

AVALIAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL E VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DE SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ALMADA-BAHIA

Environmental Fragility and Soil Loss Vulnerability Assessment in Almada River Watershed – Bahia State, Brasil

RONALDO LIMA GOMES

Universidade Estadual de Santa Cruz - Ilhéus/BA
rigomes.uesc@gmail.com

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de avaliar as fragilidades ambientais e vulnerabilidades à perda de solo em área da Bacia Hidrográfica do Rio Almada, localizada na Região Sul do Estado da Bahia. Para tanto, o método adotado inicialmente reconhece e caracteriza os atributos ambientais da bacia em função dos aspectos do substrato rochoso, formas de relevo, solos, clima e uso e ocupação. Em seguida, os dados levantados são avaliados tendo em vista o conhecimento de suas fragilidades e vulnerabilidades ambientais. Os resultados encontrados remetem a um cenário em que as classes de baixa vulnerabilidade e muito fraca a fraca fragilidade representam, em média, 44% da bacia. As classes de média vulnerabilidade e fraca a média fragilidade constituem cerca de 46%. Já as classes de alta a muito alta vulnerabilidade e média a muito forte fragilidade, quando somadas, englobam aproximadamente 10% de toda a área. Quando comparadas as duas metodologias, utilizando o coeficiente de correlação do produto-momento de Pearson (R^2), encontrou-se valor igual 0,61. Porém, quando analisados separadamente os diferentes setores geomorfológicos, nota-se clara variação nos valores desta relação.

Palavras-Chave: Fragilidade ambiental. Susceptibilidade a erosão. Uso e ocupação do solo.

ABSTRACT

This study aims to assess the weaknesses and vulnerabilities to environmental soil loss in the area of Almada River Basin, located in south of Bahia. Therefore, the method adopted initially recognizes and characterizes the environmental attributes of the basin on the basis according to the aspects of bedrock, landforms, soils, climate and land use and occupation. Then, the data raised are assessed in view of the knowledge of their fragilities and environmental vulnerabilities. The results refer to a scenario in which from the classes of low vulnerability to very weak fragility represent on average 44% of the basin. The classes of medium and low vulnerability to a very and weak fragility constitute about 46%. Whereas classes of high to very high vulnerability and to an average of very high fragility, once added, comprise approximately 10% of the whole area. When compared to the two methodologies, using the correlation coefficient of the product-moment of Pearson (R^2) it was found equal value 0.61. However, when analyzed separately the different geomorphological sectors, it is noticed clear variation in the values of this relationship.

Keywords: Environmental fragility. Susceptibility to erosion. Use and occupation of soil.

1 INTRODUÇÃO

Localizada na Região Sul do Estado da Bahia a Bacia Hidrográfica do Rio Almada (BHRA) destaca-se como um dos principais sistemas naturais da denominada Região Cacaueira, onde se encontra área significativa do bioma Mata Atlântica, além de florestas secundárias, restingas e manguezais. No início da década de 1990, com objetivo de proteger a diversidade biológica da região, disciplinar o processo de ocupação e assegurar o uso sustentável

de seus recursos naturais, foi criada pelo governo do Estado da Bahia a Área de Proteção Ambiental (APA) da Lagoa Encantada, que com sua ampliação em 2003, englobou grande parte da área da Bacia Hidrográfica do Rio Almada, justificada, de acordo com o decreto de criação, pela riqueza que a área possui como abrigo de espécies raras da fauna e flora locais e grande beleza cênica que compõe o ecossistema, além do imenso potencial ecoturístico. Recentemente, em posição contrária à afinidade turística da região, o governo do Estado da Bahia tornou de utilidade pública uma área de

1.771 hectares localizada na zona litorânea da APA, tendo em vista a construção de um complexo intermodal de transporte formado por porto, retro-área portuária, ferrovia e rodovia, com o objetivo de criar um corredor de exportação para o escoamento de minérios e grãos do centro-oeste e oeste da Bahia. Atualmente este projeto encontra-se em fase inicial de licenciamento ambiental e constitui-se em destacado tema de debate em todos os setores da sociedade do Sul da Bahia.

