

Geoambientes e fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego São Silvestre, Minas Gerais

Geoambientes são compartimentos geográficos cuja extensão territorial apresenta homogeneidade com relação a determinados fatores ambientais de interesse e, associados ao uso de indicadores, podem auxiliar na gestão eficaz de uma bacia hidrográfica. Assim, o objetivo do trabalho foi caracterizar e mapear as unidades geoambientais da bacia hidrográfica do córrego São Silvestre/MG e avaliar a fragilidade ambiental potencial da bacia. Para a identificação dos geoambientes foram elaborados mapas de geologia, pedologia e geomorfologia, cuja interseção permitiu a compartimentação de unidades geoambientais homogêneas. Para a definição do grau de fragilidade potencial foram avaliadas as condições pedológicas, de declividade e de erosividade da chuva na área da bacia, que permitiram avaliar a fragilidade natural da bacia à perda de solo por erosão. A compartimentação em geoambientes permitiu identificar cinco unidades geoambientais, que apresentam características geológicas e pedo-geomorfológicas similares. O grau de fragilidade potencial foi considerado baixo e médio na bacia, com predominância da classe média (mais de 70% dos geoambientes). Ressalta-se que o indicador fragilidade potencial baixa a média representa menores chances de perda de solo por erosão de forma natural, o que reduz os riscos de carreamento e deposição de sedimentos e as respectivas alterações na qualidade e quantidade de água na bacia. Para manter a fragilidade baixa e melhorar a fragilidade média recomenda-se o manejo adequado do solo, o emprego de práticas de conservação de solo e água e o uso e ocupação do solo de forma ambientalmente sustentável.

Palavras-chave: Unidades geoambientais; Erosão dos solos; Indicador ambiental.

Geoenvironment and environmental fragility of the São Silvestre stream watershed, Minas Gerais

Geoenvironments are geographic compartments whose territorial extent presents homogeneity regarding certain environmental factors of interest and associated with the use of indicators, can assist in the effective management of a watershed. Thus, the objective of the work was to characterize and map the geoenvironmental units of the São Silvestre/MG stream watershed and evaluate its potential environmental fragility. Geology, pedology and geomorphology maps, whose intersection allowed the compartmentalization of homogeneous geoenvironmental units, were elaborated for the identification of the geoenvironments. In order to define the degree of potential fragility, the pedological, slope, and rainfall erosivity conditions in the watershed area were evaluated, which allowed the assessment of its natural fragility to soil loss by erosion. The compartmentalization into geoenvironments allowed the identification of five geoenvironmental units, which present similar geological and pedo-geomorphological characteristics. The degree of potential fragility was considered low and medium in the watershed, with a predominance of the medium category (more than 70% of the geoenvironments). It is noteworthy that the low to medium potential fragility indicator represents lower chances of soil loss by natural erosion, which reduces the risks of sediment carriage and deposition and the respective alterations in the quality and quantity of water in the watershed. To maintain the low fragility and improve the medium fragility, adequate soil management, the use of soil and water conservation practices, and environmentally sustainable soil use and occupation are recommended.

Keywords: Geoenvironmental units; Soil erosion; Environmental indicator.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **01/08/2022**

Approved: **22/08/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Fernanda Maria Belotti 
Universidade Federal de Itajubá, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5777360077113950>
<https://orcid.org/0000-0003-3417-3738>
fernandabelotti@unifei.edu.br

Bruno Augusto de Rezende 
Universidade Federal de Itajubá, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2926613741984114>
<https://orcid.org/0000-0002-5345-6330>
rezende.amb@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.008.0014

Referencing this:

BELOTTI, F. M.; REZENDE, B. A.. Geoambientes e fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego São Silvestre, Minas Gerais. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.8, p.176-187, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.008.0014>

INTRODUÇÃO

Conhecer a realidade de uma bacia hidrográfica é a base para a realização de um planejamento adequado, que garanta a gestão apropriada dos recursos hídricos e o atendimento aos múltiplos usos, bem como às futuras gerações, indo ao encontro dos pressupostos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997).

A necessidade de planejamento adequado para a gestão das bacias hidrográficas tem se intensificado diante dos episódios recentes de estiagem ou seca que ocorreram nos últimos anos. De acordo com a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), em todo o Brasil, no ano de 2018, ocorreram 1917 reconhecimentos federais de emergência pela falta de água, causada por um longo período de estiagem ou seca. Especificamente no estado de Minas Gerais, 179 situações de escassez foram reconhecidas (BRASIL, 2019).

A base de todo planejamento efetivo é a realização de um bom diagnóstico e, para Rodrigues et al. (2015), o estudo geoambiental é muito útil para prover dados consistentes em curto prazo e com baixo custo financeiro, além de ser uma metodologia que pode ser aplicada de forma sistêmica, com adaptações a cada caso. Geoambientes são compartimentos geográficos cuja extensão territorial apresenta homogeneidade com relação a determinados fatores ambientais de interesse e, associados ao uso de indicadores, podem auxiliar na gestão eficaz de uma bacia hidrográfica.

Além disso, por meio da estratificação da bacia em unidades homogêneas, é possível utilizar indicadores para realizar a hierarquização de áreas prioritárias para intervenções, agindo de forma mais assertiva para a solução de problemas.

A fragilidade potencial é um indicador que, de acordo com Martins et al. (2018) e Vale et al. (2016), descreve a fragilidade natural a que uma determinada área está submetida, representando fatores intrínsecos à paisagem. O conceito integra um dos aspectos da metodologia proposta por Ross (1994) para a análise empírica da fragilidade de ambientes naturais e antropizados.

