

Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157

---

## MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE (GO), UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO

JOÃO BATISTA PEREIRA CABRAL<sup>1</sup>, ISABEL RODRIGUES DA ROCHA<sup>1</sup>, ALÉCIO PERINI MARTINS<sup>1</sup>, HILDEU FERREIRA DA ASSUNÇÃO<sup>1</sup>, VALTER ANTONIO BECEGATO<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, Coordenação de Geografia, Laboratório de Geologia Ambiental, Rua Riachuelo 1530, CEP 75804-020, Jataí - GO (Brasil).

[jbcabral2000@yahoo.com.br](mailto:jbcabral2000@yahoo.com.br), [Isabel8720@gmail.com](mailto:Isabel8720@gmail.com), [alecioperini@hotmail.com](mailto:alecioperini@hotmail.com),  
[hildeu@yahoo.com.br](mailto:hildeu@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Universidade do Estado de Santa Catarina, Campus de Lages, Coordenação de Engenharia Ambiental, Av Luiz de Camões, 2090, Conta Dinheiro, 88.520-000 - Lages - SC (Brasil)  
[becegato@cav.udesc.br](mailto:becegato@cav.udesc.br)

### RESUMO

O objetivo deste estudo foi caracterizar e avaliar a fragilidade ambiental da área da bacia hidrográfica do rio Doce-GO, inserida na Região Centro Oeste do Brasil. É uma das últimas fronteiras agrícola do país. Utilizou-se o método proposto por Ross (1994), baseado em classes de declive. Utilizaram-se como indicadores da fragilidade ambiental, os fatores: declividade, erodibilidade, erosividade e uso e ocupação das terras. A agricultura mecanizada com o cultivo de soja e milho ocupa atualmente 54,52 % da área, cujos espaços anteriormente eram de pastagens e vegetação natural. A classe predominante é a de média fragilidade, com predominância de 65,26% da área total.

Palavras Chave: Fragilidade ambiental, declividade, vegetação

### RIO DOCE WATERSHED (GO) ENVIRONMENTAL FRAGILITY MAPPING, USING GEOPROCESSING TECHNIQUES

### ABSTRACT

The objective of this study was to characterize and evaluate the environmental fragility of the Rio Doce watershed-GO, located in the Midwestern region of Brazil. It is one of the latest agricultural frontiers of the country. The method proposed by Ross (1994), based on slope classes was used to this end. Environmental fragility indicators considered were: slope factors, erodibility, land use and land occupancy. Mechanized agriculture with soybean and corn cultivation currently occupies 54.52% of the area, in land previously occupied by pastures and natural vegetation. The predominant class is the medium fragility one, with a prevalence of 65.62% of the total area.

Keywords: environmental fragility, slope, vegetation.

Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157

---

## 1. Introdução

A metodologia da fragilidade ambiental proposta por Ross (1994) fundamenta-se no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre suas componentes físicas e bióticas. O princípio da funcionalidade intrínseca baseia-se no conceito de *Unidade Ecodinâmica* preconizada por Tricart (1977).

De acordo com Ross (1994), dentro desta concepção ecológica o ambiente é analisado sob o prisma da Teoria do Sistema que parte do pressuposto que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio, entretanto, é frequentemente alterado pelas intervenções humanas, gerando estados de desequilíbrios temporários ou até permanentes, como, por exemplo, a retirada da vegetação natural para formação de pastagens e agricultura que torna o ambiente mais vulnerável à erosão, sendo um dos problemas causado pelo manejo inadequado do uso do solo, tornando uma bacia hidrográfica vulnerável ou frágil.

Segundo Tamanini (2008), o conceito de fragilidade ambiental diz respeito à vulnerabilidade do ambiente em sofrer qualquer tipo de dano e está relacionada com fatores de desequilíbrio de ordem tanto natural, expresso pela própria dinâmica do ambiente, como em situações de elevadas declividades e alta susceptibilidades erosiva dos solos, quanto antropogênica, a exemplo do mau uso do solo e de intervenções em regimes fluviais.

De acordo com Kawakubo *et al.* (2005), dentro do conceito de fragilidade ambiental convém destacar dois termos distintos: a **fragilidade potencial** e a **fragilidade emergente**. A fragilidade potencial de uma determinada área é conceituada como sendo a vulnerabilidade natural de um ambiente em função de suas características físicas como a declividade e o tipo de solo, enquanto que a fragilidade emergente além de considerar as características físicas, contempla também, os graus de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal sobre o ambiente.

De acordo com Ross (1994) e Crepani *et al.* (1998), a fragilidade e/ou vulnerabilidade ambiental são ferramentas que fornecem importantes subsídios para a gestão territorial e a elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE). Os estudos relativos à fragilidade dos ambientes são de extrema importância ao Planejamento Ambiental, onde a identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território (Spörl e Ross, 2004).

Os procedimentos operacionais para a construção de um modelo de fragilidade exigem estudos de relevo em termos de dissecação ou declividade, erodibilidade do solo, erosividade dos solos em relação à energia cinética das gotas de chuva, uso da terra e cobertura vegetal. Posteriormente, essas informações são analisadas de forma integrada, gerando um produto síntese que expressa os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas características genéticas.

*Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", GeoFocus (Artículos), nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157*

---

Diante dos diferentes estados de equilíbrio e desequilíbrio que o ambiente está submetido, Ross (1994) sistematizou uma hierarquia nominal de fragilidade representada por códigos: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5). Estes códigos propõem que cada uma destas variáveis seja hierarquizada em cinco classes de acordo com sua vulnerabilidade. Assim, as variáveis mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 1,0, as intermediárias ao redor de 3,0 e as mais vulneráveis estarão próximas de 5,0.

Desta forma, a partir da composição das relações destas quatro variáveis: **Índices de declividade** – categoria hierárquica muito fraca (1) a muito forte (5); **Solos** - classes de fragilidade muito fraca (1) a muito forte (5); **Erosividade** - categoria hierárquica muito fraca (1) a muito forte (5); **Uso da terra** - grau de proteção muito forte (1) a muito fraco (5). Estas categorias expressam especialmente a fragilidade do ambiente em relação aos processos ocasionados pelo escoamento superficial difuso e concentrados das águas pluviais.

Os mapas apresentados compreendem estudos de declividade, solo, erosividade e uso da terra que, a partir dos cruzamentos, proporcionaram o mapa de **fragilidade Potencial**, natural do ambiente, e o mapa de **fragilidade Emergente**, de acordo com a proposta de Ross (1994).

Pelos motivos expostos, o presente trabalho objetivou identificar as áreas de maior e menor potencial de fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Doce, tendo como finalidade observar a situação real do ambiente visto os possíveis processos erosivos que possam ocorrer na bacia, promovendo o processo de assoreamento da PCH Irara e rio Doce, buscando promover a adequação do uso da terra às suas diversas características.

## 2. Materiais e métodos

A bacia do Rio Doce ([figura 1](#)) está localizada nos municípios Jataí, Rio Verde, Caiapônia e Aparecida do Rio Doce no Estado de Goiás, Brasil, entre as coordenadas 8095415 m e 7954415 m de latitude Sul 410000 m e 505000 m de longitude Oeste.

