

Fragilidade emergente da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo: uma análise integradora da paisagem

James Rafael Ulisses dos Santos
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
jamesrulisses@gmail.com

Eberval Marchioro
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
ebervalm@gmail.com

Resumo

O presente estudo teve como propósito determinar a fragilidade emergente da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo, referente aos anos de 1970, 2008 e 2012, por meio da análise integrada das variáveis: declividade, solos, uso e cobertura da terra e precipitação. A metodologia foi dividida em três etapas: na primeira foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre o tema em diversas fontes, principalmente em periódicos científicos. A segunda etapa correspondeu aos levantamentos de campo com o intuito de reconhecer os aspectos da bacia, criar um acervo iconográfico e capturar coordenadas em pontos específicos para auxiliar na validação dos mapas temáticos. A terceira etapa ficou a cargo da elaboração dos produtos cartográficos em ambiente dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Os resultados constataram que as classes de fragilidade muito baixa e baixa predominaram nos topos dos morros e nos fundos de vale, na porção à jusante da bacia. Já as classes alta e muito alta corresponderam às porções central e montante, e a classe média está presente nas vertentes íngremes. O método adotado para determinar a fragilidade emergente, apresentou resultados consistentes e satisfatórios com as características da área, sendo uma ferramenta importante em tomada de decisão em nível de gestão de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Ambientes Frágeis; Análise da Paisagem; Bacias Hidrográficas.

Emergent fragility of the Duas Bocas river basin, Espírito Santo: an integrative analysis of the landscape

Abstract

The purpose of the present study was to determine the emerging fragility of the Duas Bocas river basin, Espírito Santo, for the years 1970, 2008 and 2012, through the integrated analysis of the variables: slope, soils, land use and cover and precipitation. The methodology was divided into three stages: in the first one, bibliographical research on the subject was carried out in several sources, mainly in scientific journals. The second stage corresponded to field surveys in order to recognize basin aspects, create an iconographic collection and capture coordinates at specific points to assist in the validation of thematic maps. The third stage was the preparation of cartographic products in the environment of Geographic Information Systems (GIS). The results found that the very low and low frailty classes predominated in the hilltops and valley bottoms, in the downstream portion of the basin.

The upper and very upper classes corresponded to the central and upstream portions, and the middle class is present in the steep slopes. The method adopted to determine the emerging fragility, presented consistent and satisfactory results with the characteristics of the area, being an important decision-making tool in watershed management.

Keywords: Fragile Environments; Landscape Analysis; Watersheds.

Introdução

A paisagem como categoria geográfica pode ser compreendida por meio da integração de elementos naturais e humanos (DOLFUSS, 1973). Os aspectos físicos da paisagem são importantes para a cultura humana nas suas diversas formas de uso, sendo cada vez mais significativo considerar a paisagem como uma unidade orgânica, que deve ser estudada num ritmo espaço-temporal em suas múltiplas variáveis (TROLL, 1997; SAUER, 1998).

A análise da paisagem pode ser realizada numa ótica social e natural, subjetiva e objetiva, espacial e temporal, material e cultural, real e simbólica. Por essa razão, seus elementos não devem ser estudados separadamente, dada a sua complexidade, sendo necessária a compreensão da ação conjunta dos fatores e processos no espaço e no tempo (MARTINELLI e PEDROTTI, 2001).

Para Troppmair e Galina (2006), a estrutura, as inter-relações e a dinâmica que ocorrem em determinada área, formando um geossistema, conferem a fisionomia daquele espaço, que é a própria paisagem vista como um sistema, como unidade integrada. Dessa forma, Rodriguez et al. (2007) inferem que existe uma infinidade de normas para a classificação das paisagens ditas contemporâneas ou antropogênicas, sendo fundamentadas em diversos princípios e em situações múltiplas.

Nesse sentido, as paisagens naturais tornam-se ambientes frágeis devido às incursões antrópicas, apresentando maior ou menor fragilidade em razão de suas características genéticas. A princípio, em algumas regiões do planeta, os ambientes naturais comportam-se ou comportavam-se em equilíbrio dinâmico até o momento em que as sociedades humanas começaram, progressivamente, a interferir de maneira cada vez mais avassaladora na exploração dos recursos naturais (ROSS, 1994).

A análise da fragilidade dos ambientes naturais tem um papel importante como instrumento de planejamento e gestão do território. Uma forma eficiente de se determinar a

fragilidade de uma bacia hidrográfica, por exemplo, é por meio da análise integrada, que possibilita avaliar as características, potencialidades e suscetibilidade dos seus atributos. Para determinar a fragilidade emergente por meio de uma análise integrada é necessário compreender, organizar e classificar os componentes naturais e antrópicos que compõem a paisagem da bacia hidrográfica (CRUZ et al., 2010; CARMO et al., 2011).

As bacias hidrográficas são caracterizadas como unidades de planejamento e gestão, sendo compostas pelas unidades geoambientais, a saber: geologia, geomorfologia, solo, vegetação, hidroclimatológicas e socioeconômicas (CUNHA, 2008). Já para Santos (2004), trata-se de um sistema natural bem demarcado no espaço, constituído por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um rio principal e seus afluentes, onde ocorre uma conexão dos componentes da paisagem, de maneira integrada.

Os estudos em bacias hidrográficas são realizados levando em conta a gestão ambiental, pois, assim, proporciona-se uma maior análise dos parâmetros que integram o sistema hidrológico, como: solo, água, ar, cobertura vegetal, clima dentre outros. Esses parâmetros estão diretamente relacionados com infiltração, escoamento, assoreamento, inundação, erosão e contaminação, que, de uma forma mais ampla, possibilita verificar o equilíbrio do sistema, bem como a qualidade ambiental existente do seu funcionamento (BOTELHO e SILVA, 2014; ROCHA et al., 2013).

Para tanto, mediante a singularidade atingida pela água, enquanto recurso natural para a sociedade nos dias atuais, a bacia hidrográfica passou a ser analisada, frequentemente, como um marco no referencial geográfico no subsídio das práticas de planejamento e manejo dos recursos naturais. O planejamento ambiental está atrelado à integração dos elementos que constituem os sistemas ambientais numa conexão entre os aspectos ecológicos, socioeconômicas e culturais (ROSS e PRETTE, 1998; SANTOS, 2004).

