

# ANÁLISE DE ÁREAS SUCETÍVEIS A EROÇÃO EM ESTUDOS DE VIABILIDADE DE PROJETOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO

*L.A. de Souza Filho*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Eletrobras, Brasil

Comissão VI – Sistemas de Informações Geográficas e Infraestrutura de Dados Espaciais

## RESUMO

A identificação de áreas suscetíveis a erosão surge como fator prioritário onde a possibilidade de desbarrancamentos e acúmulo de sedimentos é prejudicial as obras civis além de ocasionar problemas ambientais diversos. Ao mesmo tempo, técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto estão cada vez mais voltados para a análise e gestão de sistemas ambientais. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo abordar as principais características e elementos referentes ao processamento de dados espaciais e sua utilização em sistemas de informação geográfica – SIG, na identificação de áreas suscetíveis a erosão, utilizando para tal o modelo matemático da Equação Universal de Perdas de Solos – EUPS, de modo a auxiliar os diversos processos ambientais nos empreendimentos de Linhas de Transmissão. Como exemplo prático, foi feita uma análise do projeto da Linha Anta / Simplício / Rocha Leão. O tema surge pela necessidade em adquirir o conhecimento necessário na aplicação de técnicas de geoprocessamento como ferramenta de apoio na obtenção de informações para análise e tomada de decisão em projetos ambientais em Linhas de Transmissão.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento, Análise Ambiental, EUPS, Álgebra de Mapas.

## ABSTRACT

Analyses of areas with susceptibility to erosion emerge as priority factor where the possibility of landslides and sediment buildup are detrimental to the life of these works besides causing many environmental problems. At the same time, GIS and remote sensing are increasingly focused on the analysis and management of environmental systems. Thus, this paper aims to address the main features and elements related to the processing of spatial data and its use in GIS, to identify areas susceptible to erosion, making use of the Universal Soil Losses Equation - USLE. The data sources used were obtained freely from official government and sources information obtained in Eletrobras Furnas Company. As a practical example, was made an analysis of “Anta/Simplício/Rocha Leão”’s power line. As a result, the procedure proposes the creation of a thematic map to identifying the areas of more or less prone to erosion.

**Keywords:** Geoprocessing, Environmental Analysis, USLE, Map Algebra.

### 1- INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, o homem vem desenvolvendo atividades nas quais se relaciona intimamente com o espaço geográfico, além de sua natureza de formação. Neste contexto, os aspectos naturais são intrinsecamente ligados a essa atividade, visto que desde os primórdios o homem se relaciona com o solo, de onde retira boa parte dos recursos naturais necessários a sua sobrevivência.

Contudo, com o desenvolvimento científico e tecnológico, esse quadro mudou. Com o advento de técnicas modernas que causam um impacto maior visando produtividade sem preocupações ambientais, o

solo e o meio físico começaram a dar claros sinais de exaustão. Dentre grande parte destes sinais, encontram-se áreas degradadas com altos índices de erosão, decorrentes de atividades potencialmente impactantes.

O bom conhecimento dos fatores de formação da paisagem é indubitavelmente uma questão relevante no entendimento da dinâmica dos processos naturais que ocorrem ao longo das áreas afetadas por grandes empreendimentos, além de suas implicações no meio ambiente e na sociedade.

## 2- METODOLOGIA

A execução e a respectiva metodologia deste trabalho passam pelo estudo e aplicação do modelo da Equação Universal da Perda de Solos – EUPS (ou *Universal Soil Loss Equation* - USLE).

Relatando sua aplicação numa abordagem histórica, a EUPS começou a ser utilizada no final da década de 1950, nos Estados Unidos, pelo Serviço de Conservação dos Solos Norte Americano. Trata-se de um modelo equacional empírico que trabalha fatores, ou melhor, variáveis que determinam a erosão de solos. Tal modelo foi desenvolvido por Wischmeier e Smith (1978), e é representado na Equação 1.

$$A = [R \times K \times (LS) \times (CP)] \quad (1)$$

Onde A é a estimativa de perdas de solo, medidas em t/ha/ano, R corresponde ao fator erosividade, sendo o índice de erosão causado pela chuva em MJ/ha.mm/ha, K é o fator erodibilidade dos solos, que relaciona a propensão daquele determinado tipo de solo, sob diversos cultivos a erosão, LS é o fator comprimento e declividade da encosta, medido em metros e CP são os fatores uso e manejo do solo, discriminando a forma de utilização do solo e cultura vigente, também considerando todas as práticas conservacionistas feitas na região.

