comandada pela mineração), a qual se reproduz em núcleos ao seu redor, e ao redor destes núcleos em pequenas frentes de uso para agricultura e pecuária, tendo como variável controladora principal neste momento a geologia. A partir desta célula de mineração, e com os eixos viários que conectam a outras células (CA/P1 e CA/P2 = Célula comandada pela agropecuária 1 e 2), novas frentes de ocupação irão se formar, cujo processo avança até 1987, período de consolidação do uso nesta bacia.

Os diferentes mosaicos de paisagens resultantes do processo de consolidação do uso na bacia hidrográfica do Rio Vermelho são mostrados na figura 7.

Com base no processamento realizado na plataforma de modelagem DINAMICA, envolvendo as variáveis orientadoras ao processo

de ocupação para os momentos T1 (1976) e T2 (1987), obteve-se novas evidências sobre a influência (peso) de cada uma das variáveis na área de estudo. Estas variáveis foram divididas em “estáticas” (solo, declividade, relevo) e dinâmicas (malha viária e distância de áreas previamente convertidas).

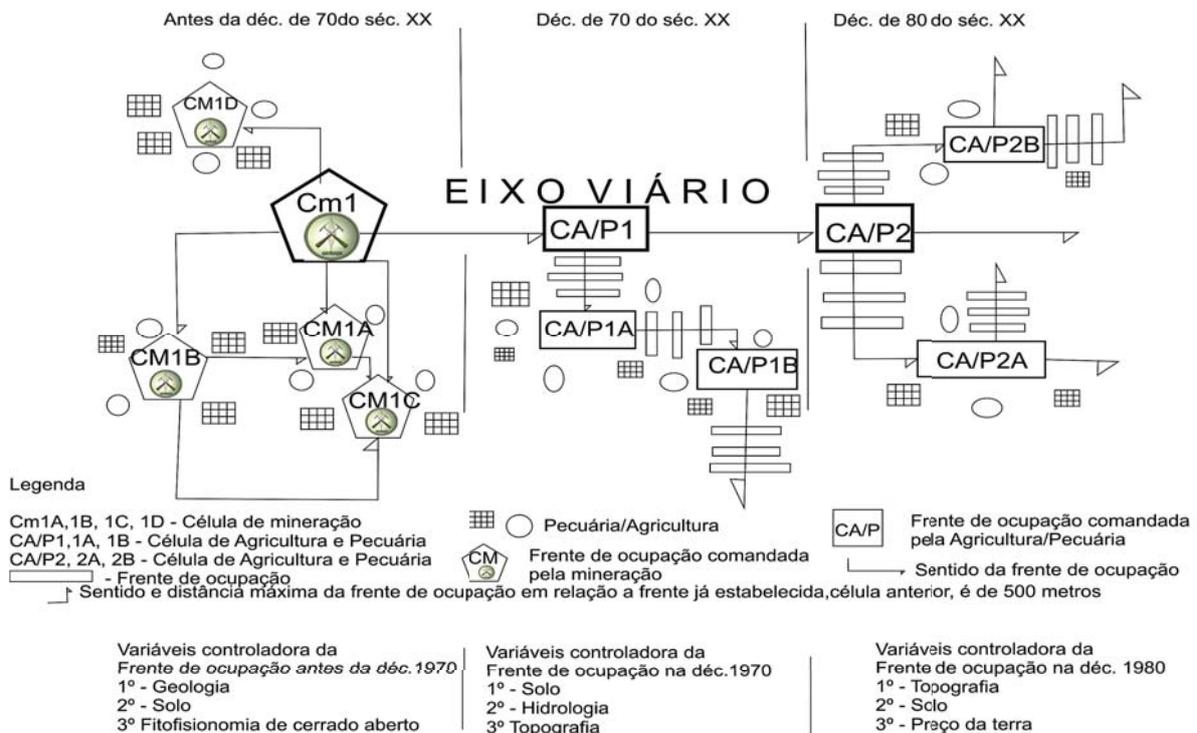


Fig. 6 - Modelo de ocupação e uso para o bioma Cerrado/Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho.

