

AVALIAÇÃO DA FRAGILIDADE POTENCIAL E EMERGENTE DA SUB-BACIA DO RIACHO DO IPIRANGA

ASSESSMENT OF POTENTIAL AND EMERGING FRAGILITY IN THE RIACHO DO IPIRANGA WATERSHED

Daiana de Andrade Matos

Universidade Federal da Bahia, Brasil

E-mail:diana.geo@outlook.com

RESUMO

Este estudo adapta a metodologia de Ross (1994, 2005, 2012) para determinar os níveis de fragilidade ambiental na Sub-Bacia Hidrográfica do Riacho do Ipiranga. A abordagem envolveu o mapeamento das fragilidades potenciais e emergentes à erosão, com validação em campo das áreas identificadas. O estudo revelou que 33% do território da sub-bacia se encontra nas classes de alta e muito alta fragilidade potencial. Em relação à fragilidade emergente, essas classes representam 42% da área de estudo. Os dados cartografados destacam áreas que necessitam de maior atenção no contexto da gestão ambiental, fornecendo subsídios para intervenções e políticas voltadas à conservação e mitigação de impactos ambientais. Além disso, o estudo enfatiza a importância da integração de estudos de campo com técnicas de mapeamento para uma avaliação mais precisa e eficaz das condições ambientais.

Palavras-chave: Fragilidade ambiental; Bacia Hidrográfica; Planejamento ambiental.

ABSTRACT

This study adapts the methodology of Ross (1994, 2005, 2012) to determine the levels of environmental fragility in the Riacho do Ipiranga Sub-Basin. The approach involved mapping potential and emerging erosion fragilities, with field validation of the identified areas. The study revealed that 33% of the sub-basin territory falls into the high and very high potential fragility classes. In terms of emerging fragility, these classes represent 42% of the study area. The mapped data highlight areas that require greater attention in the context of environmental management, providing support for interventions and policies aimed at conservation and mitigation of environmental impacts. Additionally, the study emphasizes the importance of integrating field studies with mapping techniques for a more precise and effective assessment of environmental conditions.

Keywords: Environmental fragility; Watershed; Environmental planning.

1 INTRODUÇÃO

O planejamento para a gestão ambiental não pode ser estático, mas deve integrar o entendimento do processo de ocupação que guia o desenvolvimento e a utilização do território e seus recursos (Ross, 1990). O conhecimento integrado dos aspectos naturais e humanos de um ambiente específico - como solo, relevo, geologia, vegetação, pluviosidade, e uso da terra - possibilita uma compreensão mais

completa de sua dinâmica. Isso, por sua vez, permite identificar áreas mais suscetíveis a desequilíbrios e orientar escolhas de uso da terra que minimizem impactos ambientais.

No Brasil, Ross (1994) introduziu o conceito de fragilidade ambiental em seu estudo "Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados". O autor argumenta que a fragilidade dos ambientes naturais diante da intervenção humana depende de suas características intrínsecas. Inicialmente em equilíbrio dinâmico, os ambientes naturais foram progressivamente desestabilizados pelo impacto das atividades humanas na exploração dos recursos naturais.

A metodologia proposta por Ross (1994) parte do princípio de que a natureza é caracterizada por interações complexas entre seus componentes físicos e bióticos, e avalia as potencialidades do ambiente de forma integrada, conciliando suas características naturais com suas limitações. Este princípio é fundamentado no conceito de Unidade Ecodinâmica de Tricart (1977). Os conceitos introduzidos por Ross (1994) estabeleceram novos critérios para definir Unidades Ecodinâmicas Estáveis e Instáveis, os quais são detalhados na metodologia deste trabalho.

Smith e Theberge (1986) definem fragilidade como o oposto de estabilidade, onde a estabilidade refere-se à rapidez com que um sistema retorna ao equilíbrio após uma perturbação, enquanto a fragilidade é a vulnerabilidade de um ecossistema à desestabilização, seja por perturbações naturais ou humanas.

Ross (1994, p. 64) enfatiza que "os estudos integrados de um território específico exigem a compreensão da dinâmica de funcionamento do ambiente natural, com ou sem a intervenção humana". Neste sentido, a fragilidade ambiental pode ser analisada sob duas perspectivas distintas: a fragilidade ambiental potencial e a fragilidade emergente. A primeira refere-se aos níveis de fragilidade dos elementos naturais de uma área específica, como tipo de solo, declividade do relevo, erosividade, erodibilidade, entre outros. A fragilidade emergente incorpora esses elementos naturais observados na fragilidade potencial com as intervenções humanas nos territórios, como o uso do solo (KAWAKUBO et al., 2005).

As bacias hidrográficas são unidades territoriais intrinsecamente ligadas à gestão ambiental, apresentando características naturais como relevo, tipo de solo e geologia, que juntas formam um atributo conhecido como fragilidade natural. Ao considerar a influência humana, torna-se possível avaliar o grau de degradação desses sistemas. Portanto, a aplicação de estudos de fragilidade ambiental em bacias hidrográficas constitui uma ferramenta essencial para o planejamento ambiental estratégico.

Assim, este trabalho realiza o mapeamento da fragilidade ambiental na Sub-Bacia Hidrográfica do Riacho do Ipiranga, Figura 01, utilizando a metodologia adaptada de Ross (1994, 2005, 2012), como contribuição para o planejamento e gestão ambiental da referida área.

A relevância da Sub-bacia do Riacho do Ipiranga consiste no fato de que águas provenientes desta contribuem diretamente para o abastecimento de 54% da população do município de Presidente Tancredo Neves, no entanto, as interferências antrópicas na área estudada podem comprometer a produção de água, havendo, destarte, necessidade de intervenções, para que se garanta o abastecimento e se conserve a biodiversidade local. Neste sentido, o presente trabalho indica as áreas que necessitam de maior atenção e pode auxiliar no processo de gestão da área.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

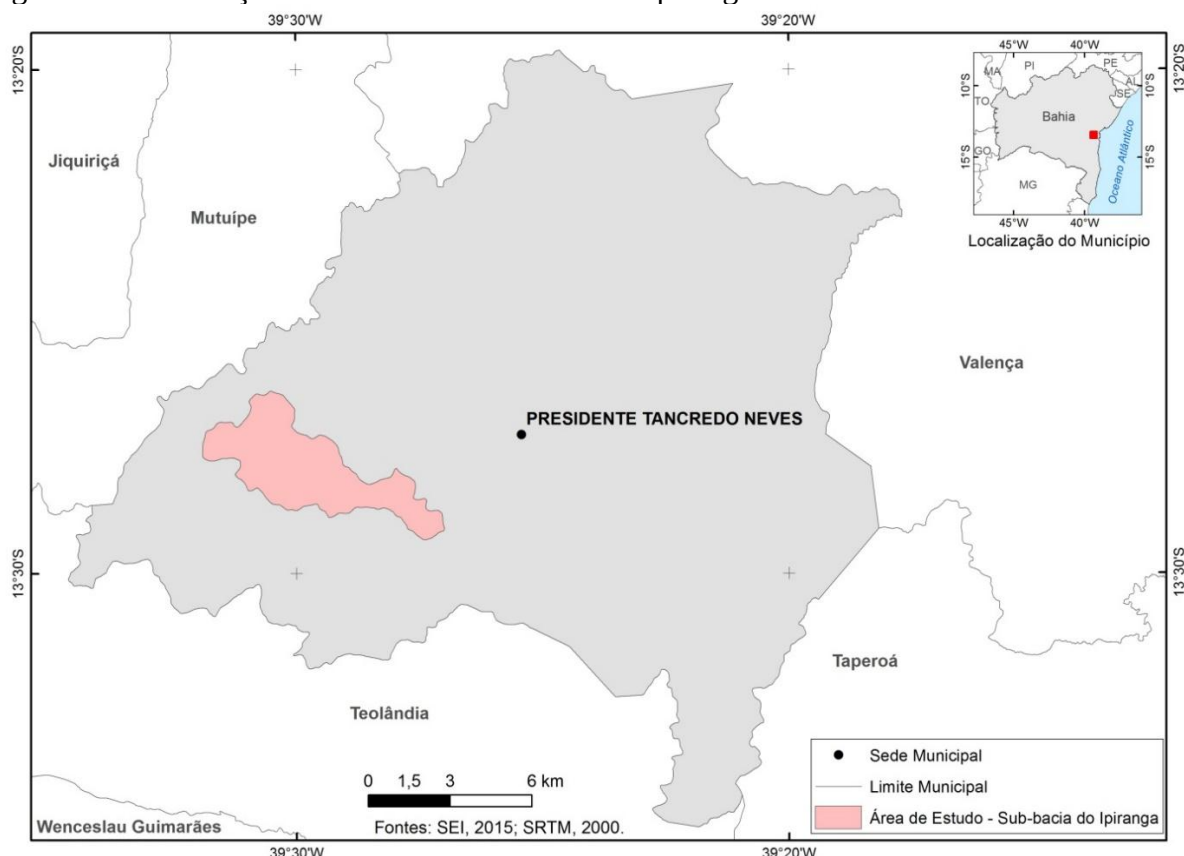
2.1 Levantamento de dados e revisão de literatura

Neste trabalho, realizou-se uma revisão teórica sobre a abordagem sistêmica e sua aplicabilidade na geografia, sobretudo, nos estudos de bacias hidrográficas. Revisou-se também os estudos sobre

fragilidade ambiental e legislação ambiental. Isto foi feito com base na leitura de livros, teses, dissertações, artigos e periódicos que versam sobre a temática.