No Brasil, trabalhos pioneiros sobre o modelo de perdas de solo foram desenvolvidos por Bertoni et al (2005), fazendo do uso das variáveis e aplicando-as no estado de São Paulo. Pode-se afirmar que este estudo foi intensamente produtivo e contribuiu de forma contínua para os estudos na região.

À partir da década de 1970, diversos autores vêm trabalhando na avaliação de perdas de solo, estudando de forma contundente seus fatores, conseguindo aplicar os estudos de Bertoni para outras regiões do país.

Atualmente, sua aplicabilidade ocorre de modo intenso em estudos de bacias hidrográficas, sendo um instrumento importante de gestão e monitoramento de processos naturais. Também podem

ser encontrados estudos sistemáticos que lidam com sua utilização em projetos ligados a planejamento ambiental além de gestão de recursos naturais. Com o advento da tecnologia computacional e suas facilidades, assim como a obtenção dos dados que compõem a equação, houve uma melhoria significativa em sua aplicação.

A compilação dos dados e sua posterior geração através do Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas, possibilita uma otimização e automatização enorme deste processo, como será descrito durante este estudo.

## 3- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

Localizada na divisa entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, Anta/Simplício/Rocha Leão é uma linha de Transmissão de 138kV que apresenta grande relevância no ponto de vista de distribuição de energia no âmbito nacional.

O empreendimento possui essa nomenclatura por ter uma dupla constituição de linhas, onde a primeira delas, a LT Anta/Simplício, se encontra em circuito simples com interesses restritos que interliga a subestação de Anta à Usina Hidrelétrica de Simplício, ambas de responsabilidade da empresa Eletrobrás Furnas.

Já a outra constituição, em circuito duplo (LT Simplício/Rocha Leão), interliga a Usina de Simplício à subestação de Rocha Leão, esta última de propriedade da Ampla Energia e Serviços S.A.

A linha de transmissão possui uma extensão de aproximadamente 150 quilômetros, desde seu início na Subestação Anta até a Subestação final de Rocha Leão, que se liga à rede básica de distribuição de energia elétrica.

Seu traçado percorre os municípios de Chiador (MG), Além Paraíba (MG), Sapucaia (RJ), Sumidouro (RJ), Duas Barras (RJ), Bom Jardim (RJ), Trajano de Moraes (RJ), Macaé (RJ) e Rio das Ostras (RJ). A Figura 1 ilustra a localização do empreendimento.