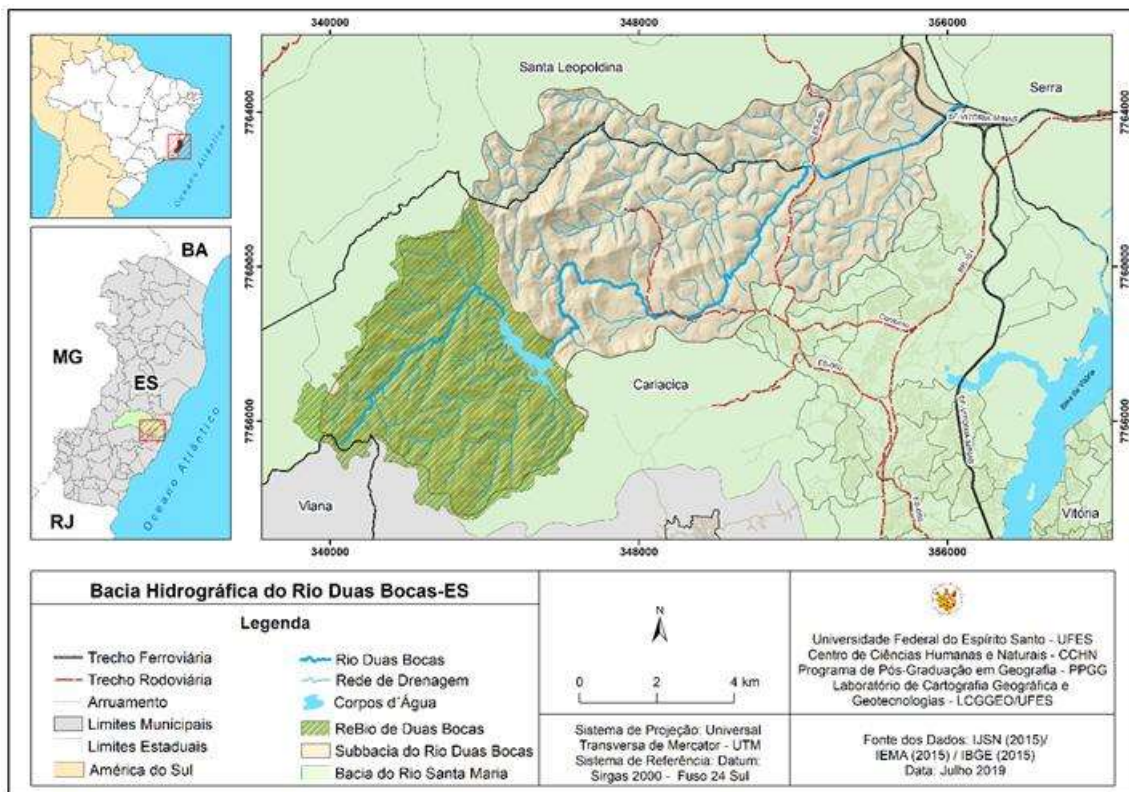
A fragilidade quanto à erosão dos solos é um processo natural de degradação, devido a decomposição e desagregação das rochas, transporte de materiais e deposição. Por outro lado, a ação antrópica também contribui para o aumento dos processos erosivos, ocasionando, conseqüentemente, a perda nas taxas de solos férteis, poluição dos mananciais e assoreamento dos cursos d'água e reservatórios, além da diminuição da produtividade dos ecossistemas terrestres e aquáticos (SPÖRL, 2007).

Nesse sentido, a erosão dos solos pode ser compreendida, monitorada e estudada sobre diferentes escalas de análise. Os solos têm relação direta com o perfil e o gradiente das vertentes, principalmente em consonância com as mudanças que ocorrem nos seus horizontes, podendo ter uma grande variação ao longo do comprimento de uma vertente. Sua análise possibilita entender a variabilidade existente entre as classes e a geometria das vertentes em escala de bacia hidrográfica (GUERRA e MENDONÇA, 2014).

Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo determinar a fragilidade emergente, por meio de uma análise integrada dos elementos que compõem a paisagem, da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo – Brasil.

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Duas Bocas localiza-se entre as coordenadas 20°12'01.28"(7764921) e 20°17'24.90" (7755681) S e 40°23'06.35" (355302) e 40°32'07.88" (339683) W, compreendendo uma área total de 92,27km², da qual 18,71 km² (20,28%) corresponde a Santa Leopoldina, 73,51 km² (79,67%) a Cariacica e 0,05 km² (0,06%) a Viana. Seu perímetro (P) é de 55,69 km, e trata-se de uma sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, sendo esta de grande importância, pois contribui para o abastecimento de parte da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV). (Figura 1).



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas (ES)

A precipitação pluvial da normal climatológica de 1983-2013 está entre 1,307mm e 1.657 mm, respectivamente, do exutório ao topo da bacia hidrográfica. O trimestre mais chuvoso é novembro, dezembro e janeiro e o mais seco, junho, julho e agosto, sendo dinamizados pela incidência de massas de ar (MATIUZZI e MARCHIORO, 2012; MARCHIORO, 2012; BASTOS et al., 2015).

A presença da Reserva Biológica de Duas Bocas (REBIO) em praticamente toda a porção montante da bacia desempenha um papel relevante na proteção e manutenção das nascentes dos córregos existentes. A represa localizada dentro da reserva recebe as águas dos córregos Painelas, Naia-Assú, Sertão Velho e Pau Amarelo, que, a partir da sua jusante, dá origem ao rio Duas Bocas, este que é um dos rios responsáveis pelo abastecimento de parte do município de Cariacica (PERRONE, 1995; MARCHIORO, 1996; NOVELLI, 2010).

A represa encontra-se dentro dos limites da REBIO de Duas Bocas (Figura 2), a uma altitude de 200 metros, com uma área correspondente a 0,51km², e com uma

profundidade média de 4,3m e profundidade máxima de 10,75m (DELAZARI-BARROSO et al., 2009).



Fonte: Acervo dos autores (2015).

Figura 2: Espelho d'água próximo ao barramento da represa de Duas Bocas.

O ano de 1908 ficou marcado devido ao lançamento de um projeto pelo engenheiro civil Ceciliano Almeida, com o objetivo de utilizar as águas do rio Formate para abastecimento da cidade de Vitória. No entanto, o projeto não saiu do papel e novos estudos foram realizados com o intuito de buscar outras alternativas, dentre elas, a utilização do braço sul do rio Jucu, rio Bubú, e/ou o rio Santa Maria da Vitória (NOVELLI, 2010; GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, 1996).

Segundo Boni (2012), após uma análise dos aspectos físicos de vários locais nas proximidades de Vitória, o governador do Estado do Espírito Santo da época, Jerônimo Monteiro, autorizou, no ano de 1912, a compra de terras próximas ao córrego Pau Amarelo, com o propósito de construir uma represa para o abastecimento da população. A represa foi inaugurada no ano de 1918, vindo a funcionar somente até a década de 1950, devido à insuficiência no abastecimento por causa do aumento da demanda com o crescimento

populacional. E no ano de 1951 foi inaugurada uma nova represa, com a presença do presidente Getúlio Vargas, a qual ainda está em funcionamento atualmente (Quadro 1).

Quadro 1: Histórico da construção da represa e da criação da Reserva Biológica de Duas Bocas

Ano	Evolução Histórica da Reserva e da Represa de Duas Bocas
1894	Construção de um rudimentar sistema de captação de água do Córrego Pau Amarelo, pelo presidente da intendência (prefeito) de Cariacica, senhor Manoel Lopes Loureiro, para o abastecimento da população da sede de Cariacica.
1912	O governador do Estado do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, determinou a compra de terras das sesmarias de Pau Amarelo, Samambaia e Naia-Assú e a prefeitura de Vitória a sesmaria de Taquara-Assú ao redor do Córrego Pau Amarelo, com a finalidade de construir uma represa para o abastecimento da população.
1918	Inauguração da represa velha
1950	A represa velha esteve em funcionamento até a década de 1950
1951	Ano que o presidente Getúlio Vargas inaugurou a atual represa da Reserva Biológica de Duas Bocas para o abastecimento de Vitória.
1954	Ano que a Represa começou a entrar em operação.
1965	Criação da Reserva Florestal de Duas Bocas, por meio da Lei nº 2.095, de 12 de janeiro de 1965, em uma área de 2.910 hectares.
1991	Redefinição da categoria de manejo para Reserva Biológica em 2 de janeiro de 1991 através da Lei nº 4.503.

