



Modelo de Estabilidade dos Solos a Erosão

Model of Stability of Soil Erosion

Leandro Tsuneki Higa¹; Alessana Franciele Schlichting²; Thais Gisele Torres Catalani¹;
Alfredo Marcelo Grigio³; Roberto Macedo Gamarra¹ & Antonio Conceição Paranhos Filho¹

¹ Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Laboratório de Geoprocessamento para Aplicação Ambiental,
Unidade 7A, 78720-100. Campo Grande, Mato Grosso do Sul

² Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Rondonópolis,

Rodovia Rondonópolis-Guiratinga, MT 270 – Km 06, Bairro Sagrada Família, 78735-910. Rondonópolis, Mato Grosso

³ Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Faculdade de Ciências Econômicas, Departamento de Gestão Ambiental,
BR 110 – Km 48, Bairro Presidente Costa e Silva, 59078-970. Mossoró, Rio Grande do Norte

E-mails: leandro.higa@gmail.com; alessanamt@gmail.com; tgorres@gmail.com; alfredogrigo@uem.br;

rmgamarra@gmail.com; antonio.paranhos@pq.cnpq.br

Recebido em: 02/02/2014 Aprovado em: 06/08/2014

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2014_2_05_15

Resumo

O desenvolvimento de novas técnicas que facilitem o planejamento ambiental são necessárias, por isso o presente trabalho apresenta uma nova proposta metodológica: o Modelo de Estabilidade de Solos (MES), que utiliza dados obtidos via sensoriamento remoto com o intuito de subsidiar o planejamento ambiental. A técnica foi aplicada no Município de Costa Rica-MS, com imagens *Landsat* gerando uma proposta de zoneamento ambiental para área de estudo. A carta de declividade foi elaborada através do modelo digital de elevação SRTM. A Carta de Aptidão das Terras (aptidão agrícola do solo) foi obtida do Atlas Multirreferencial do Estado de Mato Grosso do Sul. Utilizou-se o modelo linear de mistura espectral para obtenção da imagem fração vegetação (carta de cobertura vegetal). Com este conjunto de dados aplicou-se o MES, através da álgebra de mapas, que utiliza a sobreposição dos planos de informação de declividade, aptidão agrícola do solo e cobertura vegetal. Os dados obtidos via MES foram confrontados com os observados em campo. Com isso pode-se constatar que o MES foi eficiente na avaliação das áreas mais vulneráveis à ação erosiva, além disso, demonstrou ser uma ferramenta eficiente para tomada de decisão.

Palavras-chave: geotecnologias; sensoriamento remoto; erosão; planejamento ambiental

Abstract

The development of new techniques that facilitate environmental planning are needed, so this work presents a new methodological approach: the Model of Stability of Soil Science (MES), which uses data obtained by remote sensing in order to support environmental planning. The technique was applied in the city of Costa Rica - MS with *Landsat* generating an environmental zoning proposal for the study area. The letter slope was drawn through the SRTM digital elevation model. The Charter Fitness of Lands (agricultural capability of the soil) was obtained from the Multi Referral Atlas of the State of Mato Grosso do Sul linear spectral mixture model to derive vegetation fraction image (letter of vegetation cover) was used. With this data set we applied the MES through map algebra, which uses the overlay of information layers slope, agricultural soil suitability and land cover. Data obtained via MES were compared with those observed in the field. Thus it can be seen that the MES was efficient in assessing the areas most vulnerable to the erosive action, moreover, proved to be an efficient tool for decision making.

Keywords: geotechnology; remote sensing; erosion; environmental planning

1 Introdução

Qualquer alteração nos diferentes componentes da natureza como relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos, acarreta o comprometimento da funcionalidade do sistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico. Estas variáveis tratadas de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da vulnerabilidade dos ambientes naturais (Spörl & Ross, 2004).

A erosão do solo tem sido amplamente estudada dentro do ponto de vista agrícola, pois influencia na perda da produtividade das mais variadas culturas, mais recentemente tem-se dado atenção especial aos problemas ambientais relacionados à erosão, transporte e deposição de sedimentos (Silva *et al.*, 2010).

No Estado de Mato Grosso do Sul a erosão torna-se um importante impacto ambiental, visto a vocação agropecuária do Estado. Desta forma a estimativa das perdas de solos torna-se relevante no planejamento e no zoneamento da vulnerabilidade ambiental de seus municípios. De acordo com Furlan *et al.* (2011) e Tran *et al.* (2012) a análise regional proporciona uma melhor compreensão a fragilidade do ecossistema, auxiliando nas decisões políticas.

O modelo mais comumente utilizado na avaliação das perdas por erosão é a Equação Universal da Perda de Solos (USLE ou *Universal Soil Loss Equation*). Apesar disso, seu caráter empírico implica em dificuldades de calibração no aspecto quantitativo, além de apresentar dificuldades de generalização de resultados (Adriolo *et al.*, 2008). Chaves (2010) e Amorim *et al.* (2010), verificando as incertezas na predição da erosão com a USLE, constataram que a variabilidade espacial/temporal dos fatores da USLE foram significativas, para os seis fatores da USLE e ressaltou a importância em se alterar a fórmula para uma melhor predição.

Na tentativa do aprimoramento da utilização da USLE, Silva *et al.* (2010) utilizaram o modelo de cálculo do fator LS, o *Software USLE 2D* e um sistema de informação geográfica, constatando que a utilização deste conjunto de ferramentas conseguiram prever satisfatoriamente a perda de solo, mesmo assim sugeriram novos estudos para sua validação e possível aprimoramento.

Como os resultados da USLE não têm mostrado produtos adequados qualitativamente, pode-se tentar adequar uma metodologia envolvendo

dados oriundos principalmente do sensoriamento remoto o que poderia se tornar universal a aplicação de um modelo qualitativo mais simplificado, que seja alternativo e equivalente a USLE.

Um modelo quantitativo alternativo a USLE foi desenvolvido por Hazarika & Honda (2001), utilizando uma equação baseada principalmente na declividade e no NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) em uma bacia monitorada. Além disso, Grigio *et al.* (2004) utilizaram um modelo dinâmico no tempo, para predição de tendências da evolução da paisagem, mostrando a importância da ferramenta para transcender o período atual, possibilitando o planejamento e viabilizando as consequências dos fatores antrópicos.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo apresentar e testar um novo modelo qualitativo de perda de solo por erosão, o Modelo de Estabilidade dos Solos (MES), como ferramenta de planejamento ambiental que utiliza predominantemente dados de sensoriamento remoto.

2 Material e Métodos

O município de Costa Rica – MS tem aproximadamente 18.087 habitantes, uma área de 5.723 km² e uma economia baseada na agropecuária (IBGE, 2012). Localizado à Oeste do Estado de Goiás e ao Sul do de Mato Grosso, mais precisamente nas coordenadas 8°33'55"S e 53°07'50"W.

O clima é tropical úmido e quente (Aw segundo classificação de Köppen), com temperatura média anual é 24,8°C, variando mensalmente entre 13,4°C (julho) e 31,4°C (fevereiro). A precipitação pluvial anual é de 1.929 mm e 88% deste total ocorrem na estação chuvosa, de outubro a abril (Bayer *et al.*, 2006).