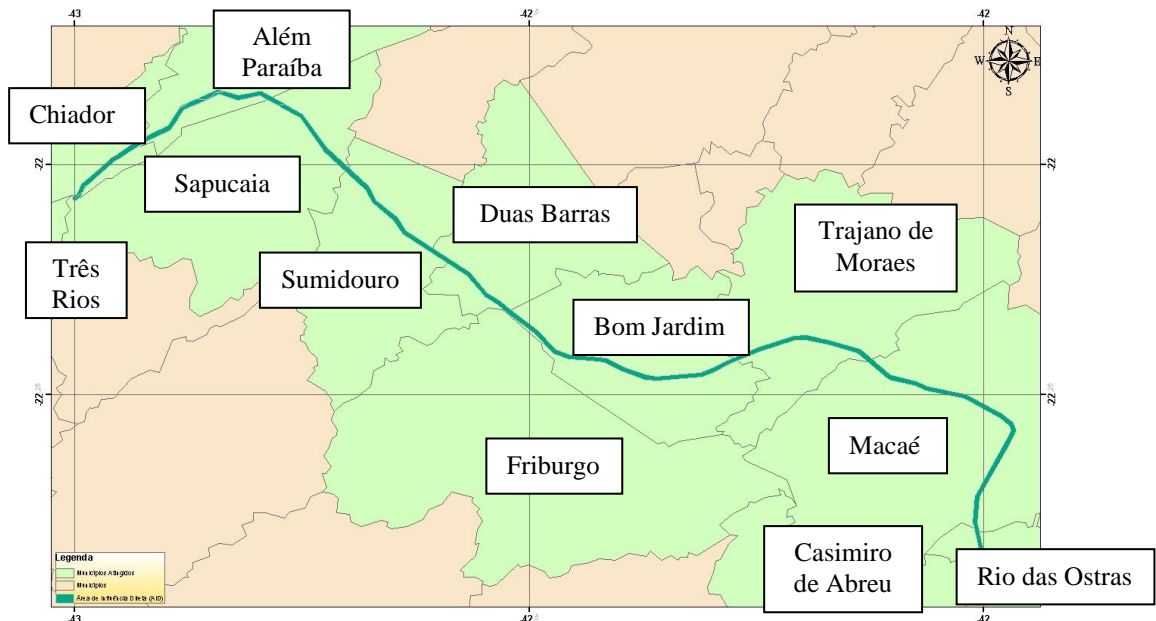


Fig. 1 - Localização da linha de transmissão

#### 4- AQUISIÇÃO DE DADOS

Os dados que subsidiaram este trabalho foram baseados nas variáveis necessárias para o cálculo da EUPS, obtidas através de arquivos disponibilizados na web gratuitamente em instituições governamentais como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Ibge, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, Agência Nacional de Águas - Ana e Instituto Nacional de Meteorologia - INMET o e em dados da própria Eletrobras Furnas.

Estes dados extrapolam os limites da linha de transmissão, envolvendo toda uma região em que encontra-se inserida. Porém, para as análises envolvidas neste trabalho, foi limitada apenas a área de influência direta da linha de transmissão, sendo sua faixa com 50 metros de largura.

Os valores obtidos na determinação da **variável R**, de erosividade, que é o valor correspondente ao índice de erosão causado no solo em decorrência da ação pluvial, foram extraídos a partir de dados pluviométricos e climatológicos disponibilizados através do Sistema de Informações Hidrológicas - Portal Hidroweb - da ANA e Sistema de Monitoramento Agro meteorológico – Agritempo – da Embrapa (2011). Foram pesquisadas as médias entre os anos de 1980-2010.

As estações meteorológicas escolhidas neste estudo encontram-se no entorno da Linha de Transmissão e, de posse das informações das médias mensais das chuvas e da média anual, foi realizada uma interpolação utilizando o modelo de ponderação a partir do inverso da distância, (ou IDW), permitindo, assim, produzir uma espacialização do índice de erosividade por chuvas a partir dos dados das estações.

Com isso, foi gerado um arquivo raster contendo as informações em uma simbologia adequada para o índice de erosividade na região, como pode ser observado na Figura 2.

Para determinação do fator R, foi levada em consideração a Equação 2.

$$R = 6,886 (r^2/P)0,85 \quad (2)$$

Sendo  $r$  a Precipitação Média Mensal (mm) e  $P$  a Precipitação Média Anual (mm).

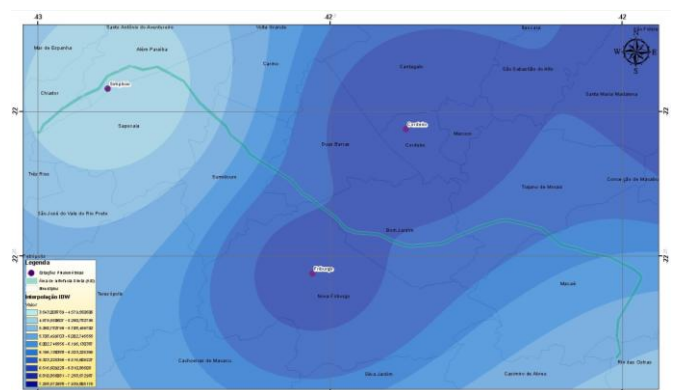


Fig. 2 - Erosividade pela ação pluvial

A **variável K** refere-se à susceptibilidade de solos à erosão e os diferentes tipos de solos podem se erodir com maior ou menor facilidade em função de suas características constituintes, tanto de ordem química, física como em sua morfologia. A obtenção

destes valores ocorreu através da intersecção de dois tipos de dados.

Primeiramente, foram determinadas as tipologias de solo que compreendem a região, realizando-se a vetorização da carta de reconhecimento de solos do Estado do Rio de Janeiro e Minas Gerais (Embrapa, 2003).