Fonte: Elaborado pelos autores (2019), baseados em Boni (2012).

Procedimentos metodológicos

Com o propósito de alcançar os objetivos sugeridos, o trabalho foi dividido em três etapas. A primeira etapa correspondeu às pesquisas bibliográficas e ao levantamento de dados cartográficos, em formato vetorial e matricial (*raster*).

Na segunda etapa foram realizados os trabalhos de campo, com a finalidade de verificar as características da paisagem da área de estudo *in loco*. Nos levantamentos de campo foi criado um acervo iconográfico e coletados os pontos com as coordenadas da área, com auxílio do Sistema de Navegação Global por Satélite (*Global Navigation Satellite System - GNSS*), por meio do equipamento *eTrex 10 Garmin*, disponibilizado pelo Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias - LCGGEO/UFES e do *GPS Essentials* disponível para aparelhos de telefone celular (com sistema operacional Android). Os pontos foram plotados no *software* em ambiente dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs).

A terceira etapa consistiu nos trabalhos de gabinete para a elaboração dos produtos cartográficos da fragilidade emergente da área de estudo, todos na escala

cartográfica de 1:70.000, no Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM e Sistema de Referência Datum SIRGAS 2000, Zona 24 S. O *software* utilizado foi o *ArcGIS 10.5TM*. (ESRI, 2016), com licença concedida para o LCGGEO/UFES. A metodologia aplicada ressaltou a importância da análise integrada dos elementos naturais e antrópicos da paisagem. Para o cálculo da modelagem foram utilizadas as seguintes variáveis: declividade, solos, uso e cobertura da terra e precipitação.

Declividade

A declividade foi gerada a partir da interpolação das curvas de nível com equidistância de 5m x 5m, gerando um Modelo Digital de Terreno (MDT), no *Topo To Raster*. Após esse procedimento criou-se a declividade na ferramenta *Slope*, e, na sequência, realizou-se a reclassificação em *Reclassify*. A reclassificação da declividade teve como base Ross (1994), sendo os intervalos das classes adaptados para se ajustarem aos parâmetros altimétricos da bacia (Tabela 1). As curvas de nível foram disponibilizadas pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), através do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES).

Tabela 1: Classes vulnerabilidade e porcentagem das classes de declividade

Classes de Fragilidade	Declividade (%)
Muito Baixa (1)	< 6%
Baixa (2)	6 a 12%
Média Baixa (3)	12 a 20%
Média (3)	20 a 30%
Média Alta (4)	30 a 45%
Alta (4)	45 a 60%
Muito Alta (5)	> 60%

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Solos

A classificação do solo baseou-se no levantamento da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2013), na escala de 1:5.000.000 e adaptado para a área de estudo na escala de 1:70.000, sendo detectadas as seguintes classes: Cambissolo Háplico, Gleissolo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo/Argissolos e Neossolos Litólicos. Posteriormente, para cada classe, foram atribuídos pesos e, na sequência, convertidas do formato vetorial para *raster* com resolução espacial de *pixel* de 10m. Os dados

vetoriais de 2013 foram adquiridos no *site* da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA.

Uso e cobertura da Terra

A classificação do uso e da cobertura da terra de 1970 foi realizada a partir das fotografias aéreas daquele ano, na escala de 1:25.000, com adaptação de 1:70.000 para a bacia, disponibilizadas pelo Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Estado do Espírito Santo (IDAF). Para o ano de 2008 utilizou-se a categoria uso da terra já existente que foi classificado com base nos ortofotomosaico de 2007/2008 na escala 1:15.000, com resolução espacial de 1m, cedidos pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (IEMA).

A categoria uso da terra de 2012 baseou-se na classificação nos ortofotomosaico de 2012/2015, em escala 1:10.000, com resolução espacial de 0,25m, sendo adaptado para a área de estudo na escala cartográfica de 1:70.000, disponibilizados pelo IEMA.

Para 1970, a área foi dividida com 9 classes de uso da terra, ao passo que, para os anos de 2008 e 2012, 14 classes foram estabelecidas, sendo as seguintes: afloramento rochoso, brejo, cultivo agrícola de banana, cultivo agrícola de café, cultivo agrícola de cocoda-baía, edificação, jaqueira, macega, corpos d'água, mata nativa, outros cultivos agrícolas anuais, pastagem, silvicultura e solo exposto.

O uso e cobertura da terra dos referidos anos foram classificados com base no manual de Uso da Terra do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de 2006. Sendo atribuídos pesos a cada classe de uso da terra e na sequência, convertidos de vetorial para o *raster*, com resolução espacial do *pixel* de 10m.

Precipitação

Para este trabalho foram utilizados dados das precipitações anual, com exceção do ano de 1970, que utilizou os dados de chuva da normal climatológica (1983-2013), devido à falta de informações de precipitação do referido ano. Assim, a chuva referente à normal climatológica apresentou os seguintes intervalos: 1.307 a 1.377mm; 1.377 a 1.447mm; 1.447 a 1.517mm; 1.517 a 1.587mm; e 1.587 a 1.657mm.

Os totais acumulados de chuva de 2008 foram de 1.305 a 1.391mm; 1.391 a 1.478mm; 1.478 a 1.565mm; 1.565 a 1,651mm; e 1.651 a 1.738mm. E o ano de 2012 registrou os menores volumes de chuva, com precipitação apresentando amplitudes com intervalos de 776 a 916mm; 916 a 1.057mm; 1.057 a 1.198mm; 1.198 a 1.338mm; e 1.338 a 1.479mm. Para entrar no cálculo da modelagem da fragilidade, esses dados de precipitação foram interpolados, e, assim, espacializados, sendo utilizado o *Spline* como interpolador.

Todos os dados de precipitação utilizados foram disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (IMCAPER), do Estado do Espírito Santo. As 13 estações meteorológicas com dados disponíveis estão distribuídas nas seguintes localidades: Viana, Vitória, Cariacica (Estação da Reserva Biológica de Duas Bocas), Fazenda Serra, Santa Teresa, Santa Maria de Jetibá (incluindo a estação da Serra do Garrafão e a Cachoeira Suíça), Santa Leopoldina e Marechal Floriano.

Cálculo da média aritmética da fragilidade emergente

A fragilidade emergente foi determinada para os anos de 1970, 2008 e 2012 com a aplicação de uma álgebra de mapas, a partir do cruzamento das variáveis: declividade, solos, uso e cobertura da terra e precipitação. Esse método gerou um mapa de fragilidade para cada ano. A modelagem, com o cálculo das médias aritméticas, realizou-se em ambientes SIG, da seguinte forma: *ArcMap* → *ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Map Algebra* → *Raster Calculator*. A Equação 1 demonstra como o cálculo foi realizado no *software*

Equação 1: Fórmula para o cálculo da fragilidade emergente

$$FE = \frac{D + S + UCT + P}{4}$$

Sendo: *FE* = Fragilidade Emergente, logo: *D* = Declividade, *S* = Solos, *UCT* = Uso e Cobertura da Terra e *P* = Precipitação.

Resultados e discussões

Uso e cobertura da Terra de 1970

A área de estudo apresenta-se, na sua porção superior, caracterizada por vertentes íngremes, ainda bastante conservada, com vegetação de Mata Atlântica. Isso foi determinante para que, em 1965, fosse criada a Reserva Florestal de Duas Bocas por meio da lei nº 2.095, sendo a partir desse período iniciadas as primeiras medidas de conservação e controle quanto ao avanço de novos cultivos agrícolas como banana, café e do plantio de pastagem sobre as áreas de floresta dentro da reserva e entorno. Posteriormente, em 1991, com a lei 4.503 foi redefinida a categoria para Reserva Biológica (GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, 1996).