Os dados digitais obtidos são as imagens de satélite e o modelo digital de elevação SRTM, os quais foram obtidos no sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do sítio do JPL da NASA, respectivamente. Foram utilizadas as cenas *Landsat 5 TM* de 20 de julho de 2008, órbita ponto 224/073 e as “cenas” S19W053 a S19W055 e S20W053 a S20W054 do modelo SRTM (versão 2).

A Carta de Aptidão das Terras obtida do Atlas Multirreferencial do Estado de Mato Grosso do Sul (MS, 1990) que indica a aptidão agrícola do solo, foi georreferenciada no *datum* Córrego Alegre, fuso 22 (54°W – 48°W), hemisfério Sul.

Os dados de altimetria foram interpolados por *Krigagem* para aumentar a resolução espacial das imagens SRTM de 90 metros para 30 metros, nessa etapa aplicou-se a metodologia descrita por Torres (2008).

A Carta de Declividade do Solo foi elaborada através da entrada dos dados do modelo digital de elevação SRTM no pacote Geomatica (PCI, 2007), no qual utilizou-se o algoritmo SLP. As classes finais de declividade do solo (Tabela 1) e estabelecimento dos pesos (Tabela 2) foram adaptadas de Crepani *et al.* (2001). Para o estabelecimento dos pesos, os valores de referência foram aplicados e testados, até que se percebesse um melhor ajuste, tendo como referência as informações do levantamento de campo, possibilitando assim a estimativa dos pesos.

Classe	Declividade %	Classificação
1	0 – 6	Suave
2	6 – 12	Suave – mecanizável
3	12 – 45	Mecanizável – limite APP
4	>45	APP

Tabela 1 Classes de declividade do solo, adotadas para a área de estudo (Adaptada de Crepani *et al.*, 2001).

Classe	Peso	Vulnerabilidade a erosão do solo classificada no MES
1	1,0	Baixa
2	1,5	Média
3	2,5	Alta
4	3,0	Muito Alta

Tabela 2 Pesos das classes de declividade do solo e suas vulnerabilidades à erosão atribuída ao Modelo de Estabilidade dos Solos (MES). Os pesos atribuídos foram aplicados e testados, até que se percebesse o melhor ajuste a realidade do local (Adaptada de Crepani *et al.*, 2001).

A Carta de Aptidão das Terras, que neste trabalho consideramos como Carta de Aptidão Agrícola do Solo, foi digitalizada, georreferenciadas e vetorizadas, gerando-se polígonos, cada qual com o atributo “classe_APT”. Neste Atlas é realizada a diferenciação de utilização do tipo de solos que são representados por algarismos e letras.

A representação com os algarismos 1, 2, 3 e 6 é definida segundo as possibilidades de utilização das terras. Os grupos 1, 2 e 3, são aptos para lavouras; e o grupo 6 é o indicado para a preservação da flora e da fauna ou como área de recreação. As letras indicam o nível tecnológico de manejo que pode ser aplicado no solo, são representadas por “A”, “B” e “C”; Onde “A” indica baixo nível tecnológico de manejo; “B”

médio nível tecnológico de manejo, e “C” alto nível tecnológico de manejo.

As classes de aptidão agrícola dos solos tiveram como referência geral a classificação de Crepani *et al.* (2001), mas foram adaptadas com a realidade da área de estudo (Tabela 3).

Classe	Aptidão agrícola dos solos	Peso	Vulnerabilidade a erosão do solo classificada no MES
1	1 AB(c)	1.0	Baixa
2	2 (a)bc	1.5	Baixa
3	3 (abc)	2.5	Alta
4	6	2.8	Muito Alta
5	TM1	2.9	Muito Alta
6	TM2	3.0	Muito Alta

Tabela 3 Classes de vulnerabilidade à erosão, baseado na aptidão agrícola dos solos.

Aptidão agrícola dos solos atribuído pelo Atlas Multirreferencial do Estado de Mato Grosso do Sul. Peso atribuído para cada classe da área de estudo. Vulnerabilidades à erosão do solo, utilizando o indicativo de aptidão dos solos para classificação final para o Modelo de Estabilidade dos Solos (MES) (Adaptada de Crepani *et al.*, 2001; MS, 1990). Onde: 1 AB(c) – Solos aptos à lavoura, boa aptidão nos níveis de manejo “A”, “B” e restrita no “C”, compreendem áreas com relevo ondulado. 2(a)bc - Solos com aptidão regular para lavoura nos níveis de manejo “B” e “C” e restrita no nível “A”, áreas com relevo plano e suave ondulado. 3 (abc) - aptidão restrita nos níveis de manejo “A”, “B” e “C”, possuem relevo plano e suave ondulado, apresenta baixa disponibilidade de nutrientes à plantas. 6 – solos sem aptidão agrícola com relevo forte ondulado, montanhoso ou escarpado. TM1 – Terras com aptidão restrita para lavoura/ aptidão regular para pastagem plantada. TM2 – Terras com aptidão restrita para pastagem plantada/ aptidão restrita para silvicultura.

Para obtenção da imagem fração vegetação, aplicou-se o modelo linear de mistura espectral, obtida através de uma imagem *Landsat 5 TM* do dia 20 de julho de 2008, órbita ponto 224/073, georreferenciada e ortocorrigida utilizando o método apresentado por Torres (2008). Posteriormente implementou-se um arquivo de metadados, na imagem fração vegetação, contendo informações sobre o perfil de resposta espectral das bandas do sensor, requisito restritivo para que o algoritmo SPUNMIX do pacote Geomatica (PCI, 2007) seja executado. Para isso foram selecionadas amostras de vegetação, solo exposto e sombra/água.

Modelo de Estabilidade dos Solos a Erosão

Leandro Tsuneki Higa; Alessana Franciele Schlichting; Thais Gisele Torres Catalani; Alfredo Marcelo Grigio; Roberto Macedo Gamarra & Antonio Conceição Paranhos Filho

A partir da imagem fração vegetação procedeu-se a determinação das classes que seriam utilizadas. Para isto foi utilizado como referências às classes de fitofisionomias de Ribeiro & Walter (1998), que foram adaptadas ao MES (Tabela 4).

As classes de vulnerabilidade à erosão do solo foram avaliadas de acordo com o percentual de cobertura do solo, características adaptada de Crepani *et al.* (2001). Considerou-se para o Cerrado, 20% de cobertura vegetal do solo, como fator limitante a proteção do solo à erosão. Formações com percentual de cobertura acima de 50% apresentam árvores que variam de 5 a 25 metros, fazendo com que o efeito *splash* da energia cinética seja quase que completamente absorvido (Tabela 5).

Classe	Peso	Vulnerabilidade a erosão do solo classificada no MES
1	3,0	Muito Alta
2	2,0	Média
3	1,0	Baixa

Tabela 4 Classes da cobertura vegetal do solo, classificada de acordo com o percentual de cobertura vegetal da área (Adaptado de Ribeiro & Walter, 1998).