Para execução da pesquisa foram utilizadas bases de imagens e cartas topográficas da área de estudo obtidas nos sites do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), do SIEG (Sistema Estadual de Estatísticas Informações Geografias de Goiás) e do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Iniciou-se a pesquisa seguindo os níveis metodológicos proposto por Ross (1994), que são:

- **Nível Compilatório:** São realizadas as pesquisas bibliográficas, levantamento dos dados e informações sobre a existência de cartas topográficas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas e documentos básicos, produzidos por sensores remotos, elaborando-se vários documentos como: Carta base, carta pedológica, uso do terra e vegetação, climatológica e outras.

Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157

---

- Nível Correlatório: serão correlacionadas as informações analíticas a vulnerabilidade do meio físico, englobando clima, relevo, litologia, solos, uso da terra, cobertura vegetal. O mapa de vulnerabilidade é elaborado a partir do cruzamento do dados.
- Nível Normativo: Envolve a discussão dos dados, resultados, conclusão do trabalho. Com as cartas bases do IBGE, (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) de escala 1:100.000 (folhas SE-22-V-D-V, SE-22-V-D-V-VI, SE-22-Y-B-III e SE-22-Z-A-I), delimitou-se a bacia hidrográfica objeto da pesquisa.

Os dados cartográficos, tipos de solos, altimetria e pluviosidade média, serviram de base para confecção de mapas de solos, declividade e erosividade, que resultaram no mapa de Fragilidade Potencial, natural do ambiente.

O mapa de uso da terra, foi obtido a partir da interpretação da imagem *Landsat 5* – sensor TM, órbita 223/cenas 72e 73, banda 3, 4 e 5, com passagem 25/06/1984 e 11/04/2009, fornecendo subsídios para geração do mapa de Fragilidade Emergente.

Para confecção dos mapas de fragilidade foram utilizados os *softwares Surfer 8.0* e *Spring 5.0.2*, obtendo-se o cruzamento de mapas bases, cujo produto foram os mapas de Fragilidade Potencial e Emergente.

### 3. Resultados e discussão

A utilização de áreas nas proximidades da bacia destinadas a cultivos agrícolas e pastagens tem crescido intensamente nos últimos anos. Esse constante uso do solo para agricultura e formação de pastagens remete em danos ao meio ambiente, pois a ocupação inadequada é um exemplo de impacto ambiental negativo.

Para realizar o estudo de fragilidade ambiental da bacia do Rio Doce foi fundamental o conhecimento dos solos, do clima e do uso da terra. Dessa forma, este trabalho foi desenvolvido com base na proposição de Ross (1994), adaptado para classes de declividade.

O mapa de declividade foi gerado a partir da compilação das cartas topográficas do IBGE escala 1:100.000, com cotas de 100 em 100 m e de curvas de nível extraídas a partir de dados da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), que apresenta sensores com visada vertical e lateral, com capacidade de reproduzir três dimensões espaciais do relevo: latitude, longitude e altitude (x, y, z), ou seja, trata-se de um modelo digital do terreno que permite um refinamento desse MNT, sendo tal processo caracterizado pela suavização do espaçamento entre os pontos da grade original pelo método de interpolação desses pontos, criando uma nova grade de 10 em 10 metros. Após importação das curvas de nível no *software Spring/INPE*, gerou-se as classes de declividade segundo o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras, conforme a proposta de Ramalho Filho e Beek (1995).

*Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", GeoFocus (Artículos), nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157*

---

O PI das classes de declividade foi obtido pelo fatiamento do MNT, e adaptado a proposta de Ross (1994). O fatiamento consistiu em gerar uma imagem temática a partir de uma grade triangular (TIN). As faixas de declividade da imagem temática resultante são apresentadas na [tabela 1](#).

A partir dos dados de declividade, foi possível verificar diferentes variações de inclinações das vertentes, com declives variando entre 0 a 3% até >45%, cujos relevos vão de plano a montanhoso/escarpado.

A declividade da bacia de acordo com a proposta de Ramalho Filho e Beek (1995), classifica-se entre relevo plano a suavemente ondulado. Em termos gerais, tanto ao norte como ao sul, localizam-se áreas de menores declives propícias a produção de culturas agrícolas, pelos relevos planos a suave ondulado.

Em relação ao lago da usina de Irara, na margem direita em relação a montante, existem áreas com declividade ([figura 2](#)) superior a 8 % que merecem maiores cuidados; pois em termos geral, são utilizadas e aptas para agricultura moderna desde que se empreguem técnicas de manejo e conservação do solo adequados.

Os valores de erosividade foram gerados a partir de dados pluviométricos provenientes de 14 postos pluviométricos, referentes ao período de 1973 a 2009. Os dados de doze postos pluviométricos foram obtidos junto a Agência Nacional das Águas (ANA) e dois cedidos pela Universidade Federal de Goiás no Laboratório de Climatologia (CAJ/Riachuelo), localizados no município de Jataí-GO.

A análise da distribuição espacial das chuvas ([figura 3](#)) na bacia hidrográfica obedeceu ao método que utiliza isoietas, proposto por Bertoni e Tucci (2000). A precipitação média anual varia de 1.319 a 1.652 mm ([tabela 3](#)). As lacunas nos registros pluviométricos mensais foram substituídas por valores calculados pelo método da ponderação regional.

Para obtenção do valor de precipitação não registrado utilizou-se a seguinte equação:

Onde:

$Y$  é a precipitação (em mm) do posto  $Y$  a ser estimada;

$X1$ ,  $X2$  e  $X3$  são os valores de precipitações (em mm) correspondentes aos meses (ou anos) que se deseja calcular, medida em três estações vizinhas;

$Ym$  é o valor de precipitação média (em mm) do posto  $Y$ ;

$Xm1$ ,  $Xm2$  e  $Xm3$  são as precipitações médias mensais (em mm), medidas nas três estações vizinhas.

Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157

---

Os valores de erosividade da chuva (fator  $R$ ) foram obtidos pelo uso do método de Wischmeier e Smith (1978), adaptado para as condições brasileiras por Lombardi e Moldenhauer (1977) *apud* Bertoni e Lombardi (1999). Os autores propuseram a seguinte equação:  
 $EI_{30} = 67,355 (r^2 / P)^{0,85}$

Onde:

$EI_{30}$  é a média mensal do índice de erosividade, medidos em MJ.mm/(ha.h);

$r$  é a média dos totais mensais de precipitação, medidos em mm;

$P$  é a média dos totais anuais de precipitação, medidos em mm,

Para classificar qualitativamente a bacia hidrográfica quanto à potencialidade de liberação de material particulado, transformaram-se os valores quantitativos de erosividade, de MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, para tm mm ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, convertendo-se do sistema métrico internacional para o sistema métrico decimal, cujos valores em megajoules são divididos por 9,81 e adotando-se as classes definidas por Carvalho (1994) ([tabela 2](#)).

De acordo com os valores de erosividade, a bacia é classificada como de alto grau de fragilidade conforme a proposta de Carvalho (1994).

