

Fragilidade potencial e emergente na bacia do rio Peruaçu, região norte de Minas Gerais

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo mapear a fragilidade potencial e emergente na Bacia do Rio Peruaçu, com base na metodologia proposta por Ross (1994). A Bacia do Rio Peruaçu está localizada na Região Norte de Minas Gerais, cobrindo uma área de 1.552,3 km². A partir da sobreposição de mapas de diferentes atributos, tais como, declividade, erosividade da chuva, tipo de solo e uso e cobertura do solo, foi possível mapear a fragilidade ambiental. A fragilidade foi classificada em cinco diferentes níveis: muito fraca, fraca, média, forte e muito forte. Como resultado, para a fragilidade potencial predominou a classe de alta fragilidade com 56,88% (882,9 km²) da área. Enquanto, na análise da fragilidade emergente, observou-se a predominância das classes de Alta e média fragilidade, com 37,22% (577,71 km²) e 36,83% (571,73 km²), respectivamente. Os resultados obtidos evidenciam a necessidade de recuperação das áreas degradadas e a implantação de técnicas de conservação do solo nas áreas de maior fragilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Fragilidade potencial e emergente. Planejamento territorial ambiental. Conservação do solo.

Rodrigo Nogueira Martins

rodrigo.n.martins@ufv.br
orcid.org/0000-0002-0265-0889
Universidade Federal de Viçosa (UFV),
Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

Ana Paula Ferreira Colares

anapaula.colares@hotmail.com
orcid.org/0000-0001-8541-9510
Universidade Federal de Viçosa (UFV),
Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

Samira Luns Hatum de Almeida

samiraluns@hotmail.com
orcid.org/0000-0001-6900-1616
Universidade Federal de Viçosa (UFV),
Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

Marco Antonio Zanella

marko_zanella@hotmail.com
orcid.org/0000-0002-6164-6169
Universidade Federal de Viçosa (UFV),
Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

César Vinicius Mendes Nery

vinicius.nery@ifnmg.edu.br
orcid.org/0000-0003-0002-4101
Instituto Federal do Norte de Minas Gerais
(IFNMG), Januária, Minas Gerais, Brasil.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as mudanças ambientais globais, a influência das atividades antrópicas no ambiente e as práticas ambientais não sustentáveis têm sido motivo constante de preocupação para a sociedade. O uso irracional dos recursos naturais compromete a sustentabilidade do ambiente e torna a existência humana dependente da conservação racional dos recursos naturais (SCHIAVO et al., 2016).

A interferência antrópica resulta em alterações nas condições naturais das bacias hidrográficas, dentre as quais destacam-se: a poluição dos mananciais hídricos, a degradação dos solos e da cobertura vegetal, execução de obras de engenharia, e de atividade agropecuárias. Assim, todas essas alterações podem resultar no comprometimento da qualidade da água e da funcionalidade do sistema ambiental, alterando o seu estado de equilíbrio dinâmico, sendo esta intervenção maior ou menor em função das características intrínsecas do ambiente, ou seja, da fragilidade ambiental (FRANCO et al., 2012; FRANCO, 2010).

O mapeamento da Fragilidade Ambiental é uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos no planejamento territorial ambiental. Por meio destas informações é possível definir áreas mais frágeis e que merecem maior atenção, uma vez que sua má utilização pode resultar no comprometimento de todo o sistema. Além disso, este tipo de análise regional proporciona um meio para entender melhor a fragilidade do ecossistema, o que auxiliaria na tomada de decisões para o gerenciamento efetivo dos recursos naturais (FURLAN et al., 2011; TRAN et al., 2012).

Tricart (1977) apresenta uma proposta de análise de unidades ecodinâmicas, baseada no estudo da dinâmica dos ecótipos. Este conceito está alicerçado no instrumento lógico de sistema, uma vez que enfoca as relações mútuas entre os componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria no meio ambiente. Sob essa ótica dinâmica, o autor supracitado ressalta que essa é uma visão de um universo mutável, e não de um meio inerte. A ação humana ocorre numa natureza que é mutante e complexa em suas leis, pois há vários fatores em constante atuação (NOBRE; GARCIA, 2010).

Partindo do conceito de unidades ecodinâmicas estáveis e instáveis e, visando uma melhor aplicabilidade das mesmas no Planejamento Ambiental foi proposta por Ross (1994) uma metodologia com subdivisão das unidades em: Instáveis: em vários graus de vulnerabilidade, desde muito fraca a muito forte. O autor as chama de Unidades de Instabilidade Emergente; e Estáveis: apesar dessas unidades se encontrarem teoricamente em equilíbrio dinâmico, elas apresentam Instabilidade Potencial qualitativamente previsível em virtude de suas características naturais e da possibilidade, sempre real, de inserção antrópica. Por essa razão, as unidades ecodinâmicas estáveis apresentam-se nesse novo conceito como Unidades de Instabilidade Potencial, também com vários graus de vulnerabilidade, de muito fraca a muito forte, como ocorre na Instabilidade Emergente.

Assim, Ross (1994) propõe em seus métodos, a análise da fragilidade potencial e emergente de uma área, levando em consideração quatro temas que, segundo o autor, são fundamentais: declividade do relevo; pedologia;

uso/cobertura vegetal e a erosividade da chuva. Neste método, o autor considera que a declividade é o fator determinante do grau de fragilidade ambiental da área de estudo, ao passo que o uso/cobertura vegetal determina o tipo de unidade ecodinâmica (instável ou estável). Sendo assim, os demais temas atuam secundariamente. As 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.

Nos estudos de fragilidade ambiental têm-se utilizado as geotecnologias, como o sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas (SIG), os quais tem possibilitado identificar os aspectos que mais exercem influência sobre um determinado fenômeno estudado (DONHA et al., 2005; TREVISAN; MOSCHINI, 2016). Cereda Junior e Röhm (2014) destacam que o SIG possibilita manipular e armazenar dados provenientes de diversas fontes, como imagens de satélites e mapas digitalizados, permitindo também a criação de bancos de dados que podem ser relacionados, de modo a gerar novas informações.