Classe	Peso	Vulnerabilidade a erosão do solo classificada no MES
1	3,0	Muito Alta
2	2,0	Média
3	1,0	Baixa

Tabela 5 Classes de vulnerabilidade à erosão, baseado na cobertura vegetal do solo. Peso atribuído para cada classe da área de estudo. Vulnerabilidades à erosão, utilizando o indicativo de cobertura vegetal do solo para classificação do Modelo de Estabilidade dos Solos (MES) (Adaptada de Crepani *et al.*, 2001).

Assim, geraram-se três cartas básicas da área para aplicação do MES, a carta de aptidão agrícola dos solos, carta de declividade e a carta de cobertura vegetal, todas estas avaliadas em relação a vulnerabilidade à erosão do solo.

No caso em que se deseja avaliar o zoneamento ambiental de um município, ou microrregião, é necessária uma estimativa qualitativa de vulnerabilidade à perda de solo que sirva de sustentação ao zoneamento no intuito de localizar as áreas mais coerentes aos empreendimentos que se deseja implantar, neste contexto surge à proposta do Modelo da Estabilidade dos Solos (MES), que, através da álgebra de mapas, utiliza a sobreposição dos planos de informação de declividade, aptidão agrícola do solo e cobertura vegetal.

Com isso, utilizou-se analogamente à USLE (*Universal Soil Loss Equation*) os seguintes parâmetros:

- Aptidão agrícola dos solos (AS) em alternativa ao fator K (erodibilidade dos solos);
- A declividade (SLP) em alternativa ao fator topográfico LS (rampa e declividade)
- Imagem fração de percentual de cobertura vegetal (IFV) em alternativa aos fatores C (uso e manejo do solo) e P (práticas conservacionistas).
- Considerando o tamanho da área de estudo, o fator R (erosividade da chuva) foi considerado homogêneo para toda a área de estudo.

Desta forma, analogamente a USLE (Wischmeier & Smith, 1978), ter-se-á (Figura 1):

$$\begin{matrix} \text{USLE} & = & f & (& K, & L, & S, & C, & P, & R) \\ \text{MES} & = & f & (& \text{AS}, & \text{SLP}, & \text{IFV}) \end{matrix}$$

Figura 1 Analogia entre a equação da USLE (Universal Soil Loss Equation) e do MES (Modelo da Estabilidade dos Solos) para diferenciação das duas metodologias. Onde “f”: fator de divisão dos fatores avaliados. Na USLE, “K”: erodibilidade dos solos; “L”: rampa; S: declividade; “C”: uso e manejo do solo; “P”: práticas conservacionistas; “R”: erosividade da chuva. No MES, “AS”: aptidão agrícola dos solos; “SLP”: declividade do solo; “IFV”: imagem fração de percentual de cobertura vegetal.

Todavia a aplicação não se dá de forma direta, sendo que a estabilidade dos solos a erosão é função das variáveis espaciais determinadas e modeladas individualmente. A aplicação utilizará pesos para cada um dos fatores: AS (Aptidão Agrícola dos Solos), SLP (Declividade) e IFV (Imagem Fração de Percentual de Cobertura Vegetal), além da álgebra de mapas que se define qualitativamente como um indicador da vulnerabilidade a perda de solos. Este é classificado de acordo com a vulnerabilidade a erosão total de todos esses fatores avaliados isoladamente (Tabela 6).

Atribuídos os pesos e gerado o mapa de cada um dos níveis de informação - declividade do solo,

Vulnerabilidade a Erosão dos Solos	Descrição	Média dos Pesos (MES)
Baixa	Classe 1	1,0 – 1,5
Média	Classe 2	1,5 – 2,0
Alta	Classe 3	2,0 – 2,5
Muito Alta	Classe 4	2,5 – 3,0

Tabela 6 Classes de vulnerabilidade a erosão do solo final para o Modelo de Estabilidade dos Solos (MES)

Modelo de Estabilidade dos Solos a Erosão

Leandro Tsuneki Higa; Alessana Franciele Schlichting; Thais Gisele Torres Catalani; Alfredo Marcelo Grigio; Roberto Macedo Gamarra & Antonio Conceição Paranhos Filho

aptidão agrícola dos solos e cobertura vegetal - para gerar o MES procede-se com álgebra de mapas dos planos de informação (PI), unindo os polígonos de cada um. Para este modelo foi atribuído peso unitário para cada PI, sendo posteriormente calculado o modelo MES (Figura 2).

$$\text{MES} = (1 \times \text{Decl. do solo} + 1 \times \text{Apt. agr. dos solos} + 1 \times \text{Img. fração veg.}) / 3$$

Figura 2 Ilustrativo da composição do Modelo de Estabilidade dos Solos. Utilizou-se álgebra de mapas com a média dos três valores de vulnerabilidade à erosão do solo. Onde: Decl. do solo: declividade do solo; Apt. agr. dos solos: aptidão agrícola dos solos; Img. fração veg.: imagem fração vegetação.

Para verificar a veracidade das informações geradas pelo MES, foram analisadas 4 áreas de interesse em pontos estratégicos da área de estudo (Figura 3), em cada área foram verificados em média

3 pontos de cada classe. No levantamento de campo foram obtidos ainda dados com um receptor GPS: trilhas e pontos de controle.

Com o mapa do MES pronto, gerou-se o mapa do zoneamento ambiental da área, após a validação do MES em campo. O zoneamento teve caráter simples, inteligibilidade, sendo claro e objetivo, utilizou-se uma escala de cores ordinária e de fácil associação.

A escala de vulnerabilidade ambiental foi classificada a partir de sua caracterização morfodinâmica, adaptando-se aos princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977) que estabelece as categorias morfodinâmicas: Meios Estáveis (cobertura vegetal densa (cobertura vegetal >50%), solo com boa aptidão e declividade de até 6%; que representam o limite inferior dos pesos de