Conforme apresentado na (Tabela 2), em 1970 a classe de mata nativa predominava na bacia com 34,11%, ocupando as vertentes mais íngremes (com presença de fragmento de vegetação característica da mata atlântica), e localizando-se, principalmente, a montante da área, o que corresponde praticamente à Reserva Biológica de Duas Bocas (Rebio).

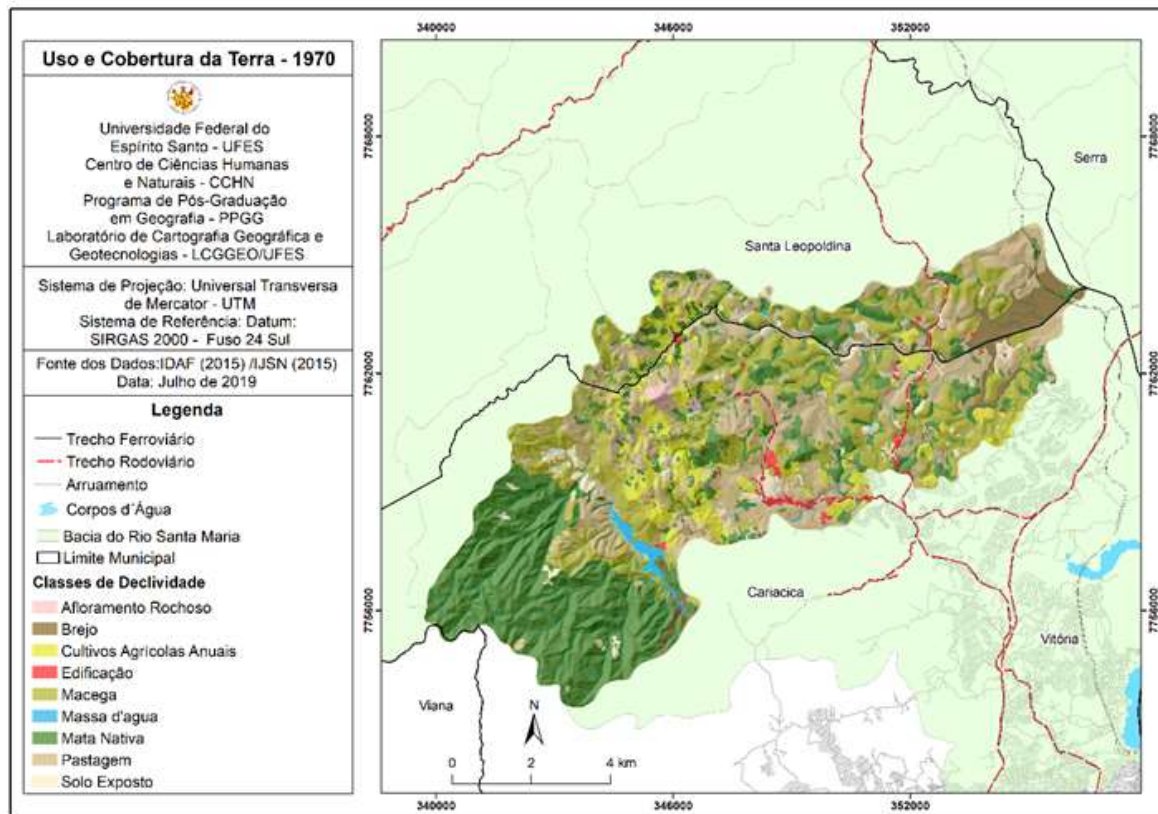
Para tanto, outra classe que apresentava um percentual expressivo era a macega, com 24,10%, sendo a segunda maior, cobrindo as porções central e jusante da bacia. Já a classe de pastagem apresentava o terceiro maior percentual, com 22,99%, presente também nas porções central e jusante da área. A classe de cultivos agrícolas anuais, com 9,01%, abrangia as vertentes íngremes da porção central.

Tabela 2: Uso e cobertura da terra de 1970 em km², ha e o porcentual da área de estudo.

Uso e Cobertura da Terra (1970)	Área km ²	Área ha	%
Afloramento Rochoso	0,56	57,16	0,62
Brejo	3,80	380,14	4,12
Cultivo Agrícola Anuais	8,31	831,36	9,01
Edificação	1,06	105,6	1,14
Mata Nativa	31,48	3148,38	34,11
Macega	22,24	2224,29	24,10
Massa d'Água	0,67	67,42	0,73
Pastagem	21,22	2122,3	22,99
Solo Exposto	2,93	293,25	3,18
Total	92,27	9229,9	100

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

O mapa (Figura 3) apresenta a distribuição das classes de uso e cobertura da terra de 1970 da área de estudo, com destaque para a classe de mata nativa, compreendida em sua totalidade dentro da REBIO de Duas Bocas, mas com alguns esporádicos fragmentos ao longo de toda a bacia e com as classes de macega e pastagem cobrindo as porções central e jusante.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Figura 3: Mapa do uso e cobertura da terra de 1970 da área de estudo.

Uso e cobertura da Terra de 2008

Na (Tabela 3) verifica-se que a classe de mata nativa apresentou um aumento de 13,92% de 1970 a 2008, passando de 34,11% para 48,03%. Esse fato deve-se a conservação dos ambientes florestados, principalmente após a criação da REBIO de Duas Bocas. Esse cenário permitiu a regeneração de áreas antes ocupadas por macega, que era de 24,10% da área, e que passou para 2,94% em 2008, configurando uma redução de 21,16%.

Com relação à pastagem, em 1970 essa classe apresentava um percentual de 22,99% e em 2008 alcançou o valor de 31,87%, correspondendo a um aumento de 8,88%. As

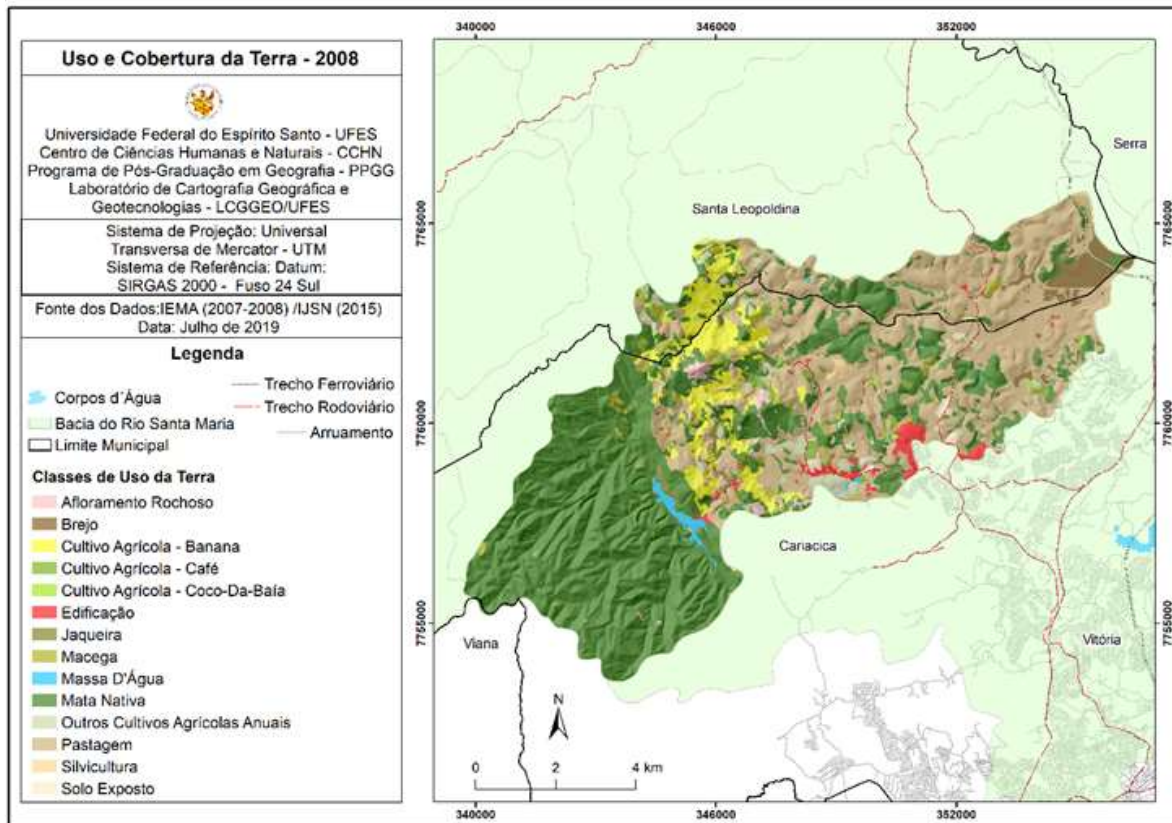
transformações na paisagem com o aumento de pastagem se deram nas porções central e inferior da área, onde antes era ocupado pela classe de macega (Figura 4).

Tabela 3: Uso e cobertura da terra de 2008 em km², ha e o percentual de da área de estudo.

Uso e Cobertura da Terra (2008)	Área km²	Área ha	(%)
Afloramento Rochoso	1,25	125,99	1,35
Brejo	2,25	227,50	2,44
Cultivo Agrícola - Banana	6,20	620,48	6,72
Cultivo Agrícola-Café	1,12	111,95	1,22
Cultivo Agrícola - Côco Bahia	0,23	24,31	0,25
Edificação	1,44	144,65	1,56
Jaqueira	0,14	13,60	0,15
Macega	2,71	272,27	2,94
Massa d'Água	0,70	70,45	0,76
Mata Nativa	44,32	4434,58	48,03
Outros Cultivos Agrícolas Anuais	1,55	156,05	1,68
Pastagem	29,41	2941,27	31,87
Silvicultura	0,22	22,45	0,24
Solo Exposto	0,73	74,96	0,79
Total	92,27	9240,51	100

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

A classe de cultivo agrícola anual ocupava, em 1970, 9,01% da porção central da bacia correspondendo às vertentes íngremes com maiores altitudes e declividades do relevo, e com presença de Cambissolos Háplicos. Já para 2008, sendo classificada como cultivo de banana, essa mesma classe apresentou um percentual 6,72% da área, evidenciado uma redução de 2,29%.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Figura 4: Mapa do uso e cobertura da terra de 2008 da área de estudo.

Uso e Cobertura da Terra de 2012

Conforme exposto na (Tabela 4), a classe de mata nativa em 2012 cobria 48,27% do total da área de estudo. Esse percentual era de 34,11% em 1970, o que configura um aumento de 14,16%. Já com relação a 2008, com percentual de 48,03%, o aumento foi de 0,24%. Logo, tem-se que a classe de mata nativa passou por um processo de regeneração ao longo dos anos devido à conservação da vegetação natural.

A partir da implementação dessa lei houve um maior rigor quanto ao desmatamento e à criação de novas áreas para fins agropecuário (cultivos agrícolas diversos e criação de gado de corte e leiteiro) nas proximidades da REBIO, fato que influenciou diretamente as áreas de entorno e dentro da bacia (GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, 1996; NOVELLI, 2010).

Tabela 4: Uso e cobertura da terra de 2012 em km², em ha e a porcentagem da área de estudo.

Uso e Cobertura da Terra (2012)	Área km ²	Área ha	(%)
Afloramento Rochoso	1,15	115,99	1,25
Brejo	2,11	211,29	2,29
Cultivo Agrícola - Banana	6,25	625,45	6,78
Cultivo Agrícola-Café	1,66	165,77	1,80
Cultivo Agrícola - Côco Bahía	0,26	25,72	0,28
Edificação	2,15	215,19	2,33
Jaqueira	0,14	13,58	0,15
Macega	2,02	201,83	2,19
Massa d'Água	0,67	67,21	0,73
Mata Nativa	44,54	4453,53	48,27
Outros Cultivos Agrícolas Anuais	1,37	136,94	1,48
Pastagem	29,08	2907,54	31,51
Silvicultura	0,51	51,03	0,55
Solo Exposto	0,36	35,81	0,39
Total	92,27	9226,88	100

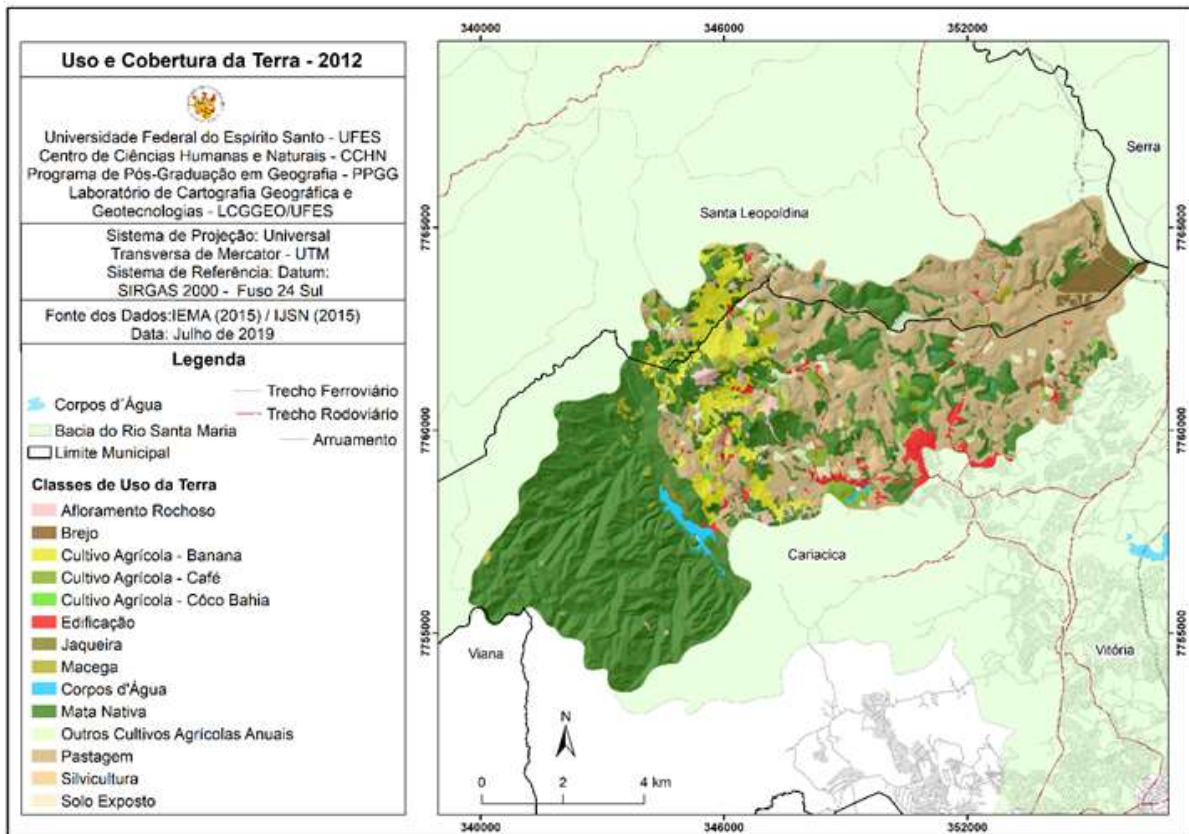
Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Contudo, a classe de macega foi a que teve a maior redução, já que em 1970 seu percentual era de 24,10%, representando o segundo maior depois de mata nativa, passando para 2,94% em 2008 e 2,19% em 2012. Desse modo, verificou-se uma diminuição de 21,16% de 1970 para 2008 e de 21,91% de 1970 para 2012. Essa mudança ocorreu devido à regeneração de mata nativa e do aumento da área de pastagem.