Inicialmente, quanto à fertilidade natural, os solos da classe dos Latossolos e os Argissolos, espessos e com médio-bom fertilidade natural, apresentaram elevada correlação positiva com o processo de ocupação/desmatamento da bacia, com coeficiente de 0,45 para os Argissolos e 0,34 para os Latossolos. Isto explica a ocupação destas áreas já no início da primeira frente de ocupação, principalmente sobre os Argissolos, que ocorrem em relevo mais movimentado e cotas elevadas, entre 500 e 600 metros. Apesar de sua baixa representatividade em termos de

área na bacia (~ 1,7%), os Argissolos têm forte influência na determinação das frentes de uso e ocupação, conforme Tabela 1.

Para os Cambissolos, os resultados não mostram nenhuma correlação significativa (valores de 0,07), indicando que estas áreas, de certa forma, estariam mais atreladas à preservação da cobertura vegetal do bioma Cerrado. No entanto, devido ao fato desta classe aparecer com uma área bastante representativa na bacia (40%, ou 4.327 km<sup>2</sup>), a mesma apresenta uma ocupação superior a 50%.

Tabela 1: Valores de área e coeficiente de correlação das classes de solo com a ocupação na bacia hidrográfica do Rio Vermelho

Solo	Área %	Área Km <sup>2</sup>	Coeficiente
Gleissolo	4,21	456,6013	-1,41
Neossolo Litólico	12,55	1359,6735	-0,71
Cambissolo	39,97	4327,8248	0,07
Argissolo	1,71	185,6342	0,45
Neossolo Quartzarênico	12,28	1329,6589	0,18
Latossolo	29,25	3168,0066	0,34

Em relação aos Neossolos Quartzarênicos, estes apresentaram uma baixa taxa de conversão na bacia, em face de sua baixa fertilidade natural (isto é, solos lixiviados devido à sua alta permeabilidade e regime climático com precipitações concentradas em alguns meses do ano), pobre em bases trocáveis e com uma composição mineralógica com altos teores de quartzo.

Entretanto, esta classe apresentou pela análise no DINAMICA (Tabela 2) uma correlação

positiva (coeficiente de 0,18), levando a crer que uma topografia mais suave e o aumento do padrão tecnológico através do emprego de máquinas, insumos químicos e sementes adaptadas, sobrepõem à variável fertilidade no processo de mudança no uso do solo, o que fica demonstrado para a bacia do Rio Vermelho para o final do período 1976 – 1987, com a taxa de ocupação saltando de 30% para 60%, em parte pela prática da pecuária, antes em gramínea natural, para a gramínea plantada.