Foram levantados e analisados os dados referentes ao meio físico ambiental da área de estudo (geomorfologia, hidrografia, vegetação, climatologia, entre outros.), a partir de revisão bibliográfica, pesquisa documental e cartográfica. A pesquisa documental foi realizada em acervos públicos, instituições, dentre estas, destaca-se: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (Embasa); Secretaria de Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Presidente Tancredo Neves/BA, Documentos cedidos pela Comunidade Ribeirinha.

Figura 01: Localização da Sub-Bacia do Riacho do Ipiranga.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Os *softwares* de geoprocessamento utilizados nesta pesquisa foram: Spring versão 5.3 e 5.4.3, GeoDMA 02.2, plugin do aplicativo TerraView, ambos do Instituto Nacional Pesquisas Espaciais, e ArcGIS *Free Trial*. Estes foram de fundamental importância, contribuindo com uma melhor compreensão da espacialização das questões estudadas.

2.2 Base cartográfica

Utilizou-se como base cartográfica a composição colorida - Bandas 3(R), 2 (G), 1 (B) - de duas imagens do satélite RapidEye, com resolução espacial de 5 m georreferenciadas para o sistema de

projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 24 e sistema geodésico de referência SIRGAS 2000. Essas imagens foram obtidas em 2011, no mês de junho, fornecidas pelo Ministério Público da Bahia.

Os dados topográficos utilizados na delimitação da sub-bacia são provenientes do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), do ano de 2000, com resolução horizontal de 30m. A imagem utilizada no trabalho foi obtida a partir site *Global Data Explorer- NASA SRTM-1 ARCSEC*. Com os dados do SRTM gerou-se: rede de drenagem, delimitação de bacia, hipsometria, declividade, gerou-se perfil topográfico e modelo 3D da Sub-Bacia.

2.2.1 Pré-tratamento

Utilizou-se o SRTM com um buffer de 5 km a partir do limite da Sub-bacia, para evitar efeitos de borda. O MDE é primeiramente submetido ao comando *Focal statistics*, para corrigir as possíveis anomalias nas curvas de nível geradas do MDE original. Em seguida, este MDE “filtrado” foi conduzido ao comando *Fill* que remove as depressões espúrias conforme metodologia proposta por Oliveira e Filho (2013). Esta base de dados somente foi utilizada na delimitação da sub-bacia hidrográfica do Riacho do Ipiranga, extração automática da rede de drenagem, geração de hipsometria, modelo 3D, declividade, curvas de nível e determinação da posição geográfica das áreas relativas às bases dos morros.

2.2.2 Delimitação da Sub-Bacia

Para a realização da delimitação da sub-bacia utilizou-se o software de geoprocessamento *ArcGIS Free Trial*, neste o processo subdividiu-se em seis etapas: preenchimento de depressões (“*fill sinks*”), definição das direções de fluxo (“*flow direction*”), determinação do fluxo acumulado (“*flow accumulation*”), extração de drenagens (“*conditional*”), ligação de cruzamentos de fluxo (“*stream link*”) e, por fim, delimitação de bacias (“*watershed*”). Para a extração das redes de drenagem utilizou-se as imagens SRTM. A partir destas gerou-se as direções de fluxo da drenagem com comando “*flow direction*” e estabeleceu-se as direções de fluxo para obter o fluxo acumulado. Com a ferramenta “*conditional*”- valor de fluxo acumulado maior que o limiar 100- gerou-se as drenagens. Estas redes de drenagem foram validadas em campanhas de campo (2014, 2015, 2016, 2017 e 2023).

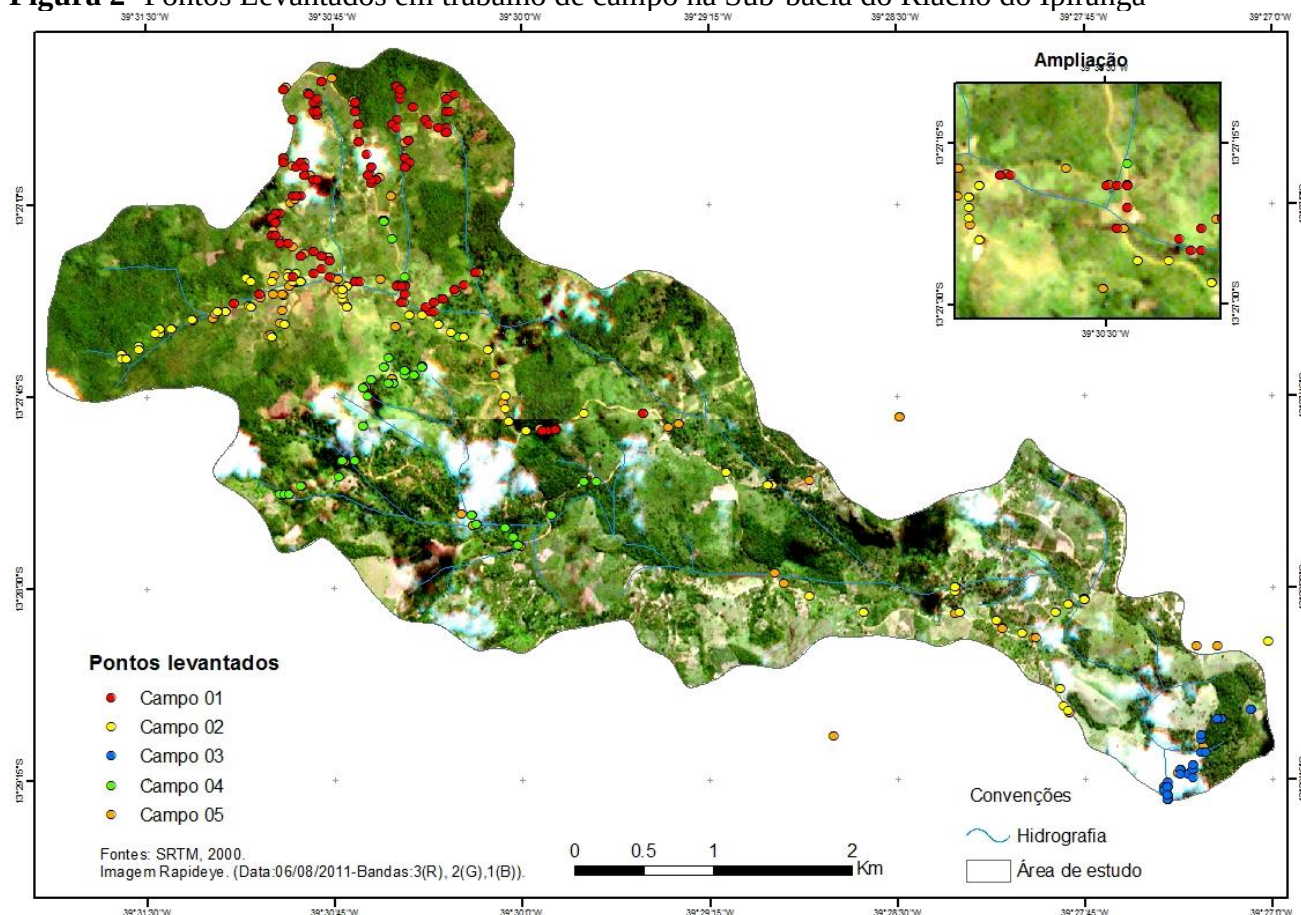
2.2.3 Trabalho de campo

O trabalho de campo é uma etapa fundamental na construção do conhecimento geográfico. Em campo tem-se a possibilidade de observar aquilo que é estudado em seus variados aspectos e analisá-lo criticamente, aproximando-se, desse modo, da realidade concreta. Nesse sentido é possível aprofundar os estudos teóricos e levantar novas possibilidades de análises. Cabe destacar que, diante da complexidade do real, um trabalho de campo pode ser enriquecido através da percepção sistêmica. Nesta pesquisa foram realizados seis campanhas de campo: nas datas 07/12/2014, 04/01/2015 de 07/01/2017, 10/01/2017, 16/01/2017, 17/01/2017 e 20/06/2017. Nestas visitas utilizou-se um GPS - *global positioning system*- Garmin Etrex e planilhas de campo. Fotografou-se com coordenadas de latitude e longitude, com o auxílio do celular (Apple, Iphone 11).