A classe de pastagem, em 2012, representava a segunda maior, com 31,51% da bacia. Em 1970, seu percentual era de 22,99%, o que resultou num crescimento de 8,52%, comparativamente. Já com relação a 2008, com 31,87%, percebe-se que houve uma redução de 0,36%. A classe de pastagem está presente nas porções central e jusante da área em relevo forte ondulado, suave ondulado e plano, com cobertura pedológica dos Latossolos Vermelho-Amarelo, Argissolos e Gleissolos.

O cultivo agrícola de banana, classe com o terceiro maior percentual da área, está presente nas vertentes íngremes da porção central da bacia, em relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado, com o predomínio dos Cambissolos Hábrlicos e Latossolos Vermelho-Amarelo. De 1970 (em 1970 o cultivo de banana denominava-se de cultivos

agrícolas anuais) para 2008 essa classe apresentou uma redução de 2,38%, para 2012 de 2,32% e de 2008 para 2012 houve um leve aumento de 0,06% (Figura 5).



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Figura 5 Mapa de uso e cobertura da terra de 2012

Nesse sentido, uma classe que apresentou um crescimento que merece destaque foi a de edificação, que em 1970 representava 1,14%, alcançando 1,56% em 2008 e 2,33% em 2012. Esse cenário caracterizou um aumento, respectivamente, da ordem de 0,42%, 1,19% e 0,77%. Isso deve-se, em parte, a presença de uma pequena fração do perímetro urbano de Cariacica na porção jusante.

Na (Figura 6) são apresentados diferentes cenários das mudanças na paisagem da área durante os anos analisados. Na (Figura 6a) observa-se vertentes íngremes, relevo escarpado, montanhoso e forte ondulado, tendo como unidade geomorfológica os Patamares Escalonados Sul Capixaba, com cobertura pedológica dos Cambissolos Háblicos e pastagem

como classe de uso da terra predominante. Nessa porção, pode-se verificar na vertente o surgimento de pequenos sulcos (ravinas) que correspondem à fase inicial de processos erosivos.

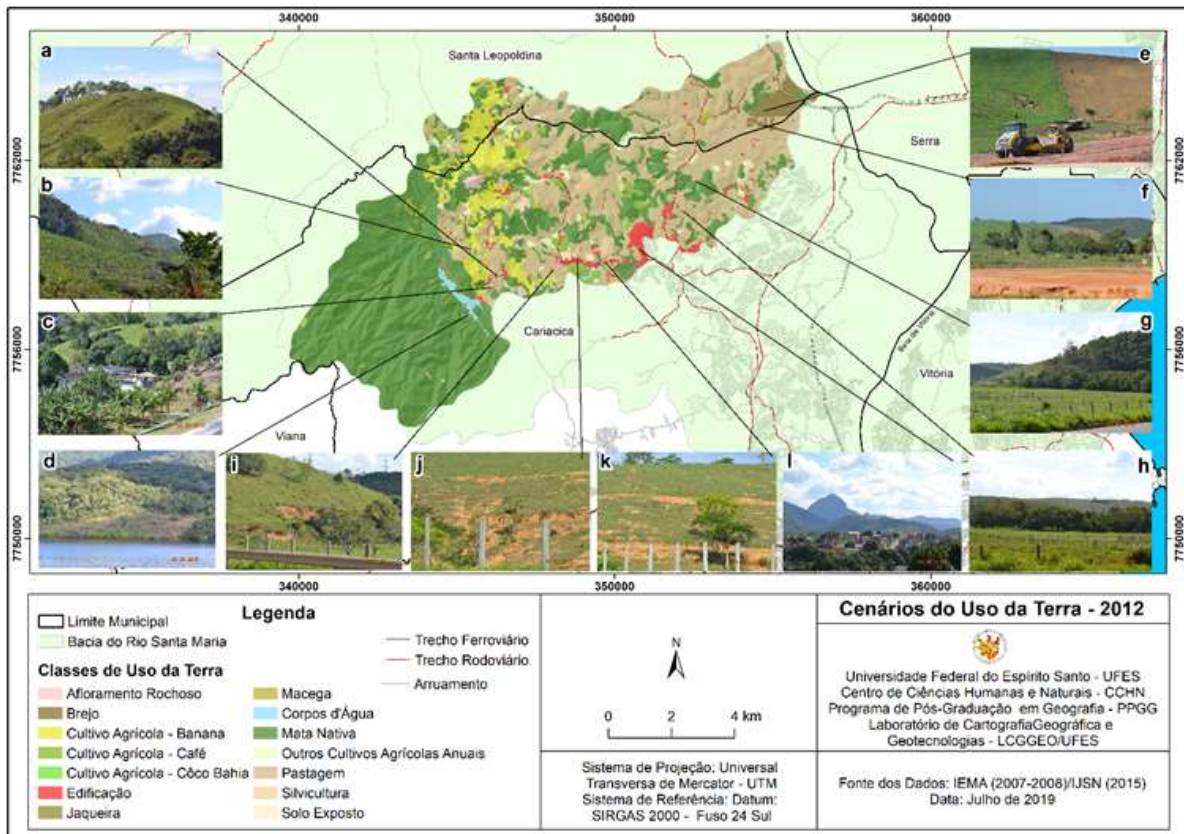
A (Figura 6b) encontra-se numa porção que apresenta os mesmos aspectos físicos que a anterior, mas com características muito diferentes em termos de uso da terra, verificando-se que o topo da vertente é ocupado por mata nativa, enquanto que o terço médio e inferior são ocupados por cultivo de banana e possuem, como classes de solos predominantes, os Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos.

Na (Figura 6c) verifica-se a presença das instalações do setor administrativo da Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN), está que faz a captação de água na represa de Duas Bocas. Já na (Figura 6d) pode ser observada uma fração do espelho d'água da represa de Duas Bocas, com presença de vegetação nativa ao fundo.

Na (Figura 6e) é possível observar uma máquina realizando terraplanagem para a construção da pavimentação asfáltica de um trecho da estrada no baixo curso do rio Duas Bocas. Ao fundo, nota-se uma vertente com cobertura de pastagem do lado esquerdo e sem nenhuma proteção do lado direito. Já na (Figura 6f) observa-se o terreno com a terraplanagem praticamente finalizada, pronto para receber a pavimentação asfáltica.