Mapear a fragilidade ambiental permite a detecção de áreas merecedoras de atenção dos gestores e que devem ser utilizadas de forma correta para não comprometerem os sistemas ambientais (BELATO et al., 2019). Pesquisas sobre esta temática contribuem para estudos sobre recursos naturais, ordenamento territorial e gestão de bacias hidrográficas, uma vez que permitem avaliar a capacidade de suporte dos ambientes e o potencial natural para erodibilidade, uso agrícola e florestal (OLIVEIRA et al., 2019; VALE et al., 2016).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi caracterizar e mapear as unidades geoambientais da Bacia Hidrográfica do Córrego São Silvestre (BHCSS) e avaliar o grau de fragilidade ambiental potencial da bacia, que permite identificar o grau de risco de perda de solo por erosão na área de estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A BHCSS (Figura 1) é afluente da margem esquerda do Rio Caratinga, que por sua vez é afluente da margem direita do Rio Doce. Está inserida nos municípios de Caratinga e Inhapim, Minas Gerais, e possui área de 91,02 km². A BHCSS é caracterizada por um processo gradativo de substituição dos ambientes naturais pela pecuária, agricultura, reflorestamento por eucalipto, ocupação urbana e outras formas de intervenção antrópica. O curso d'água principal, Córrego São Silvestre, é o manancial onde é realizada a captação de água para abastecimento público da cidade de Inhapim, atendendo cerca de 14 mil pessoas (ECOPLAN, 2010; FUNEC, 2015A; FUNEC, 2015B).

Considerando a diversidade de uso dos recursos hídricos na BHCSS (agricultura, pecuária, abastecimento público, predominantemente) e que, de acordo com FUNEC (2015B), o município de Inhapim passou por episódio recente de redução drástica na vazão do Córrego São Silvestre, pode-se sugerir a existência de potenciais conflitos de uso da água na bacia.

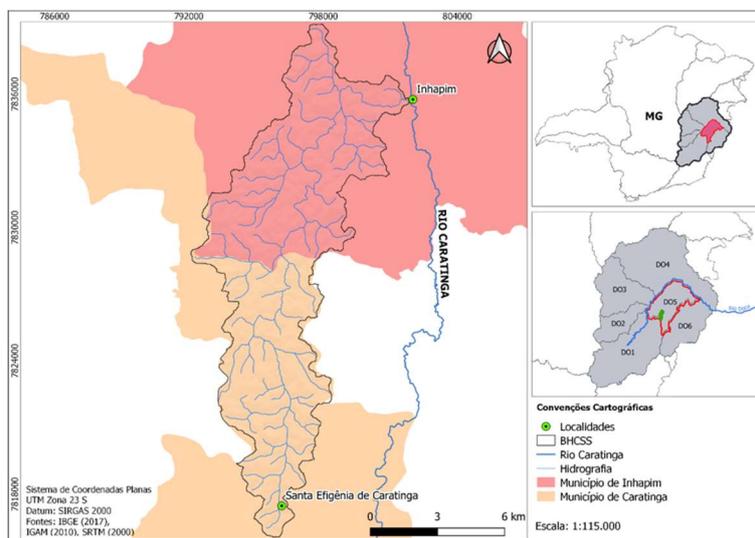


Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego São Silvestre.

Elaboração de mapas temáticos

Os mapas foram elaborados com o uso do software QGIS versão 3.4.13 (OSGEO, 2019). Utilizou-se dados disponíveis em órgãos oficiais, mesmo com escala reduzida, uma vez que o estudo objetivou a proposição de uma metodologia replicável a outras bacias hidrográficas.

Os mapas de geologia e geomorfologia foram recortados da base de dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2003), Folha Belo Horizonte – SE.23, em escala 1:1000.000, utilizando a delimitação da BHCSS como máscara para interseção.

O mapa pedológico foi recortado do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais disponibilizado pelo Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Folha 04, em escala 1:500.000 (UFV, 2010A), utilizando a delimitação da bacia do córrego São Silvestre como máscara para interseção.

O mapa hipsométrico foi desenvolvido utilizando o Modelo Digital de Elevação (MDE), dados SRTM provenientes do serviço EarthExplorer, disponibilizado pelo U.S. Geological Survey (USGS, 2000), cena s20_w043_1arc_v3.

Estratificação das unidades geoambientais

A estratificação do meio físico em unidades geoambientais foi realizada considerando os fatores pedo-geomorfológicos e baseada na metodologia utilizada por Estêvez et al. (2011); Amorim et al. (2017) e Silva et al. (2018), que utilizaram a abordagem geoambiental no estudo de bacias hidrográficas.

Para a identificação dos geoambientes, foram agrupadas sob uma mesma denominação áreas com características similares em relação aos atributos Geologia, Geomorfologia e Pedologia. Primeiramente, realizou-se a interseção entre as classes de geologia e geomorfologia da BHCSS. Com o resultado desse procedimento, executou-se novamente o comando interseção com a camada pedologia, gerando um arquivo com os polígonos representando cada geoambiente.

Avaliação do grau de fragilidade potencial

A definição da fragilidade potencial foi realizada com base na abordagem de Ross (1994) e Spörl et al. (2004), correlacionando os geoambientes com as condições pedológicas, de declividade e erosividade da chuva.