Quando se relaciona precipitação e erosividade, é possível detectar a partir da [tabela 3](#), que os índices de perda de solos por erosividade são elevados, demonstrando que devem ser realizadas medidas mitigadoras na bacia do Rio Doce em relação ao impacto da gota da chuva sobre os solos, pois na bacia ocorre a presença de Neossolos próximo a usina, que, segundo Carvalho (1994), tal solo é considerado de alta fragilidade ambiental.

Conforme a [figura 4](#), na área de estudo, de acordo com a EMBRAPA (1999) e SIEG (2008), predominam os Latossolos que caracterizam-se por serem profundos, bem drenados, com alto grau de intemperização e ocorrem em relevos planos e suavemente-ondulados, possuindo propriedades físicas favoráveis à utilização agrícola.

Os Neossolos Quartzarênicos, são profundos, originados do produto da meteorização física do arenito da *Formação Vale do Rio do Peixe*. Apresentam baixa fertilidade natural, sendo de moderada a fortemente ácidos, com baixa retenção de umidade, excessivamente drenados, restrito à pecuária com aproveitamento das espécies nativas (no passado) ou plantio de pastagens com capim brachiária (atualmente).

Em menores proporções aparecem os Argissolos e Gleissolos. Os Argissolos possuem textura que varia de arenosa a argilosa no horizonte A, e de média a muito argilosa no horizonte B. Os Gleissolos compreendem solos Heteromórficos, com presença de horizonte glei dentro dos primeiros 50 cm de profundidade ou entre 50 e 125 cm; caso seja encontrado em condições naturais são solos mal ou muito mal drenados, caracterizados por forte gleização.

Estudos realizados pela EMBRAPA (1999) e as pesquisas efetuadas por Scopel e Assunção (1999), adaptados para o método proposto por Ross (1994), mostram que os solos da área de estudo

Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157

---

podem ser classificados entre muito baixa a muito alta Fragilidade Potencial, expressas em percentuais de ocupação ([tabela 4](#)), não ocorrendo presença das classes de fragilidade baixa e alta. O uso da terra é a última variável a ser integrada na análise do modelo para a Fragilidade Emergente, em função da utilização do uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Doce, fazendo parte de importantes análises em termos de estudos de impactos ambientais.

A avaliação do uso da terra foi realizada através da ferramenta segmentação do *software Spring 5.0.2*. O método para a classificação da imagem *Landsat 5* foi a partir dos valores da composição colorida (RGB) nas bandas 3 (B), 4 (G) e 5 (R) das imagens, reconhecendo áreas homogêneas envolvendo a relação entre os pixels para a classificação do uso da terra.

De acordo com as análises dos dados apresentados na [tabela 5](#), a vegetação natural recobria o equivalente a 30,32 % da área na década de 1980; em contraste com os 13,05 % atuais.

A agricultura mecanizada ocupa atualmente 54,52 % da área, cujos espaços anteriormente eram de pastagens e de vegetação natural. As atividades como silvicultura e cana-de-açúcar ocupam cerca de 2% da área, seguida pela pastagem com 29,78 %. A área de pastagem verificada para o ano de 1984 correspondia ao equivalente a 47,70%, sofrendo uma redução para 29,78 % em 2009.

A capacidade de proteção do solo varia conforme sua ocupação. Considerando-se a vegetação nativa do Cerrado, o grau atribuído a proteção foi alta não seguindo a condição proposta por Ross (1994) de muito alta, pois, tal vegetação é constituída por árvores de porte menor e mais espaçadas. Além da vegetação, as pastagens, as culturas de ciclo curto e a cana-de-açúcar, também tiveram atribuídos graus diferentes daqueles constantes da proposta de Ross (1994), devido às condições de manejo do solo. As classes de ocupação dos solos podem ser vistas na [figura 5](#).

As diferentes formas de fisionomias ([figura 5](#)) encontradas na bacia merecem destaque: as culturas com destino a produção industrial, como a cana-de-açúcar (foto A) para a produção de etanol e açúcar; silvicultura com o plantio eucalipto (foto B) para a produção de carvão vegetal, papel e celulose. As pastagens também têm papel significativo na economia local, especialmente porque é destinada à criação de gado (foto C), denominada pecuária extensiva. O cultivo da soja está presente ao longo de quase toda bacia (foto E) seguida pelos cultivos de milho, sorgo e feijão.

As culturas de soja e milho sustentam uma economia baseada no Complexo-Agroindustrial (CAI), característica do processo de industrialização da agricultura de acordo com Graziano da Silva (1998). Ribeiro (2005) enfatiza em seu trabalho as instalações de CAIS (Complexo-Agroindustriais) juntamente com a produção de monoculturas, como se detecta nas áreas da bacia objeto do presente estudo.

### 3.1. Análise da Fragilidade Potencial

O modelo de Fragilidade Potencial com o apoio de classes de declividade, considera também as classes de solos e de erosividade como fatores característicos da fragilidade natural do ambiente.

*Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", GeoFocus (Artículos), nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157*

---

Conforme a [tabela 6](#), as classes de maior fragilidade são as de baixa e média fragilidade com 82% e 9,72%, respectivamente, cujas áreas são destinadas a cultivo de culturas de ciclo curto.

De acordo com a proposta de Ross (1994), na referida bacia, existem quatro diferentes graus de Fragilidade Potencial ([figura 6](#)): muito baixa (1), baixa (2), média (3), alta (4) e não apresentando ocorrência para a classe muito alta (5).

Nas classes de Fragilidade Potencial muito baixa e baixa fragilidade com declividades inferiores a 8% ocorre o predomínio da classe dos Latossolos. As áreas das classes de média e muito alta Fragilidade Potencial inseridas nas porções mais elevadas da bacia, cujo relevo é mais declivoso, geralmente com inclinações superiores a 8%, predominam os Neossolos.

Deste modo, a Fragilidade Potencial faz uma avaliação natural do ambiente, sabendo que essas são as condições apresentadas em termos naturais de fragilidade não necessariamente precisando da atividade humana para afetar esse meio, sendo uma ocorrência natural dos processos de modificações da terra, como as gotas de chuvas, as irregularidades dos declives, e até os ventos. Exemplos esses associados às atividades humanas podem acelerar o processo de degradação alterando o equilíbrio natural do ambiente, chegando ao diagnóstico de Fragilidade Emergente.

### 3.2. Análise da Fragilidade Emergente

As unidades mapeadas na carta de Fragilidade Emergente ([figura 7](#)), cujas classes indicam o estado de equilíbrio da paisagem em face à ocupação antrópica, são resultantes da correlação das informações da Fragilidade Potencial com o uso da terra que é associada à intervenção humana, ou seja, uso e ocupação da terra, que se caracteriza pelas atividades antrópicas.