As (Figuras 6g e 6h) representam uma propriedade rural no baixo curso do rio Duas Bocas, com pastagem na planície de inundação e com vertentes florestadas com mata nativa. Nessa porção encontram-se as menores declividades da área em relevo suave ondulado e plano, com predominância dos Gleissolos (nas várzeas) e Latossolos Vermelho-Amarelo (nas vertentes íngremes).

Nas (Figuras 6i, 6j e 6k) pode verificar uma propriedade rural com processos erosivos, já com surgimento de ravinas - estas desencadeadas pelo pisoteio do gado, por se tratar de área com pastagem. Essa porção foi a que apresentou processos de degradação dos solos mais avançados, visto que no restante da bacia não foram identificados processos de erosão mais críticos. E na (Figura 6l) verifica-se parte urbanizada da sede do município de Cariacica.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Figura 6 Mapa dos diferentes cenários da paisagem da área de estudo.

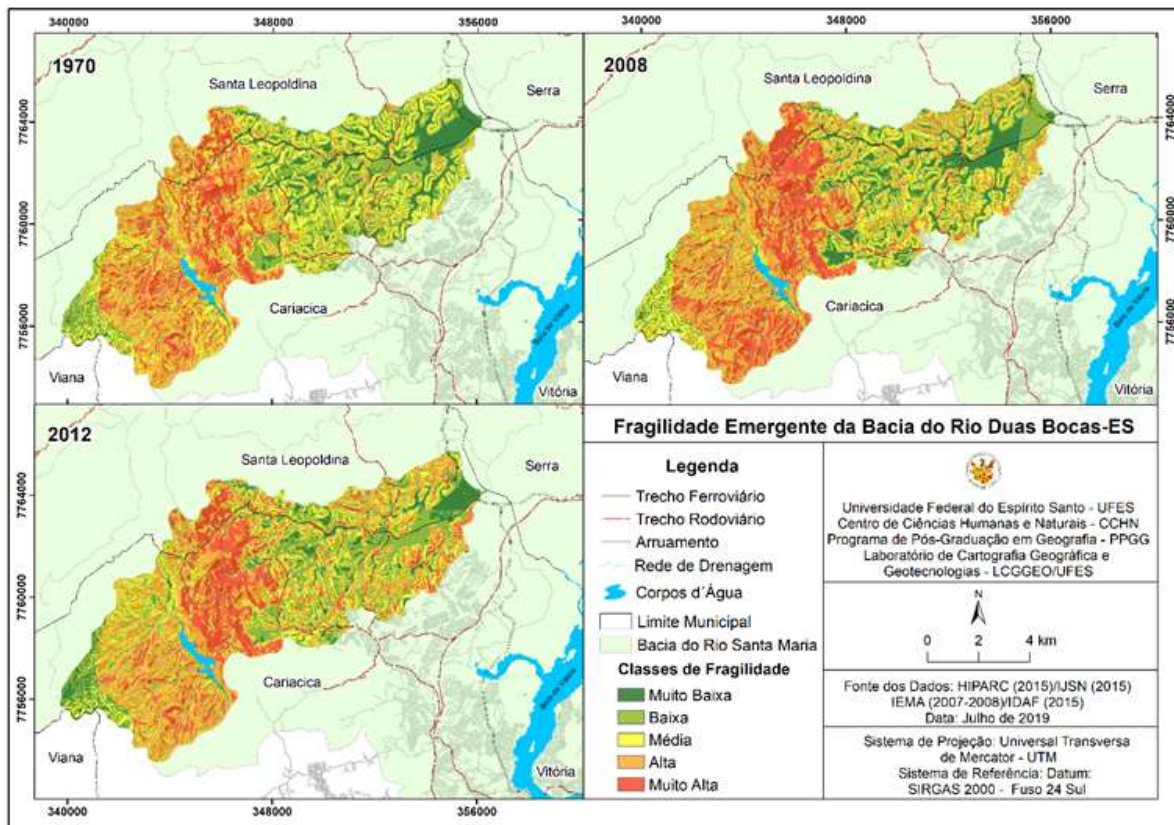
Fragilidade Emergente (1970, 2008 e 2012)

Conforme verifica-se na (Figura 7) as classes de fragilidade emergente muito baixa e baixa nos três anos analisados predominaram nos topos de morro, fundos de vale e na planície de inundação no baixo curso do rio Duas Bocas, correspondendo à porção jusante da bacia. O relevo nessa porção é suave ondulado e plano, com cobertura pedológica dos Latossolos Vermelho-Amarelo e Latossolos Vermelho-Amarelo em associação com os Argissolos e Gleissolos. O uso e cobertura da terra para essa área tem forte presença de pastagem e brejo.

As classes de fragilidade emergente alta e muita alta em 1970 e 2008 corresponderam às porções central e montante da bacia, que se configuram nas áreas de relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado, detendo as maiores declividades e altitudes. Os solos dessas porções tiveram como predominância as classes dos Cambissolos Háplicos e com

menor expressividade dos Neossolos Litólicos. O uso da terra na porção central tem forte presença do cultivo agrícola de banana, e a montante de mata nativa. No entanto, vale ressaltar que, em boa parte da porção montante, a fragilidade foi alta e muita alta, mesmo com a presença de mata nativa, devido a fatores como declividade acentuada, solos suscetíveis e precipitação.

A fragilidade emergente com relação a 2012 apresentou as classes muito baixa e baixa, semelhantes a 1970 e 2008 na porção à jusante, e com as classes muito alta e alta na porção central. Porém, a montante, as classes predominantes foram a alta e a média. A maior presença da classe média justifica-se pelo fator precipitação, já que o ano de 2012 apresentou os menores índices pluviométricos registrados dos anos analisados.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Figura 7 Mapas da fragilidade emergente dos anos de 1970, 2008 e 2012 da área de estudo.

Considerações finais

Com a análise integrada dos elementos da paisagem foi possível verificar a tendência da área de estudo para a fragilidade emergente dos anos estudados. Dessa forma, a porção jusante, por corresponder ao segmento com as menores declividades com relevo suave ondulado e plano, pouco dissecado, e que se caracteriza como área de planície de inundação, com solos poucos suscetíveis aos processos erosivos, mesmo tendo como uso da terra predominante pastagem e brejo, apresentou classes de fragilidade muito baixa e baixa.

Na porção central da bacia, por corresponder aos segmentos com as maiores declividades e altitudes e forte dissecção do relevo, sendo este forte ondulado, montanhoso e escarpado, com solos muito suscetíveis à erosão, como os Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos e cultivo agrícola de banana (porção central), predominaram as classes de fragilidade alta e muito alta. Por outro lado, na porção montante, mesmo com a presença de mata nativa em praticamente toda sua extensão, a fragilidade alta e muito alta se apresentou, com exceção do ano de 2012, que teve como classe predominante a média, sendo justificada pelos baixos índices pluviométricos registrados para o supracitado ano.

Com a aplicação do método de álgebra de mapas proposto, integrando variáveis naturais e antrópicas na determinação da fragilidade emergente, constatou-se que a ferramenta tem um potencial relevante quanto ao auxílio nas futuras tomadas de decisões no que concerne ao planejamento e à gestão das unidades da paisagem da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas. Mas isso não descarta a possibilidade de aprimoramento do método de modelagem para tornar a acurácia dos resultados mais consistentes com a realidade do recorte especial analisado.