O mapa de declividade foi gerado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), dados SRTM provenientes do serviço EarthExplorer, disponibilizado pelo U.S. Geological Survey (USGS, 2000), cena s20_w043_1arc_v3. Foram definidas as classes de declividade de acordo com a metodologia a ser utilizada para a definição da fragilidade potencial: até 6%, entre 6 e 12%, 12 a 20%, 20 a 30% e acima de 30%. As cores foram definidas conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013).

O mapa de erosividade da chuva foi elaborado de acordo com a proposta metodológica adaptada de Gonçalves et al. (2011) e Martins et al. (2018) por meio de interpolação, utilizando séries históricas de 30 anos de dados provenientes de estações pluviométricas localizadas na região da bacia hidrográfica.

Devido à ausência de estações pluviométricas no interior da BHCSS, foram utilizadas informações de 08 pontos localizados no entorno da área de estudo, apresentados na Figura 2. Os dados foram obtidos junto ao HIDROWEB, da Agência Nacional de Águas (ANA, 2020) em estações localizadas o mais próximo possível da BHCSS. Dentre as 08 estações selecionadas, 06 (1841020, 1941018, 1942006, 1942031, 2041048 e 2042017) apresentaram lacunas na série histórica. Diante disso, realizou-se o preenchimento das falhas por meio de regressão linear simples (ANA, 2012), utilizando dados das 02 estações cuja série histórica estava completa, estações 1941011 ou 1942030, considerando a regressão que apresentou R^2 mais próximo de 01, conforme apresentado na Figura 3.

Após o preenchimento de falhas, verificou-se que os dados eram consistentes por meio do método de análise dupla massa (ANA, 2012), mediante a construção da curva duplo acumulativa relacionando os

totais mensais de cada estação com as médias acumuladas dos totais mensais dos postos 1941011 e 1942030, conforme Figura 4.

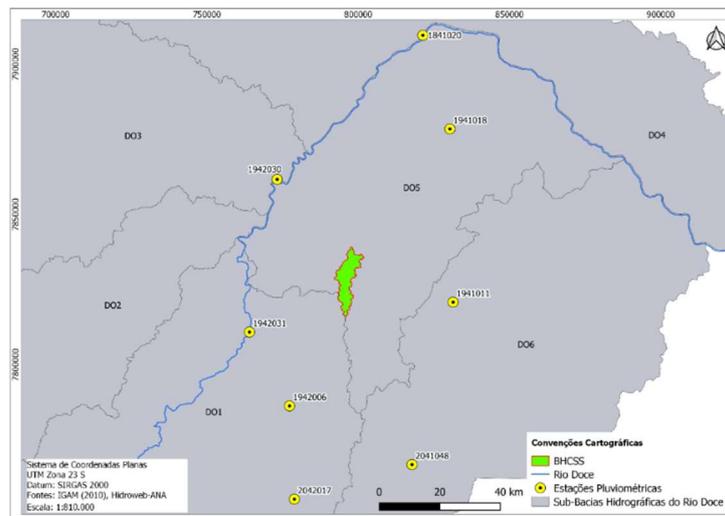


Figura 2: Localização das estações pluviométricas cujos dados foram utilizados para o cálculo da erosividade da chuva.

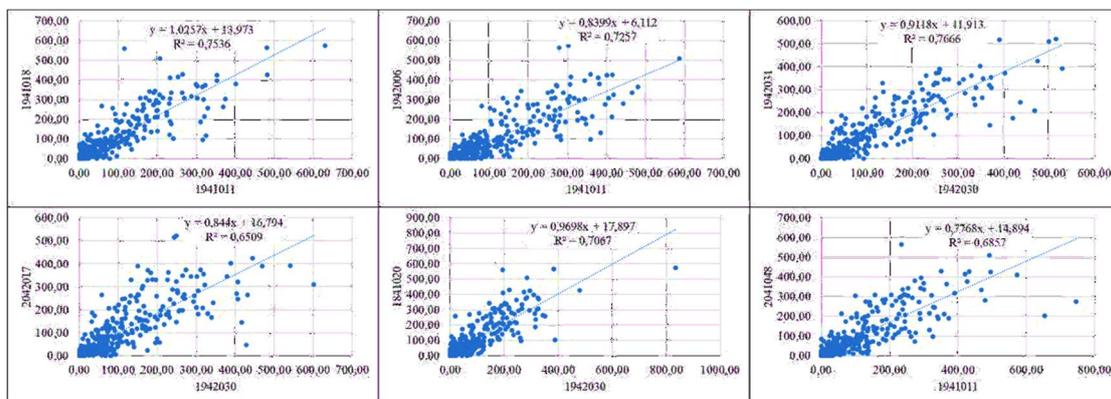


Figura 3: Resultados da interpolação dos dados pluviométricos para o preenchimento de falhas nas estações pluviométricas utilizadas

Em seguida, calculou-se o fator de erosividade da chuva com base no modelo proposto por Lombardi Neto et al. (1992), Equação 1:

$$EI = 67,355 \left(\frac{r^2}{p}\right)^{0,85} \tag{Equação 1}$$

Em que *EI* 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). Para definir o índice de erosão médio anual (*R*), realizou-se o somatório dos valores mensais do índice de erosão, conforme a Equação 2:

$$R = \sum_{j=1}^{i=12} EI \tag{Equação 2}$$

Em que *R* é o índice de erosão médio anual, de “i” até “j” são representados os doze meses do ano, e *EI* é a média mensal do índice de erosividade das chuvas.