A classe predominante é a de média fragilidade, com predominância de aproximadamente 65,26% da área, que pode ser justificado devido ao relevo estar classificado entre baixa e média fragilidade, assim como classes de uso da terra, demonstrando que essas áreas apresentam certo equilíbrio na relação de cobertura e aspectos físicos, pois a vegetação existente atenua a ação da erosão. Portanto, mudança no uso da terra nessas áreas poderá alterar esse estado de equilíbrio, desencadeando a aceleração dos processos erosivos; bem como a retirada do restante de vegetação de cerrado existente, influenciará numa nova configuração da Fragilidade Emergente.

As classes de Fragilidade Emergente ([tabela 7](#)) são classificadas em quatro diferentes níveis: fragilidade muito baixa (1), baixa (2), média (3), alta (4), não havendo ocorrência para a classe muito alta (5).

A representação da classe de fragilidade alta ocorreu em alguns pontos isolados, ocupando apenas 0,01% da área. A classe baixa recobre 34,04% da bacia estendendo-se desde as áreas de vegetação e pastagens em relação à cobertura vegetal. É uma classe que também merece consideração e cuidados, pois, tem sido bastante degradada em função da pecuária extensiva. A

Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157

---

revegetação natural ocorre em processo muito lento, podendo acelerar o processo erosivo. A classe média ocupa 65,26% da área, estendendo-se sobre os solos Latossolos e Neossolos.

#### 4. Conclusões

O método aplicado mostrou-se eficiente, representando a realidade expressa por meio de um modelo espacial computadorizado, podendo ser adequados para aplicação em outras áreas de estudo.

As unidades mapeadas na carta de Fragilidade Potencial retratam as potencialidades físicas naturais da paisagem, predominando na bacia do Rio Doce a classe de baixa Fragilidade Potencial.

Quanto a Fragilidade Emergente pode ser classificada entre muito baixa e alta, demonstrando os desequilíbrios que se processam na bacia. Assim, pode-se afirmar a importância de uma ocupação ordenada nessas áreas, uma vez que mudança no cenário atual, como o barramento da água pela construção da usina, poderá acarretar danos incalculáveis a esse ambiente na transformação do ambiente lótico para lântico.

Em áreas cultivadas com mono culturas como soja e milho, o grau de fragilidade potencial dos solos é muito alto, face não haver cobertura vegetal no início do ciclo das referidas culturas, principalmente em áreas com declividades superiores a 8%.

O modelo proposto por Ross (1994), baseado em classes de declive, proporcionou resultados favoráveis para a compreensão do grau de influência dos componentes naturais (relevo, solo, vegetação, uso da terra e clima).

#### Referências bibliográficas

- ANA. Agência Nacional de Águas (2009): *Sistema de Informações Hidrográficas – Hidroweb*. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 8 out.
- Bertoni, J. C. e Lombardi Neto, J. (1999): *Conservação do solo*. 4 ed. São Paulo – SP: Icone. 355 p.
- Bertoni, J. C e Tucci, C. E. M. (2000): "Precipitação", In: TUCCI, C. E. M. (Editor): *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 2 Ed. Porto Alegre: Editora Universidade/UFRGS, ABRH, 943 p.
- Carvalho, N. O. (1994): *Hidrossedimentologia Prática*. CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais – RJ: Brasil. 372 p.
- Crepani, E.; Medeiros, J.S.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T.G.; Duarte, V. e Barbosa, C.C.F. (1998): *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos: INPE, 64p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.(1999): *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Serviço de Produção de Informação – SPI. Brasília: DF. 412 p.

Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157

---

Graziano da Silva, J. (1998): *A nova dinâmica da agricultura brasileira*. 2 ed. Campinas: SP – UNICAMP. IE. 211 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.(2009): *Cartas topográficas de escala 1: 100.000* (folhas SE-22-V-D-V, SE-22-V-D-V-VI, SE-22-Y-B-III e SE-22-Z-A-I). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 set.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2009): *Catálogo de Imagens – CDSR*. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 14 set.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (1994): – *Divisão de Processamento de Imagens – DPI*. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/>. Acesso em: 11 jun. 2009.

Kawakubo, F. S; Morato, R.G; Campos, K.C; Luchiari, A e Ross, J.L.S. (2005): Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia (GO). In: *Anais do XII SBSR*. Goiânia. Instituto de Pesquisas Espaciais, p. 16-21.

Ramalho Filho, A. e Beek, K. J. (1995): *Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras*. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPQ, p 65.

Ribeiro, D. D. (2005): Agricultura "caifçada" no Sudoeste de Goiás: do bônus econômico ao ônus sócio-ambiental. 264 f. *Tese* (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói (RJ),

Ross, J. L. S. (1994): Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. In: *Revista do Departamento de Geografia*. n.8, p.63-74.

Scopel, I. e Assunção, H. F. (1999): Erosividade no estado de Goiás. In: *XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, II Reunião Latino America de Agrometeorologia*. Anais – CD-ROM. Florianópolis - SC, p. 1-9.

SIEG. Sistema Estadual de Estatísticas Informações Geografias de Goiás. (2008): Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br>. Acesso em: 22 jul.

Silva, I. C. O, Cabral, J.B.P. e Scopel, I. (2008): Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego da Onça, Jataí (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento. In: *Geoambiente On-line*, N. 11, jul-dez. p 242.270

Spörl, C. e Ross, J.L.S. (2004): Análise da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. In: *GEOUSP - espaço e tempo*. São Paulo, nº 15 São Paulo, p. 39-49.

Tamanini, M. S. A. (2008): Diagnóstico Físico-Ambiental para determinação da fragilidade potencial e emergente da Bacia do Baixo Curso do Rio Passaúna em Araucária – PR. 105 p. *Dissertação* (Mestrado em Geografia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR).

Tricart, J. (1977): *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: SUPREN/IBGE. 91 p.

Wischmeier, W.H. e Smith, D.D. (1978): *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington, United States Department of Agriculture, pp 58. (Agriculture Handbook, 537).

Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157

## TABELAS

**Tabela 1. Classes de fragilidades para declividade.**

Fragilidade	Classes de declividade	Área km <sup>2</sup>	%
1. Muito fraca	0-3%	960,7	34,70
2. Fraca	3-8%	1.547,3	55,88
3. Média	8-20%	235,4	8,50
4. Forte	20-45%	25,0	0,90
5. Muito forte	>45%	0,4	0,014
<b>Total</b>			100

Fonte: Adaptado de Ramalho Filho e Beek (1995) e Ross (1994).

**Tabela 2. Classes de erosividade da chuva - média anual.**

Classes de Erosividade	Valores de R (ton.m.mm/ha.h.ano)
1. Muito baixa	R < 250
2. Baixa	250 < R < 500
3. Média	500 < R < 750
4. Alta	750 < R < 1000
5. Muito alta	R > 1000

Fonte: Adaptado de Carvalho (1994).