Agradecimentos: Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – FAPES pela concessão da bolsa de pesquisa que possibilitou a total dedicação para a realização desse trabalho.

Referências bibliográficas

AMARAL, R; Ross, J. L. S. As Unidades Ecodinâmicas na Análise da Fragilidade Ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e Entorno, Teodoro Sampaio/SP. *GEOUSP* - Espaço e Tempo, São Paulo, n. 26, 2009.

BASTOS, K. V.; LÓPEZ, J. F. B.; Marchioro, E.; GONÇALVES, A. O. Ritmo Pluviométrico da Bacia do Rio Duas Bocas (ES). *I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias – SASGEO*. Uberaba – MG, 2015.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 7ª Ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p.

BONI, R. L. Histórico da Reserva Biológica. In: MERÇON, L.; PEREIRA, O.; THOMAZ, L. *Últimos Refúgios: Reserva Biológica de Duas Bocas. Série – Áreas Protegidas. Vol. 1. 1ª Ed.*, Vitória-ES: Associação Últimos Refúgios, 2012.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org). *Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 153-192.

CARMO, J. P. A.; SOUZA, G. F.; POLIDERO, M.; LOLLO, J. A. Análise da Fragilidade Ambiental em Áreas Urbanas. O caso do município de Londrina – PR. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*. INPE, Curitiba, 2011. p. 855.

CRUZ, L. M.; JÚNIOR, J. F. P.; RODRIGUES, S. C. Abordagem Cartográfica da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Glória – MG. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 62, v. 03, 2010.

CUNHA, S. B da. Morfologia dos Canais Urbanos. In: POLETO, C (Org.). *Ambiente e Sedimento*. Porto Alegre: ABRH. 2008. 404p.

DELAZARI-BARROSO, A.; BARROSO, G. F.; HUSZAR, V. L. M.; AZEVEDO, S. M. F. O. Physical Regimes and Nutrient Limitation Affecting Phytoplankton Growth in a Meso-Eutrophic Water Supply Reservoir in Southeastern Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, n. 14, 2009 p. 269–278.

DOLFUSS, O. A. *Análise Geográfica*. São Paulo: Difusão Europeia do Livro, 1973.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013. 388 p.

ESRI – *Environmental Systems Research Institute, Inc.*, 2016, User Manual – Help Online, version 10.5. Disponível em: <http://www.esri.com> Acesso em: 20 de julho de 2019.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO Secretaria de Estado para Assuntos do Meio Ambiente – SEAMA. Instituto de Terras, Cartografia e Florestas – ITCF/ PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia. *Plano de Manejo da Reserva Biológica de Duas Bocas Estado do Espírito Santo. RELATÓRIO FINAL*. Volume I.1996.

GUERRA, A. J. T; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: VITTE, A. C; GUERRA, A. J.T. (Org.). *Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil*. 7ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 282.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Manual Técnico de Uso da Terra*. 2ª Edição, Rio de Janeiro, n. 7, 2006.

LAL, R. Erodibility and Erosivity. In: LAL, R. (Ed.). *Soil erosion research methods*. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, p.141-160, 1988.

LEPSCH, I. F. *19 Lições de Pedologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

MARCHIORO, E. A Incidência de Frentes Frias no Município de Vitória (ES). *Revista ACTA Geográfica*, p. 49–60, 2012.

MARCHIORO, E. *Avaliação de sólidos Transportados, Parâmetros da Morfometria e Solos de Seções Fluviais do Córrego Naiacú (Reserva Biológica de Duas Bocas - ES)*. 1996. 53 f. Monografia (graduação em Geografia) - Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória,1996.

MARTINELLI, M; PEDROTTI, F. A Cartografia das Unidades de Paisagem: Questões Metodológicas. *Revista do Departamento de Geografia - USP*, São Paulo, v. 14, 2001.

MATTIUZZI, H. V.; MARCHIORO, E. O comportamento dos ventos em Vitória (ES): a gestão e interpretação dos dados climáticos. *Revista GeoNorte*, v. 2, p. 983-993, 2012.

NOVELLI, F. Z. A Reserva Biológica de Duas Bocas e seus Vínculos à História da Conservação no Espírito Santo. *Revista Natureza Online*. Publicado pela ESFA [on line] <http://www.naturezaonline.com.br>. ISSN 1806–7409, 2010.

PERRONE, A. *Estudos Preliminares sobre a Carga de Sólidos Transportados, Parâmetros Morfométricos e Pluviométricos da Bacia do Córrego Pau Amarelo – Reserva Biológica de Duas Bocas – ES*. 1995. 60f. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1995.

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*, UNIOESTE, v. 8, n. 9, 2013.

RODRIGUEZ, J. M. M; SILVA, E. V; CAVALCANTI, A. P. B. *Geoecologia das Paisagens: Uma Visão Geossistêmica da Análise Ambiental*. 2ª Ed. Fortaleza: Editora UFC, 2007.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. *Revista do Departamento de Geografia FFLCH-USP*, São Paulo, n. 8, 1994.

ROSS, J. L. S; PRETTE, M. E. D. Recursos Hídricos e as Bacias Hidrográficas: Âncoras do Planejamento e Gestão Ambiental. *Revista do Departamento de Geografia*, n.12, p. 89-121, 1998.

SANTORO, J. Erosão Continental. In: TOMINAGA, L.K; SANTORO, J; AMARAL, R. (Orgs). *Desastres Naturais: conhecer e prevenir*. 2ª ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

SANTORO, J. *Fenômenos Erosivos Acelerados na Região de São Pedro – SP*. Estudo da Fenomenologia com Ênfase Geotécnica. Rio Claro – SP. 1991. 140f. Dissertação de Mestrado. IGCEUNESP- Campus de Rio Claro, 1991.

SANTOS, C. N. C. de. *Entre o litoral Sul de Sergipe e o litoral Norte da Bahia: onde as políticas territoriais se encontram*. 2017. 292f. Tese de Doutorado em Geografia. Programa de pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.

SANTOS, R. F. *Planejamento Ambiental: Teoria e Prática*. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2004.

SAUER, C. O. A Morfologia da Paisagem. In: CORRÊA, R. L.; ROSENDAHL, Z. (Orgs.). *Paisagem, Tempo e Cultura*. Rio de Janeiro: EDUERJ, 1998.

SILVA, M. L. N; CURI, N; LIMA, J. M; FERREIRA, M. M. Avaliação de Métodos Indiretos de Determinação da Erodibilidade de Latossolos Brasileiros. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 35, n.6, p.1207-1220, 2000.

SPÖRL, C. *Metodologia para a Elaboração de Modelos de Fragilidade Ambiental Utilizando Redes Neurais*. 2007. 185f. Tese de Doutorado Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo, 2007.

TROLL, Carl. A Paisagem Geográfica e sua Investigação. *Espaço e Cultura*, nº 4, junho, 1997.

TROPPEMAIR, H; GALINA, M. H. Geossistemas. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, ano 05, n. 10, 2006.

VALE JÚNIOR, J. F; BARROS, L. S; SOUSA, M. I. L; UCHÔA, S. C. P. Erodibilidade e Suscetibilidade à Erosão dos Solos de Cerrado com Plantio de *Acacia mangium* em Roraima. *Revista Agro@mbiente*. On-line, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2009.