Em muitas das aplicações de SIG na área de análise ambiental, é comum o envolvimento de múltiplos critérios para se atender a um ou mais objetivos. É a denominada Avaliação Multicritérios (AMC). Problemas de decisão espacial normalmente envolvem um grande conjunto de alternativas viáveis e múltiplas. As alternativas são frequentemente avaliadas por diferentes indivíduos: os decisores políticos, gestores, agentes, pesquisadores e grupos de interesse (MALCZEWSKI, 2006). Uma análise de multicritérios pode ser entendida como uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas (ou cenários), fundamentada em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha mais ponderada (ROY, 1996).

Segundo Malczewski (2004), para a integração dos diferentes fatores, com base na abordagem multicriterial, vários métodos vêm sendo utilizados. Desses métodos de AMC que têm sido implementados em ambiente SIG, destacam-se o método Booleano, a Combinação Linear Ponderada (CLP) e suas variantes, o Método do Ponto Ideal, a Análise de Concordância e o Processo Hierárquico Analítico.

Para a definição de áreas sensíveis, prioritárias ou de risco, o método da Combinação Linear Ponderada vem sendo empregado em diversos campos da pesquisa. Sartori e Zimback (2011) empregaram a AMC por meio da Combinação Linear Ponderada em ambiente SIG, para geração de um mapa de áreas prioritárias à recomposição florestal, visando à conservação de recursos hídricos. Beskow et al. (2009) analisaram o risco de erosão e perda de solo na Bacia do Rio Verde Grande (MG) combinando parâmetros da equação universal de perda de solo através da mesma técnica.

Para validação e análise da precisão dos dados gerados, o índice de concordância Kappa é considerado um dos principais métodos utilizados para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e o mapa temático (GASPARINI et al., 2013). O índice Kappa tem sido largamente utilizado na análise de concordância de mapas de uso e cobertura da terra, um dos principais fatores para determinação da fragilidade emergente (SCHIAVO et al., 2016). Entretanto, ainda que muito utilizado, não existe uma fundamentação teórica capaz de indicar coeficientes mínimos aceitáveis, o que dificulta apontar a qualidade da classificação realizada (GABOARDI, 2003).

O uso do SIG em conjunto com tais metodologias foi considerado um avanço significativo em relação ao procedimento convencional de cruzamento de planos de informação para a priorização de áreas de interesse. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo mapear a fragilidade potencial e emergente da Bacia Hidrográfica do Rio Peruaçu.

METODOLOGIA

A elaboração dos mapas de fragilidade potencial e emergente da bacia do Rio Peruaçu foi baseada na metodologia proposta por Ross (1994), na qual as unidades de fragilidade dos ambientes naturais devem ser resultantes dos levantamentos básicos da declividade, solos, uso e cobertura da terra e clima (potencial erosivo das chuvas). Conforme descrito por Spörl e Ross (2004) esses elementos quando tratados de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais. Neste modelo cada variável é hierarquizada em escala de 1 (Muito Fraca) à 5 (Muito Forte) com relação a fragilidade, conforme mostrado abaixo.

- Classes de Declividade – fragilidade muito fraca (1) a muito forte (5);
- Solos – classe de fragilidade muito baixa (1) a muito forte (5);
- Uso e cobertura do solo – grau de proteção muito alto (1) a muito baixo/nulo (5);
- Erosividade da chuva – muito fraca (1) a muito forte (5).

No presente trabalho os pesos foram definidos sem necessidade de ajustes metodológicos. Assim, após a combinação das variáveis foi possível hierarquizar o grau de fragilidade do ambiente. Neste caso, a combinação 1111 representa uma fragilidade muito baixa para todas as variáveis utilizadas, enquanto uma combinação 5555 seria caracterizada como fragilidade muito alta. Ross (1994) por meio dessa análise empírica tornou possível estabelecer quais áreas são consideradas mais críticas em relação à fragilidade potencial.

Embora no presente trabalho tenha sido utilizado o modelo de fragilidade com base nas classes de declividade, Ross (1994) propôs também um modelo utilizando como base os índices de dissecação do relevo. Para tal, as unidades de fragilidade dos ambientes naturais devem ser resultantes dos levantamentos básicos de geomorfologia, solos, cobertura vegetal/uso da terra e clima. O procedimento para a confecção do mapa final é uma derivação dos procedimentos apresentados no modelo baseado nas classes de declividade.

O INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) desenvolveu uma metodologia para elaborar mapas de Vulnerabilidade Natural à Erosão. Esta metodologia consiste primeiramente na elaboração de um mapa de Unidades Homogêneas de Paisagem, ou Unidades Territoriais Básicas (UTB), obtidos através da análise e interpretação de imagens de satélites. Em seguida, as informações pré-existentes (rocha, solo, relevo, vegetação e clima) são associadas ao mapa preliminar de unidades homogêneas. A resistência ao processo natural de erosão das unidades de paisagem natural tem sua vulnerabilidade classificada de 1 (mais estável) a 3 (mais vulnerável). Como resultado cada UTB recebe um valor final da média aritmética dos valores

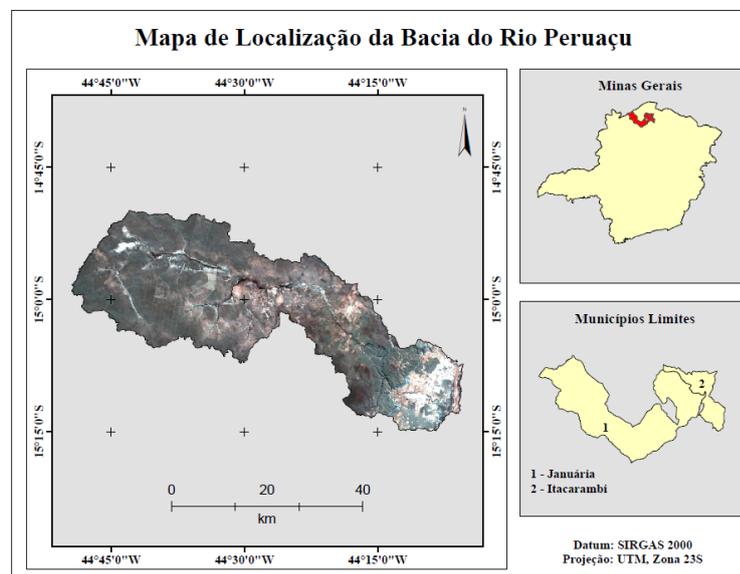
individuais que representam a sua vulnerabilidade (CREPANI et al., 1996; SPÖRL; ROSS, 2004).

Em termos de comparação, estas metodologias levam em consideração basicamente as mesmas variáveis, mas com pequenas diferenciações. Nos modelos propostos por Ross (1994) o relevo (declividade ou índice de dissecação) é adotado como variável principal, enquanto as demais variáveis apenas hierarquizam nuances da fragilidade do ambiente. Diferentemente, o modelo proposto por Crepani et al. (1996) utiliza valores médios para o produto final, ou seja, todas as variáveis têm o mesmo peso. Entretanto, é importante ressaltar que estes modelos podem apresentar resultados de fragilidade que não refletem as características da área, visto que nem sempre a fragilidade alta será dependente de apenas um fator (relevo), assim como a fragilidade obtida pela média das variáveis também poderá atenuar a fragilidade real do ambiente.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Rio Peruaçu, localizada na margem esquerda do médio curso do Rio São Francisco, extremo norte do Estado de Minas Gerais, situada geograficamente entre as latitudes $15^{\circ} 14' 55''$ S e $14^{\circ} 48' 52''$ S, e longitude $44^{\circ} 50' 20''$ W e $44^{\circ} 40' 20''$ W. A bacia encontra-se na Macrorregião de Januária, compreendendo parte dos Municípios de Januária e Itacarambi conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Autoria própria (2017).

O clima da região é o tropical com transição para semiárido. Seu período mais seco ocorre entre os meses de abril e outubro com temperatura máxima de 38°C e mínima de $12,6^{\circ}\text{C}$. A precipitação média anual varia de 870 a 910 mm. A região tem topografia plana com leves ondulações, característica típica do norte de Minas Gerais.

O subsolo da região é composto por rochas sedimentares do grupo Bambuí, arcóseos, siltitos, calcáreos e dolomitos, em partes revestidas por sedimentos

mais recentes, arenitos, conglomerados, da formação Urucuia e também por uma cobertura de detrítico-laterífica (RODET et al., 2002).

Para a delimitação da bacia do Peruaçu utilizou-se uma imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) da região, no qual, por meio do programa computacional QGIS, versão 2.14, foi criada uma máscara, da área em questão, para a realização do recorte dos demais mapas temáticos.

DECLIVIDADE

O modelo digital de elevação (MDE) foi obtido a partir da imagem SRTM com resolução espacial de 30 metros. Por meio da ferramenta *reclass* foi possível reclassificar os dados do *raster* e obter a declividade do terreno. Posteriormente esses dados foram hierarquizados e reclassificados em cinco categorias de fragilidade.

EROSIVIDADE DAS CHUVAS

O mapa de erosividade de chuvas foi gerado a partir de uma série histórica de dados pluviométricos de 30 anos. O mapa de erosividade de chuvas foi gerado a partir de uma série histórica de dados pluviométricos de 30 anos (1985 – 2016), referentes a 11 estações pluviométricas distribuídas na área da bacia. Os dados foram obtidos junto ao Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA). O fator de erosividade da chuva foi determinado por meio modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) conforme demonstrado na Equação 1.

$$EI_{30} = 67,355 \left(\frac{r^2}{p} \right)^{0,85}, \quad (1)$$

em que: EI_{30} é a média mensal do índice de erosividade das chuvas ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$); r é a precipitação média mensal (mm); e P é a precipitação média anual (mm).

O índice de erosividade anual das chuvas (R) é representado pelo somatório dos valores mensais desse índice conforme demonstrado na Equação 2.

$$R = \sum_{j=1}^{i=12} EI_{30}, \quad (2)$$

em que: de “i” até “j” são representados os dozes meses do ano.

O índice de erosividade anual das chuvas (R) é um índice numérico que expressa a potencial da chuva em causar erosão em um solo desnudo (sem cobertura vegetal). Os valores quantitativos de erosividade em $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ foram convertidos para $T.m^{-1}.mm.ha^{-1}.ano^{-1}$, isto é, do sistema métrico internacional para o sistema métrico decimal, onde os valores em megajoules foram divididos por 9,81. Em seguida, os valores foram interpolados para toda a bacia por meio do método do inverso da distância ponderada (IDW), e em seguida, reclassificados de acordo com os seus respectivos pesos de fragilidade.

MAPEAMENTO DO SOLO

O mapa de unidades de solos da bacia foi obtido por meio do mapa de solos do estado de Minas Gerais (UFV.; CETEC.; UFLA.; FEAM, 2010), onde foi realizado o recorte nos limites da bacia. Os solos identificados na bacia foram o Latossolo Vermelho–Amarelo, Latossolo Vermelho–Escuro, Glei Húmico, Cambissolo, Podzólico Vermelho–Amarelo e o Neossolo Quartzarênico.

USO E COBERTURA DO SOLO

Para mapear o uso e cobertura do solo na Bacia do Rio Peruaçu utilizou-se a imagem do sensor OLI – Landsat 8, com resolução espacial de 30 m, órbita/ponto 219/70 com data referente a agosto de 2016. Inicialmente, realizou-se a correção radiométrica conforme o método de subtração do objeto escuro (DOS), proposto por Chavez (1988). Em seguida, a imagem foi classificada por meio do *plugin* de classificação semiautomática disponível no QGIS. Foram identificadas as classes temáticas: Cerrado, Agricultura, Solo Exposto, Afloramento rochoso e Água. Na pós-classificação utilizou-se a ferramenta *Sieve* para remoção dos pixels isolados. Na Tabela 1, está disponível a classificação dos componentes pertencentes a cada variável considerada na análise da fragilidade ambiental da bacia.

Tabela 1 – Classificação da fragilidade ambiental para as variáveis analisadas

Declividade	Erosividade “R” (ton. m. mm/ha. h. ano)	Solos	Uso e Cobertura do Solo	Fragilidade
0 – 6	R < 250	Latossolo Vermelho- Amarelo, Latossolo Vermelho Escuro	Água	Muito baixa (1)
6,01 – 12	250 < R < 500	-	Cerrado	Baixa (2)
12,01 – 20	500 < R < 750	Glei Húmico	Afloramento	Média (3)
20,01 – 30	750 < R < 1000	Cambissolo, Podzólico Vermelho- Amarelo	Agricultura	Alta (4)
> 30	R > 500	Neossolo Quartzarênico	Solo Exposto	Muito alta (5)

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

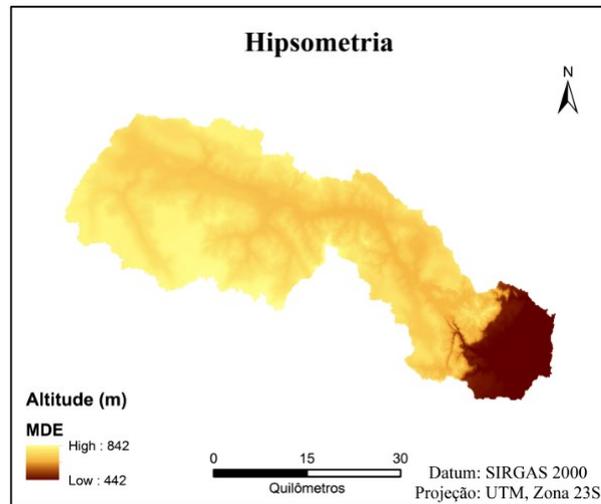
Após classificar a fragilidade de cada componente, foi utilizada a ferramenta *raster calculator* para atribuir os pesos de cada categoria e realizar a álgebra dos mapas. Na sequência, cada componente recebeu a mesma porcentagem de importância no cálculo da média ponderada. O valor resultante de cada classe representa a soma da porcentagem de importância de cada componente multiplicada pelo peso dentro da categoria.

Foi criado o mapa de Fragilidade Potencial, capaz de considerar a fragilidade natural a que uma determinada área está submetida, a partir do cruzamento da declividade do relevo, erosividade da chuva e do tipo de solo. A fragilidade emergente, além de considerar os elementos naturais já constantes na fragilidade potencial, acrescenta-se o mapa de uso e cobertura da terra, que se caracteriza pela maneira como o ser humano utiliza o solo.

RESULTADOS

A bacia do Rio Peruaçu apresenta área total na ordem de 1552,3 km² e perímetro de 293,31 km. O canal principal possui extensão de 115,46 km com altitude variando de 442 a 842 metros conforme demonstrado na Figura 2.

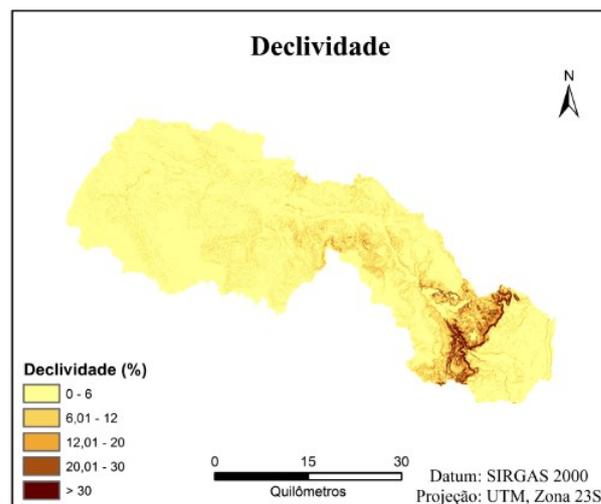
Figura 2 – Modelo digital de elevação da Bacia do Rio Peruaçu



Fonte: Autoria própria (2017).

Após o processamento do MDE foram quantificadas as áreas pertencentes a cada classe de declividade que, posteriormente, foi reclassificada em cinco níveis de fragilidade conforme demonstrado na Figura 3. Na bacia 82,29% da área apresenta declividade de 0 – 6% (Fragilidade muito baixa), seguida pela classe de 6,01 a 12% (Fragilidade baixa), que representa 12,55% da área. As outras três classes de fragilidade média, forte e muito forte apresentaram 2,78%, 1,37% e 1,01% da área, respectivamente.

Figura 3 – Declividade do solo na Bacia do Rio Peruaçu



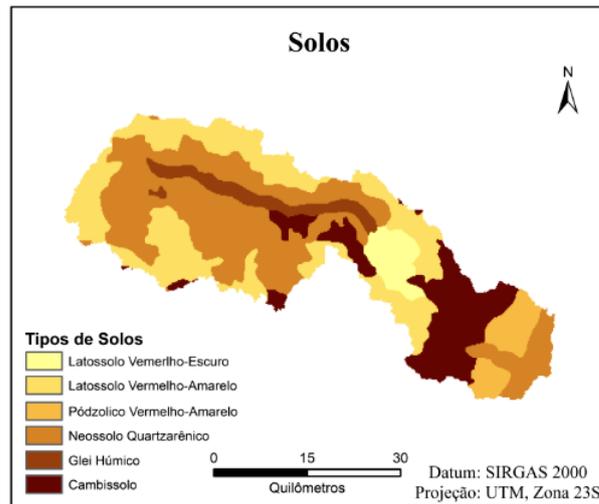
Fonte: Autoria própria (2017).

A erosividade na bacia variou de 664,46 a 722,22 ton.m.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, sendo posteriormente classificada como de Fragilidade Média. Entretanto, vale

ressaltar que a concentração das precipitações na bacia ocorre no período de outubro a março, época sujeita a ocorrência de eventos com alta intensidade pluviométrica e com potencial erosivo alto.

Em relação aos solos, na bacia foram observados seis tipos distintos de classes conforme demonstrado na Figura 4.

Figura 4 – Classes de solo na Bacia do Rio Peruaçu

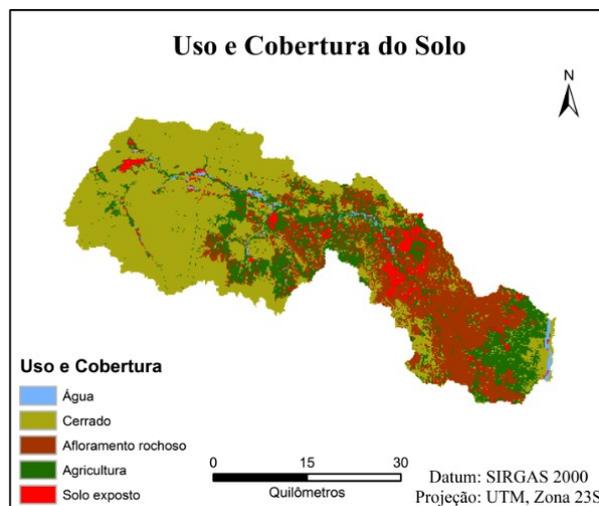


Fonte: Autoria própria (2017).

O Neossolo Quartzarênico que apresenta fragilidade Muito Alta foi predominante na bacia com 38,2% da área. Em seguida, o Latossolo Vermelho-Amarelo e o Cambissolo com fragilidades classificadas como Muito Baixa e Alta apresentaram 30,3% e 16% da área, respectivamente. Por fim, o Latossolo Vermelho Escuro, o Gleí Húmico e o Podzólico Vermelho-Amarelo que representam 4,6%, 5,3% e 5,6% da área apresentaram fragilidade Muito Baixa, Média e Alta, respectivamente.

A classificação supervisionada da imagem do satélite LANDSAT 8-OLI resultou em 5 diferentes classes conforme disponível na Figura 5.

Figura 5 – Uso e Cobertura do solo na Bacia do Rio Peruaçu

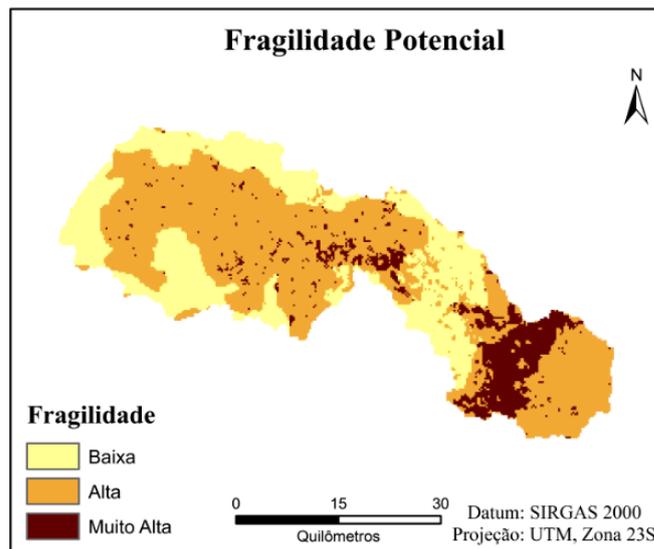


Fonte: Autoria própria (2017).

A classe de agricultura composta em sua maioria por pequenos produtores para o cultivo de subsistência (feijão, mandioca e milho) e do extrativismo dos produtos do Cerrado representa 20,5% da área, sendo classificada com fragilidade Alta devido à baixa proteção ao solo e ausência de práticas conservacionistas na região. As classes de água e solo exposto representaram 1,1% e 5% da área da bacia, com fragilidades classificadas como Fraca e Muito Forte.

A fragilidade potencial da bacia do Rio Peruaçu demonstrada na Figura 6 foi obtida por meio da sobreposição dos mapas de fragilidade da declividade, erosividade de chuvas e dos tipos de solo. A classe de fragilidade Alta foi predominante com 56,88% (882,9 km²), seguida, pela classe de fragilidade Baixa com 32,7% (507,6 km²). Por fim, a classe de fragilidade Muito Alta que representa 10,42%, abrangendo 161,8 km² da área, que está principalmente representada na região sul da bacia.

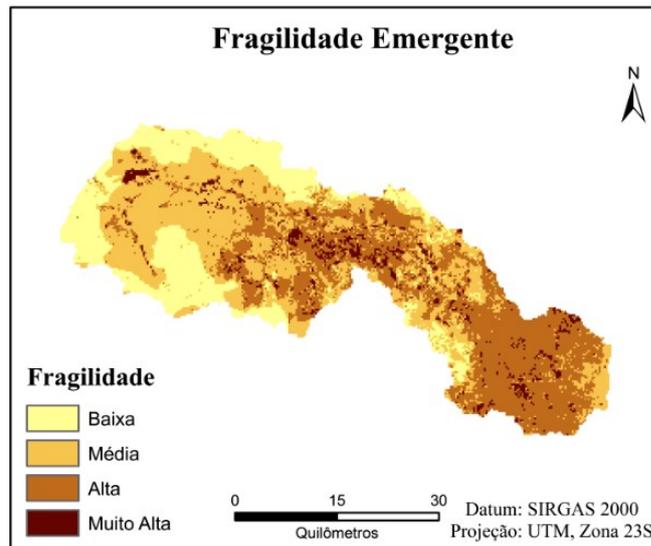
Figura 6 – Fragilidade Potencial na Bacia do Rio Peruaçu



Fonte: Autoria própria (2017).

Para análise da fragilidade emergente, além de se considerar os elementos naturais incluídos no mapa de fragilidade potencial, acrescentou-se o uso e cobertura do solo, que representa a fragilidade do ambiente após a interferência antrópica. O mapa de fragilidade emergente está disponível na Figura 7.

Figura 7 – Fragilidade Emergente na Bacia do Rio Peruaçu



Fonte: Autoria própria (2017).

Observou-se a predominância das classes de fragilidade Alta e Média com 37,22% e 36,83%, cerca de 577,71 km² e 571,73 km², respectivamente. A classe de baixa fragilidade representa 21,84%, abrangendo 339,07 km² da bacia, sendo localizada ao norte com influência dos Latossolos, da vegetação natural do Cerrado e da baixa declividade da área. Por fim, a classe Muito Alta abrange 63,78 km² (4,11%) da área total da bacia, estando concentrada em áreas de solo exposto e com presença de Cambissolos.

DISCUSSÃO

A maior parte da paisagem na bacia do Rio Peruaçu é distribuída dentro das classes de fragilidade potencial alta (56,88 %) e baixa (32,7 %). Em estudo realizado por Maganhotto et al. (2011) na Floresta Nacional de Irati, de um total de 3.495 ha, o maior percentual de área foi atribuído à classe de fragilidade potencial baixa (53%), enquanto a classe de fragilidade alta ocupou 20% da área de estudo. Os resultados são contrários aos encontrados no presente estudo, entretanto, os fatores de maior influência na definição destas classes se assemelham aqueles observados no presente estudo, os quais foram: à baixa declividade (0 – 12 %) e a presença de Latossolo argiloso e do Nitossolo. Para a fragilidade potencial alta, o fator predominante foi à presença de áreas com declive de até 20 % associadas à presença de Cambissolos e Argissolos.

Messias et al. (2012) em estudo na barragem do Funil na sub-bacia hidrográfica do Rio Grande em Minas Gerais, obtiveram predomínio da classe de fragilidade potencial moderada e alta. Alguns locais apresentaram baixa fragilidade potencial devido à baixa vulnerabilidade do solo (Latossolo Vermelho e Amarelo) e a baixa declividade. Entretanto, também foi observada a presença da fragilidade potencial muito alta, ocasionada por declividades acentuadas, assim como, pela presença de solos mais suscetíveis a erosão.

No presente estudo a classe de fragilidade potencial alta distribuída em quase toda a extensão da bacia (56,88% da área) associa-se principalmente a

presença do Neossolo Quartzarênico que, conforme Cunha e Bacani (2016) são solos essencialmente arenosos, com baixo teor de argila e matéria orgânica e baixa capacidade de retenção de água. Assim, sua característica eleva o grau de fragilidade, devido à alta permeabilidade e susceptibilidade a processos erosivos.

Resultados encontrados por Castro et al. (2011) evidenciam a alta tendência à erosão desse tipo de solo. Este contexto favorece que, diante da presença de chuvas com potencial erosivo, a tênue camada pedológica seja mais facilmente carregada vertente abaixo, dificultando ou impedindo a regeneração da cobertura vegetal e a estabilidade do sistema (NETO; FERNANDES, 2015).

A baixa fragilidade potencial predominou em 32,7% da área de estudo, sendo estas áreas dominadas por declividades abaixo de 6%, onde observa-se também a presença de Latossolos, sendo tanto o Latossolo Vermelho-Escuro quanto o Latossolo Vermelho-Amarelo. Rocha et al. (2013) destacam que este tipo de solo é comum a áreas com relevo do tipo plano a suave-ondulado, com declividades que raramente ultrapassam 7%.

Os Latossolos são normalmente caracterizados como solos profundos, porosos, bem drenados, bem permeáveis mesmo quando muito argilosos e de fácil preparo (TEIXEIRA et al., 2000). A presença de Latossolos em áreas de menor declividade também é relatada em estudos similares desenvolvidos por outros autores (CRUZ et al., 2017; TRINDADE; RODRIGUES, 2016).

A classe de alta fragilidade potencial compreendeu uma área de aproximadamente 10,42% ou 161,8 km², que encontra-se principalmente no baixo curso do Rio Peruaçu, local onde predominam os Cambissolos que, associados a inclinações superiores a 20% apresentaram o maior nível de fragilidade na bacia.

Segundo Valle et al. (2016) Cambissolos são em sua maioria predominantes em áreas montanhosas, também propícias à ocorrência de processos erosivos pela ação do escoamento superficial, o que corresponde à sua classificação como de alta fragilidade aos agentes erosivos. Estas áreas apresentam maiores restrições ao uso por atividades agropecuárias, pois as condições identificadas de solo e relevo exigem a adoção de práticas conservacionistas como culturas em nível, plantio direto e maior área de preservação da vegetação nativa (PACHECHENIK et al., 2013).

No que diz respeito à análise da fragilidade emergente, segundo a proposta de Ross (1994), essa pode ser entendida como sendo aquela na qual as ações humanas desestabilizaram o equilíbrio dinâmico do sistema ou mesmo à própria distância para que essa ação decorra mediante o grau de proteção dos solos exercido pela cobertura vegetal.

A retirada e/ou proteção da vegetação tende a se constituir, nesse sentido, em um ótimo indicador para a identificação das áreas mais ou menos instáveis. O resultado da sobreposição do mapa de fragilidade potencial com o uso e cobertura da terra permitiu a obtenção de quatro níveis de fragilidade emergente para a bacia do rio Peruaçu: baixa, média, alta e muito alta.

Dalla Corte et al. (2015) observaram em estudo na bacia do Rio Iguaçu (Paraná) a predominância da fragilidade emergente classificada como média (41,55 %), baixa (40,73 %) e muito baixa (7,67 %). Assim, quase toda a área da bacia foi considerada em um estado relativamente bom de fragilidade, visto que

as classes mencionadas acima representaram 89,95 % de toda a área da bacia. Entretanto, 7,49 % da área estão incluídas dentro das classes de fragilidade alta e muito alta, sendo estas representadas por áreas alagadas que se caracterizam como ambientes estruturais muito instáveis. Esses resultados se assemelham aqueles obtidos no presente trabalho, visto que um maior percentual de área da bacia do Rio Peruaçu encontra-se sob fragilidade classificada como baixa a média (58,67 %). O menor percentual no presente estudo justifica-se pela maior presença de afloramentos rochosos, solos expostos e de solos do tipo Neossolo Quartzarênico, fatores de maior fragilidade e que influenciam diretamente no processo erosivo.

Em estudo na microbacia do Rio das Pedras, município de Guarapuava (Paraná), Pachechenik et al. (2013) observaram que 48,66 % da área da bacia estão inseridos na classe de fragilidade emergente baixa. Neste caso, o fator preponderante foi o uso e cobertura da terra, representado principalmente por áreas de mata nativa (60,67 %) e reflorestamento (4,35 %). No presente estudo observa-se o oposto, pois 47,3 % da área da bacia correspondem a áreas de solo exposto, agricultura e afloramentos rochosos.

Conforme mencionado acima para a fragilidade emergente, à classe alta foi predominante na bacia com 37,22% da área de estudo. Essa alta fragilidade é atribuída a uma combinação de diversos fatores, sendo em sua maioria a presença de solos do tipo Cambissolo e Glei Húmico, altas declividades e principalmente as classes de uso e cobertura da terra como afloramento rochoso, solo exposto e agricultura.

A presença de tais classes de uso e cobertura do solo torna essa área vulnerável às ações das chuvas que por consequência originam uma série de processos erosivos. Dada à importância histórica e geológica dessa área, devido estar localizada em maior parte dentro dos limites dos Parques Nacional das Cavernas do Peruaçu e do Parque Veredas do Peruaçu deve-se dar atenção maior as ações de conservação para fins de preservação dos recursos naturais.

O segundo maior percentual de área na bacia para o mapa de fragilidade emergente foi observado na classe de fragilidade média com aproximadamente 571,73 km² (36,83%) da área total, localizando-se em sua maioria ao norte da bacia. Pela análise dos mapas, observa-se que estas áreas são caracterizadas pela presença do Neossolo Quartzarênico que devido à baixa adesão e coesão entre as partículas, apresentam elevada erodibilidade e estão sujeitos a maiores perdas de solo conforme observado por Neves et al. (2011) em estudo na bacia do Rio Jauru - MT.

Entretanto, nota-se a presença da vegetação nativa do Cerrado ao sobrepor os mapas. A presença do Cerrado proporciona maior proteção ao solo, favorecendo a capacidade de infiltração da água e redução do escoamento superficial. Além disso, a vegetação natural auxilia na manutenção das relações ecológicas existentes na floresta, o que representa um equilíbrio no ambiente e contribui para a redução da susceptibilidade do terreno a erosão (VALLE et al., 2016).

A baixa fragilidade emergente observada ao longo das bordas da bacia correspondeu a 21,84% da área, sendo sua fragilidade influenciada principalmente pela presença do Cerrado, Latossolo Vermelho-Amarelo e a baixa

declividade do terreno. A combinação destes fatores contribuiu para atenuar o grau da fragilidade da área e tende a reduzir a ação dos agentes degradantes.

A fragilidade emergente muito alta ocupa apenas 4,11% (63,78 km²) da área da bacia, localizando-se em fragmentos isolados ao longo de toda a extensão da bacia. Esses fragmentos correspondem a áreas sem cobertura vegetal (solo exposto), áreas de cultivo agrícola e/ou pastagens degradadas que associados à presença do Neossolo Quartzarênico, Cambissolo e a alta declividade observada em alguns pontos contribuem para a maior fragilidade e susceptibilidade a erosão nestes fragmentos.

CONCLUSÕES

A bacia do Rio Peruaçu apresentou como Fragilidade Potencial a classe Alta abrangendo 882,9 km² e como Fragilidade Emergente as classes de Média a Alta fragilidade com 571,73 e 577,71 km², respectivamente. Vale ressaltar que na bacia estão localizados o Parque Nacional das Cavernas do Peruaçu e o Parque Veredas do Peruaçu que garantem a proteção e conservação dos recursos naturais na bacia. Contudo, os resultados obtidos mostram a necessidade de recuperação das áreas degradadas e a implantação de ações de conservação do solo nas áreas de solo exposto e com cultivo agrícola.

A utilização de geotecnologias como o SIG e o sensoriamento remoto foi essencial para o desenvolvimento do estudo, visto que, por meio das imagens de satélite, foi possível obter o mapa de uso e cobertura do solo, assim como realizar a sobreposição dos mapas pela combinação linear ponderada que se mostrou eficaz para identificação da influência de cada componente no mapa final de fragilidade.

Potential and emerging fragility in the Peruaçu river basin, northern region of Minas Gerais

ABSTRACT

This study was aimed at mapping the potential and emerging fragility of the Peruaçu River Basin based on the methodology proposed by Ross (1994). The Peruaçu River Basin is located in the Northern region of Minas Gerais, covering an area of 1552.3 km². Furthermore, from the maps overlapping, such as slope, rainfall erosivity, soil types and soil use and cover, it was possible to map the environmental fragility. The fragility was classified into five different levels: Very Low, Low, Mean, Strong and Very Strong. As a result, for the potential fragility, it was predominant the high fragility, covering 56.88% of the area. On the other hand, in the emerging fragility analysis, it was observed the predominance of mean and high fragility classes with 37.22% and 36.83%, respectively. Moreover, the results obtained indicate the need of recovering degraded areas and the implementation of soil conservation techniques in areas of greater fragility.

KEYWORDS: Potential and emerging fragility. Environmental territorial planning. Soil conservation.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Santo Agostinho - FUNDASA pelo suporte financeiro e apoio a pesquisa.

REFERÊNCIAS

BESKOW, S.; MELLO, C. R.; NORTON, L. D.; CURTI, N.; VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin. Brazil using distributed modeling. **Catena**, v. 79, n. 1, p.49–59. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.05.010>.

CASTRO, W. J.; LEMKE-DE-CASTRO, M. L.; OLIVEIRA LIMA, J.; OLIVEIRA, L. F. C. RODRIGUES, C.; FIGUEIREDO, C. C. Erodibilidade de solos do Cerrado Goiano. **Revista Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 4, n. 2, p.305-320, 2011.

CEREDA JUNIOR, A.; RÖHM, S. A. Analysis of environmental fragility using multi-criteria analysis (MCE) for integrated landscape assessment. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v. 8, n. 1, p.28-37, 2014. <https://doi.org/10.4090/juee.2014.v8n1.028037>.

CHAVEZ, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 3, p. 459-479, 1988. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3).

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P. & FLORENZANO, T. Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico. São José dos Campos: INPE, 1996.

CRUZ, B. B.; MANFRE, L. A.; RICCI, D. S.; BRUNORO, D.; APPOLINARIO J. L.; QUINTANILHA, J. A. Environmental fragility framework for water supply systems: a case study in the Paulista Macro Metropolis area (SE Brazil). **Environmental Earth Science**, v. 76, n. 1, p.441-453, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6778-3>.

CUNHA, E. R.; BACANI, V. M. Caracterização da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego Come Onça, Água Clara - MS. **Acta Geográfica**, v. 10, n. 22, p.193–205, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5654/acta.v10i22.2456>.

DALLA CORTE, A. P.; HENTZ, Â. M. K.; DOUBRAWA, B.; SANQUETTA, C. R. Environmental fragility of Iguaçu river watershed, Paraná, Brazil. **Bosque**, v. 36, n.2, p.287-297, 2015.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p.175-181, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000100026>.

FRANCO, G. B. **Fragilidade ambiental e qualidade da água na Bacia do Rio Almada – Bahia**. 2010. 345f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FRANCO, G. B.; BETIM, L. S.; MARQUES, E. A. G.; GOMES, R. L. G; CHAGAS, C. S. Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 1, p.114-127, 2012. <https://doi.org/10.5327/Z0375-75362012000500010>.

FURLAN, A.; BONOTTO, D. M.; GUMIERE, S. J. Development of environmental and natural vulnerability maps for Brazilian coastal at São Sebastião in São Paulo State. **Environmental Earth Sciences**, v. 64, n. 3, p. 659-669, 2011. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0886-7>.

GABOARDI, C. **Utilização de imagens de coerência SAR para classificação do uso da terra: Floresta Nacional de Tapajós**. 2003. 139f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

GASPARIN, K. A. C.; LYRA, G. B.; FRANCELINO, M. R.; DELGADO, R. C.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; FACCO A. G. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas à identificação de conflitos do uso da terra em Seropédica. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n.3, p.1-11, 2013.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, v.51, n. 2, p.189-196, 1992. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051992000200009>.

MAGANHOTTO, R. F.; SANTOS, L. J. C.; DE OLIVEIRA, P. C. O. Análise da fragilidade ambiental como suporte ao planejamento do ecoturismo em unidades de conservação: estudo de caso Flona de Irati - PR. **Revista Floresta**, v. 41, n. 2, p.231-242, 2011. <http://sci-hub.tw/10.5380/rf.v41i2.21871>.

MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in Planning**, v. 62, n. 1, p. 3 – 65, jul. 2004. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>.

MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science**, v.20, n.7, p.703-726, 2006. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>.

MESSIAS, C. G.; FERREIRA, M. F. M.; RIBEIRO, M. B. P.; MENEZES, M. D. Análise empírica de fragilidade ambiental utilizando técnicas de geoprocessamento: o caso da área de influência da hidrelétrica do Funil – MG. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 112-125, 2012.

NETO, M. C. P.; FERNANDES, E. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Seridó (RN/PB – Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 3, p. 399-411, 2015. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v16i3.603>.

NEVES, S. M. A. DA S.; NUNES, M. C. M.; NEVES, R. J.; SOARES, E. R. C. Estimativa da perda de solo por erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Jauru/MT. **Sociedade & Natureza**, v. 23, n. 3, p. 423-434, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-45132011000300005>.

NOBRE, M. F.; GARCIA, G. J. Avaliação de três diferentes métodos de análise para a determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Corumbataí (SP). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 62, n. 2, p. 169-179, 2010.

PACHECHENIK, P. E.; SOUZA, J. L. M.; JERSZURKI, D.; SCHERAIBER, C. F.; DONHA, A. G. Fragilidade potencial e emergente na Bacia do Rio das Pedras, Guarapuava, PR – Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 47, p. 01–14, 2013.

ROCHA, A. S.; CUNHA, J. E.; MARTINS, V. M. Mapeamento das fragilidades potencial e emergente da Bacia Hidrográfica do Córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon – Paraná. **Revista Perspectiva Geográfica**, v. 8, n. 9, p.1-21, 2013.

RODET, M. J.; RODET, J.; DO NASCIMENTO, S. P.; MARIANO, D. F.; HUGUET, Y.; SILVA J. R. Metodologias de prospecções arqueológicas dentro de uma bacia (exemplo da bacia do Rio Peruaçu, Minas Gerais, Brasil). **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade de São Paulo**, v. 12, n. 1, p. 25-41, 2002. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2448-1750.revmae.2002.109436>.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, n. 1, p. 3-12, 1994. <http://dx.doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>.

ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers. 1996. 289p.

SARTORI, A. A. C.; ZIMBACK, C. R. L. Recomposição florestal visando à conservação de recursos hídricos na bacia do rio Pardo, SP. **Revista de Energia na Agricultura**, v.26, n.4, p.43-53, 2011.

SCHIAVO, B. N.V.; HENTZ, A. M. K.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria – RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 464-473, 2016. <http://dx.doi.org/10.5902/2236117019981>.

TEIXEIRA, M. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. A. Equipamento para extração de amostras indeformadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, p. 693-699, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832000000400001>.

TRAN, L. T.; O'NEILL, R. V.; SMITH, E. R. A watershed-based method for environmental vulnerability assessment with a case study of the Mid-Atlantic region. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 34, n. 1, p. 58–64, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2011.11.005>.

TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E. Determinação das áreas com fragilidade ambiental do município de São Carlos, São Paulo, Brasil. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 20, n.3, p. 159-167, 2016. <http://dx.doi.org/10.5902/2236499421915>.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE/ SUPREN, 1977. 91p.

TRINDADE, S. P.; RODRIGUES, R. A. Uso do solo na Microbacia do Ribeirão Samambaia e sua relação com a suscetibilidade à erosão laminar. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.10, n.1, p. 163-181, 2016. <http://dx.doi.org/10.18227/1678-7226rga.v10i1.3421>.

SPÖRL C.; ROSS J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. GEOUSP. **Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 15. p. 39-49, 2004.

UFV - CETEC - UFLA - FEAM. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p. Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>> Acesso em: 27 de out. de 2016.

VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. K. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 295-308, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.107714>.

Recebido: 14 dez. 2017

Aprovado: 07 mai. 2018

DOI: 10.3895/rbgeo.v6n2.7521

Como citar: MARTINS, R. N.; COLARES, A. P. F.; ALMEIDA, S. L. H.; ZANELLA, M. A.; NERY, C. V. M. Fragilidade potencial e emergente na bacia do rio Peruaçu, região norte de Minas Gerais. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 99-118, abr/jun. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Rodrigo Nogueira Martins

Rua Professor Alberto Pacheco, 195, CEP 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