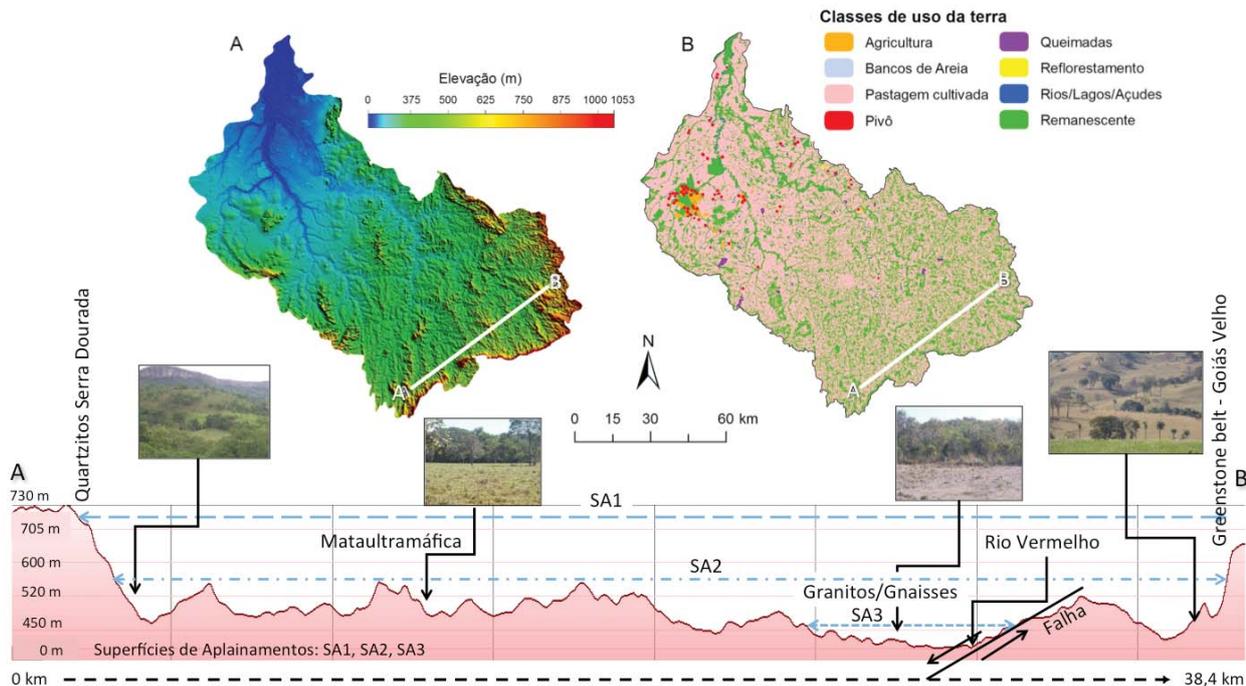


Fig. 7 - Correlações entre os principais usos e as diferentes variáveis naturais: Superfícies de Aplainamentos, solos, geologia e sistema hidrológico. Mapa A: hipsometria (em metros). Mapa B: uso do solo no ano de 2011 (base de satélite RapidEye).

Faz-se necessário esclarecer que, esta classe de solo está associada à geologia dos sedimentos arenosos da Formação Araguaia, os quais possuem o domínio na baixa bacia, região de grandes propriedades rurais; portanto, esta conversão não poderia ser explicada por falta de área, o que normalmente ocorre nas pequenas propriedades, onde a agricultura familiar é praticamente obrigada a avançar sobre toda área disponível, independente da capacidade de suporte ou não para a pecuária ou agricultura.

Para os Gleissolos e os Neossolos Litólicos, os resultados apresentam uma correlação negativa, com coeficientes de

-1,41 e -0,71, respectivamente; tal informação reforça, inclusive com base no mapa de uso da terra de 1976 (Figura 1C), a tese de que os remanescentes de Cerrado (não só nesta bacia) estejam fortemente associados a estes domínios pedológicos, uma vez que estão ora associados a um relevo altamente movimentado e rocha exposta (Neossolos Litólicos), ora em áreas encharcadas (Gleissolos). Entretanto, ressalta-se que, apesar da não conversão do Cerrado nestas áreas da bacia, estas são ainda utilizadas pela pecuária no período de forte estiagem, entre maio e setembro.

Por outro lado, quando se discute o peso de influência da variável antrópica “proximidade

de áreas já convertidas” no estabelecimento de novas frentes de ocupação, deve-se considerar a distância das áreas de agricultura e pecuária, e sua respectiva influência para a expansão sobre novas áreas de Cerrado. Sobre estes intervalos de distâncias, e ainda com base na modelagem realizada no DINAMICA, entre 0 e 513 metros obteve-se uma correlação positiva elevada, com coeficiente de 0,23 para a uma nova ocupação, enquanto que acima deste intervalo os coeficientes são baixos ou negativos (ou seja, 0,05 para o intervalo 513 – 725 metros, -0,11 para 725 – 1449 metros, -0,28 para 1449 – 1847 metros, -0,51 para 1847 – 2612 metros).

Na análise conjunta da malha viária e da distância de áreas já convertidas (variáveis dinâmicas e influentes na conversão das áreas de remanescentes), os dados obtidos nesta análise (Tabela 2) permitem afirmar que há uma ação combinada entre a malha viária com a ocupação já estabelecida. Neste cenário, a correlação dos desmatamentos com as áreas circundantes às rodovias (asfaltadas ou não) foi de 26% (influência imediata), chegando até 32% ao se considerar uma distância aproximada de 1 km, atraindo a instalação de uma infraestrutura básica de produção, e vice-versa (Figura 1, C e E, e Tabela 2).