Os dados foram interpolados utilizando a Krigagem, que é considerada uma boa metodologia de interpolação de dados, utilizando funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes criando, assim, novos pontos interpolados com base nas combinações lineares de dados (JAKOB, 2002).

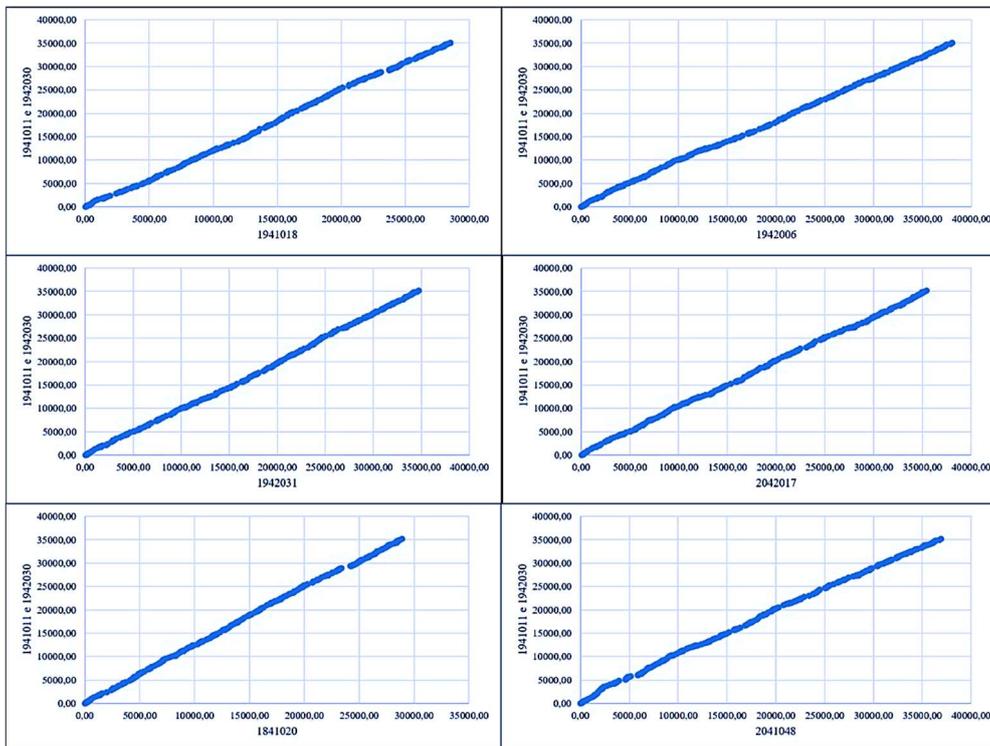


Figura 4: Resultados da análise de consistência dos dados pluviométricos.

A classificação final dos níveis de fragilidade potencial foi definida com base em Vale et al. (2016), por meio da classificação das variáveis utilizadas cada componente (pedologia, declividade e clima) e posterior realização da álgebra de mapas. Para que o processo fosse possível, realizou-se a conversão do mapa de pedologia para o formato *raster*. Na sequência, atribui-se os pesos a cada componente da análise (declividade, erosividade da chuva e tipo de solo), conforme os valores apresentados no Quadro 1.

Quadro 1: Classificação das variáveis utilizadas para a definição da fragilidade ambiental potencial.

Variável	Categorias hierárquicas
Declividade	(1) Muito fraca – até 6%; (2) Fraca – de 6 a 12% (3) Média – de 12 a 20% (4) Forte – de 20 a 30% (5) Muito Forte – acima de 30%
Erosividade da Chuva (R)	(1) Muito baixa – $R < 2.452 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (2) Baixa – $2.452 < R < 4.905 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (3) Média – $4.905 < R < 7.357 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (4) Alta – $7.357 < R < 9.810 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (5) Muito Alta – $R > 9.810 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$
Tipos de Solo*	(1) Muito baixa – Latossolo Vermelho, e Vermelho-Amarelo textura argilosa. (2) Baixa – Latossolo Amarelo e Vermelho-Amarelo textura média/argilosa. (3) Média – Latossolo Vermelho-Amarelo, Nitossolo, Argissolo Vermelho-Amarelo textura média/argilosa, Nitossolo. (4) Forte – Argissolo Vermelho-Amarelo textura média/arenosa, Cambissolos. (5) Muito forte – Podzolizados com cascalho, Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos.

*Nomenclatura atualizada conforme SIBCS (EMBRAPA, 2018). Fonte: Ross (1994); Gonçalves et al. (2011); Martins et al. (2018).

Com o uso da calculadora raster, foi realizada a adição das componentes e definidos os graus de fragilidade potencial, de acordo com o Quadro 2. Para avaliar a fragilidade potencial, deve ser realizada a relação entre as variáveis solo, pluviosidade e classes de declividade ou índice de dissecação do relevo. No processo, cada variável recebe uma classificação em graus de fragilidade, sendo 1 a categoria hierárquica muito baixa e 5, muito forte. A combinação dos Algarismos representa os graus de fragilidade, sendo 111, muito baixa, e 555, muito forte (SPÖRL et al., 2004).

Quadro 2: Resultado da Fragilidade Potencial com base na soma das classes de fragilidade

Pontuações para Declividade, Pedologia e Erosividade da Chuva				=	Fragilidade Potencial		
1	+	1	+	1	=	03	Muito Baixa
2		2		2		04 a 06	Baixa
3		3		3		07 a 09	Média
h4		4		4		10 a 12	Alta
5		5		5		13 a 15	Muito Alta

Fonte: Vale et al. (2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estratificação de geoambientes

A geologia da BHCSS é composta por granitos, metatonalitos e tonalitos, com predomínio deste último, conforme Figura 5. Os granitos são rochas ígneas compostas de três minerais essenciais, quartzo, feldspato alcalino e micas (GUERRA, 1993). Os tonalitos são rochas ígneas plutônicas com componentes essenciais quartzo, plagioclásio (K feldspato subordinado); biotita e/ou hornblenda geralmente importantes (WINGE, 2001).

Com relação à geomorfologia, a bacia do córrego São Silvestre é composta predominantemente pelo Domínio de Morros e Serras Baixas, e por uma pequena porção do Domínio Montanhoso, conforme Figura 6. O Domínio de Morros e Serras Baixas corresponde a morros convexo-côncavos dissecados, com amplitude de relevo que varia de 80 a 200 m e inclinação das vertentes entre 15e35° (CPRM, 2010). O Domínio Montanhoso corresponde a alinhamentos serranos e maciços montanhosos, com amplitude de relevo acima de 300 m e inclinação das vertentes entre 25-45°, com possível ocorrência de paredões rochosos subverticais (60-90°) (CPRM, 2010).

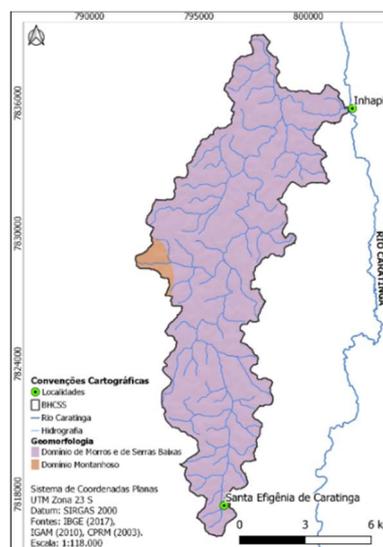
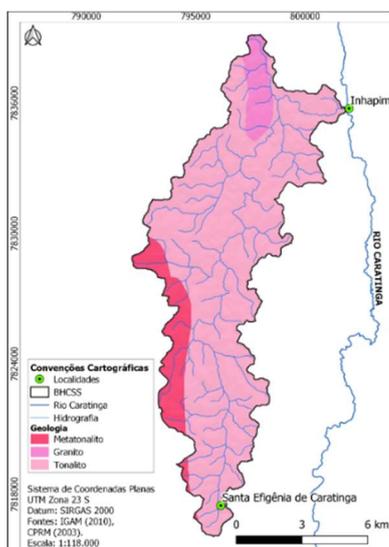


Figura 5 e 6: Geologia da BHCSS e Geomorfologia da BHCSS

Quanto à pedologia, conforme Figura 7, a bacia apresenta duas unidades de mapeamento: i) LVAd40 – associação entre os solos Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (50%), Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico (25%) e Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (25%), todos apresentando textura argilosa; ii) LVAd49 – associação entre os solos Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico (40%),

Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (20%), Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico (30%), todos com textura argilosa, e Gleissolo Melânico Tb Distrófico (10%), com textura franco-argilosa (UFV, 2010B).

Os Latossolos são solos profundos com avançado estágio de intemperização e, portanto, muito evoluídos; os Cambissolos compreendem solos com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial; os Argissolos são solos com horizonte B textural; enquanto os Gleissolos são solos hidromórficos, permanente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados (EMBRAPA, 2018).

A BHCSS apresenta altitudes variando entre 478 e 823 metros, conforme Figura 8. A metade mais a montante da bacia apresenta cotas predominantemente acima de 688 metros, enquanto na parte mais a jusante, prevalecem as cotas abaixo de 687 metros. Com base nos atributos de geologia, geomorfologia e pedologia da área da bacia, foi possível estratificar 05 geoambientes, conforme Figura 9.

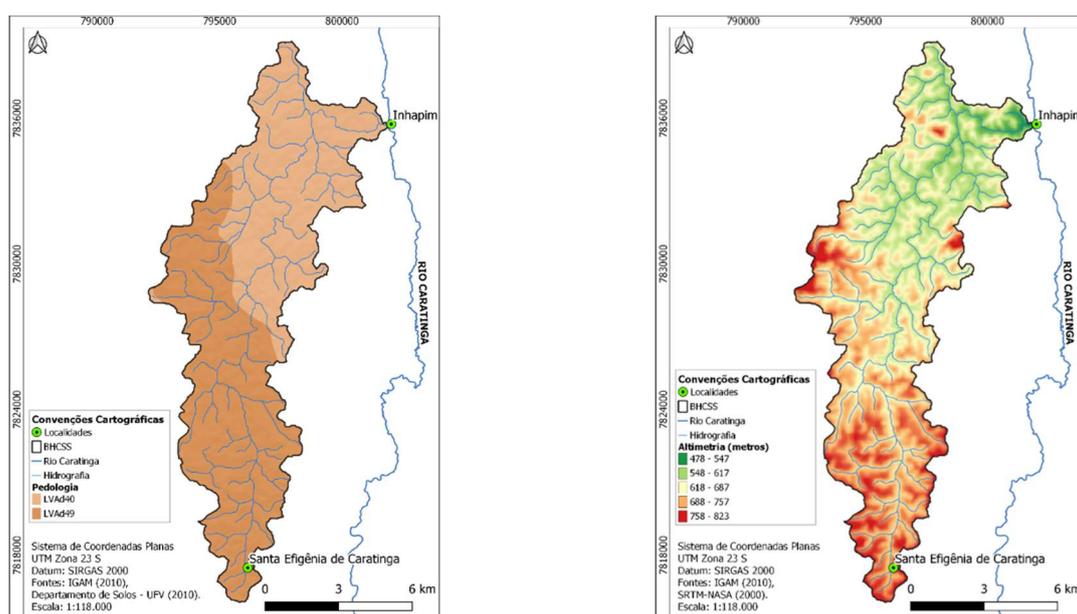


Figura 7 e 8: Pedologia da BHCSS e Altimetria da BHCSS.

Os geoambientes da bacia são descritos a seguir: Latossolo 40/Granito/Morros e Serras Baixas (L40GMSb), áreas com predominância de Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos típicos, geologia composta por Granitos e geomorfologia representada pelo Domínio dos Morros e Serras Baixas. O uso do solo é caracterizado predominantemente por pastagem (69,72%). Prevalecem declividades maiores que 20% (64,36% da área) e cotas entre 548 e 617 metros (66,60% da unidade).

Latossolo 40/Tonalito/Morros e serras baixas (L40TMSb), apresenta predominância de Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos típicos, a geologia é caracterizada por Tonalitos e a geomorfologia, pelo Domínio dos Morros e Serras Baixas. O uso do solo é caracterizado por grandes áreas ocupadas pela pecuária e agricultura (65,32% e 17,83% da área, respectivamente). Apresenta-se em cotas predominantemente entre 548 e 617 metros (67,40% da área) e declividade variável, sendo maior (acima de 30%) próxima à foz do Córrego São Silvestre e aos divisores topográficos do lado leste da BHCSS.

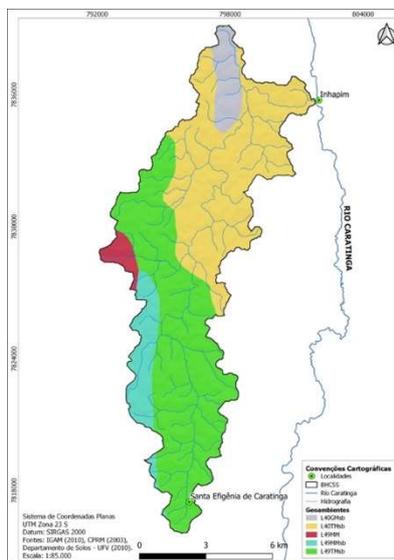


Figura 9: Geoambientes da BHCSS.

Latossolo 49/Metatonalito/Morros e serras baixas (L49MM), apresenta predominância de Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos húmicos, geologia representada por Metatonalitos e geomorfologia caracterizada pelo Domínio Montanhoso. Menor geoambiente da BHCSS, apresenta uso do solo com predominância da pecuária (45,68%), seguida pela agricultura (28,86%) e a vegetação nativa (18,92%). Com declividade elevada, prevalecendo valores acima de 30% (30,30% da área), a unidade está acima de 548 metros de altitude, com predominância de cotas entre 618 e 687 (55,05% do geoambiente).

Latossolo 49/Metatonalito/Morros e serras baixas (L49MMsb), apresenta predominância de Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos húmicos, geologia representada por metatonalitos e geomorfologia caracterizada pelo Domínio dos Morros e Serras Baixas. A agricultura é o uso predominante (42,48%), seguido da pastagem (40,01%). Com predominância de declividades entre 12 e 20% e 20 a 30% (29,55 e 28,98% do geoambiente, respectivamente), a unidade está acima de 548 metros, com altitude prevalecendo entre 618 e 687 metros (55,05% da área).

Latossolo 49/Tonalito/Morros e serras baixas (L49TMs), apresenta pedologia composta predominantemente por Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos húmicos, geologia representada por Tonalitos e geomorfologia caracterizada pelo Domínio de Morros e Serras Baixas. O uso e ocupação do solo é caracterizado predominantemente por pastagem (42,21%) e agricultura (34,99%). A declividade prevalece entre 12 e 30% (51,21% da área), enquanto a altimetria entre 618 e 757 metros (85,57% da unidade).

Avaliação da fragilidade potencial

A declividade varia desde muito fraca a muito forte em toda a área de estudo, conforme Figura 10; sendo que na porção mais a jusante há maior ocorrência das classes de declividade entre 20 e 30% (forte) e acima de 30% (muito forte).

A erosividade da chuva na BHCSS é representada pela Figura 11. A interpolação dos dados das estações pluviométricas localizadas no entorno da bacia permitiu a identificação de índices de erosão (R) entre 6.826 e 7.083 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, valores que representam fragilidade média.