A segunda etapa consistiu na aquisição dos valores de erodibilidade para os diferentes tipos de solo ocorrentes na região de estudo, utilizando algumas fontes disponíveis em publicações atuais. Tais valores podem ser observados na Tabela 1 juntamente com as suas fontes de consulta.

TABELA 1 - VALORES DE K PARA OS SOLOS ENCONTRADOS NA REGIÃO DE ESTUDO

<i>Solo original</i>	<i>Valor K (t/h/mj.mm)</i>	<i>Fonte</i>
CXbe	0,0441	Ribeiro e Alves (2007)
CXbd	0,0115	Denardin e Silva et al. (apud CECÍLIO, 2008)
LVAd	0,0200	Ribeiro e Alves (2007)
LAX	0,0150	Ribeiro e Alves (2007)
PVAd	0,0270	Marques (1996)
Rube	0,0420	Ribeiro e Alves (2007) e Freitas et al. (2007)

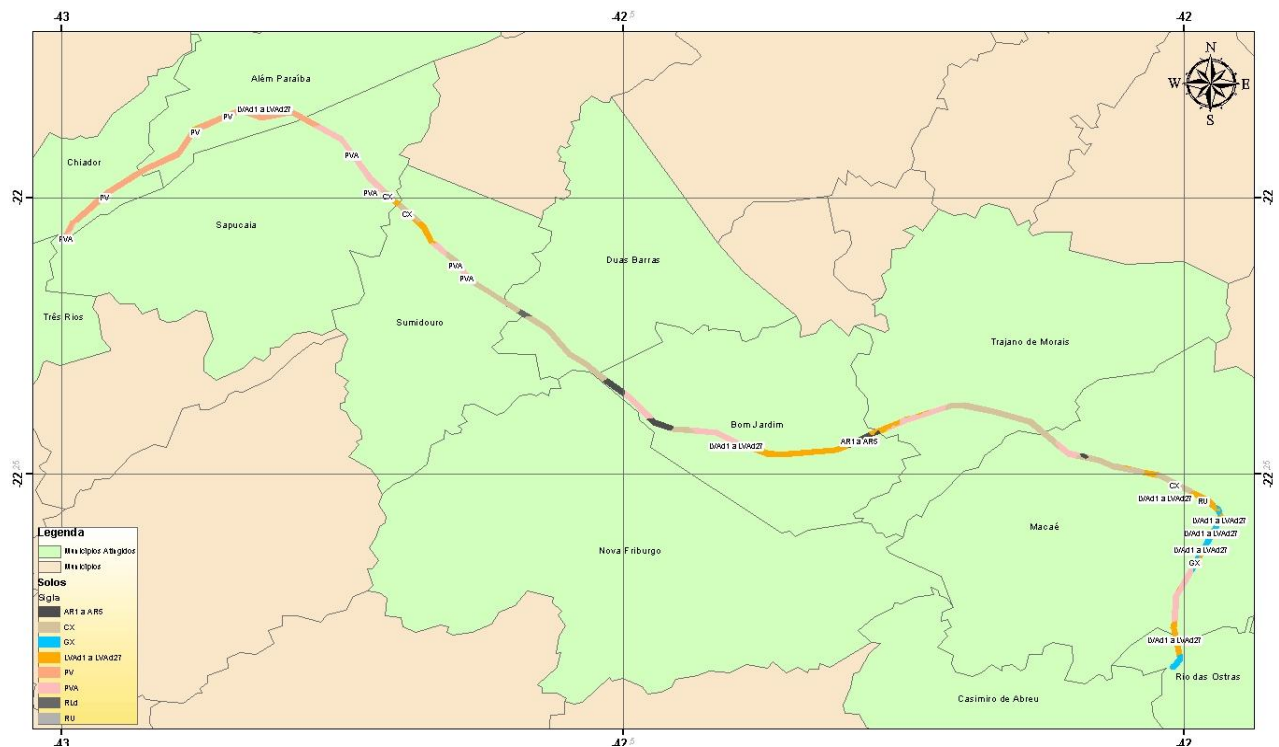


Fig. 3 - Mapa de Solos

Os fatores **L** e **S** resultam do comprimento de rampa e a inclinação de encosta, imprescindível na determinação de erosão do solo no terreno.

A declividade foi obtida a partir da extração de curvas de nível e modelos hipsométricos da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM), fornecidas pela Embrapa.