Tabela 2: Valores de correlação entre as classes de distâncias das frentes de conversão e de rodovias com a ocupação na bacia hidrográfica do Rio Vermelho

Distância / Frente de conversão (metros)		Distância/ Malha viária (metros)	
Classe	Coeficiente	Classe	Coeficiente
0 - 513	0.230004	0 - 1	0.262046
513 - 725	0.0599658	1 - 1146	0.0656071
725 - 1449	-0.111148	1146 - 1537	-0.200754
1449 - 1847	-0.281605	1537 - 2112	-0.334721
1847 - 2612	-0.515927	2112 - 7333	-0.425499

Áreas localizadas após os dois primeiros intervalos de distâncias de rodovia, i.e., distâncias acima de 725 metros, mostraram uma correlação negativa, conforme os demais valores de coeficientes obtidos: -0,2 para o intervalo entre 1146 – 1537 metros, -0,33 para o intervalo de 1537 a 2112 metros, e -0,42 para a faixa de 2112 a 7333 metros (Tabela 2). Estes valores de coeficientes negativos têm sua importância ao indicar que outras variáveis “estáticas”, como a geologia, solo e relevo, estão controlando a ocupação a partir desta fase. Neste sentido, os Cambissolos, por exemplo, aos quais se espera uma baixa taxa de conversão (com exceção dos Cambissolos com 2 metros de espessura), na bacia do Rio Vermelho aparecem com ~62% de áreas convertidas, contra apenas 30% de remanescentes em manchas de Cambissolos. Arelado a este impedimento natural, soma-se o domínio da topografia mais movimentada, que se dá na seguinte forma: classe de declividade de 3 a 8% com ~35% de uso, e de 8 a 20% com ~12% de uso, contra ~18% e ~9%, respectivamente, de remanescentes. Ou seja, 47% de uso em

Cambissolos tem ocorrido sobre um relevo mais movimentado (Figura 1, B, D, Figuras 7 e 8, e Tabela 3).

Desta forma, julga-se necessária uma cautela quando da análise destas variáveis controladoras do uso e ocupação (em modelagens em ambientes computacionais como no DINAMICA), onde uma análise mais integrada, atrelando outras variáveis e base de dados de campo, fornecem condições de interpretar este modelo de ocupação da bacia de forma mais realista.

No caso da bacia hidrográfica do Rio Vermelho, acredita-se que a unidade geotectônica sustentada por rochas do cristalino – Granitos-Gnaisses favorece a um relevo movimentado, como solos Cambissolos de níveis pedregosos (com domínio de linhas de pedra e horizontes “B” carregados de caolim). Seu uso, assim, pode estar atrelado à importância política e econômica, bem como à posição geográfica do município de Goiás, antiga capital do Estado (primeiro polo irradiador dos processos dinâmicos de ocupação e porta de entrada desta bacia) (Figura 8).

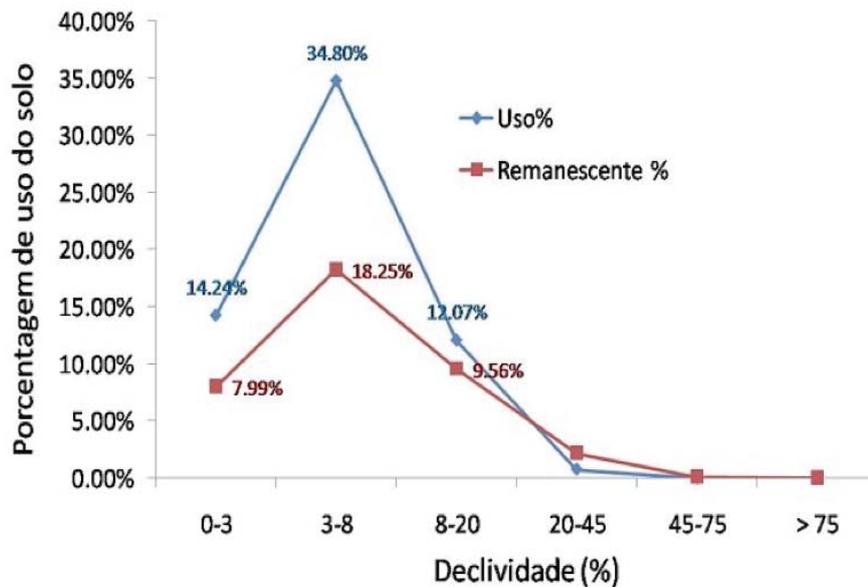


Fig. 8 - Porcentagem dos solos Cambissolos versus Uso do solo versus Declividade

Tabela 3: Distribuição das áreas de uso antrópico e remanescentes na bacia hidrográfica do Rio Vermelho, sob solos da classe dos cambissolos

Presença de Cambissolo na bacia Vs. Declividade Vs. Uso Vs. Remanescente Cerrado

Declividade (%)	Uso (%)	Área (Km <sup>2</sup> )	Remanescente em Cambissolo (%)	Área (Km <sup>2</sup> )	Uso (%) total	Total Remanescente (%)
0 – 3	21,0154	615,4202	20,9710	345,4254	14,24	7,99
3 – 8	56,2401	1503,8336	47,8821	788,6932	34,80	18,25
8 – 20	19,5144	521,8054	25,1034	413,4924	12,07	9,56
20 – 45	1,2142	32,4674	5,7552	94,7977	0,75	2,19
45 – 75	0,0158	0,4237	0,2796	4,6050	0,00	0,10
> 75	0,0001	0,0028	0,0087	0,1433	0,00	0,00
Total Cambissolo	100	2673,95	100	1647,15	61,86	38,09

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo procedeu a uma análise integrada dos dados acerca da caracterização física do sistema natural, da dinâmica histórica de ocupação e uso, da consolidação e da sustentabilidade socioeconômica e ambiental para a Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, modelo este que poderá ser replicado para outras bacias (pequenas e médias) do bioma Cerrado.

Os resultados também fornecem subsídios orientadores para formulação de políticas públicas para a gestão territorial e ambiental dos onze municípios que integram esta bacia.

Em geral, foi possível identificar e

espacializar os diferentes níveis de uso (dez níveis) e sua importância no processo de fixação antrópica e consolidação da região como tal é conhecida. Entende-se que o atual estágio de conversão da paisagem natural pode receber uma significativa melhora na sua capacidade de sustentabilidade ambiental, frente ao atual sistema produtivo, desde que se equilibre os níveis de uso deste mosaico, entre áreas remanescentes e convertidas, com relação de 65,5% de áreas convertidas para 35% de remanescentes. Para tanto, é importante executar um reordenamento espacial quanto ao uso da terra.

Dados do IBGE (2006), bem como dados de campo, apontaram para uma maior capacidade de suporte de bovinos para aquelas áreas em que o uso integrado entre remanescentes e áreas convertidas (sistemas agroflorestais) estiveram presentes, de 2,4 a 3,6 cabeça/hectare/ano, contra 0,7 a 0,9 para pastagem convencional. Neste caso, fica evidente a necessidade de um melhor manejo da bacia, visando o aumento de produtividade com sustentabilidade socioambiental, sem, contudo, converter novas áreas de Cerrado.

Em geral, os diferentes tipos de uso, frente ao processo histórico de ocupação do Cerrado na bacia do Rio Vermelho, demonstram uma boa resposta do sistema natural. Ou seja, a nova paisagem indica uma aceitável dinâmica de evolução natural, com alguns pontos de estrangulamentos quanto a processos erosivos, de assoreamento de canal fluvial e recorrência de cheias e pastagens degradadas, pontos facilmente corrigidos com um reordenamento e manejo dos tipos de uso do solo.

Esta modelagem dos níveis de uso e da paisagem natural, aqui identificadas, mensuradas, especializadas e discutidas nesta bacia, são de extrema importância na gestão das atividades produtivas, de forma a manter no bioma Cerrado um desenvolvimento econômico sustentável, com recursos naturais preservados para as futuras gerações.

## AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa se insere no âmbito dos projetos “Mapeamento de áreas de pastagens no território brasileiro” (Gordon and Betty Moore Foundation) e Organização e Disponibilização de Bases de Dados Geográficas para a Gestão Territorial e Ambiental do Estado de Goiás (FAPEG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás, no. 2012/10267000966). MEF e LGF são bolsistas de produtividade pelo CNPq.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAYER, M. **Dinâmica do transporte, composição e estratigrafia dos sedimentos da planície aluvial do Rio Araguaia**. Tese (Doutorado). Goiânia: Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais, 2010. 114p.

BAYER, M. **Diagnóstico dos processos de**

**erosão/assoreamento da planície aluvial do Rio Araguaia, entre Registro do Araguaia (GO) e Cocalinho (MT)**. Dissertação (Mestrado). Goiânia: Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Estudos Sócio-Ambientais - IESA, 2002. 126p.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global - Esboço metodológico. (Trad.: Olga Cruz). Trabalho publicado, originalmente, na “Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest”, Toulouse, v. 39 n. 3 (249-272), 1968, sob título: Paysage et géographie physique globale. **Revista RA E GA - O espaço geográfico em análise**, n. 8, 141-152, 2004.

COSTA, M. H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, v. 283, n. 12, 206 - 217, 2003.

CREPANI, E.; DIAS, R. R. Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente (Seplan). Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). **Projeto de Gestão Ambiental Integrada da Região do Bico do Papagaio. Zoneamento Ecológico-Econômico**. Imperatriz. Vulnerabilidade de Paisagens à Perda de Solos da Folha SB.23V-C, Seplan/DZE, 2004. 48 p.

ESTEVAM, L. **O tempo da transformação – estrutura e dinâmica da formação econômica de Goiás**. Goiânia: ed. do autor, 1998. 180 p.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**: 2a ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 306 p.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; MIZIARA, F.; SOARES-FILHO, B. S. Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: future scenarios and perspectives for conservation. **Journal of Land Use Science**, v. 8, p. 403 - 421, 2013.

FORTES, P. T. F. O. **Metalogenia dos Depósitos Auríferos Mina III, Mina Nova e Mina Inglesa, Greenstone Belt de Crixás, Goiás**. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 1995. 207 p.

IBGE. **Censo Agropecuário**, 2006. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, IBGE, P.1-777. Disponível

- em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 de março de 2013.
- IBGE. **Diagnóstico ambiental da bacia do Araguaia: trecho Barra do Garças (MT) – Luiz Alves (GO)**. CDP/IBGE. Goiânia, 1999. 139 p.
- LATRUBESSE, E. M.; CARVALHO, T. M. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Tocantins**. Goiânia. Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Estado de Goiás. 2006. 128 p.
- LATRUBESSE, E. M.; AMSLER, M. L.; MORAIS, R. P.; AQUINO, S. The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River. **Geomorphology**, v. 113, n. 4, 239 - 252, 2009.
- LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. Análise da situação dos recursos hídricos do Cerrado com base na importância econômica e socioambiental de suas águas. In: **anais do IX Simpósio Nacional do Cerrado e II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais**. Brasília: Embrapa-CPAC, p. 1 - 6. CD-ROM, On-line, 2008.
- MEDEIROS, L. C.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. **Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas**. Revista Brasileira de Cartografia, n. 61, v. 2, 2009.
- MONTALVÃO, R. M. G. **Evolução Geotectônica dos Terrenos Granito- Greenstone de Crixás, Guarinos e Pilar-Hidrolina**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1985. 372 p.
- MORAIS, R. P. **A Planície Aluvial do Médio Araguaia: processos geomorfológicos e suas Implicações Ambientais**. Tese de doutorado, CIAMB - Universidade Federal de Goiás, 2006. 145 p.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, 853 - 858, 2000.
- RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, 223 - 230, 1997.
- RESENDE, M. G. Stratigraphy of the Goiás and Faina Greenstone belts, Central Brazil: a new proposal. **Revista Brasileira de Geociências**, 28(1), 77 - 94, 1998.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO J. L.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Mapeamento semidetalhado (escala de 1:250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, 153 - 156, 2008.
- SILVA, A. C. S. **Mato Grosso permanece grande e forte: a economia mato-grossense após a divisão**. Goiânia: Única, 1982. 210 p.
- SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. DINÂMICA – Astochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**, v. 154, 217 - 235, 2002.
- TOMAZZOLI, E. R. **Geologia, Petrologia, Deformação e Potencial Aurífero do Greenstone Belt of the Goiás (GO), Brasil**. Dissertação (Mestrado), IG/UnB, 1985. 206 p.
- TRICART, J.; KILIAN, J. **La Eco-Geografía y la ordenacion del medio natural**. Barcelona: Editorial Anagrama, 1982. 283 p.
- VALENTE, C. R. **Geotectonic, geologic evolution and regional geomorphology of the Araguaia river basin, Central Brazil**. Teses (Doutorado). Universidade Federal de Goiás. Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais, 2007. 204 p.
- VIEIRA, P. A.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. Análise da vulnerabilidade natural da paisagem em relação aos diferentes níveis de ocupação da bacia hidrográfica do rio vermelho, Estado de Goiás. **Sociedade e Natureza**, v. 26 (2), 385 - 400, 2014.
- VIEIRA, P. A. **Caracterização das Unidades Geomorfológicas Geoambientais da Planície do Bananal**. Dissertação (Mestrado). Goiânia: UFG, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Estudos Sócio-Ambientais - IESA, 2003. 148 p.