Neste contexto, este trabalho possui o objetivo de avaliar a qualidade ambiental da BHRA, a partir da aplicação de técnicas embasadas em metodologias de vulnerabilidades e fragilidades ambientais. De acordo com Spörl e Ross (2004) estudos relativos às fragilidades dos ambientes são de extrema importância ao Planejamento Ambiental, visto que a identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território. A aplicação de estudos que visam o mapeamento de fragilidades ambientais em bacias hidrográficas são frequentemente utilizados no Brasil a exemplo do trabalho de Kawakubo et al. (2005), que aplica técnicas de Geoprocessamento para avaliação de fragilidades ambientais da bacia do córrego Onofre em São Paulo; Gonçalves et al. (2009) com trabalhos na bacia de Dourados no Mato Grosso do Sul; Vitte e Mello (2009) na bacia do Rio Verde em São Paulo; Nakashima (2001) com estudos de avaliação de potencial erosivo na bacia do Rio Keller no estado do Paraná, dentre outros. Mais especificamente na região sul da Bahia destaca-se o trabalho de Nascimento e Dominguez (2009), que avaliam a vulnerabilidade ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras. De forma geral, os métodos de avaliação das fragilidades ambientais baseiam-se na adoção, adaptação e/ou modificações das propostas metodológicas de Ross (1994) e Crepani et al. (1996), ambas fundamentadas no conceito de ecodinâmica de Tricart (1977). Dessa forma, propõe-se neste trabalho a aplicação, em conjunto, das metodologias de Ross (1994) e Crepani et al. (1996) e posterior comparação considerando as peculiaridades da BHRA. O produto final se constituirá em um mapeamento cartográfico contendo o zoneamento da BHRA em classes das fragilidades ambientais permitindo a avaliação das potencialidades do meio ambiente de forma

integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, foram caracterizados os atributos ambientais da BHRA em função dos aspectos físico-bióticos e antrópicos (substrato rochoso, declividades, solos e uso e ocupação). Estes dados de diagnóstico foram obtidos a partir do trabalho de Gomes et al. (2006). As fragilidades e vulnerabilidades ambientais foram obtidas de acordo com as propostas de Ross (1994) e Crepani et al. (1996). Os critérios de Crepani et al. (1996) consideram que cada uma das classes dos atributos avaliados (substrato rochoso, geomorfologia, solos, uso e ocupação do solo e clima) possui um valor de vulnerabilidade que varia de 1 a 3, do mais estável para o mais vulnerável. O valor da Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo (VNPS) é obtido pela média aritmética das vulnerabilidades atribuídas a cada atributo conforme a equação(1):

$$VNPS = \frac{(SR + GM + SL + CL + UO)}{5} \quad (1)$$

onde “SR” é a vulnerabilidade do substrato rochoso; “GM” a vulnerabilidade da Geomorfologia; “SL” a vulnerabilidade dos solos; “CL” a vulnerabilidade do clima, e “UO” a vulnerabilidade do uso e ocupação do solo.

Já Ross (1994) representa a fragilidade do terreno em cinco classes hierárquicas: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5). Este autor denomina de fragilidade potencial a vulnerabilidade natural do ambiente e de fragilidade ambiental a vulnerabilidade natural associada aos graus de proteção que os diferentes tipos de uso e cobertura vegetal exercem (KAWAKUBO et al. 2005). A chamada fragilidade natural é obtida a partir de cruzamentos dos atributos de relevo, substrato rochoso, solos e clima, de modo que para cada uma das classes seja dado valor de peso, variável de 1 a 5. Para a avaliação da fragilidade potencial ou ambiental realiza-se o cruzamento entre os dados de fragilidade natural com os dados de fragilidades de uso e ocupação do solo. As equações abaixo sintetizam os procedimentos de cruzamento definidos pela metodologia de Ross (1994) [Equações (2 e 3)].

$$FN = \frac{(SR + GM + SL + CL)}{4} \quad (2)$$

$$FA = \frac{(FN + UO)}{2} \quad (3)$$

onde “FN” é Fragilidade Natural e “FA” é Fragilidade Ambiental ou Potencial.