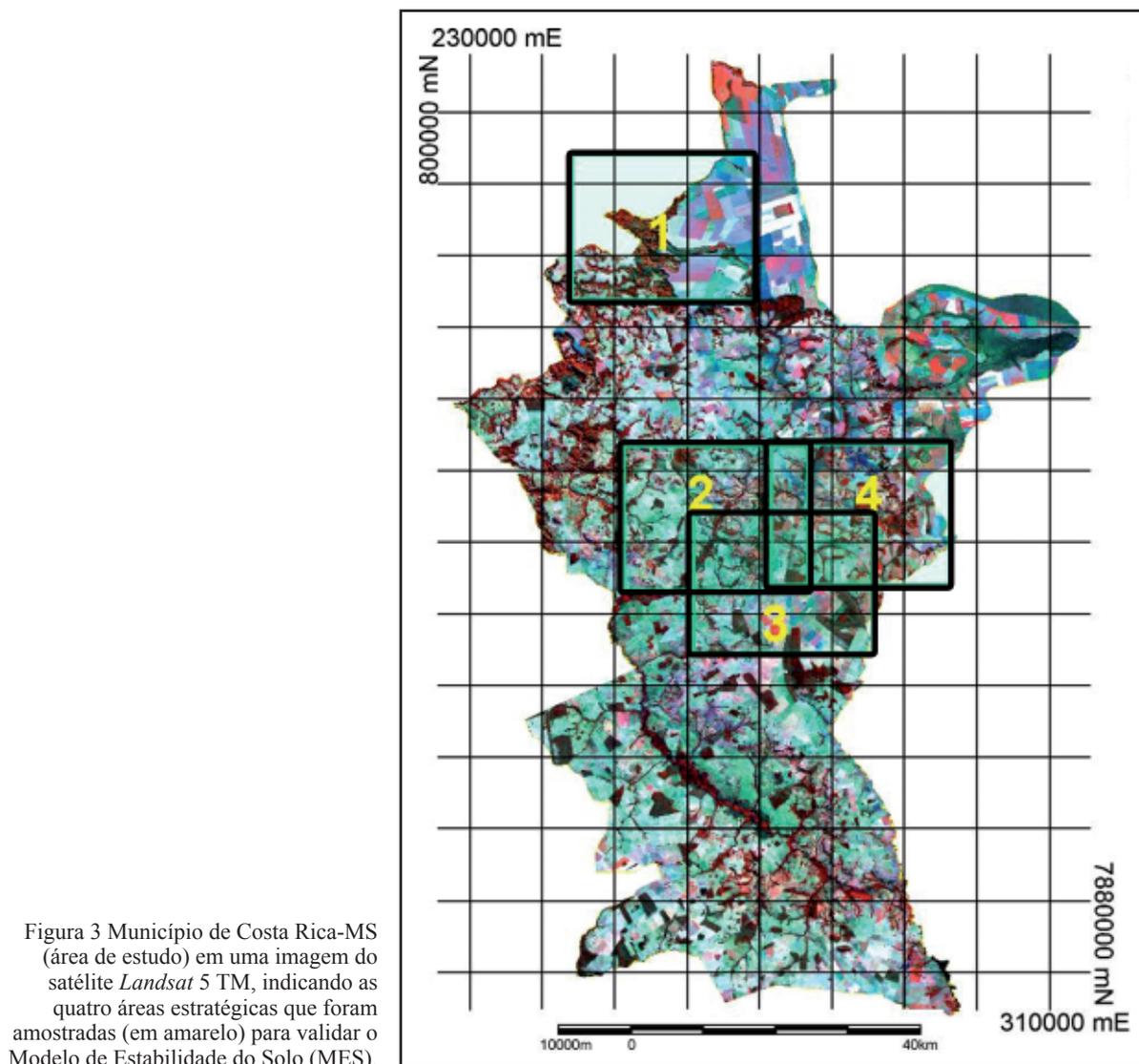


Figura 3 Município de Costa Rica-MS (área de estudo) em uma imagem do satélite *Landsat 5 TM*, indicando as quatro áreas estratégicas que foram amostradas (em amarelo) para validar o Modelo de Estabilidade do Solo (MES).

Modelo de Estabilidade dos Solos a Erosão

Leandro Tsuneki Higa; Alessana Franciele Schlichting; Thais Gisele Torres Catalani; Alfredo Marcelo Grigio; Roberto Macedo Gamarra & Antonio Conceição Paranhos Filho

declividade); Meios Intergrades (balanço entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas. Considerados como sendo aqueles de vulnerabilidade intermediária, ou seja, os que não estão nos extremos); Meios Vulneráveis (cobertura vegetal esparsa, menor que 20%; relevo com declividade acima de 45%; presença de solos rasos).

Adotou-se a nomenclatura da escala de vulnerabilidade ambiental de Crepani *et al.* (2001) para gerar o zoneamento ambiental (Tabela 7).

Categoria morfodinâmica	Relação	Peso
Estável	Pedogênese/Morfogênese Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio	2,0
Instável	Pedogênese/Morfogênese Prevalece a Morfogênese	3,0

Tabela 7 Pesos atribuídos de acordo com a relação pedogênese e morfogênese da área de estudo, baseada na categoria morfodinâmica, para gerar o zoneamento ambiental (Adaptada de Crepani *et al.*, 2001).

3 Resultados e Discussão

Com a aplicação do MES na área de estudo verificou-se a predominância das classes intermediárias, com vulnerabilidade média e alta, classe 2 e 3, respectivamente. Predominando em 91,66% da área de estudo. Sendo que a classe de vulnerabilidade muito alta, classe 4, teve a menor representatividade com 1,89% (Figura 4 e 5).

A classe 1, de vulnerabilidade baixa à erosão do solo, ocupa maior área que as muito vulneráveis (classe 4), sendo perceptível a influência da vegetação ciliar na baixa vulnerabilidade destas áreas, visto que parte destas delineiam os corpos d'água.

As áreas de vulnerabilidade média à erosão do solo (classe 2) correspondem a áreas com solos menos vulneráveis, de acordo com os pesos

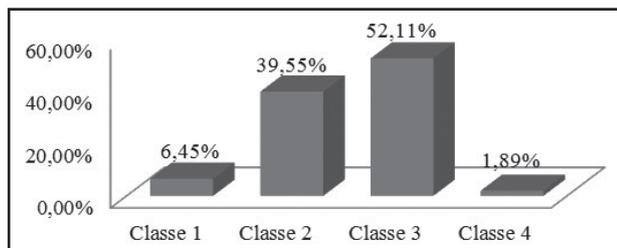


Figura 4 Porcentagem das classes de vulnerabilidade do solo à erosão no Município de Costa Rica – MS, de acordo com o Modelo de Estabilidade do Solo (MES). Classe 1: vulnerabilidade baixa; Classe 2: vulnerabilidade média; Classe 3: vulnerabilidade alta; Classe 4: muito vulnerável.

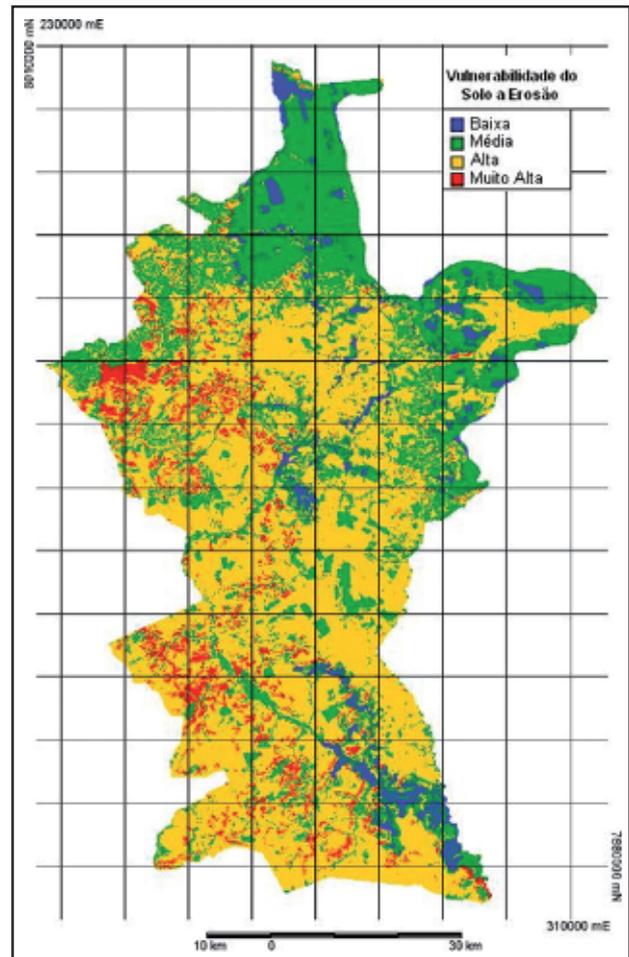


Figura 5 Carta do Modelo de Estabilidade dos Solos (MES) do Município de Costa Rica-MS, indicando às classes de vulnerabilidades do solo a erosão.

estabelecidos, aliados a uma vegetação que impõe boa proteção do solo, consistindo em áreas que apresentam boas aptidões às lavouras.