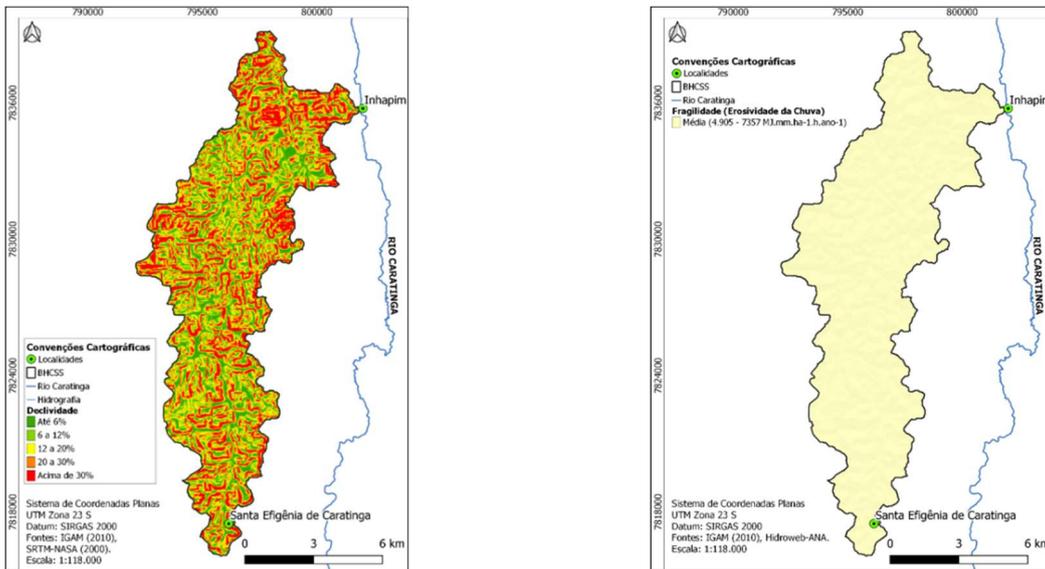


Figura 10 e 11: Classificação da declividade da BHCSS e Classificação da erosividade da chuva da BHCSS.

Considerando os solos predominantes nas unidades de mapeamento identificadas para a BHCSS (Latosolos Vermelho-Amarelo Distrófico típico e Vermelho-Amarelo Distrófico húmico), toda a área da bacia foi classificada com fragilidade baixa, conforme Figura 12.

A BHCSS apresentou as classes de fragilidade potencial baixa e média, representadas na Figura 13. Considerando que, em toda a bacia, o atributo pedologia recebeu classificação baixa (valor 1) e a erosividade al.

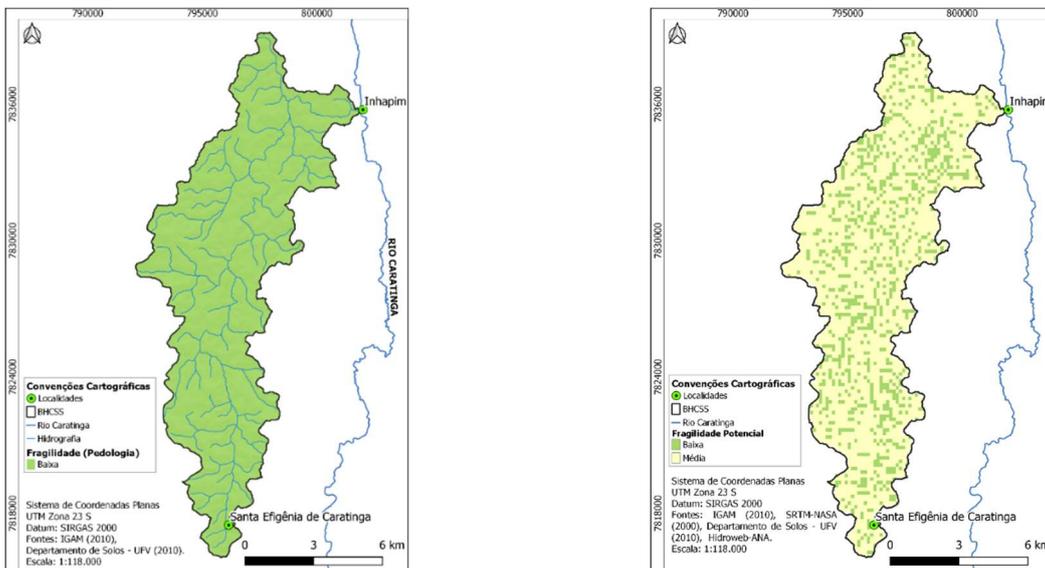


Figura 12 e 13: Classificação da pedologia da BHCSS e Fragilidade Potencial na BHCSS.

O Quadro 3 indica que, em todos os geoambientes, mais de 70% da área apresenta fragilidade média, sendo o Latossolo49/Metatonalito/Montanhoso (L49MM) o mais frágil, com 91,21%, fato que pode ser explicado pela geomorfologia, representada pelo Domínio Montanhoso. Embora os Latossolos sejam solos de baixa fragilidade, devido à sua agregação, alta capacidade de infiltração de água e alta resistência à erosão, a declividade contribui para aumentar a sua fragilidade ambiental, reforçando o escoamento superficial e reduzindo a resistência dos solos à erosão.

Entretanto, o fato de a fragilidade potencial ter sido considerada baixa e média em toda a bacia indica uma potencialidade para a BHCSS, uma vez que são menores as chances de perda de solo por erosão de forma natural e, portanto, menores os riscos de carreamento e deposição de sedimentos nos cursos d'água e consequentes alterações na qualidade e quantidade de água na bacia. Para manter a fragilidade baixa e melhorar a fragilidade média da bacia recomenda-se o manejo adequado do solo, o emprego de práticas de conservação de solo e água e o uso e ocupação do solo de forma ambientalmente sustentável.

Quadro 03: Descrição da fragilidade potencial nos geoambientes da BHCSS.