Esta etapa ajudou no conhecimento da área de estudo e no planejamento dos demais trabalhos de campo. Realizou-se visitas de campo em todos os cursos da Sub-Bacia para verificar alguns perfis de solo e sanar algumas dúvidas quanto ao mapeamento de cobertura e uso da terra e fragilidade ambiental.

Foram levantados 182 pontos com o GPS de navegação e capturadas 991 fotografias georreferenciadas. Estes pontos e fotografias auxiliaram no processo de validação das cartas temáticas e da interpretação da realidade estudada. Nesse processo: Mapeou-se as principais nascentes da Sub-Bacia; Validou-se a drenagem extraída, para confirmar o regime dos corpos hídricos, largura e estado de conservação dos mesmos; Validou-se o mapeamento de cobertura e uso da Terra; Levantou-se os pontos de localização de povoados, postos de saúde e escolas; Verificou-se as áreas que apresentaram maiores índices de fragilidade e não conformidade com o Código Florestal vigente; Observou-se os cortes nas estradas para verificar os perfis dos solos. Os pontos visitados podem ser visualizados na figura 2.

Figura 2- Pontos Levantados em trabalho de campo na Sub-bacia do Riacho do Ipiranga



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

3 BASE TEMÁTICA

3.1 Fragilidade ambiental

No método proposto por Ross (1994,2005), os procedimentos operacionais requerem uma base de dados que englobe informações referentes à declividade, tipo de solo e precipitação pluviométrica, além de dados acerca do uso da terra e cobertura vegetal, sendo que as informações são analisadas de

forma integrada, gerando um mapa-síntese, em que é possível identificar os diferentes graus de fragilidade que o ambiente apresenta. Para tanto, atribuiu-se um índice de fragilidade que varia de 1 a 5 para cada componente do meio físico analisado, conforme o grau de fragilidade para aquele parâmetro, conforme descrito em Ross (2000; 1994; 1992), Tabela 1:

Tabela 1- Graus de Fragilidade / estabilidade

Grau de Fragilidade	Intervalo de classe
Muito fraca	1
Fraca	2
Média	3
Forte	4
Muito forte	5

Fonte: Ross (1994, 2012). Elaborado pela autora (2024).

O modelo de Fragilidade Ambiental de Ross (1994) pode ser executado a partir de dois apoios: O Índice de Dissecação do Relevo ou as Classes de Declividade . Em trabalhos de escala média (1:50.000, 1:100.000, 1:250.000) utiliza-se os Índices de Dissecação dos Relevo, abordando os aspectos morfométricos, e nos estudos em escalas de maior detalhe (1:25.000, 1:10.000, 1:5.000), como este, utiliza-se como base as Classes de Declividades dos terrenos.

Ross (1994, 2012) considera que as unidades de fragilidade dos ambientes naturais devem ser resultantes da combinação de um dos temas relacionados a morfometria da área estudada com classes de solos, cobertura vegetal e pluviosidade. A metodologia para determinação da fragilidade ambiental com base nas classes de declividade, proposta por Ross (Idem) é a mais utilizada no meio científico e será aqui utilizada.

Na proposta metodológica, o autor atribui um maior peso a declividade, pois esta indica respectivamente o vigor dos processos erosivos, dos riscos de escorregamento/deslizamento e inundações frequentes. O termo declividade refere-se à inclinação do relevo em relação ao horizonte. A declividade guarda relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética e, portanto, quanto maior a declividade mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais transforma-se em energia.

A hierarquia para o fator declividade foi estabelecida com base em estudos de Capacidade de Uso/Aptidão Agrícola associados à riscos de processos erosivos. O índice 1 indica maior resistência a ocorrência de processos erosivos e o índice 5 o contrário. Por exemplo, as Planícies e Terraços Aluviais, recebem o índice 1, pois são pouco susceptíveis a ocorrência de processos erosivos. Em morros íngremes com vertentes retilíneas, esse índice é 5, por apresentar alta susceptibilidade a erosão. As classes variaram de 1 a 5, sendo 1 muito baixa e 5 muito alta (Tabela 2).

Tabela 2- Categorias Hierárquicas das Classes de Declividade

Classes do relevo	Intervalo de Declividade	Fragilidade	
Plano- Suave ondulado	até 6 %	1-	Muito fraca
Suave ondulado- Ondulado	de 6 a 12 %	2-	Fraca
Ondulado	de 12 a 30 %	3-	Média
Forte ondulado	de 20 a 30 %	4-	Forte
Forte ondulado- Montanhoso	Acima de 30 %	5-	Muito forte

Fonte: Adaptado de Ross (1994, 2012) e Santos (2013). Elaborado pela autora (2024).

O tema declividade foi gerado a partir dos dados do modelo de elevação de superfície *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), do ano de 2000. Com a utilização de um *software* de geoprocessamento, o modelo de elevação de superfície foi convertido para declividade. Os intervalos de declividade adotados foram aqueles propostos por Ross (1994, 2012).

Ross (1994) hierarquizou em cinco categorias o fator pedologia/solos, onde as classes de fragilidade foram baseadas nas características dos solos, tais como: textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade dos horizontes superficiais e subsuperficiais. Segundo Ross (1994), a fragilidade do solo ou erodibilidade corresponde à vulnerabilidade do solo à erosão. As diferenças nos atributos físicos e químicos explicam em muitos casos o fato de alguns solos erodirem mais que outros mesmo estando expostos a uma mesma condição ambiente.

Na área em estudo, segundo a Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH,2004), ocorre apenas uma classe de solo: Latossolo Vermelho-amarelo distrófico. Este é classificado como grau de fragilidade 3, segundo Ross (2005), (Quadro 1). No entanto, na área estudada, notou-se a partir da observação de perfis de solo e da grande movimentação do relevo, que a parte superior da Sub-Bacia pode apresentar ocorrência de Argissolos Vermelho-amarelo com textura média/argilosa, o que precisa ser comprovado em estudos futuros. Apesar deste indicativo, verificou-se, com base no modelo proposto, que a existência de Argissolos na área em estudo não alteraria a fragilidade da área, visto que, segundo Ross (Idem), este se enquadra, também, na classe de fragilidade 3.

Quadro 1- Classe de fragilidade e tipos de solos

Peso	Fragilidade	Tipos de solo
1	Muito baixa	Latossolo roxo, Latossolo Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo, textura argilosa.
2	Baixa	Latossolo Vermelho-Amarelo textura média/argilosa.
3	Média	Latossolo Vermelho- Amarelo, Latossolo Vermelho, Argissolo Vermelho-amarelo textura média/argilosa.
4	Forte	Argissolo Vermelho-Amarelo textura média/arenosa e cambissolos.
5	Muito forte	Argissolo Vermelho, Neossolo litólico e Neossolo Arênico.

Fonte: Ross (2005). Elaborado pela autora (2024).

Quanto ao plano de Informação pluviometria, segundo Crepani et al (2001, p. 95), as principais características da chuva que provoca os processos erosivos são: a pluviosidade total, a intensidade pluviométrica e a distribuição sazonal. Entre estas características, a intensidade pluviométrica é a mais relevante porque apresenta uma relação entre as outras, ou seja, a quantidade e o intervalo de tempo que chove, sendo este o resultado que define a quantidade de energia potencial que se transforma em energia cinética. Uma precipitação anual mais restrita, que ocorre de forma mais torrencial em um período determinado do ano, tem potencial erosivo muito maior do que uma pluviosidade anual elevada, mas com distribuição ao longo de todos os meses do ano. A distribuição sazonal das chuvas influencia na determinação das perdas de solo em áreas cultivadas, que permanecem muitas vezes sem cobertura vegetal em algum período do ano ou dependentes do tipo de manejo realizado nestas.

Para o cálculo da intensidade pluviométrica da área de estudo foram utilizadas informações sobre pluviosidade, duração do período chuvoso e características das chuvas. As informações acerca da pluviosidade foram obtidas a partir do mapa de pluviometria do estado da Bahia (SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA, 2003).

As informações sobre duração do período chuvoso e características físicas das chuvas foram obtidas de Crepani *et al.* (2001) já que Ross não estipula pesos para este plano de informação. Para Crepani *et al.* (Idem, p.97),

[...] as unidades de paisagem natural localizadas em regiões que apresentem menores índices pluviométricos anuais e maior duração para o período chuvoso receberão valores próximos à estabilidade (1,0), aos valores intermediários associam-se os valores de vulnerabilidade/estabilidade ao redor de 2,0, e às unidades de paisagem natural localizadas em regiões de maiores índices de pluviosidade anual e menor duração do período chuvoso atribuem-se valores próximos da vulnerabilidade (3,0).

O valor da intensidade pluviométrica para a área de estudo foi obtido a partir da divisão da pluviosidade média anual em milímetros, 1400mm a 1500mm (mínima e máxima), pela duração do período chuvoso, sendo de dez a doze meses (mínimo e máximo) para a área de estudo. A partir deste resultado foi definido o peso na escala de vulnerabilidade à erosão em relação à pluviometria. O valor de intensidade pluviométrica da área foi de 131.81 mm/mês. De acordo com o quadro 2, foi atribuído o peso 1 de fragilidade.

Quadro 2- Escala de erosividade das chuvas e valores de vulnerabilidade à perda de solos

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade
<50	1,0	200 – 225	1,7	375 – 400	2,4
50 – 75	1,1	225 – 250	1,8	400 – 425	2,5
75 – 100	1,2	250 – 275	1,9	425 – 450	2,6
100 – 125	1,3	275 – 300	2,0	450 – 475	2,7

Fonte: Crepani *et al.* (2000, p.98). Elaborado pela autora (2024).

Outro elemento que interfere no processo erosivo é o tipo de uso do solo e a cobertura vegetal. Além de proteger o solo contra a perda de material, o uso adequado e a cobertura vegetal o protege direta e indiretamente contra os efeitos modificadores das formas do relevo. Esta categoria expressa a fragilidade do ambiente em relação aos processos ocasionados pelo escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais. Nesse sentido, Ross (1994, 2012) mensura os graus de fragilidade para cada tipo de cobertura e uso da terra (Quadro 3).

Com base na perda de solo por tipo de cultivo, Ross (1994) estabeleceu o grau de proteção aos solos pela cobertura vegetal, em ordem decrescente da capacidade de proteção, sendo 1 muito alta e 5 muito baixa (Quadro 4). A área cuja cobertura corresponde à Floresta possui proteção **Muito Alta** ao impacto das chuvas erosivas, enquanto nas áreas recobertas por Reflorestamento confere um grau de proteção **Alto**. As áreas correspondentes às Pastagens propiciam proteção **Média** aos solos, ao passo que em cultivos de ciclo curto, a proteção corresponde à classe **Baixa**. Conforme é observado, os diferentes tipos de cobertura protegem diferentemente os solos contra os processos erosivos, favorecendo ou não a estabilidade do ambiente.

A cobertura vegetal auxilia na formação de húmus que está relacionado à estabilidade e ao teor de agregados dos solos, sendo que o tipo e a densidade da cobertura vegetal podem diminuir os efeitos dos processos erosivos naturais (GUERRA, 2011, p. 161).

De acordo com o mapeamento de cobertura e uso da terra realizado, foram encontradas as seguintes classes e, de acordo com a metodologia de Ross, atribuiu-se os seguintes pesos de fragilidade (Figura 03, Tabela 3).

3.3.2. *Elaboração das cartas de fragilidade*

Inicialmente, foram elaborados os mapas temáticos básicos: pedológicos, pluviométricos e cobertura e uso da terra. Em seguida, após a definição do índice de fragilidade de cada elemento do meio físico, já descrito, de forma automatizada, é feita a combinação das informações (associação entre os índices), que resulta no Índice de Instabilidade Emergente ou Potencial, definindo a Classe de Fragilidade daquele ambiente.

Estes planos de informações foram convertidos em raster no ArcGIS Free Trial. Para elaboração da carta final de fragilidade, o primeiro passo foi a geração de uma rotina de soma de todos os *raster*, com a ferramenta *raster calculator* do ArcGIS Free Trial, dos temas Solos, Pluviometria e Cobertura Vegetal e declividade, com base na adaptação da teoria de Ross (1994, 2005, 2012) a qual é atribuído um maior peso a declividade (Figura 5).

Após esta etapa dividiu-se o resultado pelo número de temas, obtendo-se uma média aritmética. Na sequência foi repetida a mesma rotina com todos os temas citados anteriormente, acrescentando-se o tema Uso da Terra. A equação empírica (equações 1 e 2) ilustra a rotina executada para a elaboração dos mapas sínteses de fragilidade.

Equação 1- Fragilidade Potencial = $S+C+(D.2) / 3$

Equação 2- Fragilidade Emergente = $S+C+U+ (D.3) / 4$

Em que S = fragilidade para o tema Solos; C = fragilidade para o tema Pluviometria; D = fragilidade para o tema Declividade; CV = fragilidade para o tema Cobertura Vegetal; U = fragilidade para o tema Uso da Terra.

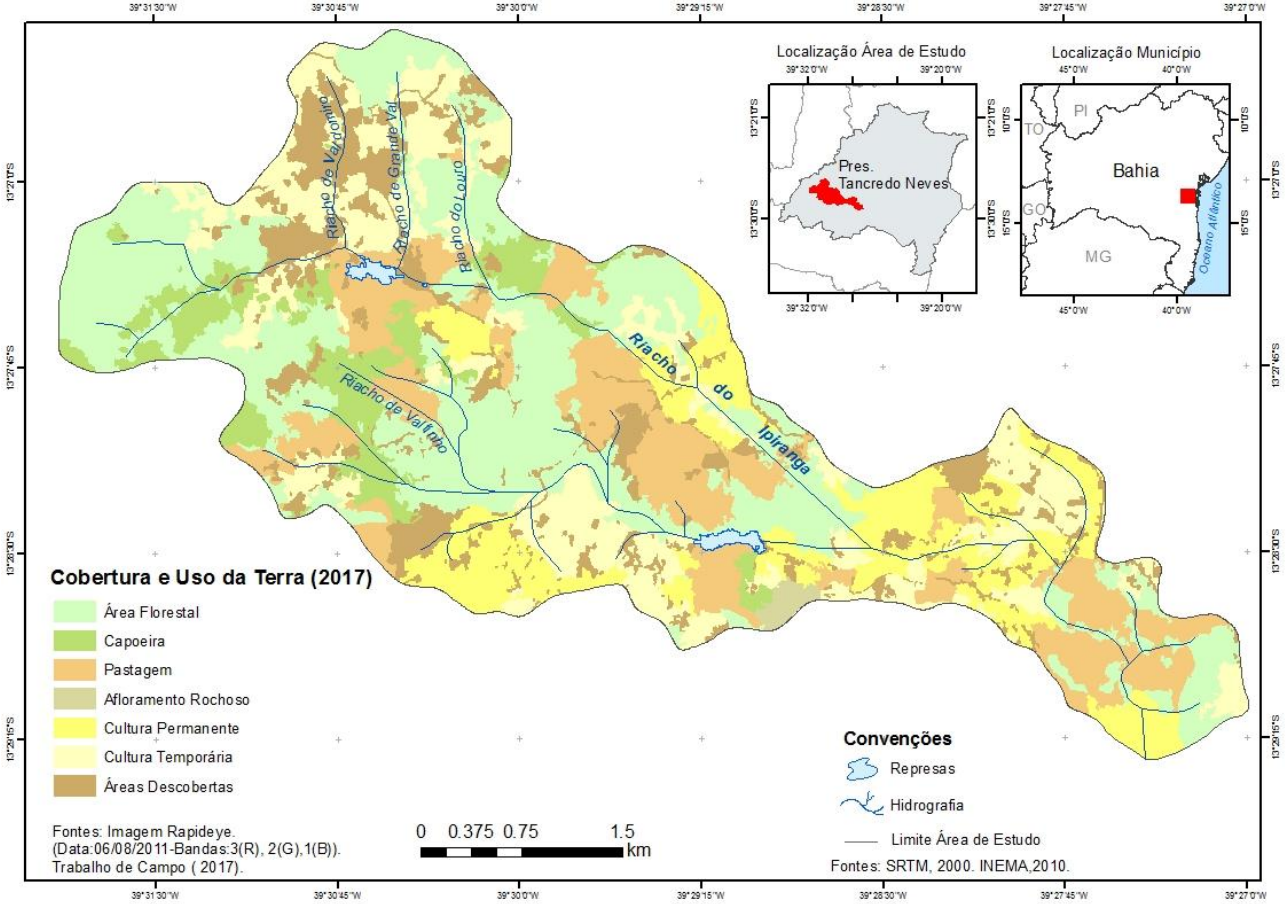
A partir desse procedimento, foi possível a identificação das Fragilidades dos Ambientes Naturais (Ross, 1992; 1994, 2000). O resultado das análises integradas, das informações supramencionadas, gera um produto síntese que expressa os diferentes graus de fragilidade do ambiente em função de suas características genéticas.

Quadro 3- Graus de Proteção segundo os Tipos de Cobertura Vegetal

Peso	Graus de Proteção	Tipos de cobertura vegetal
1	Muito Alta	Florestas; Matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.
2	Alta	Formações arbustivas naturais com extrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (mata secundária, Cerrado denso, Capoeira densa). Mata Homogênea de Pinus densa, Pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo como o cacau.
3	Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/ terraceamento como café, laranja com forrageiras entre ruas), pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas.
4	Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja com solo exposto entre ruas), culturas de ciclo curto (arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão com cultivo em curvas de nível/ terraceamento).
5	Muito Baixa à Nula	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Fonte: Ross (1994, 2012). Elaborado pela autora (2024).

Figura 3- Cobertura e uso da terra da sub-bacia do Riacho do Ipiranga



Fonte: Elaboração pela autora (2017).

Tabela 3- Graus de Proteção Tipos de Uso e Cobertura Vegetal da Sub-Bacia do Riacho do Ipiranga

Classes	Grau de Proteção
Área Florestal	1
Capoeira	2
Cultura temporária	4
Cultura permanente	2
Pastagem	4
Áreas descobertas	5
Afloramento Rochoso	1

Fonte: Elaborado pela a autora (2017).

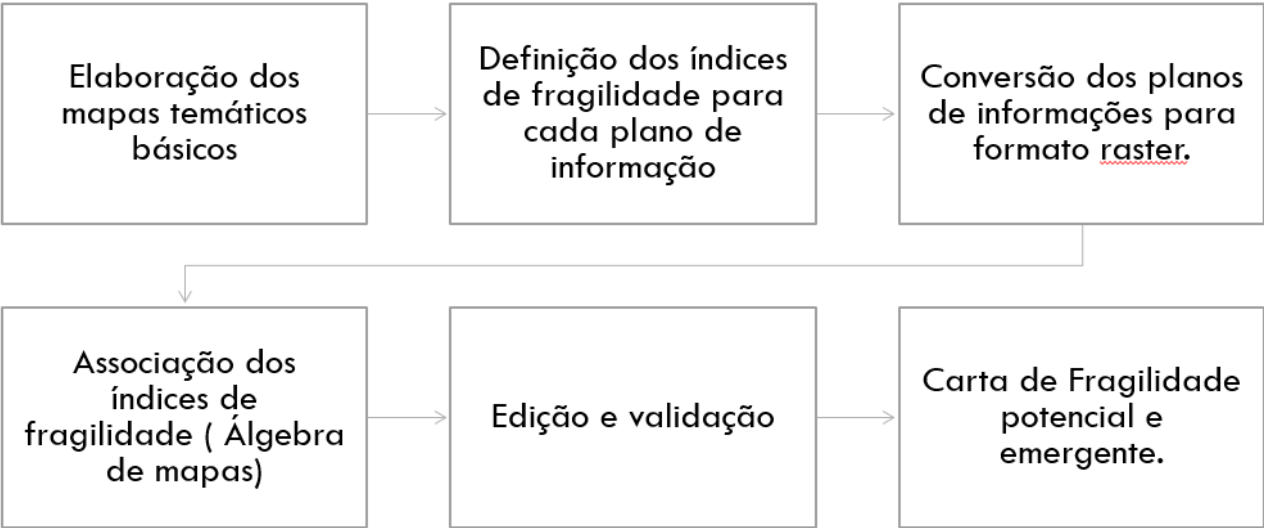
Em síntese, foram definidos os seguintes índices de fragilidade para cada plano de informação (Quadro 4):

Quadro 4- Valores atribuídos na matriz de correlação.

Declividade	até 6 %	1	
	de 6 a 12 %	2	
	de 12 a 30 %	3	
	de 20 a 30 %	4	
	Acima de 30 %	5	
Cobertura e uso da terra	Área Florestal e Afloramento Rochoso	1	
	Capoeira, Cultura permanente	2	
	Cultura temporária e Pastagem	4	
	Áreas descobertas	5	
Solos	<u>Latossolo</u> vermelho-amarelo	3	
Pluviometria	131.81mm/mês	1	

Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Figura 04- Fluxograma de elaboração das cartas de fragilidade



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

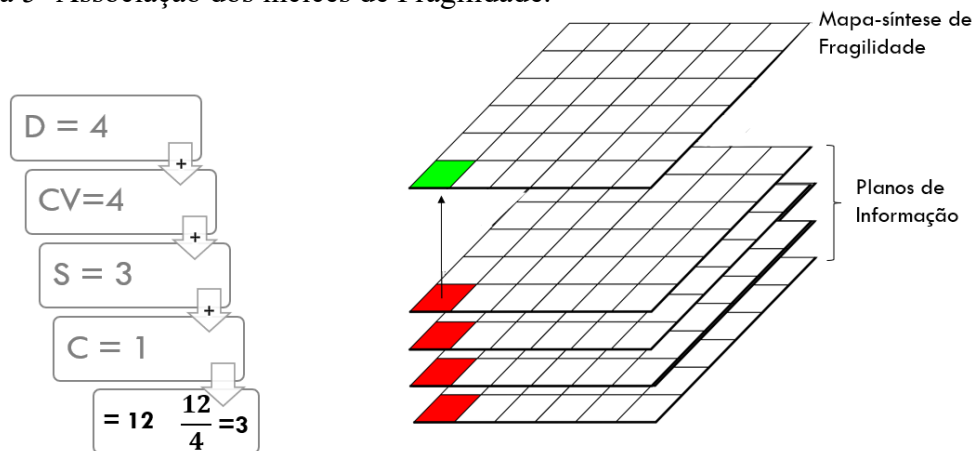
No estado da Bahia há uma carência de mapeamentos de recursos naturais em escalas maiores que 1:250.000. Os mapas disponibilizados são mais comuns na escala 1:1.000.000, por este motivo, não foi possível trabalhar com planos de informação nas mesmas escalas. Para cada plano de informação (Quadro 5) foram atribuídos pesos, conforme preceitua Ross (1994, 2005, 2012).

Quadro 1- Planos de Informação e suas respectivas fontes

Plano de Informação	Fonte	Escala
Cobertura e Uso da terra	Matos, 2017	1: 39.000
Declividade	SRTM NASA, 2000	1:250.000
Solos	PERH, 2003	1:1.000.000
Pluviometria	SEI, 2003	1:2.000.000

Elaborado pela autora (2024).

Figura 5- Associação dos índices de Fragilidade.



Elaborado pela autora (2024).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fragilidade ambiental pode ser expressada a partir de duas situações distintas: a fragilidade ambiental ou potencial e a fragilidade emergente. A primeira refere-se aos níveis de fragilidade que os aspectos naturais que uma determinada área apresenta, exemplo: tipo de solo, declividade do relevo, erosividade, erodibilidade, entre outros. Portanto, correspondem aos aspectos acima mensurados. Já a fragilidade emergente corresponde a soma dos elementos naturais, observados na fragilidade potencial, as intervenções antrópicas nos territórios, ou seja, a forma como o homem utiliza o solo (KAWAKUBO et al., 2005).

O resultado gerado a partir da análise algébrica foi organizado em dois mapas: 1- Fragilidade Potencial; 2- Fragilidade emergente. A comparação dos mapas 1 e 2 (Figura 6) e análise da tabela 4, permite analisar as diferenças entre ambos resultados.

As áreas de risco de fragilidade potencial à erosão muito fraca e fraca (Tabela 4. Mapa 1, figura 6) representam 42% da área da Sub-Bacia do Riacho do Ipiranga. Isto se dá devido a presença de relevos pouco movimentados, com baixo índice de declividade, na área central e foz da Sub-bacia (Figura 6 e 7), sobretudo nas áreas por onde cortam os riachos. A presença de latossolos, índice de fragilidade média, somado a índices pluviométricos, com peso de fragilidade 1, garantem uma menor predisposição a erosão nestes terrenos.