A classe de vulnerabilidade alta (classe 3) apresenta áreas com solos mais vulneráveis, sendo que em muitas áreas o que eleva o status da classe para vulnerabilidade alta é a declividade. A falta de vegetação mais densa, forma “ilhas” de classes de vulnerabilidade média, mostrando a importância da manutenção da cobertura vegetal nestes casos.

Porém, as áreas com vulnerabilidade muito alta (Classe 4) correspondem a menos de 2% do total da área de estudo, apesar da ausência de vegetação e solos muito vulneráveis, em muitos casos, o fator declividade foi determinante para inclusão destas áreas nesta classe de vulnerabilidade do solo a erosão.

Demattê *et al.* (2012) ressaltaram a importância do relevo na influência no desenvolvimento dos

Modelo de Estabilidade dos Solos a Erosão

Leandro Tsuneki Higa; Alessana Franciele Schlichting; Thais Gisele Torres Catalani; Alfredo Marcelo Grigo; Roberto Macedo Gamarra & Antonio Conceição Paranhos Filho

solos e da paisagem. Assim como Prates *et al.* (2012) afirmaram que os índices de representação da paisagem podem auxiliar na discriminação e delimitação das unidades de mapeamento de solo.

Em visita a campo, analisando todos os pontos foi possível verificar a estabilidade e acurácia do modelo proposto com a realidade da área amostrada.

Na área de interesse 1, localizada ao norte da área de estudo (Figura 6A), na sua porção oeste, encontra-se o Mirante do Parque Estadual das Nascentes do Taquari (Figura 6B). No local percebe-se uma quebra de relevo e consequente aumento da declividade, elevando o *status* da área de vulnerável para muito vulnerável, na borda da quebra de relevo.

Portanto, é importante que haja uma faixa (*buffer*) de vegetação naquela área no intuito de conservá-la.

Apesar de apresentar uma extensa área de cultivo, o solo com baixa vulnerabilidade e declividade média, fez com que esta área entrasse na classe de vulnerabilidade média a erosão do solo (Figura 6C).

Na área de interesse 2, foram amostrados no total 8 pontos (Figura 7A), dentre os pontos verificados, todos se correlacionaram aos resultados apresentados pelo MES. Área de empréstimo abandonada, com vulnerabilidade alta a erosão propensa à erosão laminar (Figura 7B), área com vulnerabilidade muito alta a leste (Figura 7C), com solos exposto e com declividade entre 12 a 45%, mostrando a vulnerabilidade a erosão deste local.

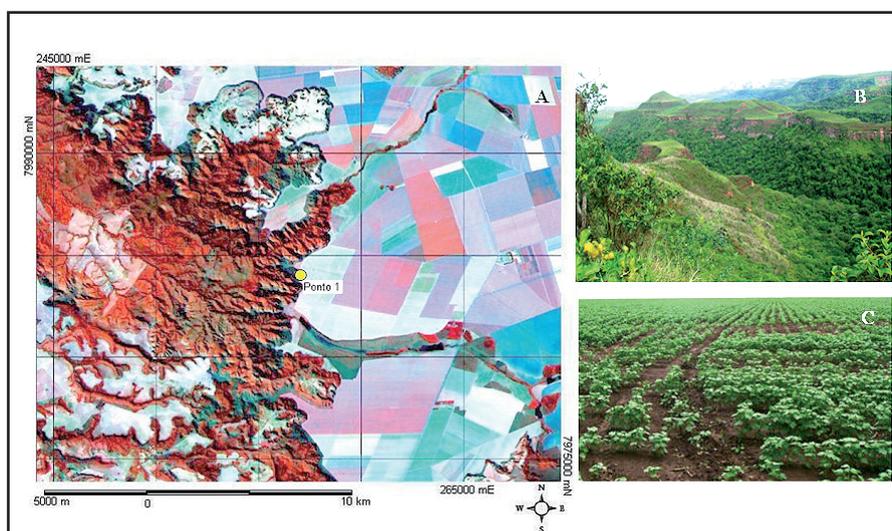


Figura 6 A. Localização do ponto 1, dentro da primeira área de interesse, próximo ao Parque Estadual das Nascentes do Taquari (PENRT), na região norte da área de estudo, representado em um recorte da imagem Landsat 5 TM, de 20 de julho de 2008, composição RGB453. Área que apresenta áreas de cultivo com vulnerabilidade média a erosão (a leste) e uma quebra de relevo, com vulnerabilidade alta a oeste; B. Mirante do PENRT, sobre a borda da quebra de relevo; C. Área de lavoura próxima ao PENRT, solo com baixa vulnerabilidade e com média declividade que classificou-se como vulnerabilidade média a erosão do solo. Áreas próximas que foram classificadas corretamente pelo Modelo de Estabilidade dos Solos.

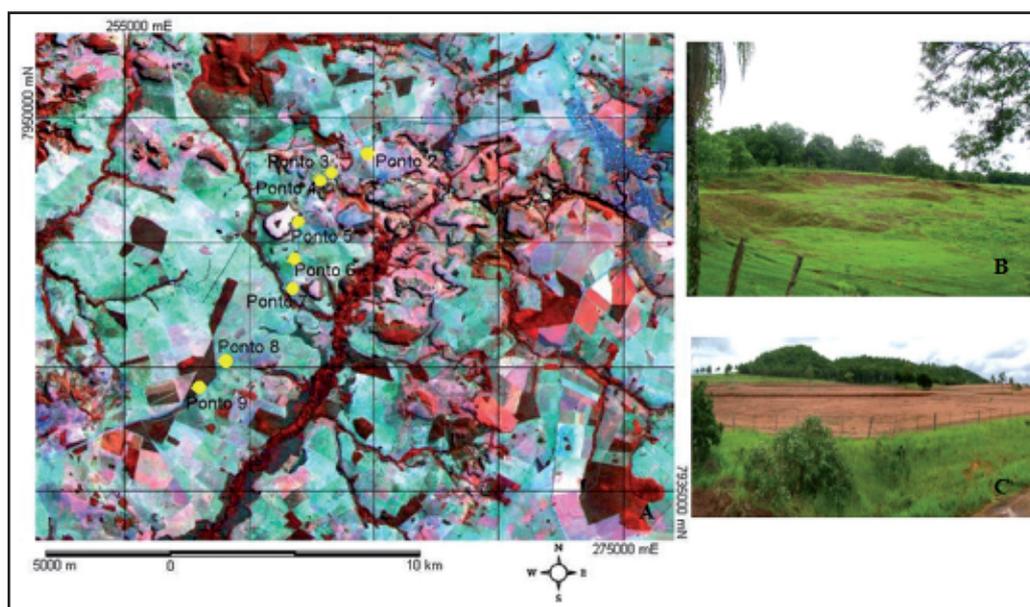


Figura 7 A. Localização dos 8 pontos amostrados dentro da segunda área de interesse, próxima a região central da área de estudo, representada em um recorte da imagem Landsat 5 TM, de 20 de julho de 2008, composição RGB453; B. Área de empréstimo abandonada; C. Área com solo exposto e uma "ilha" de cobertura vegetal.