Para avaliação da contribuição das características do substrato rochoso na análise e definição das vulnerabilidades, foram utilizados e adaptados os valores propostos por Crepani et al. (1996) e Ross (1994) para as diferentes litologias mapeadas na BHRA e disponibilizada em arquivos digital por Gomes et al. (2006). De acordo com Crepani et al. (1996) a contribuição do substrato rochoso reflete as informações relativas à história da evolução geológica do ambiente onde a unidade se encontra e as informações relativas ao grau de coesão das rochas que a compõem, ou seja, parte-se da premissa de que em substratos pouco coesos e friáveis prevalecem os processos modificadores das formas de relevo, enquanto que nas rochas coesas, prevalecem os processos de formação de solos. A BHRA é integrante da unidade geotectônica denominada de Craton São Francisco, e pertence essencialmente ao domínio geotectônico/geocronológico do Escudo Oriental da Bahia e em menor extensão da Província Costeira e Margem Continental, ambas definidas por Almeida et al. (1977). Com relação às coberturas sedimentares fanerozóicas estas englobam os sedimentos mesozóicos da Bacia Sedimentar do Rio Almada, os sedimentos terció-quaternários do grupo Barreiras e os sedimentos das planícies quaternárias (GOMES et al., 2006). A Figura 1 apresenta a distribuição das litologias do substrato rochoso na BHRA, enquanto que a Tabela 1 sintetiza os seus respectivos valores de vulnerabilidade.

Na avaliação da vulnerabilidade do relevo, Crepani et al. (1996) analisam dados morfométricos (declividade, dissecação do relevo e amplitude altimétrica). Já a metodologia de Ross (1994), de acordo com Florenzano (2008), para escalas médias e pequenas, incluindo a escala 1:100.000 deste estudo, utiliza como base de informação geomorfológica a matriz dos índices de dissecação das formas de relevo, conforme apresentada em Ross (2006). Porém, em escalas de detalhe recomenda-se a utilização de dados de declividade. Os atributos morfométricos (declividade e hipsometria) foram obtidos a partir

de informações contidas no Modelo Digital do Terreno (MDT) da BHRA, elaborado a partir da manipulação de dados matriciais extraídos do Projeto TOPODATA (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2009). As imagens TOPODATA estão apresentadas em arquivos digitais compatíveis com as quadrículas de articulação 1:250.000 com dimensão de pixels de 30m x 30m. A Tabela 1 apresenta os valores de vulnerabilidade atribuídos por Crepani et al. (1996) adaptados às classes de declividade encontradas na BHRA.

Tabela 1: Valores de vulnerabilidade e fragilidade para o atributo substrato rochoso na BHRA

Atributo	Valor de Vulnerabilidade	
	Crepaniet al. (1996)	Ross (1994)
Substrato Rochoso		
Complexo Ibicaraí – Buerarema	1,3	2,2
Complexo São José	1,5	2,5
Corpo Intrusivo Ibirapitanga-Ubaitaba	1,3	2,2
Suíte Intrusiva Itabuna	1,4	2,3
Complexo Almadina	1,3	2,2
Metagabros e meta basaltos	1,6	2,7
Formação Sergi	2,5	4,2
Formação Itaparica	2,7	4,5
Grupo Ilhas	2,7	4,5
Formação Urucutuca	2,8	4,7
Formação Candeias	2,8	4,7
Formação Barreiras	2,6	4,3
Terraços Marinhos	3,0	5,0
Depósitos Aluvionares	3,0	5,0
Depósitos Flúvio-Lagunares	3,0	5,0
Classes de Declividade (%)		
<2	1,0	-
2 – 6	1,5	-
6 – 20	2,0	-
20 – 50	2,5	-
>50	3,0	-
Distância entre Interflúvios (m)		
5500 - 3500	1,3	1,0
500 - 1000	2,7	3,0
500 - 750	2,8	4,0
1000 - 1500	2,6	2,0
Amplitude Altimétrica (m)		
400 - 600	3,0	5
40 - 100	1,6	3,0
40 - 80	1,4	3,0
30 - 50	1,2	2,0
<20	1,0	1,0
Solos		
Espodosolos	3,0	5,0
Neossolos Quartzarênicos	3,0	5,0
Argissolos V.A. distróficos	1,0	1,0
Argissolos V.A. eutróficos	1,0	1,0
Latossolos Amarelos distróficos	1,0	2,0
Luvissolos Crômicos	2,0	4,0
Uso e Ocupação do Solo		
Áreas úmidas	3,0	5,0
Superfície Aquática	1,5	1,0
Manguezais	3,0	1,0
Cabruca	1,5	2,0
Floresta	1,0	1,0
Pastagens	2,0	3,0
Gramíneas	2,0	3,0
Áreas Urbanizadas	3,0	5,0
Áreas de Solo Exposto	3,0	5,0