As áreas centrais da Sub-bacia apresentam uma fragilidade média a erosão, no entanto por coincidir com as áreas de rios, córregos, lagoas e brejos, estas se tornam vulneráveis e necessitam de atenção, sobretudo, porque as áreas que margeiam apresentam grande potencialidade a erosão, podendo assim comprometer a dinâmica dos ecossistemas aquáticos.

Na parte superior da bacia predominam relevos forte ondulados e montanhosos, com declividades superiores a 20% (32% da área da bacia). Por este motivo os índices de fragilidade natural/potencial são maiores, sendo mais representativas as classes de fragilidade média e forte (Figura 07).

Tabela 4- Quantificação das áreas de fragilidade ambiental do mapa 1 e do mapa 2 na Sub-Bacia do Riacho do Ipiranga, Bahia

Classes de Fragilidade	Mapa 1	Mapa 2
	Fragilidade potencial	Fragilidade emergente
	Área %	Área %
Muito Fraca	18%	11%
Fraca	24%	21%
Média	26%	26%
Forte	22%	24%
Muito Forte	10%	18%
Total	100%	100%

Elaborado pela autora (2024).

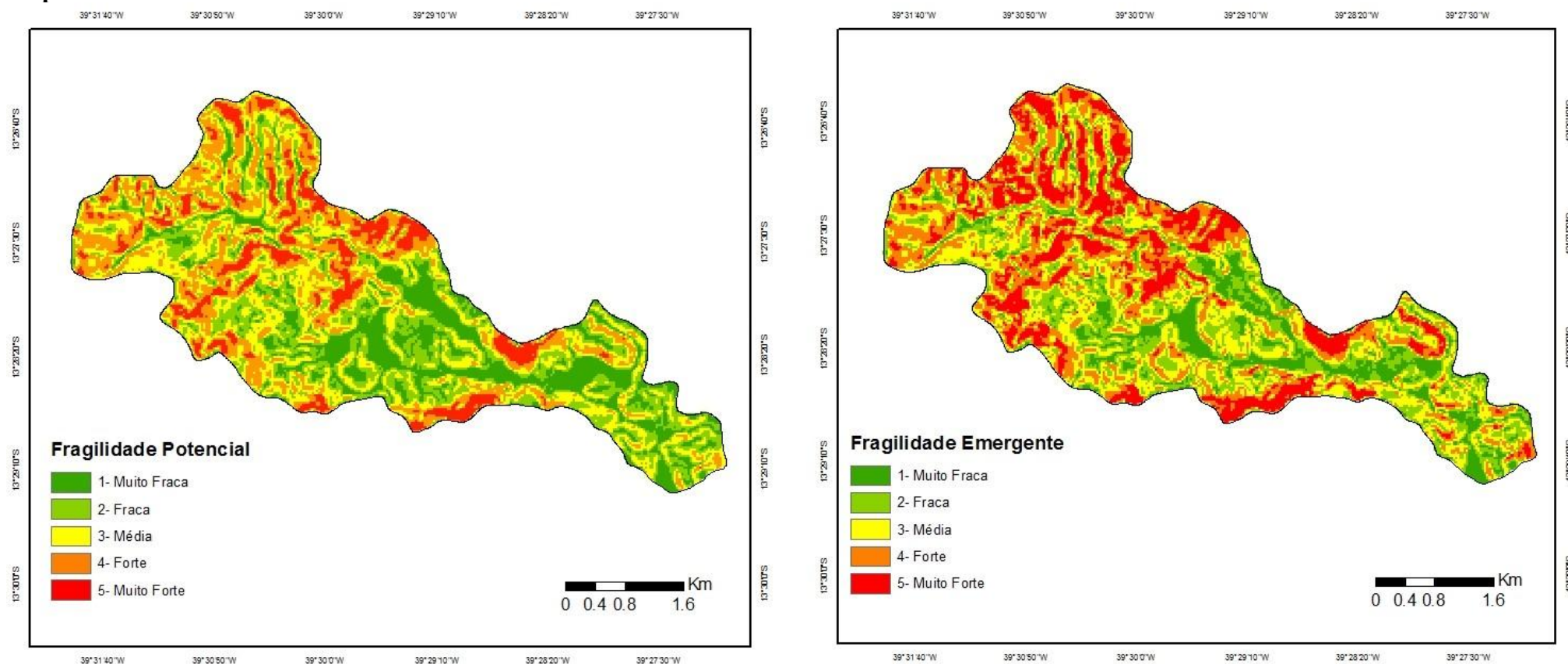
Ao analisar o quadro comparativo (Figura 07) e mapas 1 e 2 de fragilidade (Figura 6) é possível verificar a significativa alteração no resultado do segundo mapa em relação ao primeiro devido à influência da inserção da variável do uso da terra.

Na fragilidade emergente (Figura 6, mapa 2), índices de fragilidade forte e muito forte se acentuam ainda mais na bacia. Este resultado advém da soma das atividades antrópicas ao mapa da fragilidade potencial ou natural. As atividades antrópicas desenvolvidas na área são: agricultura com predominância de cultivos temporários, áreas desmatadas, solo exposto e pastagens. Estas modificam consideravelmente os índices de fragilidade. Como pode ser visto na tabela 5, aproximadamente, 43% da área da bacia é ocupada por atividades que apresentam graus de proteção baixo e muito baixo.

O cenário descrito contribui consideravelmente para que haja uma redução em 10% das áreas de fragilidade muito fraca e fraca e aumento, também, de 10% das classes de fragilidade forte e muito forte, sendo que deste último acréscimo, 8% correspondem as áreas de fragilidade muito forte. Destaca-se que os graus de fragilidade forte e muito forte perfazem 42% da área total da sub-bacia, portanto um valor bastante expressivo (Figura 6, mapa 2).

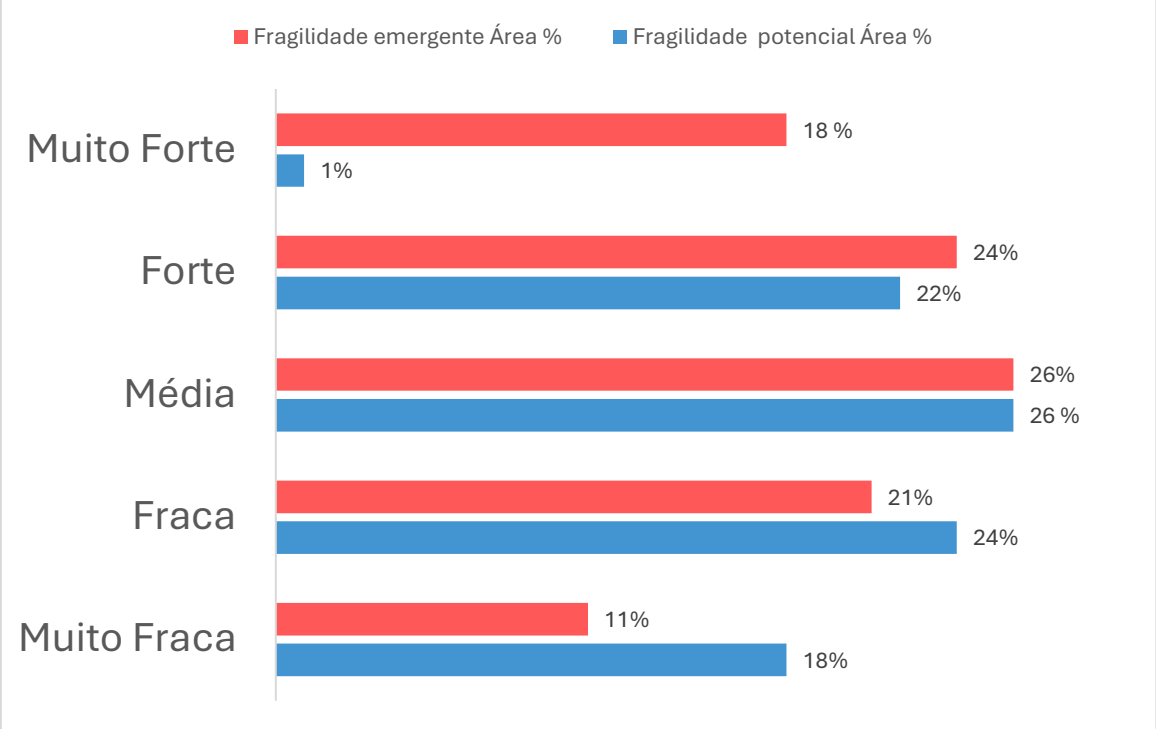
A maior área de fragilidade forte e muito forte concentra-se, em ambos os mapas, na parte superior da bacia e nas bordas da mesma, devido aos índices de declividades serem mais acentuados nessas áreas. Os índices de declividades somados a precipitação e ação antrópica (desmatamento, exposição do solo, inserção de cultivos temporários) acarretam processos erosivos como movimentos de massa que já ocorreram na área (Figura 8).

Figura 6- Fragilidade da Sub-Bacia do Riacho do Ipiranga, Ba. Consideraram-se os temas do meio físico, Mapa 1, e do meio físico e antrópico, Mapa 2



Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 07- Fragilidade emergente e potencial.



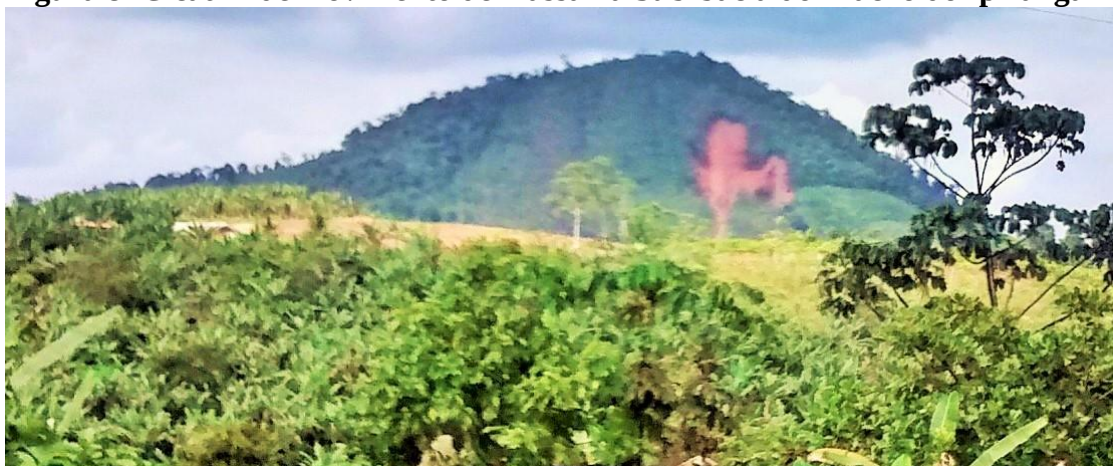
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Tabela 5- Graus de Proteção Tipos de Uso e Cobertura Vegetal da Sub-Bacia do Riacho do Ipiranga

TIPOS DE USO	Fragilidade	Área da sub-bacia %
Área Florestal	1	33,3%
Capoeira	2	5%
Cultura permanente	2	12.1%
Cultura temporária	4	17.5%
Pastagem	4	15.5%
Áreas descobertas	5	16.1%
Afloramento Rochoso	1	0,5%
Total		100%

Elaborado pela autora (2024).

Figura 8- Cicatriz de movimento de massa na Sub-bacia do Riacho do Ipiranga



Fonte: Trabalho de campo (2015).

Essa maior fragilidade na cabeceira da bacia coloca uma alerta para os sistemas de produção hídrica desta, haja vista que são nessas áreas que se concentram as principais nascentes da bacia. O desmatamento e inserção de atividades como pastagem e cultivos temporários nessas áreas, comprometem a qualidade e quantidade de água que escoará na rede de drenagem, acarretando processos erosivos que certamente repercutirão no rio em forma de assoreamento e carreamento de poluentes advindos das atividades agrárias que já foram discutidos no capítulo anterior.

Em dezembro de 2015 e 2021-2022 a região do Baixo Sul da Bahia apresentou um volume de chuvas superior ao normal. Em trabalho de campo na Sub-Bacia, pode-se verificar vários pontos de movimento de massa que acarretaram a destruição de pontes, lavouras, obstrução de estradas, deixando algumas famílias ilhadas, levando ao município decretar estado de calamidade pública (Figura, 9).

Figura 9- Ponte destruída após chuvas de dezembro de 2015, parte superior da Sub-Bacia

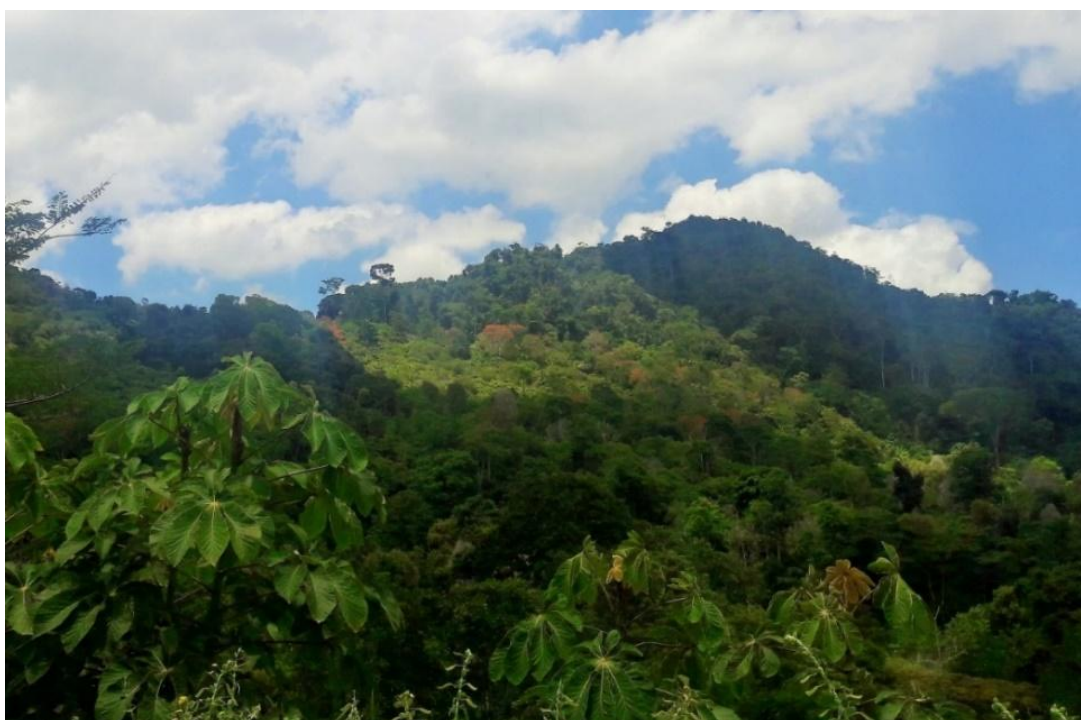


Fonte: Trabalho de campo (2015).

Na área em estudo, os efeitos das chuvas foram sentidos sobretudo na parte superior e média da Sub-Bacia, onde os índices de fragilidade são mais elevados. Notou-se que as áreas mais antropizadas foram as mais afetadas. As lavouras de banana da região, cultivadas em altos declives foram arrastadas com o escoamento de água. Grande quantidade de solo e rochas foram carregados para os riachos, modificando a paisagem. Na Barragem de captação de água para sede municipal, danificou as adutoras interrompendo o abastecimento por alguns dias.

Um dos fatores que contribuem para que a fragilidade da Sub-Bacia não seja ainda maior é o fato de que ainda há uma área significativa de cobertura vegetal preservada (Figura 10), que representa cerca de 38% da área de estudo. A localização destas, em sua maioria, coincidem com áreas de fragilidade muito fraca e fraca.

Figura 101- Resquício de Mata Atlântica na Sub-Bacia do Riacho do Ipiranga.



Fonte: Trabalho de campo (2024).

É interessante ressaltar que os cultivos permanentes, sobretudo o cacau, também tem um papel importante, pois é uma cultura que não compromete muito a estabilidade da paisagem, além do que, em muitas das áreas da Sub-Bacia, este cultivo é realizado em forma de Cabruca (cultivo consorciado com resquícios da Mata Atlântica, Figura 11).

Figura11- Cabruca na foz da Sub-Bacia do Riacho do Ipiranga



Fonte: Trabalho de campo (2017).

Convém destacar que a preponderância da classe de fragilidade média em ambos os mapas, 26% da área total, é um valor bastante significativo e não implica necessariamente na permanência futura destes índices, já que isso depende da influência da ação antrópica na área de estudo.