Verificando-se a área de interesse 3 (Figura 8A), mais exatamente no décimo ponto amostrado, notou-se uma plantação de cana-de-açúcar localizada a leste deste ponto (Figura 8B) e uma vegetação mais densa, a oeste, mostram mostrando uma limitação do modelo, a imagem fração vegetação apresentou a separação de cultura juntamente com formações vegetais nativas ou de recuperação natural, isso possivelmente deve ter ocorrido pelo fato da plantação de cana-de-açúcar apresentar grande área foliar, o que causou confusão com a vegetação arbórea. O ponto 11 (Figura 8C) mostra a influência da vegetação na melhora qualitativa do *status* de vulnerabilidade média para vulnerabilidade baixa, pois havia uma área de pastagem seguida de uma área de mata ciliar.

À sudeste do ponto 12 um grande fragmento de mata foi utilizado na calibração do modelo linear de mistura espectral, como amostra de *endmembers* de vegetação. Próximo ao fragmento, outra limitação do modelo, a área de vulnerabilidade muito alta é oriunda de uma grande declividade causada pelo próprio dossel do fragmento, pelo fato de possuir altura maior que o seu entorno. Tal limitação é proveniente do modelo SRTM, que não é capaz de penetrar em áreas de grande densidade de vegetação, imageando a superfície de modo geral, conhecido como efeito dossel (Valeriano, 2004).

Na área de número 4 (Figura 9A), a noroeste do ponto 13 é possível visualizar o entorno do perímetro urbano do Município de Costa Rica – MS, notou-se que este local, em sua totalidade, encontra-se em áreas de vulnerabilidade alta. Sendo que apenas o Parque Natural Municipal Salto do Sucuriú e as margens do próprio rio Sucuriú encontram-se com vulnerabilidade média/baixa.

A nordeste do ponto 13 (Figura 9B e C) é possível observar uma área de vulnerabilidade alta com pequenas áreas da classe muito alta, tal fato é decorrente da presença de um morro com áreas de solo exposto em sua base, o que aumentou a área da classe de vulnerabilidade a erosão com os fatores declividade alta e ausência de vegetação.

Com a viabilidade e aplicabilidade do MES, comprovada em campo, procedeu-se a elaboração da proposta de zoneamento ambiental (Figura 10) acrescida das áreas de solo consideradas como desaconselháveis ao uso agropecuário consideradas, devendo ser utilizadas como reserva ecológica, de proteção à flora e fauna (MS, 1990). Desta forma, a proposta de zoneamento visa criar quatro zonas, ZN1, ZN2, ZN3 e ZNV, descritas a seguir:

ZN1 – Zonas com baixa vulnerabilidade ambiental, segundo o MES, estão presentes em áreas

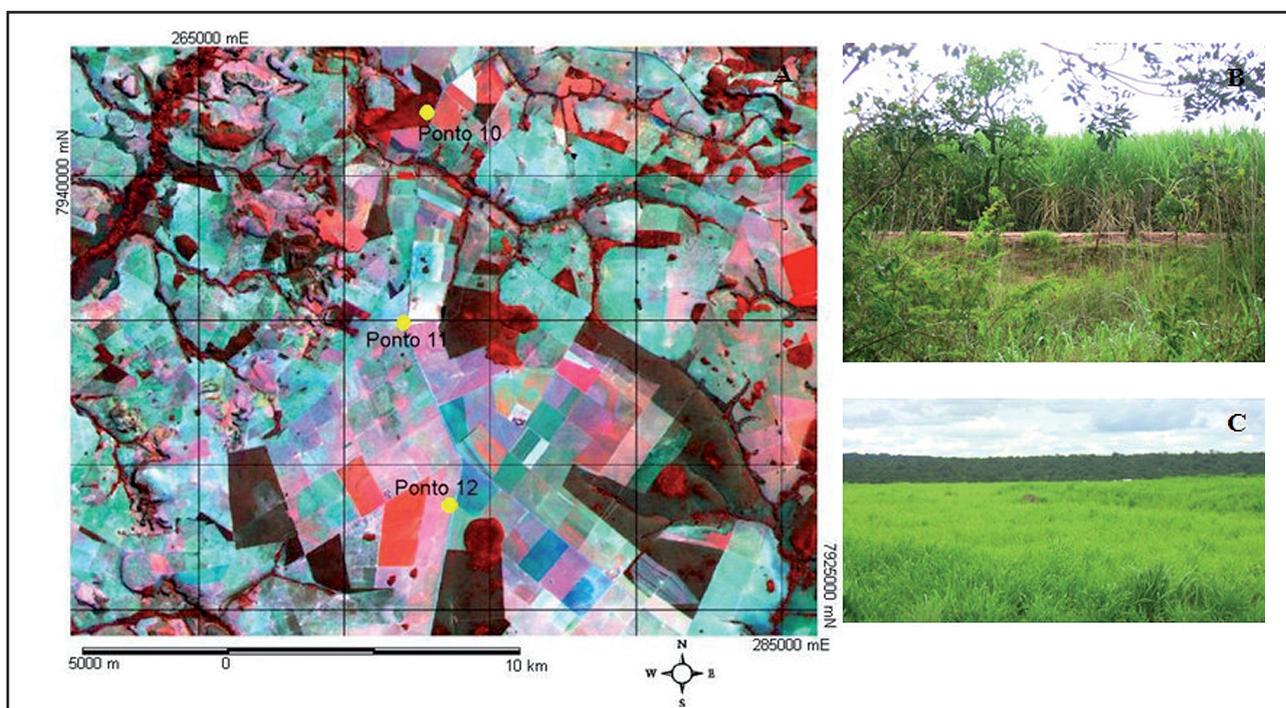


Figura 8 A. Localização dos 3 pontos amostrados dentro da terceira área de interesse, próxima a região centro-sul da área de estudo, representada em um recorte da imagem *Landsat 5 TM* de 20 de julho de 2008, composição RGB453; B. Cultura de cana-de-açúcar, que apresenta alta densidade de cobertura na imagem fração; C. Área de pastagem e mata ciliar ao fundo, área de *dossel*.