A partir do modelo de interpolação em ambiente computacional, foi feita a geração de curvas

de nível, o que nos possibilita obter a variável de declividade da equação.

A partir da equação 3 proposta por Bertoni et al (2005), temos:

$$LS = 0,00984C^{0,63D^{1,18}} \quad (3)$$

Onde LS é o Fator Topográfico, C o comprimento de rampa (em metros) e D a declividade (%).

Para o Comprimento de rampa (C), foi utilizado o método do retângulo para calcular o índice de extensão média de escoamento sobre os terrenos.

Para isso, a partir do modelo SRTM, foi extraído as sub-bacias na região de estudo, para o cálculo do comprimento, sendo utilizada a equação 4.

$$C = A/4l \quad (4)$$

Onde A é a Área da bacia (em m<sup>2</sup>) e l o somatório do comprimento de todos os cursos d'água da bacia (m).

Para a declividade (D), foi considerado o valor médio em cada sub-bacia, obtido a partir da média resultante do modelo SRTM. As classes de declividade utilizada foram 0-2%, 2%-5%, 5%-8%, 8%-10%, 10%-15%, 15%-20%, 20%-25%, 25%-30%. Com isso, foi calculado o fator LS em cada região do estudo.

As **variáveis C e P** caracterizam o uso e manejo do solo da região, onde as práticas de conservação do solo são fatores preponderantes para auxílio na determinação de erosão dos solos.

Os dados referentes às condições de uso e manejo foram obtidos a partir de dados produzidos pela Empresa para estudos socioeconômicos como subsídio a análises ambientais, e com fontes de literatura com a quantificação de determinados valores de Cobertura, (tabela 2), culminando na elaboração do mapa das variáveis CP, conforme Figura 4.

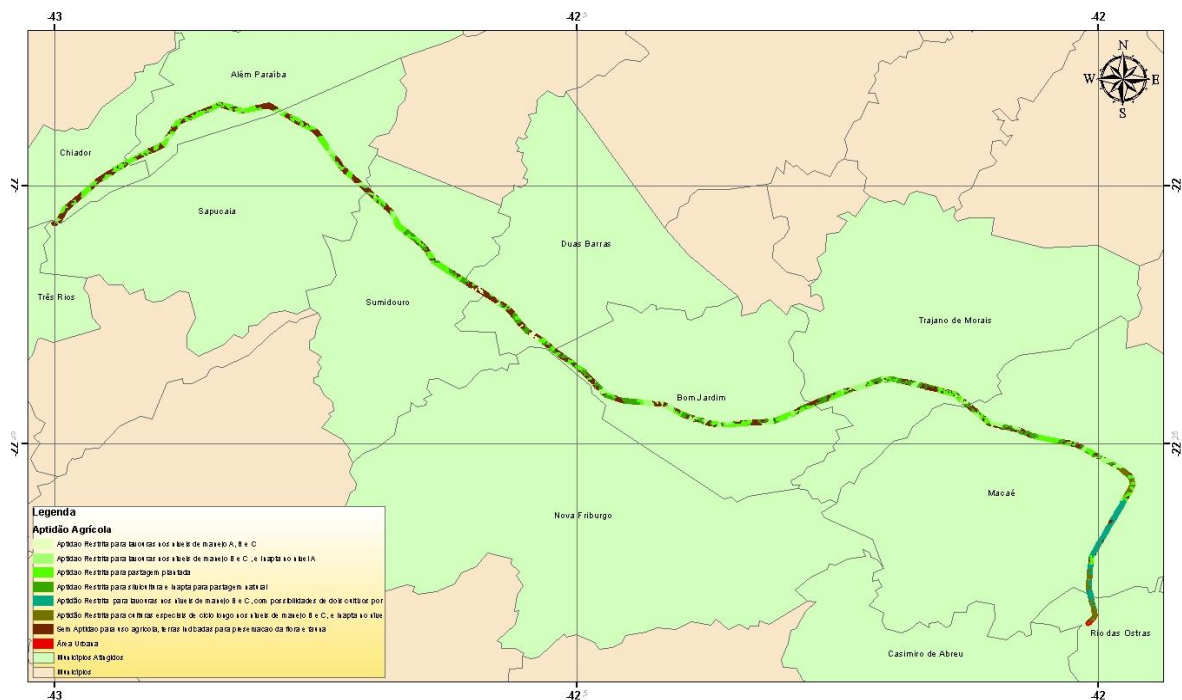


Fig. 4 - Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal.