**Tabela 3. Estações pluviométricas, precipitações médias totais e grau de erosividade do solo.**

Estação Pluviométrica	Latitude	Longitude	Média anual de precipitação (mm)	Erosividade em Tonelada	Grau de Fragilidade
Serranópolis	7975869	398308	1567 mm	815,35	4
Quirinópolis	7955527	550673	1431 mm	793,6898	4
Ponte Rio Doce	8025253	458681	1615 mm	846,2614	4
Pombal	7999781	448153	1584 mm	839,3599	4
Montividiu	8085019	472372	1445 mm	792,3969	4
Itarumã	7925686	464164	1566 mm	850,5698	4
Fazenda São Bernardo	8044993	406671	1607 mm	837,2985	4
Fazenda Paraíso	8069535	524422	1348 mm	773,2393	4
Caiapônia	8126898	413751	1521 mm	923,8247	4
Cachoeira Alta	7910228	491575	1319 mm	702,0264	4
Bom Jardim	8041513	376993	1564 mm	852,0691	4
Benjamim Barros	8044832	376972	1636 mm	867,1502	4
Jataí	8018515	424802	1652 mm	941,7631	4
Ponte Rio Claro	8019605	420561	1631 mm	935,3168	4

Fonte: Agencia Nacional das Águas (ANA). Dados dos anos de 1983 a 2009.

Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157

**Tabela 4. Classes de fragilidades para os tipos de solo.**

Fragilidade	Tipos de solos	Área km <sup>2</sup>	(%)
1. Muito Baixa	Gleissolos	123,3	4,45
	Latosolos	2339,3	84,50
3. Média	Argissolos	73,7	2,66
5. Muito alta	Neossolos	111,2	4,02
	Neossolos Quartzarênicos	120,9	4,37
<b>Total</b>			<b>100</b>

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

**Tabela 5. Comparação dos valores de cobertura vegetal dos anos de 1984 e 2009.**

Tipo de cobertura vegetal	Área km <sup>2</sup> x km <sup>2</sup>	1987 (%)	Área km <sup>2</sup>	2009 (%)
Água	9,46	0,34	25,7	0,93
Vegetação	839,27	30,32	361,2	13,05
Pastagem	1320,49	47,70	824,3	29,78
Silvicultura	0	0,00	3,5	0,13
Culturas de ciclo curto	599,18	21,64	1509,4	54,52
Cana-de-açúcar	0	0,00	44,3	1,60
<b>Total</b>		<b>100</b>		<b>100</b>

**Tabela 6. Classes de Fragilidade Potencial.**

Fragilidade	Áreakm <sup>2</sup>	(%)
1. Muito Baixa	216,4	7,82
2. Baixa	2270,0	82,00
3. Média	269,2	9,72
4. Alta	12,8	0,46
5. Muito Alta	0	0,00
<b>Total</b>		<b>100</b>

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

**Tabela 7. Classes para Fragilidade Emergente.**

Fragilidade	Área km <sup>2</sup>	(%)
1. Muito Baixa	19	0,69
2. Baixa	942,3	34,04
3. Média	1806,7	65,26
4. Alta	0,4	0,01
5. Muito Alta	0	0,00
<b>Total</b>		<b>100</b>

Fonte: Adaptado de Ross (1994)

Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157

## FIGURAS

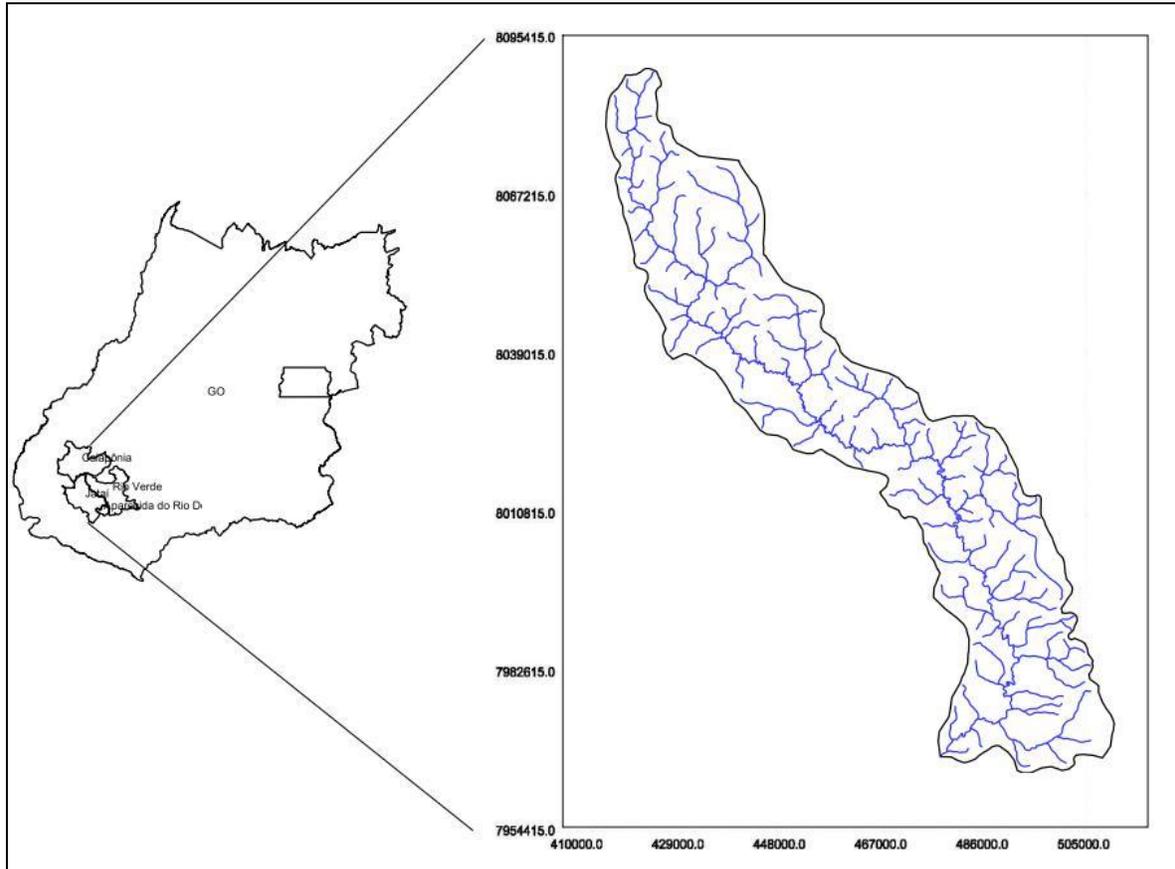


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157

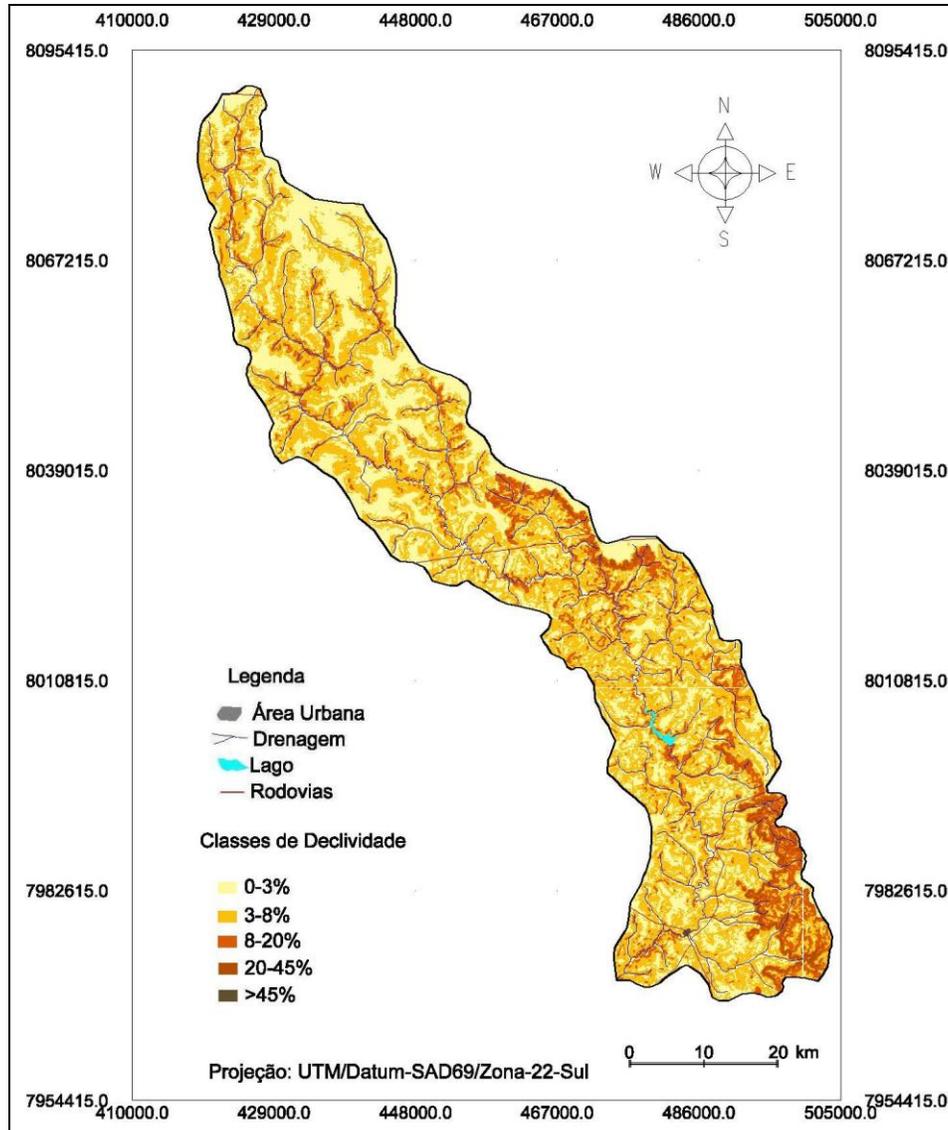
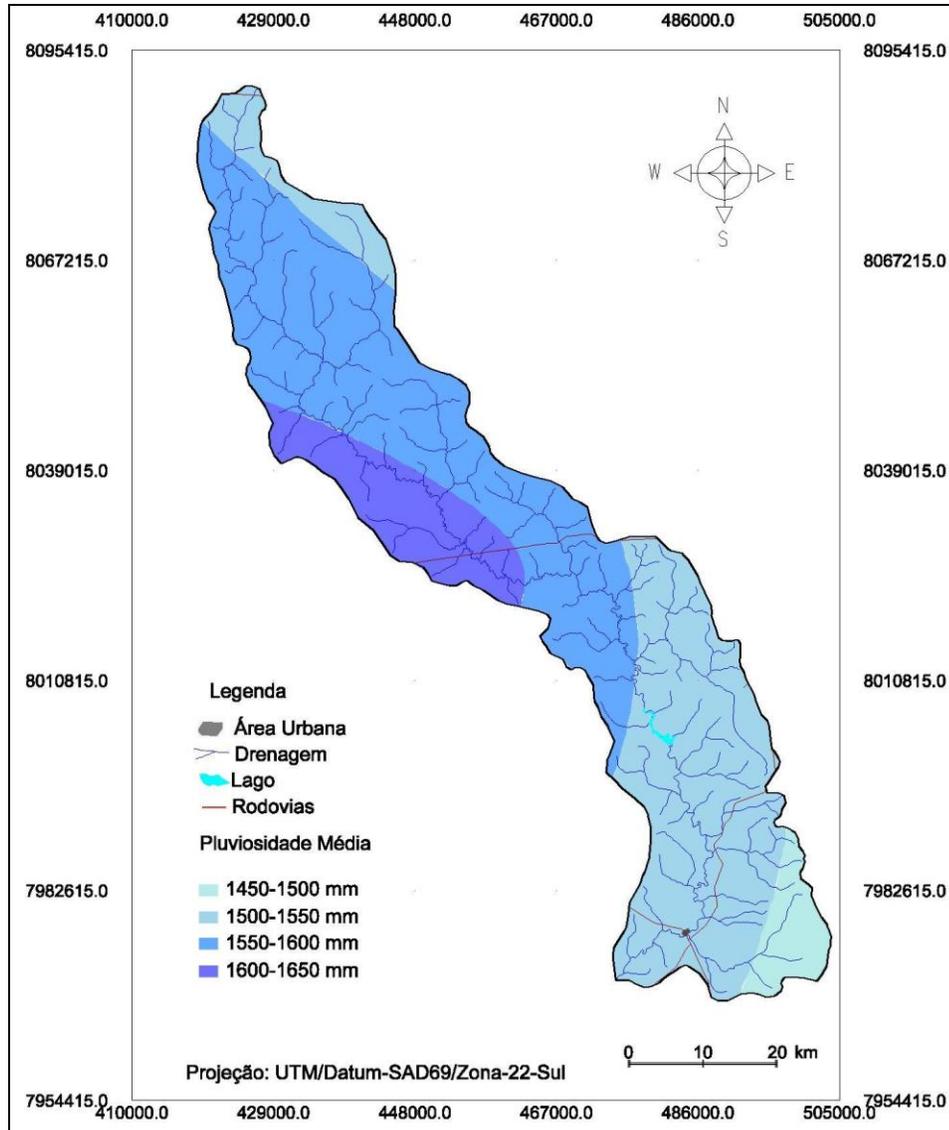


Figura 2. Mapa de declividade das vertentes da bacia do rio Doce.

Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157



**Figura 3. Mapa de intensidade pluviométrica media das estações próximas a bacia do Rio Doce.**

Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157

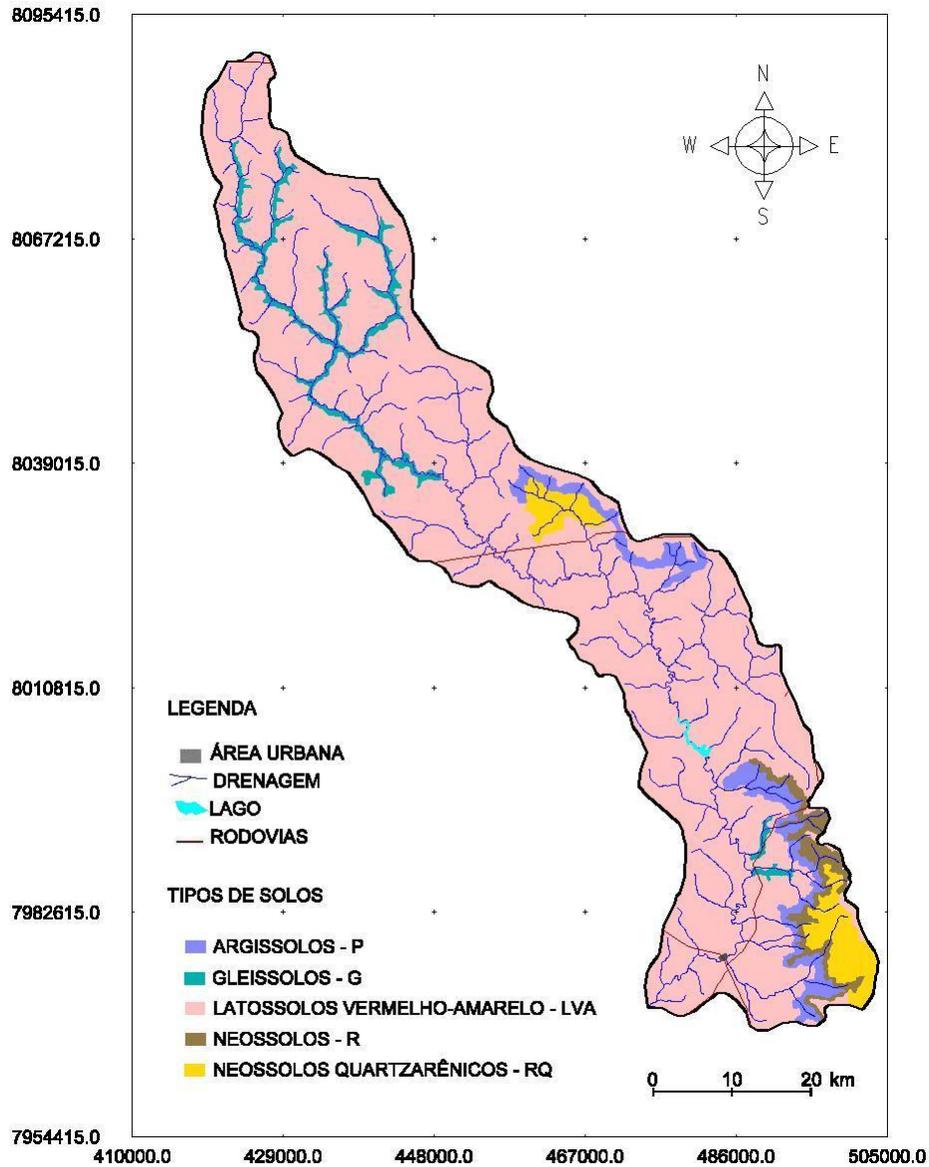


Figura 4. Mapa de solos da área de estudo. Adaptado do SIEG (2008).

Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157

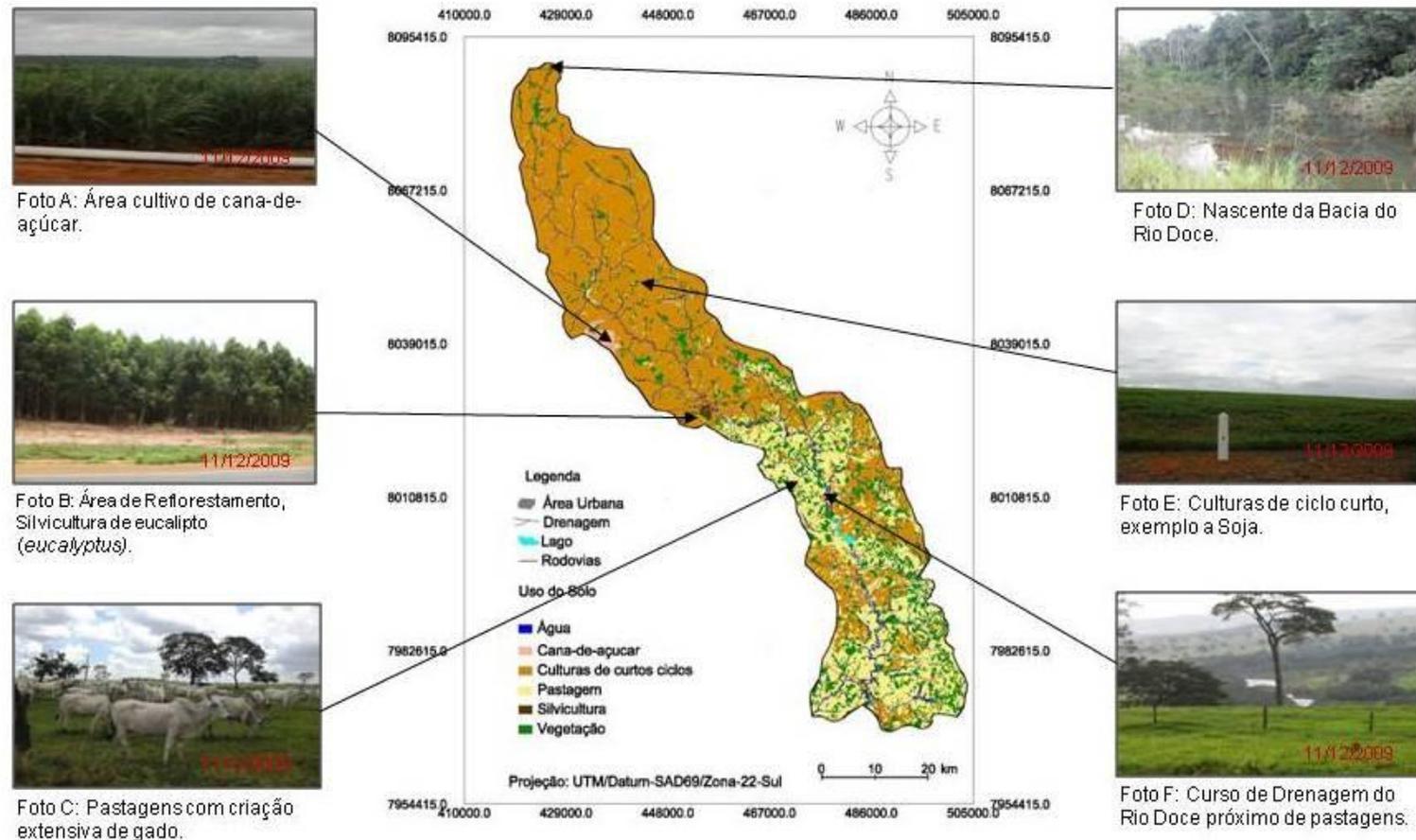


Figura 5. Mapa de uso da terra interpretado e gerado a partir do mapeamento da imagem *Landsat 5 TM* (2009) e suas respectivas ocupações.

Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157

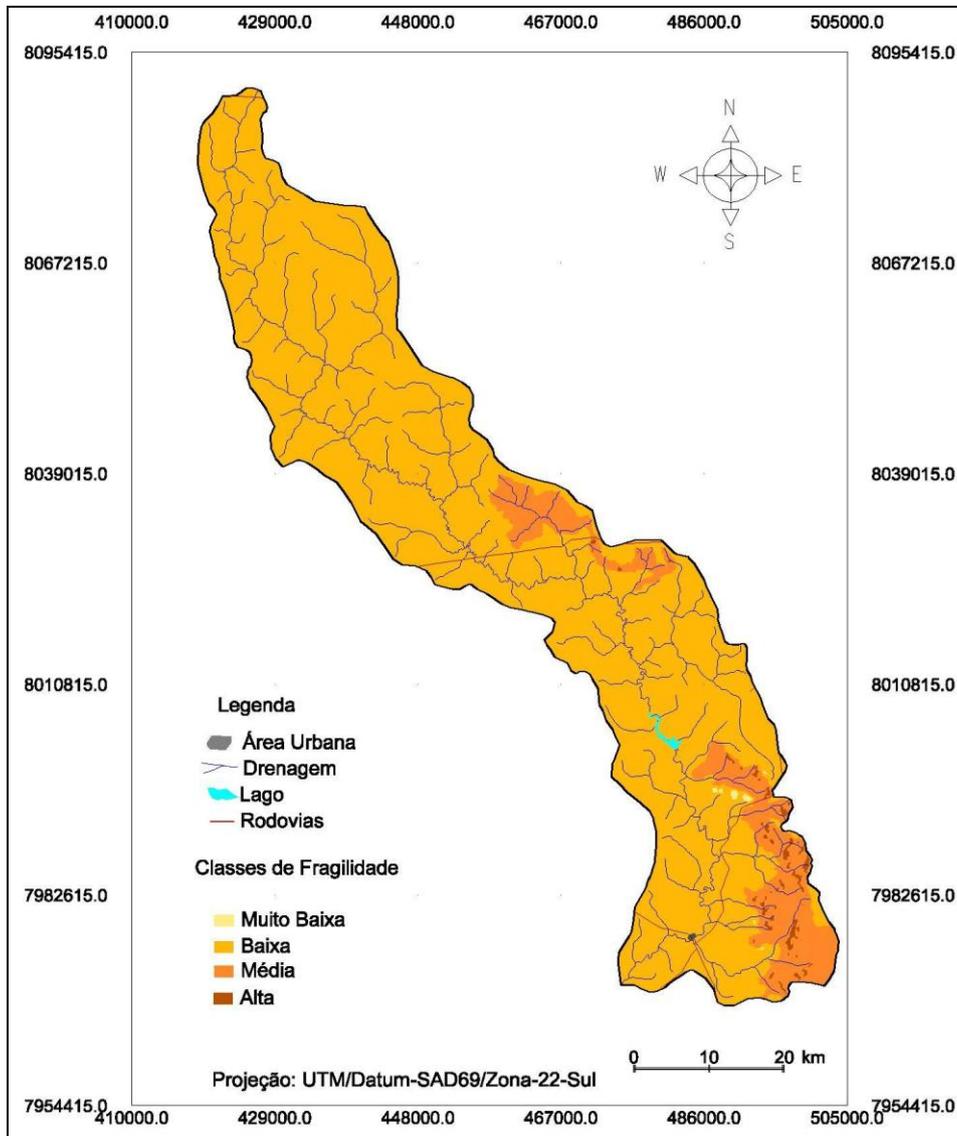


Figura 6. Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial.

Cabral, J. B. P., da Rocha, I. R., Martins, A. P., da Assunção, H. F. e Becegato, V. A. (2011): "Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157

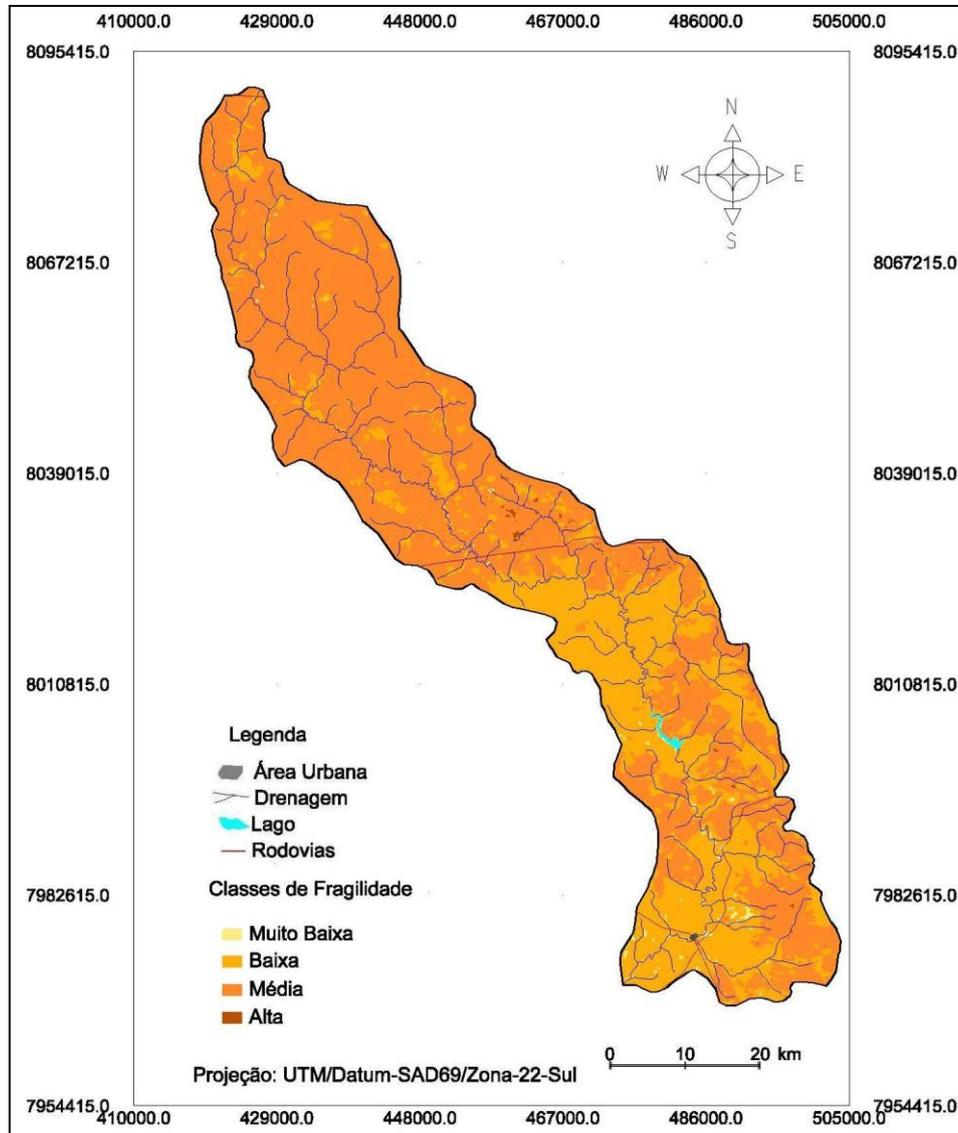


Figura 7. Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente.