



## Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Candeias, RO

### Mapping the environmental fragility in the hydrographic basin of the river Candeias, RO

Tatiana Acácio da Silva<sup>a</sup>, Miqueias Lima Duarte<sup>a</sup>, Larissa Carvalho Gato<sup>b</sup>, Manuel Enrique Gamero Guandique<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidade Estadual Paulista-UNESP, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais-PPGCA. Av. Três de Março, n. 1435, Alto do Boa Vista, Sorocaba-SP, Brasil. CEP: 18087-180. E-mail: [tatianaacacio1909@gmail.com](mailto:tatianaacacio1909@gmail.com), [miqueiaseng@hotmail.com](mailto:miqueiaseng@hotmail.com), [enrique@sorocaba.unesp.br](mailto:enrique@sorocaba.unesp.br).

<sup>b</sup> Universidade Federal do Amazonas-UFAM, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente. Rua Vinte e Nove de Agosto, n. 786, Centro, Humaitá-AM, Brasil. CEP: 69800-000. E-mail: [larissambiental@gmail.com](mailto:larissambiental@gmail.com).

#### ARTICLE INFO

Recebido 23 Ago 2019

Aceito 09 Jan 2020

Publicado 04 Fev 2020

#### ABSTRACT

The knowledge of the environmental fragility of an area is an excellent tool in the planning of actions on the environment, identifying vulnerable points that deserve attention, and potential areas of occupation and may subsidize the adequately planning in an area. This study evaluated the environmental fragility of the catchment area of the river Candeias-RO, from the association between natural attributes (declivity, pedological and erosivity) and human activities (use and occupation of the soil), for this, we used data from remote sensing and GIS techniques for construction of fragility. The results indicate that more than 60% of the basin area has environmental fragility considered average, so much potential as emerging. The comparison between the potential and emerging weakness allowed to observe the importance of land use appropriately, since the adoption of appropriate agricultural practices have contributed to the reduction of potential weakness in the area.

**Keywords:** Environmental fragility, territorial planning, geotechnology.

#### RESUMO

O conhecimento da fragilidade ambiental de uma área constitui-se como um excelente instrumento no planejamento das ações sobre o meio ambiente, identificando os pontos vulneráveis que merecem atenção, e as áreas com potencial de ocupação, podendo subsidiar o ordenamento de forma adequada em uma área. O estudo avaliou a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Candeias - RO, a partir da associação entre atributos naturais (declividade, pedológica e erosividade) e ação antrópica (uso e ocupação do solo), para isso, foram utilizados dados de sensoriamento remoto e técnicas de SIG para construção das classes de fragilidade. Os resultados indicam que mais de 60% da área da bacia possui fragilidade ambiental considerada média, tanto potencial quanto emergente. A comparação entre a fragilidade potencial e emergente possibilitou observar a importância do uso do solo de forma adequada, uma vez que a adoção de práticas agrícolas adequadas contribuiu para a redução da fragilidade potencial na área.

**Palavras-Chave:** Fragilidade ambiental, planejamento territorial, geotecnologias.

#### Introdução

Uma das consequências diretas do desenvolvimento tecnológico, científico e econômico da sociedade é o avanço na exploração dos recursos naturais, que em muitos casos, ocorre de forma desordenada (Pinsky & Kruglianskas,

2018), essa exploração causa alterações de diversas ordens na natureza, tais como a perda do solo por erosão acelerada, desequilíbrio em ambientes aquáticos por adição de nutrientes agrícolas, dentre outros, rompendo com o equilíbrio natural do ambiente.

Frente a essas alterações antrópicas, os ambientes apresentam maior ou menor fragilidade ambiental em função de características locais, tais como a geologia, solos, relevo, vegetação e clima (Guerrero et al., 2018). O que torna de suma importância o planejamento físico territorial, não apenas como enfoque socioeconômico, mas também ambiental, sendo levadas em consideração as potencialidades e principalmente a fragilidade das áreas com intervenções antrópicas (Silva, Cunha & Bacani, 2018; Alves, Martins & Scopel, 2018).

Analisar a fragilidade ambiental configura-se como um instrumento importante no planejamento de ações sobre o meio ambiente, identificando os pontos de fragilidade e fornecendo assim respostas para a elaboração de planos de manejo, tanto em áreas naturais, quanto em unidades de conservação (Trevisan et al., 2018; Trevisan, Moschini & Trevisan, 2018). Para se construir um modelo de fragilidade ambiental, estudos deverão ser realizados para embasamento sobre o ambiente relacionado, levando em consideração as características fisiográficas locais (Santos, 2018; Costa & Vieira, 2018).

Ross (1994) propôs um método de análise empírica na determinação da fragilidade de ambientes naturais e antropizados. Esse método baseia-se em uma análise de fatores intrínsecos à paisagem, tais como os solos (leva em consideração a fragilidade a erosão) o relevo (leva em consideração a dissecação do relevo), além de considerar a cobertura da terra e as ações antrópicas. Esses fatores são hierarquizados em cinco classes de acordo com sua vulnerabilidade ambiental, variando de muito fraca a muito forte a fragilidade ambiental.

O mapeamento da fragilidade do ambiente proporciona maior autonomia na tomada de decisões, uma vez que indica as áreas com maior ou menor vulnerabilidade, evitando com isto diversos problemas relacionados à ocupação inadequada em locais específicos, tais como, a ocupação desordenada do solo em áreas propensas à erosão superficial, e ao alagamento (Storto & Cocato, 2018; Rodrigues, Monteiro & Souza, 2018; Pessi & Loverde-Oliveira, 2019).

A região na qual está inserida a bacia do rio Candeias, na parte central do estado de Rondônia, vem sofrendo grandes alterações antrópicas desde meados dos anos 70, tais como o desmatamento de floresta para conversão em pastagem e agricultura, bem como a exploração

madeira e minérios (Martins et al., 2011). Em seu domínio estão inseridos vários assentamentos rurais e o Parque Nacional de Pacaás Novos, localizado na cabeceira da bacia hidrográfica, na serra do Pacaás.

Levando em consideração a importância econômica e ambiental que a área possui, esse estudo propõe mapear a fragilidade ambiental da parte superior da bacia hidrográfica do rio Candeias, com uso da metodologia proposta por Ross (1994) e técnicas de Sistema de Informação Geográfica-SIG, na perspectiva de gerar informações que contribuam para o planejamento e gestão ambiental da área.

## Material e Métodos

### *Caracterização da área de estudo*

A bacia hidrográfica do rio Candeias fica localizado entre os municípios de Alto Paraíso, Porto Velho, Buritis, Campo Novo de Rondônia, Monte Negro, Governador Jorge Teixeira e Guajará Mirim, na região central do estado de Rondônia (Figura 1).

O rio Candeias é um afluente do rio Madeira, possui área de 6.867,6 km<sup>2</sup>. Este rio nasce na área do município de Campo Novo-RO, na parte central do território rondoniense e apresenta uma extensão maior que 300 km, e desagua no rio Jamari abaixo da Usina Hidrelétrica de Samuel (Martins, 2009). O rio Candeias possui poucos afluentes, dentre os quais destacam-se os Rios Preto e Santa Cruz, bem como seus afluentes. Além disto, corpos hídricos de menor capacidade hídrica, como os Igarapés Ambição e Barra da Garça compõem esta bacia hidrográfica.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo AW-Clima Tropical Chuvoso, com duas estações bem definidas (seca e chuvosa), com temperatura média de 25,7°C e pluviosidade média anual de 2.200 mm (Zebalos et al., 2018). O período chuvoso tem duração de oito a nove meses de precipitação, de outubro a abril, exibindo, nos meses de dezembro a março, índices pluviométricos acima de 300 mm e os meses de maio e setembro apresentam características intermediárias quanto à temperatura do ar, umidade relativa, nebulosidade e precipitação. Na estação seca, o período de estiagem tem duração de três a quatro meses (junho a agosto), com o menor índice pluviométrico e a maior amplitude térmica (SEDAM, 2012).

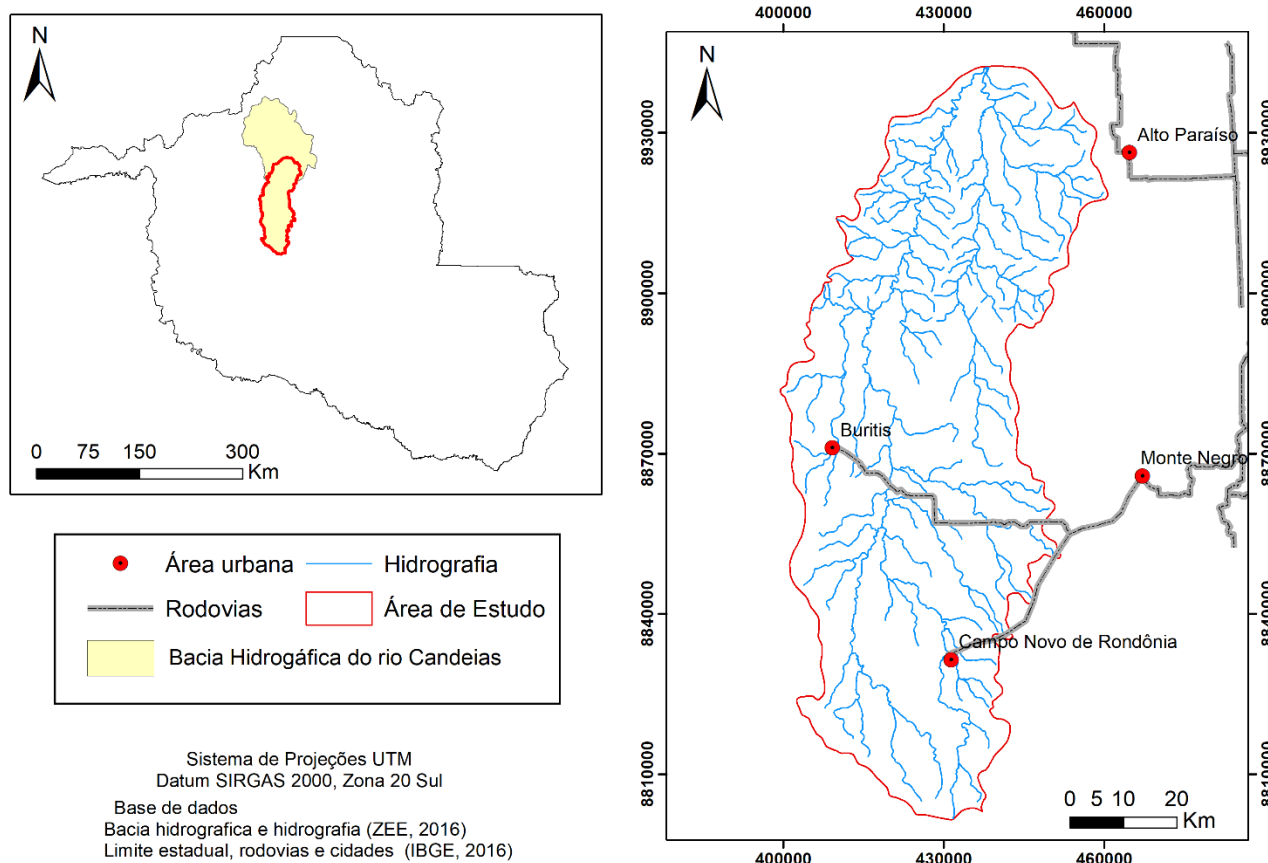


Figura 1. Mapa de localização da parte superior da bacia hidrográfica do rio Candeias. Fonte: Silva, T. A. (2019).

#### Base de dados

Neste estudo foram obtidos dados sobre os solos junto à base de dados do Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia - ZSEE-RO (ZSEE, 1998), no formato *shapefile*, com escala de 1:250.000. A declividade da área foi obtida a partir de dados do *Shuttle Radar Topography Mission-SRTM*, com resolução espacial de 1 arco de segundo (30 metros), obtido junto ao website do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2019), cenas 09S645N e 10S645ZN.

A análise do uso e ocupação do solo foi realizada a partir de dados do sensor orbital Sentinel-2 para o ano de 2016. As cenas 20LLQ, 20LMQ, 20LLP e 20LMP foram obtidas na USGS. Para caracterizar a erosividade promovida pela ação da chuva, obtiveram-se dados mensais do TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), sensor PR (Precipitation Radar), junto à plataforma Giovanni da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA, 2019), para o ano de 2016. Esses dados de precipitação são relativos ao produto 3B42-V7, disponibilizado no formato GeoTiff, com resolução espacial de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  (Duarte & Silva Filho, 2019).

#### Processamento dos dados

O processamento de dados foi realizado com uso do *software* ArcGIS 10.6; o sistema de projeções de coordenadas adotado foi o Universal Transversa de Mercator-UTM, Datum SIRGAS 2000, zona 20 Sul.

As cenas do SRTM foram corrigidas para obtenção de um Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente/MDEHC (Duarte et al., 2019), que por meio deste, obteve-se a declividade da área em porcentagem com uso da ferramenta *Slope*.

Em relação à pedologia, a partir do mapa de solos disponibilizado pelo Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia, no formato vetorial, foi realizado o recorte com base nos limites da bacia hidrográfica, possibilitando identificar a ocorrência de sete classes como sendo Latossolo Amarelo, Gleissolo, Litossolos, Cambissolos, Podzólicos, Latossolo Vermelho Escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo, e Planossolo Vermelho-Amarelo.

Quanto à erosividade da chuva, foi obtida a partir de dados do TRMM, considerando a boa similaridade entre os dados estimados pelo sensor e medidos em superfície por estação fluviométrica, conforme observado por Almeida

et al. (2015) e Duarte & Silva Filho (2019). Desse modo, a erosividade da chuva foi obtida conforme a Equação 1, descrita por Duarte & Silva Filho (2019).

$$R = 3,76 * \left( \frac{M_x^2}{A} \right) + 42,77 \quad \text{Eq. (1)}$$

onde M = precipitação média mensal (mm); A = precipitação média anual (mm). Os valores de erosividade foram interpolados pelo método *Inverse Distance Weighting/IDW*, conforme descrito por Marcuzzo et al. (2011).

Em relação ao uso do solo, foi realizada uma classificação supervisionada das imagens do Sentinel-2 pelo método de máxima

verossimilhança (MaxVer), seguindo Duarte & Silva (2019). No total, foram identificadas 10 classes de uso, sendo elas: área agrícola de ciclo curto, afloramento rochoso, área urbana, área em recomposição florestal, floresta nativa, água, pastagem degradada, pastagem em boas condições de cultivo, solo exposto e área de mineração.

#### *Mapeamento da fragilidade ambiental*

A partir da base de dados constituída por declividade, pedologia, erosividade e uso do solo em formato *Raster*, foi realizada uma reclassificação dos dados levando em consideração os critérios estabelecidos por Ross (1994). A Tabela 1 apresenta os pesos adotados em relação a cada atributo avaliado.

Tabela 1. Classes de fragilidade, associadas à declividade, pedologia, erosividade e uso do solo, conforme Ross (1994).

<b>Classes de Declividade</b>	<b>Classes de Fragilidade</b>	<b>Peso</b>
Declividade inferior a 6%	Muito Baixo	1
Declividade entre 6 a 12%	Baixo	2
Declividade entre 12 a 20%	Médio	3
Declividade entre 20 a 30%	Alto	4
Declividade superior a 30%	Muito Alto	5
<b>Classes de Solos</b>		
Latossolo roxo, Latossolo vermelho escuro e vermelho amarelo	Muito Baixo	1
Latossolo amarelo e vermelho amarelo textura médio/argilosa	Baixo	2
Latossolo vermelho-amarelo, Terra roxa, Terra Bruna, Litossolo	Médio	3
Planossolo vermelho-amarelo textura média/arenosa, Cambissolos	Alto	4
Podzólicos com cascalho, Litólicos e Areias quartzosas.	Muito Alto	5
<b>Classes de Erosividade (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>		
Erosividade inferior a 2.500	Muito Baixo	1
Erosividade entre 2.500 a 5.000	Baixo	2
Erosividade entre 5.000 a 7.500	Médio	3
Erosividade entre 7.500 a 10.000	Alto	4
Erosividade superior a 10.000	Muito Alto	5
<b>Classes de Uso do Solo</b>		
Floresta e matas naturais	Muito Baixo	1
Formação arbustivas naturais e pastagens em boas condições	Baixo	2
Culturas de ciclo longo e pastagens degradada	Médio	3
Cultivos de ciclo curto e silvicultura	Alto	4
Áreas desmatadas, solo exposto, urbanização e mineração	Muito Alto	5

A sobreposição dos planos de informações foi realizada conforme descrito por Valle, Francelino & Pinheiro (2011). Desse modo, a fragilidade potencial foi obtida a partir da associação entre os atributos naturais (declividade, pedologia e erosividade) e fragilidade emergente

foi obtida a partir da associação dos atributos naturais e o uso do solo. A Tabela 2 apresenta a forma de associação realizada para a obtenção dos mapas de fragilidade potencial e emergente na área de estudo.

Tabela 2. Associação entre os atributos para obtenção da fragilidade potencial e emergente do solo, adaptado de Valle, Francelino &amp; Pinheiro (2011). A = declividade; B = solos; C = erosividade; D = uso e ocupação do solo.

A	B	C	Fragilidade Potencial	D	Fragilidade Emergente	Classes de Fragilidade
1	1	1	03	1	04	Muito baixa
2	2	2	04 a 06	2	05 a 08	Baixa
3	3	3	07 a 09	3	09 a 12	Média
4	4	4	10 a 12	4	13 a 16	Alta
5	5	5	13 a 15	5	17 a 20	Muito alta

### Resultados

A partir do conhecimento sobre os atributos fisiográficos de uma área, torna-se possível entender de forma preliminar a fragilidade ambiental de um determinado local, a espacialização desses atributos possibilita ao planejador uma visão estratégica, permitindo uma melhor tomada de decisão com vista ao planejamento ambiental adequado.

A Tabela 3 apresenta a distribuição em área e percentuais das respectivas classes de declividade, pedologia, uso do solo e erosividade da chuva na área de estudo, e a Figura 2 apresenta a distribuição espacial da fragilidade ambiental associada à declividade (a), à pedologia (b), ao uso do solo (c) e à erosividade da chuva (d).

Tabela 3. Classificação da declividade, dos tipos de solo, do uso do solo e da erosividade da chuva na bacia do rio Candeias-RO, conforme descrito por Ross (1994).

Classes	Área	
	(km <sup>2</sup> )	(%)
<b>Declividade</b>		
Relevo Plano	1.274,74	24,41
Relevo suave Ondulado	2.264,41	43,36
Relevo Ondulado	1.326,92	25,41
Relevo Forte Ondulado	338,00	6,47
Relevo Montanhoso	13,37	0,26
Relevo Escarpado	5,09	0,1
<b>Tipos de Solo</b>		
Podzólicos Amarelos Distróficos	43,76	0,83
Solos Glei Distróficos	65,34	1,24
Latossolos Amarelos Distróficos	245,82	4,69
Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos	1.896,5	36,16
Latossolos Vermelho-Escuros Eutróficos	1.016,82	19,39
Solos Litólicos Eutróficos	127,253	2,43
Podzólicos Vermelho-Amarelos Distróficos	1.530,63	29,18
Solos Litólicos Distróficos	31,72	0,6
Cambissolos Eutróficos	286,87	5,47
<b>Uso do Solo</b>		
Área agrícola ciclo curto	101,49	1,94
Afloramento rochoso	5,61	0,11
Área urbana	22,44	0,43
Capoeira, área em recomposição florestal	714,59	13,62
Área ocupada por floresta	1.788,93	34,11
Área ocupada por água	4,78	0,09
Área de mineração	36,24	0,69
Pasto sujo, pastagem degradada	89,4	1,7
Pasto limpo, pastagem em boas condições de cultivo	2.421,99	46,18
Solo exposto, área recém desmatada	59,26	1,13
<b>Erosividade da Chuva (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>		
Erosividade entre 7.081 a 7.500	54,56	1,04
Erosividade entre 7.500 a 10.000	3.102,03	59,14
Erosividade entre 10.000 a 12.017	2.088,24	39,82

Observou-se que, na área de estudo, existe a predominância de terreno suavemente ondulado (43,36%), seguido por terreno ondulado (25,41%), e plano (24,41%); as demais classes constituídas por relevo fortemente ondulado, montanhoso e escarpado perfazem 6,83% da área. A espacialização da declividade indicou que existe a predominância de muito baixa fragilidade (56,38%), a qual, por sua vez, está relacionada à predominância de áreas ocupadas por baixas declividades. Por outro lado, a ocorrência de 6,86% da área ocupada por alta e muito alta fragilidade diz respeito às áreas ocupadas por terreno fortemente ondulado, montanhoso e escarpado.

Em relação às classes pedológicas, observou-se a predominância do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (36,16%), seguida pelo Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico (29,18%), Latossolo Vermelho-Escuro eutrófico (19,39%). Correspondentes às menores áreas, foram encontradas as classes de Cambissolos eutróficos (5,47%), Latossolos Amarelos distróficos (4,69%), Solos Litólicos eutróficos (2,43%), enquanto as demais, 2,67%, corresponderam aos Podzólicos Amarelos distróficos, Solo Glei distróficos e Litólicos distróficos.

A fragilidade associada à pedologia indicou a predominância da classe média, ocupando 65,34% da área; essa predominância está relacionada aos Latossolos Vermelho-Amarelo e Podzólicos Vermelho-Amarelo. Em seguida, foi encontrada uma fragilidade muito baixa (19,39%), com a presença de Latossolos Vermelho-Escuro eutróficos. A ocorrência de áreas com fragilidade baixa ocupa 4,69% está associada aos solos Litólicos distróficos. A fragilidade considerada alta ocupa apenas 5,47% do total, que por sua vez está associada aos Cambissolos eutróficos, enquanto a muito alta (5,11%) está associada aos Solos Glei distróficos, Litólicos Eutróficos e Podzólicos Amarelos distróficos.

Com relação ao uso do solo, observou-se que existe a predominância de áreas ocupadas por

pastagens em boas condições de cultivo (46,18%, o que indica o domínio da atividade pecuária na bacia hidrográfica), seguido por áreas de floresta preservada (34,11%), e área em estágio de recomposição florestal (13,62%). O restante é constituído por áreas agrícolas (1,94%), pastagem degradada (1,7%), enquanto o somatório de afloramento rochoso, área urbana, área ocupada por atividade mineradora e de solo exposto constituem os demais 2,45%.

As classes de fragilidade, quanto ao uso do solo, indicaram baixo potencial como predominante (59,8%); essas áreas estão associadas à pastagem em boas condições de cultivo e áreas ocupadas por capoeira e recomposição florestal. A classe de fragilidade muito baixa constitui 34,11% da área, e são representadas pela classe de floresta natural. Enquanto isso, a fragilidade média ocupa 1,7% da área e é representada por pastagem degradada. Os percentuais referentes à fragilidade alta (1,94%) e muito alta (2,36%) estão associados às áreas ocupadas por culturas de ciclo curto e áreas de solo exposto, afloramento rochoso, pastagem degradada, área urbana e de atividade de mineração.

Em relação à erosividade da chuva, os altos índices de precipitação local contribuíram para valores de erosividade variando entre 7.081 e 12.017 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. A distribuição espacial indicou predominância de alta fragilidade (59,14%), seguida de muito alta (39,82%) e, por fim, média erosividade, representando apenas 1,04%.

A associação entre aos atributos naturais (declividade, pedologia e erosividade da chuva) proporcionou estimar a fragilidade potencial que é apresentada na Figura 3a, enquanto a associação dos fatores naturais e o uso do solo proporcionou a fragilidade emergente, que é apresentada na Figura 3b. A Tabela 4 apresenta as classes de fragilidade potencial e emergente na área de estudo.

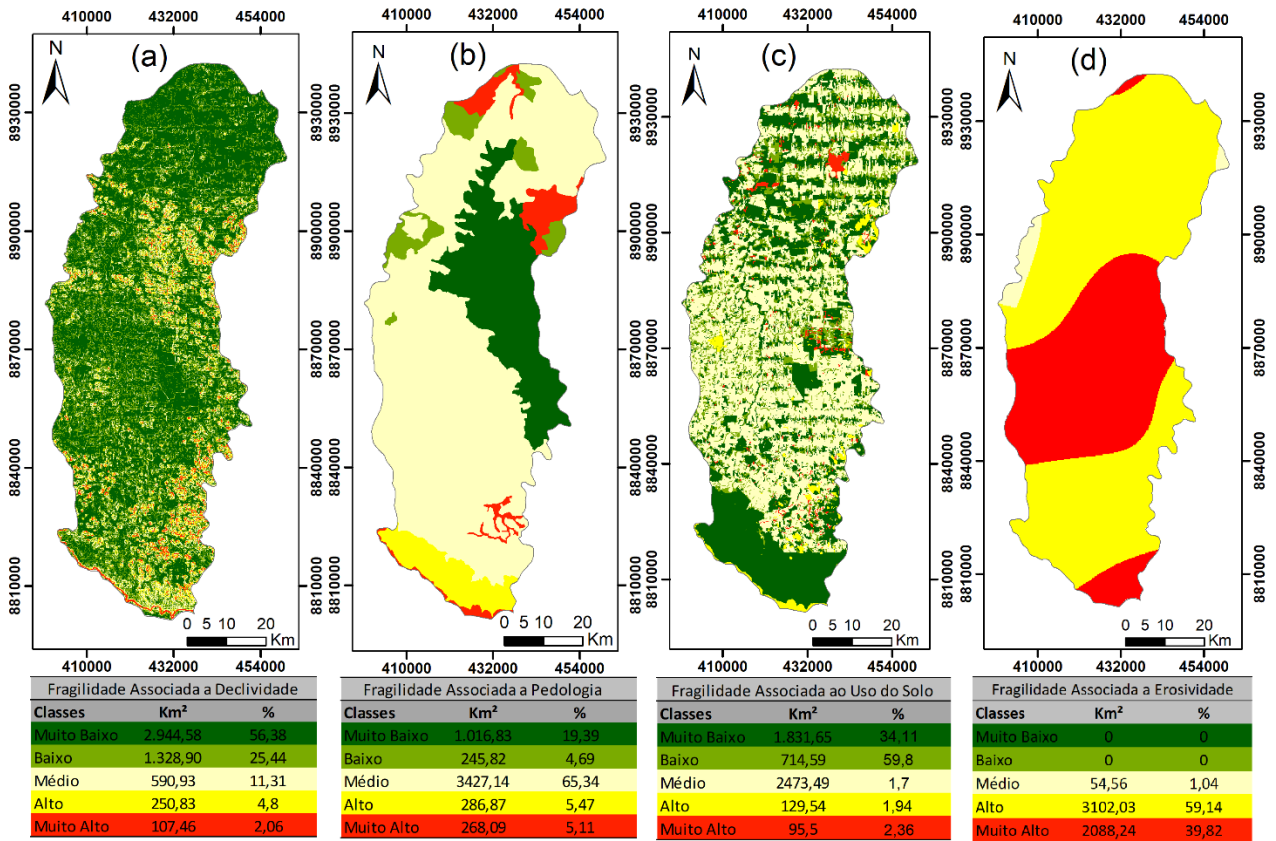


Figura 2. Distribuição espacial da fragilidade associada à declividade do solo (a), à pedologia (b), ao uso do solo (c) e à erosividade da chuva (d) em solos da bacia do rio Candeias-RO.

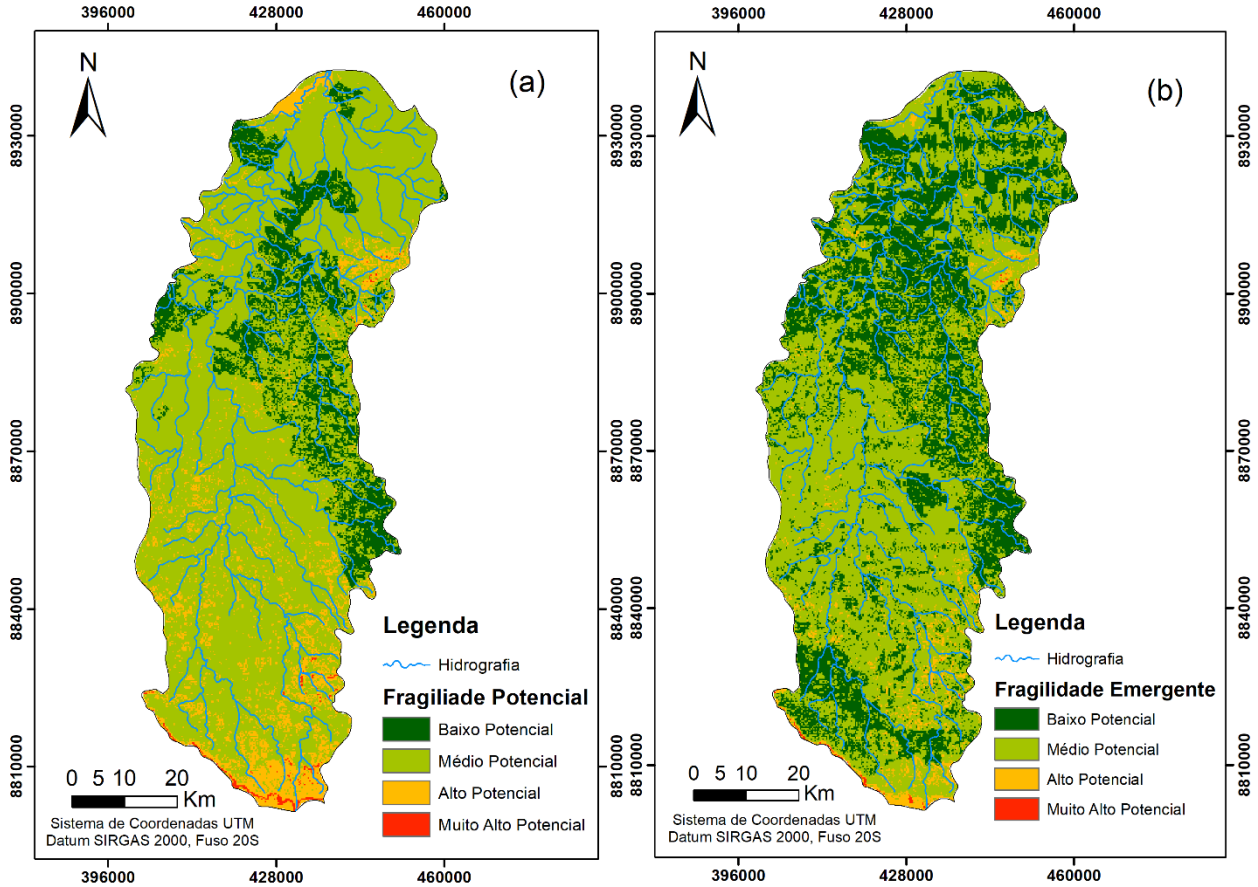


Figura 3. Classes de fragilidade potencial (a) e fragilidade emergente (b) na bacia do rio Candeias-RO.

Tabela 4. Classes de fragilidade potencial e emergente na bacia do rio Candeias-RO.

<b>Classes de Fragilidade</b>	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
<b>Potencial</b>		
Baixa	727,32	13,97
Média	3.952,27	75,91
Alta	504,85	9,69
Muito Alta	21,49	0,41
<b>Emergente</b>		
Baixa	1.847,15	35,49
Média	3.176,59	61,03
Alta	175,26	3,37
Muito Alta	5,90	0,11

### Discussão

Compreender a forma do terreno é de fundamental importância, pois fornece informações sobre a capacidade de uso ou aptidão agrícola das terras, além de indicar os riscos de processos erosivos, deslizamentos e inundações (Alves, Martins & Scopel, 2018). As áreas com maior fragilidade associada à declividade estão localizadas no extremo sul da bacia (região onde encontra-se o cinturão que compreende o Monte Tracoá), essa região encontra-se protegido por legislação federal (Brasil, 1979), entretanto, Silva e Bastos (2011) chamam atenção para a fragilidade das condições fisiográficas do local, pois, mesmo estando protegidas por lei, o local apresenta alta fragilidade ambiental.

Demais áreas que apresentam alta e muito alta fragilidade (associadas à declividade), encontram-se distribuídas nos agrupamentos de morros e colinas, principalmente ao longo do extremo leste da bacia. Esses locais, segundo Adamy (2010) estão sujeitos a processos erosivos intensos, caso a cobertura vegetal seja removida. Desse modo, merecem maiores cuidados quanto ao uso do solo, uma vez que mal utilizados oferecem riscos à perda por erosão superficial, pois, o aumento da declividade é um dos fatores preponderantes dos processos erosivos (Pessi & Loverde-Oliveira, 2019), principalmente no que se refere a erosão hídrica do solo, uma vez que à medida que a declividade aumenta, aumentam o volume e a velocidade da enxurrada e diminui a infiltração de água no solo (Guerra, 2005; Bertoni & Lombardi Neto, 2008).

A fragilidade associada à pedologia indicou que os maiores índices estão localizados nos extremos sul e norte da área de estudo, a qual, por sua vez, estão associados aos Cambissolos eutróficos, e Solos Glei distróficos, Litólicos eutróficos e Podzólicos Amarelos distróficos. Esses solos apresentam textura variando entre arenosa e ligeiramente pedregosa, que atribuem maior erodibilidade natural do solo (Demarchi & Zimback, 2014), o que contribui para que eles

obtenham os maiores índices de fragilidade. Por outro lado, os solos bem drenados e profundos, com texturas médias e argilosas normalmente são menos propícios a erosão (Bertoni & Lombardi Neto, 2008). Essas classes pedológicas agregaram baixa e muito baixa fragilidade ambiental, e estão distribuídas principalmente na região norte e leste.

A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra os processos erosivos, pois exerce a função de estabilização, principalmente em terrenos mais íngremes (Bertoni & Lombardi Neto, 2008). Na área de estudo, a predominância de áreas ocupadas por pastagens em boas condições de cultivo pode amenizar a perda de solo, conforme peso atribuído pelo método de Ross (1994). Entretanto, a superlotação de pastagens pode tornar essas áreas com alto potencial a erosão, conforme descrito por Bertoni & Lombardi Neto (2008).

A segunda classe de uso do solo com maior abrangência corresponde às áreas ocupadas por floresta natural, segundo Ross (1994); a presença de cobertura vegetal nesses grupos atribui baixa fragilidade por apresentar proteção natural contra a ação da chuva, uma vez que diminui o impacto da chuva no solo, reduzindo a velocidade de enxurrada, aumentando as taxas de infiltração e permanência de água no solo (Guerra, 2005; Bertoni & Lombardi Neto, 2008).

As áreas ocupadas por agricultura são compostas, em sua maioria, por pequenos produtores rurais que desenvolvem cultivo de subsistência, tais como plantações de feijão, milho e arroz (Martins, 2009). A forma de cultivo, com ausência de práticas agrícolas adequadas, pode aumentar a fragilidade ambiental nessas áreas (Valle, Francelino & Pinheiro, 2011), uma vez que são considerados como as principais causas antrópicas de degradação de solo (Bertoni & Lombardi Neto, 2014). Nesse caso, a fragilidade foi considerada alta. Por outro lado, as áreas ocupadas por atividade de mineração e solo exposto foram atribuídos potencial muito alto, uma vez que são caracterizadas como áreas de alto



risco a perda da estabilidade natural do solo (Trevisan, Moschini & Trevisan, 2018).

Quanto à erosividade da chuva, os altos índices de precipitação da região atribuíram classes de média, alta e muita alta fragilidade ambiental (Duarte & Silva Filho, 2019), e na área de estudo, com predominância da alta fragilidade. A média fragilidade foi observada em pequenas porções nos extremos leste e oeste da bacia, enquanto os maiores valores encontram-se distribuídos, predominantemente, na região central e extremos norte e sul, com índices de erosividade ultrapassando  $8.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Nessas áreas, é fundamental o manejo adequado do solo, pois a ação da chuva pode provocar processos erosivos intensos (Oliveira et al., 2011).

A associação dos atributos naturais possibilitou determinar a fragilidade potencial, conforme descrito por Ross (1994). A alta e muito alta fragilidade ocorre, predominantemente, no extremo sul da bacia, região onde naturalmente existem as maiores declividades (maior que 45%), e é ocupada por solos com texturas arenosas associados aos maiores índices de erosividade da chuva. Essas áreas são consideradas impróprias para o desenvolvimento de atividades agrícolas pois os riscos ambientais são extemos (Bertoni & Lombardi Neto, 2005), além do mais, são consideradas pela legislação ambiental como Áreas de Proteção Ambiental-APP (Brasil, 2012).

Ao considerar a fragilidade emergente, que se refere à associação dos atributos naturais e ao desenvolvimento de atividades antrópicas sobre a área (Ross, 1994), observou-se uma redução das áreas ocupadas por alta e muito alta fragilidade, convertendo-se em baixa e média fragilidade ambiental. Essas mudanças deram-se em função da predominância de áreas ocupadas por pastagens em boas condições, e em destaque, as áreas ocupadas por floresta, que lhe garante maior grau de proteção (Trombeta et al., 2014).

Valle, Francelino & Pinheiro (2011) citam que a cobertura florestal é capaz de oferecer proteção ao solo, minimizar a intensidade e as consequências dos processos erosivos e, conseqüentemente, reduzir a fragilidade em determinados locais. Já Bertoni & Lombardi Neto (2014) citam que a perda de solo em áreas ocupadas por cobertura florestal é dez vezes inferior que em áreas ocupadas por pastagem em condições degradadas ou área agrícola perene.

A importância das áreas ocupadas por vegetação florestal é observada quando comparando os mapas de fragilidade potencial e fragilidade emergente (em especial no extremo norte da área, com exceção para o afloramento

rochoso no cinturão que compreende o Monte Tracoá), a qual, anteriormente, possuía alta a muito alta fragilidade potencial e, com a presença da vegetação, tornou-se de média a baixa fragilidade emergente. Nesse caso, a distribuição espacial da fragilidade emergente destaca o papel da cobertura vegetal para a estabilidade no ambiente, conforme descrito por Valle, Francelino & Pinheiro (2016).

### Conclusão

A determinação da fragilidade natural possibilitou identificar as áreas que merecem maior cuidado quando o uso do solo, e a necessidade de adoção de práticas agrícolas adequadas.

A utilização de dados de sensoriamento remoto e técnicas de SIG associados à metodologia de análise, que incluiu componentes naturais e antrópicos (relevo, pedologia, precipitação e uso e ocupação do solo), possibilitou mapear a fragilidade ambiental da área de forma holística.

Em relação à fragilidade potencial, a área de estudo possui predominância de média fragilidade, essa ocorrência deu-se em função dos altos índices de precipitação observados na região, bem como a presença de solos com textura média. A ocorrência de alta fragilidade potencial está associada à declividade acentuada e a presença de solos com textura arenosa, bem como altos índices de erosividade da chuva.

A comparação dos mapas de fragilidade potencial e emergente possibilitou determinar a importância do uso do solo de forma adequada, uma vez que a ocorrência de áreas ocupadas por floresta natural e pastagens, em boas condições, reduziram os percentuais de áreas ocupadas por alta e muito alta fragilidade potencial, tornando-se de média e baixa fragilidade emergente.

Os resultados obtidos nesse estudo podem auxiliar no planejamento e gestão adequada da bacia hidrográfica, uma vez que indicam a fragilidade ambiental da área, permitindo compreender o potencial natural do solo quanto à erosão, frente aos diversos usos.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro e segundo autor.