Com base nesses resultados, pode-se afirmar que a Sub-bacia Hidrográfica do Riacho do Ipiranga apresenta um relativo desequilíbrio ambiental, devido à predominância de altas declividades ao longo da bacia, a presença de solos com fragilidade média, somados, sobretudo, a antropização. Os fatores físicos, garantem a bacia uma instabilidade natural, ao passo que, quando se soma a análise a interferência antrópica no ambiente, a instabilidade da área se acentua significativamente, sobretudo na parte superior.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho tomou-se a bacia hidrográfica enquanto recorte espacial para análise ambiental. Esta foi estudada a partir de uma perspectiva sistêmica a partir proposta de estudo da Fragilidade Ambiental de Ross (1994, 2005, 2012.). Este busca analisar, de forma integrada, a influência de fatores referentes ao meio físico, como: geologia, solos, clima, vegetação- e antrópicos -cobertura e uso da terra.

A aplicação de técnicas de processamento digital de imagens e mapeamento via Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento foi crucial para entender as dinâmicas de uso e cobertura da terra. Posteriormente, os dados do ambiente físico foram integrados ao mapeamento de uso e cobertura da terra da sub-bacia para avaliar a Fragilidade Ambiental. Este estudo destacou diferenças entre fragilidade potencial e emergente à erosão. A avaliação da Fragilidade Potencial revelou que 33% do território da sub-bacia está em classes de fragilidade alta e muito alta. Em relação à Fragilidade Emergente, essas mesmas classes representam 42% da área de estudo. A integração de uso e cobertura da terra alterou significativamente a quantificação das classes de fragilidade alta e muito alta, sublinhando a influência humana na alteração das dinâmicas do sistema.

Com base nestes achados, é evidente que a Bacia Hidrográfica do Riacho do Ipiranga apresenta instabilidade ambiental, principalmente devido às encostas íngremes ao longo da bacia, solos moderadamente frágeis e impactos significativos da atividade humana. Estes fatores contribuem para níveis elevados de fragilidade, principalmente na parte superior da mesma.

A hierarquização da área de estudo, Sub-bacia do Riacho do Ipiranga, segundo o grau de fragilidade aos processos erosivos constituiu importante ferramenta para identificar áreas favoráveis e desfavoráveis ao desenvolvimento das mais diversas atividades antrópicas. A avaliação da Fragilidade Ambiental orienta a definição de planos de recuperação, planejamento ambiental e zoneamento na área de estudo.

O estudo do uso e cobertura da terra associado à avaliação da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica pode auxiliar na gestão territorial e governança.

É preciso destacar que a carência de sistemas de monitoramento ambiental, dados, estudos e intervenções por parte da gestão pública, faz com que eventos naturais se tornem catastróficos e gerem prejuízos ambientais, sociais e econômicos.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Do Código Florestal para o Código da Biodiversidade**. Sociedade Brasileira Para o Progresso da Ciência. São Paulo, 2010. Disponível em <<http://www.sbpcnet.org.br>> Acesso em 6 de agosto de 2016.

BAHIA (Estado). Centro de Recursos Ambientais - CRA. 2001. **Bacias hidrográficas do Recôncavo Sul**. Disponível em: <http://www.setur.ba.gov.br/governanca/planos_-de-desenvolvimento-integrado-do-turismo-sustentavel-pdits> Acessado em 15 jan 2017.

BAHIA (Estado). **Secretaria de Recursos Hídricos - SRH. 1995. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Recôncavo Sul**. Disponível em: <<http://biblioteca.inga.ba.gov.br/phl82/img/arquivo/BACIA-DO-RECONCAVO-SUL.pdf>>> Acessado em 03 fev. 2017.

BRASIL, Lei no 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**, cria o Sistema Nacional de Recursos Hídricos e dá outras providências. Brasília/DF, 1997.

BRASIL. Divisão hidrográfica nacional. **Resolução n. 32**, de 15 de outubro de 2003. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Publicado no DOU em 17 dez. 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação - SRH. 1995. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Recôncavo Sul**. Documento síntese. Governo do Estado da Bahia. Superintendência de Recursos Hídricos, Salvador.

CEPLAC – **Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira**. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br>>. Acesso em: 15 maio 2017.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de sistemas ambientais**. Edgar Blücher: São Paulo, 1999. 236 p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. G.; CREPANI, Edison et al. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2001.

DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento territorial**. São José dos Campos: SAE/INPE. 2001.

EARTHALL, J.G.; FONSECA, L.M.; BINS, L.S.; VELASCO, F.R.; MONTEIRO, A.M. **Um sistema de segmentação e classificação de imagens de satélite**. São José dos Campos: Inpe, 1991. (Inpe-5291-PRE/1696).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.: il.

FERNANDES, M.R. e SILVA, J. C. Programa Estadual de Manejo de Sub-Bacias Hidrográficas: Fundamentos e estratégias. Belo Horizonte: EMATERMG, 1994. 24p.

FISCHER, F., org. 2007. **Baixo Sul da Bahia: uma proposta de desenvolvimento territorial**. CIAGS/UFBA, Salvador Special Publication, Bethesda. Coleção Gestão Social - Série Editorial CIAGS.

FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 318 p., p. 31-71.

GUERRA, A. J. T. **O início do processo erosivo**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.17-55.

GUERRA, A. J. T.. **Processos erosivos nas encostas**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p.149-209.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, 340 p.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S. B. Degradação ambiental. In: CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 337-339.

GUERRA, M. D. F.; SOUZA, M. J. N.; LUSTOSA, J. P. G. Revisitando a teoria geossistêmica de Bertrand no século XXI: Aporte para o GTP (?), **Geografia em Questão**, v. 5, n. 2, p. 28-42, 2012.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro, 2006.

IBGE. Limite estadual: **mapa índice digital mapeamento geral do Brasil**. 4. ed. IBGE, 2011. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento_sistematico/mapa_indice_digital_4ed>. Acesso em: 1 fev. 2013.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271p. (Manuais técnicos em geociências).

IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. (Manuais técnicos em geociências).

IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. (Manuais técnicos em geociências).

INSTITUTO DE GESTÃO DAS ÁGUAS E CLIMA - INGÁ. 2010. **Programa de Monitoramento da Qualidade das Águas do Estado da Bahia**. Secretaria Estadual de Meio Ambiente. Governo da Bahia, Salvador. <http://www.inga.ba.gov.br/> (último acesso em 05/06/2011).

KAWAKUBO, F. S., MORATO, R. G., CAMPOS, K. C., LUCHIARI, A., ROSS, J. L. S. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento**. Anais...XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 2005.

Lima, W. de P., & Zakia, M. J. B. (2000). Hidrologia de matas ciliares. In *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: EDUSP/FAPESP.

RADAMBRASIL. **Mapa de Vegetação e Mapa de Geomorfologia** - Folha SD 24 - Salvador - Escala 1:1.000.000. Brasil. 1981.

ROSS, J. L. S. **Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizado**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo - SP, n. 8, p.24 30, 1994.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990. 88 p.

ROSS, J. L. S. **O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo - SP, p. 1-6, 1992.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches.. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para o planejamento. São Paulo. Oficina da textos, 2006.

ROSS. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. Anais. São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2203 - 2210.

SANTOS, R. F. Dos. **Planejamento ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Texto, 2004. 184 p.

SANTOS, S. B. dos. **Análise do uso e ocupação do solo de Áreas de Preservação Permanente utilizando ferramentas de SIG na gestão de bacias hidrográficas: o caso da bacia hidrográfica do ribeirão São Lourenço**. 2007. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

SILVEIRA, A.L.L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. São Paulo: EDUSP, 2001. p 35-51.

SILVEIRA, C. T.; OKA-FIORI, C; FIORI, A. P.; ZAI, C.. **Mapeamento de declividade de vertentes: aplicação na APA de Guaratuba / Paraná**. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia / Regional Conference on Geomorphology. Anais. 2006, Goiânia. Superintendência de Estudo Economicos e Sociais da Bahia (SEI). **Tipologia Climática conforme Thornthwaite & Matther no Sudeste da Bahia, Brasil**, 1998. Disponível em:

< http://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/mapas/pdf/tipologia_climatica_segundo_thornthwaite_e_matther_2014.pdf > Acessado em 07 fev 2016.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. SUPREN – IBGE. Rio de Janeiro, 1977.

VASHCHENKO, Y.; FAVARETTO, N.; BIONDI, D. **Fragilidade ambiental nos picos Camacuã, Camapuã e Tucum, Campina Grande do Sul, PR**. Revista Floresta, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 201–215, 2007.