Com objetivo de caracterizar a dissecação do relevo e a amplitude altimétrica, úteis nas duas propostas metodológicas, foi utilizado o mapa de formas de relevo da BHRA proposto em Gomes et al. (2006) (Figura 2). Para cada uma das formas de relevo mapeadas foi construído, em ambiente de SIG e com a utilização do MDT, perfil topográfico típico de onde foram extraídas informações de amplitude do relevo e distância entre os interflúvios (Figura 3). Em seguida estes dados foram comparados com os valores de classes de vulnerabilidades propostos por Crepani et al. (1996) e Ross (2006) (Tabela 1). Os modelados de acumulação associam-se, principalmente, a formas de acumulação marinha (cordões arenosos das planícies costeiras), acumulações fluviais (depósitos de canal e de planícies aluvionares), praias e mangues atuais. Já os modelados de dissecação são resultantes do processo de dissecação de rochas do embasamento cristalino (Serras e Maciços Pré-litorâneos, Tabuleiros Pré-litorâneos e Depressão Itabuna-Itapetinga) e de sedimentos cretáceos da Bacia Sedimentar do Rio Almada (Tabuleiros Pré-litorâneos).

Com relação aos dados de solos, estes foram obtidos a partir do mapa de cobertura de solos (Figura 4) disponível em Superintendência de Recursos Hídricos (2001) e em seguida foram atribuídos valores de vulnerabilidade as classes encontradas (Tabela 1).

Os dados de uso e ocupação do solo da BHRA adotados foram de Gomes et al. (2006), que utilizou uma classificação supervisionada em imagens de satélite LANDSAT 5 TM do ano de 2006.

O cenário atual de uso e ocupação do solo na BHRA demonstra que áreas antropizadas por pastagens, solo exposto e áreas urbanas, correspondem a cerca de 23% da área total da bacia, enquanto que áreas de cobertura vegetal natural, representadas pela floresta Atlântica e áreas de manguezais, perfazem 18% do total. O cenário é completado pela proeminente cobertura da cabruca (mata atlântica raleada por plantio de cacau), com cerca de 54%, e pelas áreas de superfície aquática e úmidas com (3,9%). A Figura 5 apresenta a distribuição das classes de uso e ocupação, enquanto que a Tabela 1 demonstra os valores de vulnerabilidade para os dois métodos avaliados.

Para a avaliação do atributo climático utilizou-se os dados constantes em SRH (2001) em que a área da BHRA encontra-se inserida em faixa litorânea com índices pluviométricos de médias anuais de 1780mm, configurando uma média

aproximada de 150mm/mês. Tal intensidade reflete, de acordo com Crepani et al. (2004) uma vulnerabilidade à perda de solo de valor = 1,5, enquanto que para a proposta de Ross (1994) utiliza-se o valor de 2,5.