### Referências

- Adamy, A. 2010. Geodiversidade do estado de Rondônia. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Porto Velho. pp. 337.
- Almeida, C. T.; Delgado, R. C.; Junior, J. F. O.; Gois, G.; Cavalcanti, A. S. 2015. Avaliação das Estimativas de Precipitação do Produto 3B43-TRMM do Estado do Amazonas. *Floresta e Ambiente*, 22, (3), 279-286.
- Alves, W. S.; Martins, A. P.; Scopel, I. 2018. Fragilidade ambiental: subsídio ao planejamento e à gestão da bacia do Ribeirão da Laje (GO), Brasil. *Geografia, Ensino & Pesquisa*, 22, (34), 01-17.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. 2014. Conservação do Solo. 9.ed. São Paulo: Ícone, pp. 45-61.
- Brasil. 1979. Decreto nº 84.019, de 21 de setembro de 1979. Disponível em: <https://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:federal:decreto:1979-09-21:84019>. Acesso em: 25 Set. 2019.
- Brasil. 2012. Código Florestal Brasileiro. Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Brasília, Diário Oficial da União.
- Costa, G. J. A.; Vieira, C. I. P. 2018. Geotecnologias para análise da vulnerabilidade ambiental do núcleo de desertificação do Piauí. *Caderno Prudentino de Geografia*, 2, (40), 59-76.
- Demarchi, J. C.; Zimback, C. R. L. 2014. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. *Energia na Agricultura*, 29, (2), 102-114.
- Duarte, M. L.; Silva Filho, E. P. 2019. Estimativa da erosividade da chuva na bacia hidrográfica do rio Juma com base em dados do satélite TRMM. *Caderno de Geografia*, 29, (52), 45-60.
- Duarte, M. L.; Silva, D. M. P.; Silva, T. A.; Guimarães, L. R. 2019. Evaluation of digital elevation models in the delimitation of hydrographic basins in the south of Amazonas region. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 9, (2), 99-107.
- Duarte, M. L.; Silva, T. A. 2019. Avaliação do desempenho de três algoritmos na classificação de uso do solo a partir de geotecnologias gratuitas. *Revista de Estudos Ambientais*, 21, (1), 6-16.
- Guerra, A. J. T. 2005. Processos erosivos nas encostas. In: Guerra, A. J. T.; Cunha S. B. *Geomorfologia: uma atualização de base e conceitos*. 6. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, pp. 149-209.
- Guerrero, J. V. R.; Lollo, J. A.; Moschini, L. E.; Lorandi, R. 2018. Carta de Fragilidade Ambiental como instrumento de planejamento e conservação de unidades aquíferas: o caso da bacia do rio Clarinho, SP. *Caderno de Geografia*, 28, (53), 385-403.
- Marcuzzo, F. F. N.; Andrade, L. R.; Melo, D. C. R. 2011. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, 4, (4), 793-804.
- Martins, A. S.; Souza, D. O.; Santos, J. P.; Bernardi, J. V. E.; Bastos, W. R. 2011. Alterações limnológicas decorrente do uso e ocupação do solo na sub-bacia do rio Candeias, Amazônia Ocidental. In: Moret, A.S.; Bastos, W.R. (Org.). 1ª Ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, pp. 35-49.
- Martins, D. O. S. 2009. Análise das condições ambientais da sub-bacia hidrográfica do rio Candeias, a partir de elementos-traço e parâmetros físico-químicos. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente), Universidade Federal de Rondônia-UNIR. Porto Velho-RO. 78p.
- NASA-National Aeronautics and Space Administration. 2019. Data base Giovanni. Disponível em: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>. Acesso em: 23 Mai. 2019.
- Oliveira, P. T. S.; Alves Sobrinho T.; Rodrigues, D. B. B.; Panachuki, E. 2011. Erosion risk mapping applied to environmental zoning. *Water Resources Management*, 25, (3), 1021-1036.
- Pessi, D.; Loverde-Oliveira, S. M. 2019. Aplicação da análise geoespacial para caracterização da fragilidade de terrenos. *Revista de Geografia (Recife)*, 36, (1), 243-260.
- Pinsky, V.; Kruglianskas, I. 2018. Inovação tecnológica para a sustentabilidade: aprendizados de sucessos e fracassos. *Estudos Avançados*, 31, (90), 107-126.
- Rodrigues, J. M.; Monteiro, G. N.; Souza, J. O. P. 2018. Análise de fragilidade ambiental na bacia da barragem Camará, Areia (PB). *Revista de Geografia*, 35, (4), 231-241.
- Ross, J. L. S. 1994. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*. 8, 63-74.
- Santos, F. A. 2018. Fragilidade ambiental no município de Castelo do Piauí, Nordeste do estado do Piauí. *Revista Formação*, 25, (45), 51-66.
- SEDAM – Secretaria do Estado do Desenvolvimento Ambiental – Rondônia. 2012. Acervo Técnico-Climatologia.

- Disponível em:  
<http://www.sedam.ro.gov.br/cogeo/>. Acesso em: 10 Abr. 2019.
- Silva, A. A.; Bastos, A. S. 2011. Abordagem sobre os aspectos do meio físico da terra indígena URU-EU-WAU-WAU. *Ateliê Geográfico*, 5, (1), 85-102.
- Silva, L. F.; Cunha, E. R.; Bacani, V. M. 2018. Zoneamento Ambiental de Bacia Hidrográfica Ocupada por Assentamento Rural: Estudo de Caso do Córrego Indaiá-MS. *Geografia, Ensino & Pesquisa*, 22, (11), 01-12.
- Storto, C.; Cocato, G. P. 2018. Análise de Fragilidade Ambiental a partir de Técnicas de Geoprocessamento: Área de Influência da Hidrelétrica de Mauá-PR. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11, (5), 1694-1708.
- Trevisan, D. P.; Mochini, L. E.; Dias, L. C. C.; Gonçalves, J. C. 2018. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de São Carlos-SP. *R. Ra'e Ga*, 44, 272-288.
- Trevisan, D. P.; Moschini, L. E.; Trevisan, B. P. 2018. Avaliação da vulnerabilidade dos solos à erosão no município de São Carlos-SP. *Revista de Geografia*, 35, (2), 354-370.
- Trombeta, L. R.; Garcia, R. M.; Nunes, R. S.; Gouveia, I. C. M. C.; Leal, A. C.; Gouveia, J. M. C. 2014. Análise da fragilidade potencial e emergente do relevo da unidade de gerenciamento de recursos hídricos Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia*, 36, 154-173.
- USGS-United States Geological Survey. 2019. Dados Landsat 8. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 23 Mai. 2019.
- Valle, I. C.; Francelino, M. R.; Pinheiro, H. S. K. 2016. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. *Floresta e Ambiente*, 23, (2), 295-308.
- Zebalos, C. H. S.; Leite, E. G.; Monteiro, V. G.; Lima, A. P. D.; Fogaça, L. G. L.; Soares, E. R.; Nogueira, A. E. 2018. Qualidade da estrutura do solo em áreas de pastagens no município de Buritis, Rondônia. *Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente*, 9, (1), 245-253.
- ZSEE - PLANAFLORO. 1998. Rondônia: Governo do Estado de Rondônia. Disponível em: <http://pesquisa.rondonia.ro.gov.br/index3.html>. Acesso em: 10 Fev. 2019.