Geoambiente	L40GMsb	L40TMsb	L49MM	L49MMsb	L49TMsb
Fragilidade Potencial Baixa	0,86 km ² (17,45%)	8,69 km ² (24,04%)	0,17 km ² (8,79%)	1,53 km ² (21,78%)	9,42 km ² (23,01%)
Fragilidade Potencial Média	4,05 km ² (82,55%)	27,45 km ² (75,56%)	1,81 km ² (91,21%)	5,51 km ² (78,22%)	31,53 km ² (76,99%)

CONCLUSÕES

A estratificação da bacia hidrográfica do córrego São Silvestre (BHCSS) em geoambientes permitiu a identificação de cinco unidades, com base nos critérios geomorfologia, geologia e pedologia, evidenciando cinco compartimentos homogêneos em relação às características ambientais avaliadas.

O indicador grau de fragilidade potencial demonstrou que todos os geoambientes da bacia hidrográfica do córrego São Silvestre possuem características similares de fragilidade potencial, com baixa a média fragilidade à perda de solos.

A fragilidade potencial observada nos cinco geoambientes indica uma potencialidade da bacia, uma vez que tal fator representa menores chances de erosão do solo de forma natural e menor carreamento de partículas para os cursos d'água, o que reduz os consequentes impactos da deposição de sedimentos sobre a quantidade e qualidade da água na bacia.

O uso da fragilidade potencial à perda de solos permitirá aos gestores verificar a necessidade do emprego de medidas de conservação do solo para evitar a erosão e, consequentemente, reduzir os impactos dos processos erosivos sobre os cursos d'água.

Além disso, a estratificação de bacias hidrográficas em geoambientes, aliada ao uso dos indicadores, é capaz de dar suporte à hierarquização de áreas prioritárias para intervenções, seja comparando a realidade entre os geoambientes ou entre bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

AMORIM, R. R.; REIS, C. H.; FERREIRA, C.. Geosystems and anthropogenic systems' mapping as a subsidy to the study of areas prone to flooding and overflow in the lower course of the Muriaé river basin (Rio de Janeiro, Brazil). *Territorium*, Coimbra, v.24, n.24, p.89-114, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.14195/1647-7723_24_7

ANA. **Diretrizes e Análises Recomendadas para a Consistência de Dados Pluviométricos**. Brasília: ANA, 2012.

ANA. **Hidroweb**: Rede meteorológica nacional. Brasília: ANA, 2020.

BELATO, L. S.; SERRÃO, S. L. C.; DIAS, R. P.. Diagnostico da fragilidade ambiental na Bacia do Submédio Tocantins: UHE Tucuruí. *Natural Resources*, v.9, n.1, p.28-37, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2237-9290.2019.001.0004>

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: DOU, 1997.

BRASIL. **Relatórios:** Relatório Gerencial - Reconhecimentos Realizados. Brasília: SEDEC, 2019.

CPRM. **Downloads.** Brasília: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, 2003.

CPRM. **Geodiversidade do Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, 2010.

ECOPLAN. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos Caratinga:** PARH Caratinga. Governador Valadares: CBH-Doce, 2010.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018.

ESTÊVEZ, L. F.; CUNICO, C.; MEZZOMO, M. M.; BIESEK, A. S.; MAGANHOTTO, R.. Análise da Paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi, Morretes-PR: Unidades de Paisagem, Fragilidade Potencial e Hemerobia. **Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v.23, n.23, p.428-447, 2011.

FUNEC. **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Caratinga-MG:** Diagnóstico técnico participativo dos serviços de saneamento básico. Caratinga: CBH-Caratinga, 2015A.

FUNEC. **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Inhapim-MG:** Diagnóstico técnico participativo dos serviços de saneamento básico. Inhapim: CBH-Caratinga, 2015B.

GONÇALVES, G. G. G.; DANIEL, O.; COMUNELLO, E.; VITORINO, A. C. T.; ARAI, F. K.. Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas. **Floresta**. Curitiba, v.41, n.4, p.797-808, 2011.

GUERRA, A.T.. **Dicionário geológico-geomorfológico.** 5 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra.** 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

JAKOB, A. A. E.. A Krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 13. **Anais.** Ouro Preto: Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 2002.

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

MARTINS, R. N.; COLARES, A.N.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. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v.6, n.2, p.99-118, 2018.

OLIVEIRA, B. A. S.; FANTINEL, R. A.; MARCHESAN, J.; PEREIRA, R. S. Geotecnologias aplicadas à análise da fragilidade ambiental na sub-bacia hidrográfica do Arroio Pessegueiro – RS. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.15, n.1, p.8-21, 2019.

OSGEO. **Sistema de Informações Geográficas do QGIS.** Projeto Código Aberto Geospatial Foundation, 2019.

RODRIGUES, P. M. S.; SCHAEFER, C. E. G. R.; CORRÊA, G. R.; CAMPOS, P. V.; NERI, A. V.. Solos, relevo e vegetação determinam os geoambientes de unidade de conservação do norte de Minas Gerais, Brasil. **Neotropical Biology And Conservation**, v.10, n.1, p.32-42, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4013/nbc.2015.101.05>

ROSS, J. L. S.. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 8, n. 8, p.63-74, 1994. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>

SILVA, K. B.; AMORIM, R. R.; REGO, N. A. C.. A Representação dos Geossistemas com Ênfase no Estudo dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, Brasil. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.19, n.67, p.53-67, 2018.

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

UFV. **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte: FEAM, 2010A.

UFV. **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais: Legenda Expandida.** Belo Horizonte: FEAM, 2010B.

USGS. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Shuttle Radar Topography Mission.** Washington: National Aeronautics and Space, 2000.

VALE, 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.107714>

WINGE, M.. **Glossário Geológico Ilustrado.** Brasília: CPRM, 2001.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157973728104022017/>