TABELA 2 - CLASSES DE COBERTURA VEGETAL E USO DO SOLO

CLASSE	VALOR C	FONTE
Agricultura	0,2	Stein et al. (apud BRITO et al., 1998)
Corpos D'água	0	
Floresta Estacional Semidecidual Montana	0,012	Bertoni et al.
Floresta Estacional Semidecidual submontana	0,012	Bertoni et al.
Floresta Ombrófila Densa montana	0,012	Bertoni et al.
Floresta Ombrófila Densa submontana	0,012	Bertoni et al.
Florestamento / Reflorestamento	0,008	Fernandes (2008)
Influência Urbana	0	
Pecuária (Pastagem)	0,025	Bertoni et al.
Savana Florestada	0,042	Farinasso et al. (2006)
Vegetação Secundária Inicial	0,018	Farinasso et al. (2006)

## 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Álgebra de mapas é uma linguagem computacional de alto nível usada para realizar análises espaciais a partir de dados raster.

Segundo Barbosa (1997), o termo Álgebra de Mapas é utilizado na literatura de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para denotar o conjunto de operadores que manipulam campos geográficos (imagens, mapas temáticos e modelos numéricos de terreno).

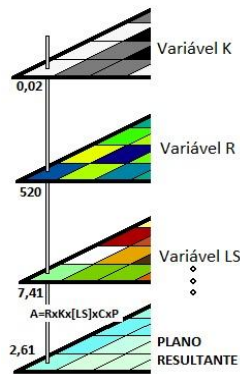


Fig. 6 - operação da álgebra de mapas.

Na prática, essas fontes de informação referem-se a conjuntos matriciais organizados geograficamente. Esses conjuntos, dada à coincidência posicional das informações devido ao posicionamento geográfico, possibilitam a realização de cálculos aritméticos, bem como a aplicação de algoritmos e funções matemáticas específicas, tipificadas na Fig. 6.

As variáveis calculadas nesse estudo resultaram em “planos” de informação raster, onde cada célula possui um valor referente ao índice calculado relativo a sua localização espacial.

Com isso, através do recurso computacional da Álgebra de Mapas, foi possível aplicar a EUPS – Equação Universal de Perda de Solos, e, com isso, obter um “plano” resultante, onde cada célula reflete o valor potencial de erosão, obtendo um mapa com as regiões de maior ou menor propensão a erodibilidade.

Como resposta, a partir do processamento feito pelo recurso da álgebra de mapas e com a EUPS, com as variáveis de:

- erosão pela chuva (R),
- suscetibilidade de erosão do solo (K),
- topografia (LS) e
- fatores antrópicos (CP),

podemos produzir um mapa resultante que mostra as regiões com maior ou menor suscetibilidade a erosão ao longo da faixa de servidão da linha de transmissão, permitindo sua visualização através de uma gradiente de cores, classificando desde uma suscetibilidade fraca (verde) a muito forte (vermelho), conforme mostrado na figura 7 a seguir.