Para a correlação entre os valores de fragilidade ambiental e vulnerabilidade da BHRA, foi calculado o valor do coeficiente de correlação do produto-momento de Pearson (R^2) através da utilização da extensão do programa *ArcView* denominada *Grid and Theme Regression 3.1* disponibilizada por Jenness (2006).

3 FRAGILIDADE AMBIENTAL E VULNERABILIDADE NATURAL A PERDA DE SOLO (VNPS) DA BHRA

3.1 Fragilidade e VNPS dos Atributos Ambientais

As Vulnerabilidades Naturais a Perda de Solo (VNPS) e fragilidades dos atributos obtidos a partir da aplicação dos métodos de Crepani et al. (1996) e Ross (1994), respectivamente, podem ser visualizados nos mosaicos das Figuras 6 e 7.

Com relação à distribuição da vulnerabilidade das tipologias do substrato rochoso (Figuras 6a e 7a), nota-se a ocorrência localizada das classes alta a muito alta de vulnerabilidade e forte a muito forte de fragilidade associadas à distribuição dos sedimentos mesozóicos da Bacia sedimentar do Almada, aos sedimentos inconsolidados do grupo Barreiras e aos sedimentos recentes inconsolidados da planície costeira. A alta vulnerabilidade e fragilidade, neste caso, se dão em função das características elevadas de permeabilidade e porosidade destes sedimentos, além de sua baixa coesão. Nas áreas planas da planície litorânea, a vulnerabilidade deste substrato se dá em função da pouca profundidade do nível d'água subterrâneo, que em alguns trechos ocorre a 4m.

Nas áreas mais íngremes, associadas ao substrato dos sedimentos mesozóicos, a baixa coesão, influenciada pela textura predominantemente arenosa, favorece o potencial a erosão. Por outro lado, as áreas de vulnerabilidade baixa a média e de fraca a média fragilidade estão associadas a ocorrências de rochas cristalinas de natureza predominantemente gnáissico-migmatíticas e sieníticas que, apesar de bastante fraturadas, desenvolvem perfis de alteração predominantemente espessos e de comportamento laterítico do ponto de vista