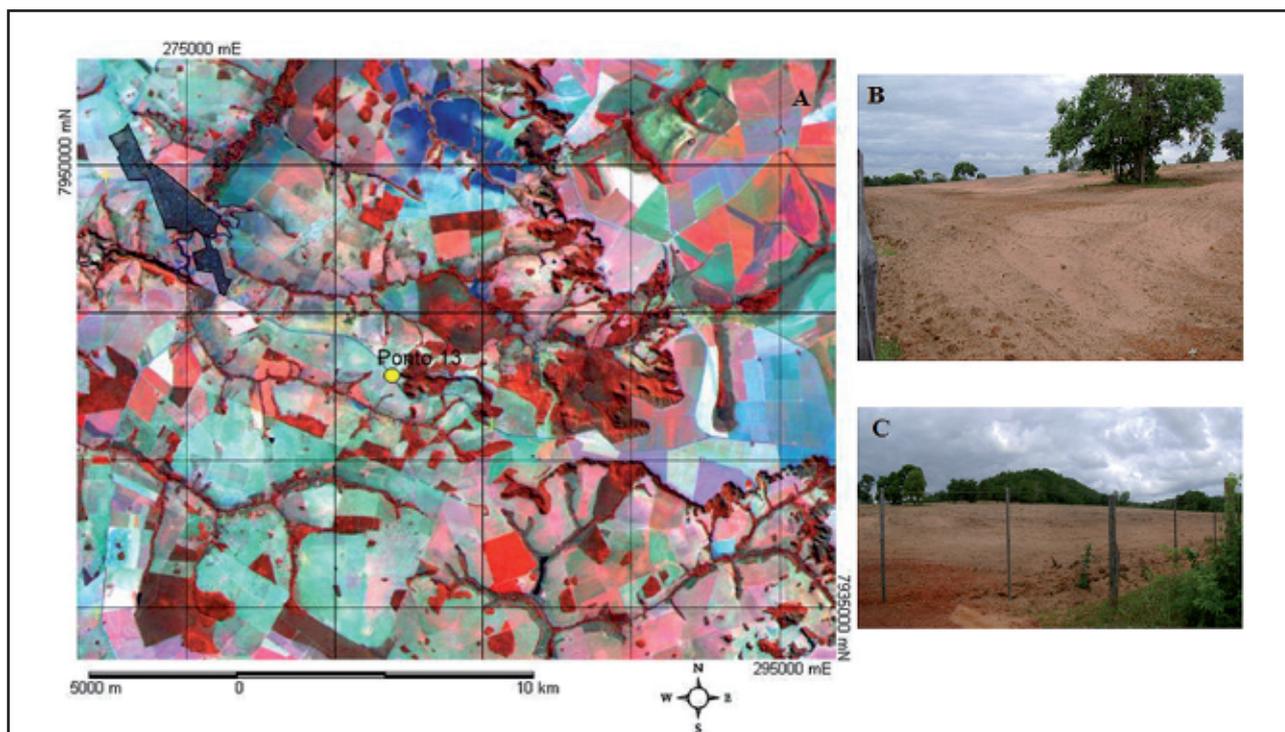


Figura 9 A. Localização do ponto 13 amostrado dentro da quarta área de interesse, próxima a região leste da área de estudo, representada em um recorte da imagem *Landsat 5 TM*, de 20 de julho de 2008, composição RGB453, mostrando a localização aproximada da área urbanizada de Costa Rica-MS (em preto); B e C. Área de solo arenoso friável, exposto no pé do morro, gerando áreas muito vulneráveis.

muito pequenas e em locais onde, predominantemente, a vegetação é ciliar. Portanto, tais zonas, apesar de estáveis, não devem ser destinadas a nenhum uso, mas sim nortear a recomposição da vegetação para que haja melhora na estabilidade ambiental e para que sejam destinadas compensações ambientais, em seu entorno, interligando os fragmentos, considerando a teoria dos corredores de biodiversidade.

ZN2 – Zonas com média vulnerabilidade ambiental, segundo o MES. Destinadas à implantação de empreendimentos que exijam Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA, determinados pela Política Nacional do Meio Ambiente e pela resolução CONAMA 001 de 1986 (CONAMA, 1986). Estes são de alto impacto e exigem estudos mais detalhados, contemplando equipe multidisciplinar, visto a complexidade dos impactos causados pelos empreendimentos.

ZN3 – Zonas com alta vulnerabilidade ambiental segundo o MES. Áreas frágeis, mas que com destinação adequada, empreendimentos de impactos médios/baixos podem ser instalados, desde que os impactos possam ser mitigados, monitorados e relatados ao órgão controlador. Caso haja no estudo a aplicação de algum método de avaliação dos impactos ambientais, os dados devem ser cruzados,

para que haja maior solidez na tomada de decisão por parte do órgão regulador.

ZNV – Zonas muito vulnerável ambiental-mente, segundo o MES, aliadas as Zonas Vulneráveis, destinar-se-ão apenas para a consolidação das áreas de preservação, sendo destino de compensações ambientais, visando assegurar a estabilidade de áreas extremamente frágeis e que, em alguns casos, estão sob uso agrícola.

A escala de cores indica analogamente ao sinal luminoso de trânsito, incluindo-se a cor azul, de modo que seja de fácil interpretação e de aplicação simples. Sendo o que objetivou-se com a carta final criar uma ferramenta de apoio a tomada de decisão, que pudesse ser utilizada facilmente.

4 Conclusões

1 - O Modelo de Estabilidade de Solos a erosão (MES) demonstrou ser uma ferramenta eficiente para tomada de decisão e sua simplicidade de implementação e a compatibilidade com os levantamentos de campo são as vantagens mais evidentes do modelo.

Modelo de Estabilidade dos Solos a Erosão

Leandro Tsuneki Higa; Alessana Franciele Schlichting; Thais Gisele Torres Catalani; Alfredo Marcelo Grigio;
Roberto Macedo Gamarra & Antonio Conceição Paranhos Filho

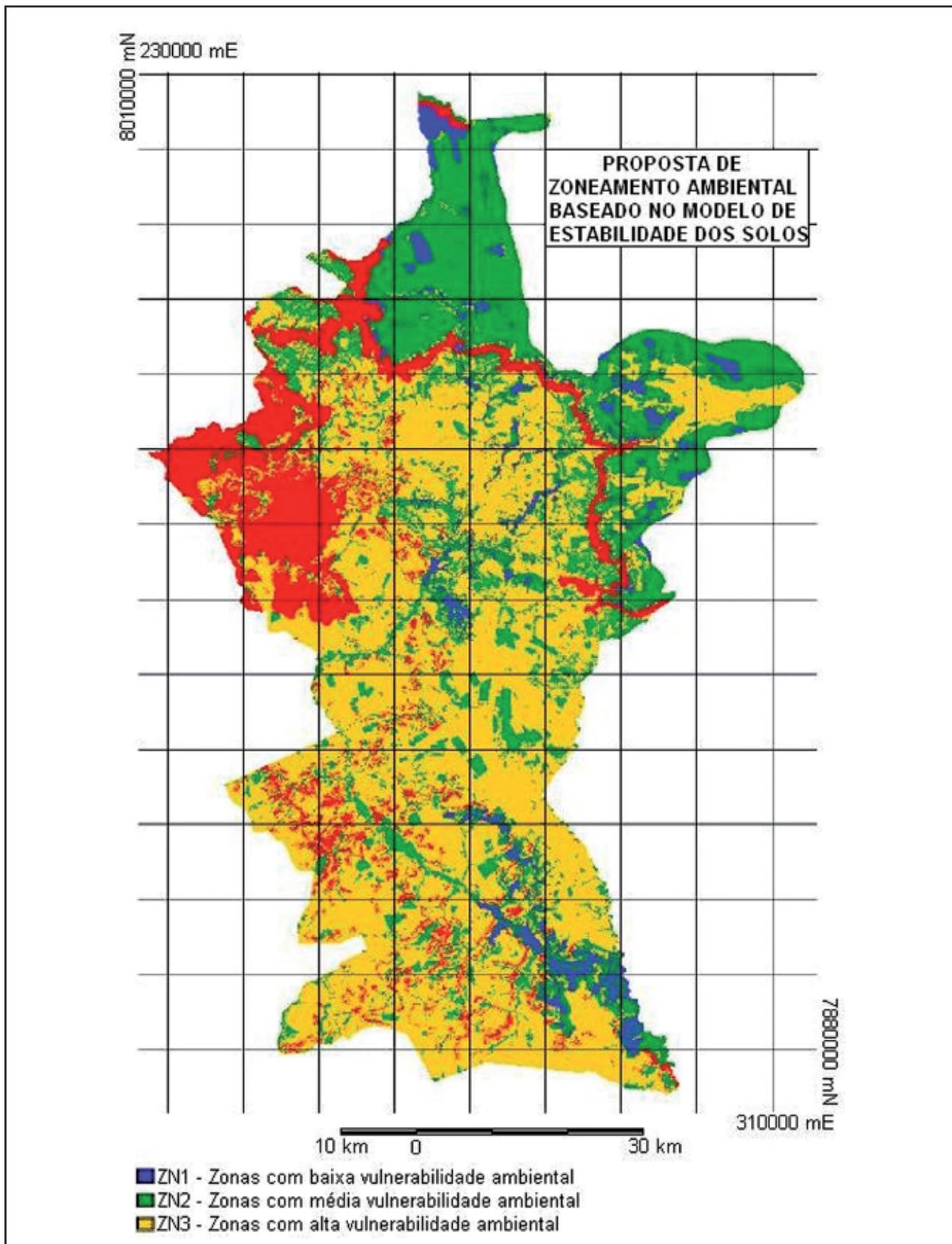


Figura 10 Proposta do Zoneamento Ambiental baseado no Modelo de Estabilidade dos Solos, para o Município de Costa Rica – MS.

2 - O MES é uma proposta metodológica para outra forma de avaliação das áreas mais vulneráveis/estáveis à ação erosiva, alternativa, quando não imprescindível a quantificação da carga de sedimentos.

3 - A área de estudo apresenta vulnerabilidade predominantemente alta e média, devido à ausência da cobertura vegetal.

4 - Em Costa Rica-MS, as áreas ZN1 e ZNV devem ser prioridade nas compensações ambientais destinadas a área de estudo, visto que a ZN1 é de suma importância na manutenção dos corpos hídricos e as ZNV são áreas de vulnerabilidade muito alta.

5 Agradecimento

Os autores agradecem a Fundect (Fundação de Apoio ao Desenvolvimento de Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul) pelo apoio financeiro (projeto de pesquisa nº 0163/08) e pela bolsa de mestrado do primeiro autor.

6 Referências

Adriolo, M.V.; Santos, I.; Gibertoni, R.C. & Camargo, A.S.G. 2008. Calibração do modelo SWAT para a produção e transporte de sedimentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 6, *Anais*. Belo Horizonte – MG, p. 1-18.

Amorim, R.S.S.; Silva, D.D.; Pruski, F.F. & Matos, A.T. 2010. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. *Engenharia Agrícola*, 30(6): 1046-1049.

Bayer, C.; Martin-Neto L.; Mielniczuk, J.; Pavinato, A. & Dieckow, J. 2006. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil & Tillage Research*, 86: 237-245.

Chaves, H.M.L. 2010. Incertezas na predição da Erosão com a USLE: Impactos e mitigação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(6): 2021-2029.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução n 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe os estudos de impacto ambiental e o relatório de impacto ambiental – EIA/RIMA*. 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>> Acesso em 06/01/2009.

Crepani, E.M.; Medeiros, J.S.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T.G. & Barbosa, C.C.F. 2001. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológicoeconômico e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos – INPE. 124 p.

Demattê, J.A.M.; Vasques, G.M.; Correa, E.A. & Arruda, G.P. 2002. Fotopedologia, espectroscopia e sistema de informação geográfica na caracterização de solos

desenvolvidos do Grupo Barreiras no Amapá. *Bragantia*. 71(3): 438-446.

Furlan A.; Bonotto, D.M. & Gumiere, S.J. 2011. Development of environmental and natural vulnerability maps for Brazilian coastal at São Sebastião in São Paulo State. *Environ Earth Sciences*, 64(3):659–669.

Grigio, A.M.; Souto, M.V. S.; Castro, A.F.; Amaro, V.E.; Vital, H. & Diodato, M.A. 2004. 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*, 39(39): 1427-1431.

Hazarika, M.K. & Honda, K. 2001. Estimation of Soil Erosion Using Remote Sensing and GIS. In: STOTT, D.E.; MOHTAR, R.H. & STEINHARDT, G.C. (eds.). *Its Valuation and Economic Implication on Agriculture. Sustaining Global Farm. Purdue University and USDA-ARS National Soil Erosion Laboratory*, p. 1090–1093.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – *Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de referência* em 1º de julho de 2012. 2013. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2012/estimativa_tcu.shtm>. Acessado em 22/05/2013.

MS - Seplan Secretaria de Planejamento de Mato Grosso do Sul. 1990. *Atlas multirreferencial do Estado de Mato Grosso do Sul*. Campo Grande, SEPLAN/MS. 28 p.

PCI Geomatics Inc. *PCI Geomatica version 10.1*. 2007. PCI Geomatics, Richmond Hill, Ontario - Canadá. CD-ROM.

Prates, V.; Souza, L.C.P. & Oliveira Junior, J.C. 2002. Índices para a representação da paisagem como apoio para levantamento pedológico em ambiente de geoprocessamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(4): 408-414.

Ribeiro, J.F. & Walter, B.M. 1998. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. (eds.). *Cerrado: Ambiente e Flora*. Planaltina: Embrapa, p. 89-166.

Silva, F.G.B.; Lombardi Neto, F.; Primavesi, O. & Crestana, S. 2010. Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim - SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 15(2): 141-148.

Spörl, C. & Ross, J.L.S. 2004. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. *GEOSP – Espaço e Tempo*, 15: 39-49.

Torres, T.G. 2008. *Aplicação de geotecnologias na geração do divisor de bacias hidrográficas: uma ferramenta para a política de recursos hídricos*. Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Dissertação de Mestrado, 103 p.

Tran, L.T.; O'Neill, R.V. & Smith, E.R. 2012. A watershed-based method for environmental vulnerability assessment with a case study of the Mid-Atlantic region. *Environmental Impact Assessment Review*, 34:58–64.

Tricart, J. 1977. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro, IBGE-SUPREN. 91p.

Valeriano, M.M. 2004. *Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul*. 2004. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 72 p.

Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. 1978. *Predicting rainfall erosin losses: a guide to conservation planning*. Washington: USDA. 58 p.