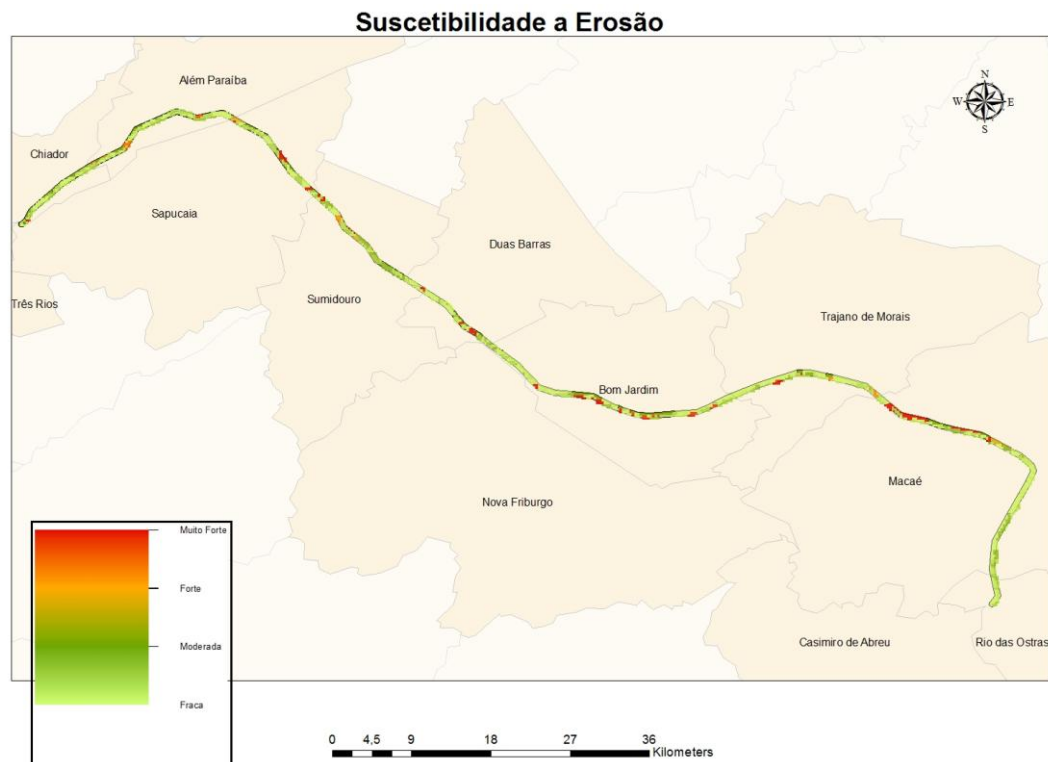


Fig. 7 - Mapa resultante de suscetibilidade a erosão por meio da EUPS.

## 6 - CONCLUSÕES

A integração entre os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e a modelagem preditiva, a exemplo modelo da EUPS – Equação Universal de Perda de Solos, apresenta grande importância na modelagem de áreas extensas como linhas de transmissão e auxilia na avaliação fenômenos naturais, promovendo uma rápida análise ambiental sob aspectos quantitativo e qualitativo.

No caso específico deste estudo, utilizando dados secundários obtidos a partir de fontes oficiais governamentais e com a aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial (álgebra de mapas), foi possível obter um mapa com a identificação de regiões com maior suscetibilidade a erosão ao longo da faixa de domínio da Linha de Transmissão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRITEMPO. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/>>. Acessado em: 10 de setembro de 2011.
- ANA. Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acessado em: 02 de abril de 2011.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. Conservação do Solo. São Paulo: Ícone. 2005. 352 p.
- Câmara, G., Monteiro, A. M., Davis, C., 2004, Geoprocessamento: Teoria e Aplicações. Disponível em: [www.dpi.inpe.br/gilberto/livro](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro). Acessado em: 20 de setembro de 2011.
- Cecílio, R.A. Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS ou USLE, em inglês). Disponível em: <<http://www.nedtc.ufes.br/prof/Roberto/disciplinas/ma-nejo/USLE.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2011.
- EMBRAPA. Serviço nacional de levantamento e conservação de solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 1981, 100 p.
- EMBRAPA. Brasil em Relevo. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br/download/index.htm>>. Acessado em: 5 de junho de 2011.
- IBGE. Área Territorial Oficial. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/mapa\\_site/mapa\\_site.php#geociencias](http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#geociencias)>. Acessado em: 01 de abril de 2011.
- Moreira, M.R.; Rosa, R. Avaliação de Perdas de Solo por Erosão Laminar no Município do Prata – MG. Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <[www.labogef.iesa.ufg.br/links/simposioerosao/textos/T083.rtf](http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/simposioerosao/textos/T083.rtf)>. Acessado em: 10 de março de 2011.
- Salomão, F.X.T. Controle e prevenção dos processos erosivos. em
- Guerra, T. A. J.; Silva, A.S. & Botelho, R. G. (Organizadores). Erosão e Conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999
- Silva, R.M.; Paiva, F.M.; Santos, C.A.G. Análise do Grau de Erodibilidade e Perdas de Solo na Bacia do Rio Capiá Baseado em SIG e Sensoriamento Remoto. Revista Brasileira de Geografia Física. Pernambuco. Vol2. 01 de abril de 2009, 26-40.
- Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses. Guide to Conservation Farming. US Department of Agriculture Handbook, n.537, 1978, 58p.