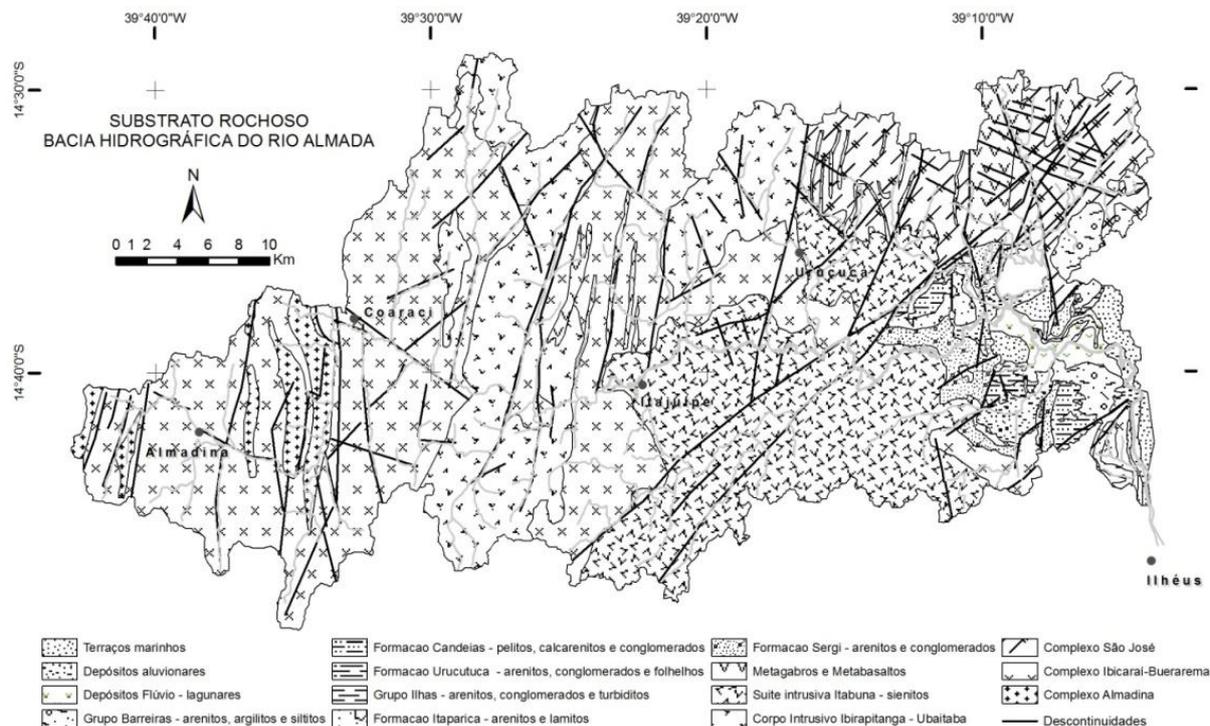


Figura 1: Substrato Rochoso da BHRA

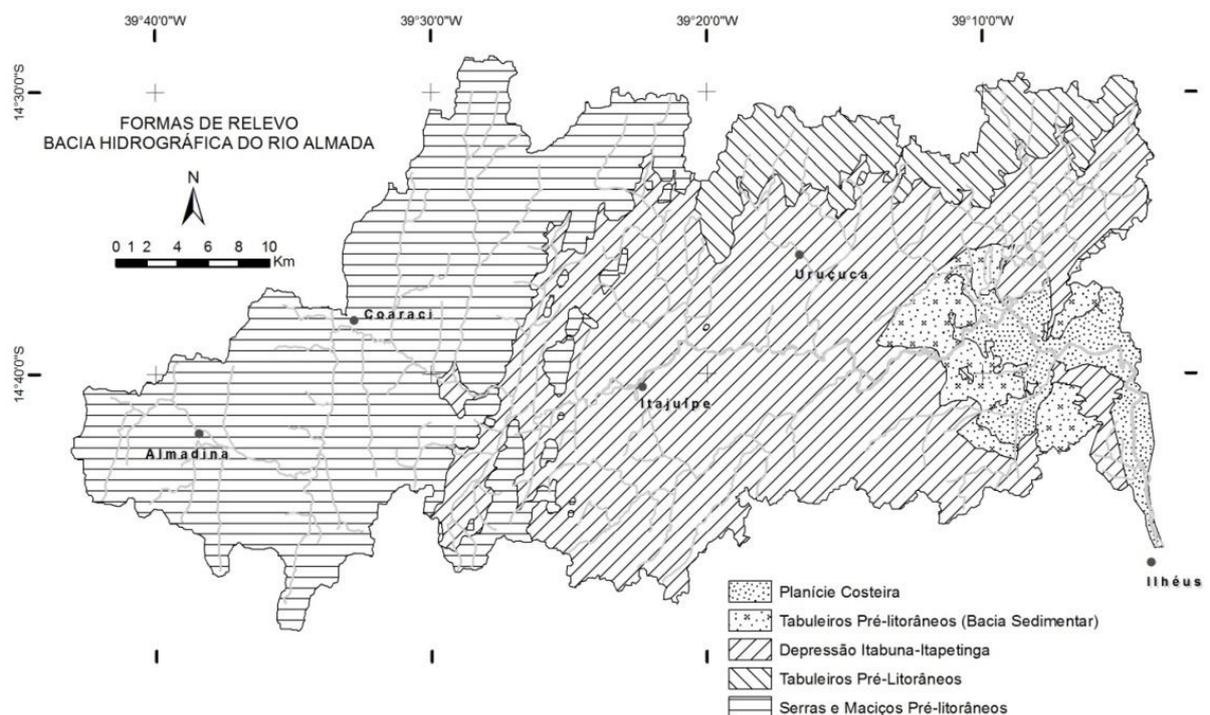


Figura 2: Formas de Relevo da BHRA

geotécnico. As áreas de vulnerabilidade média ocorrem associadas a bolsões de rochas de caráter mais básico a exemplo de meta-gabros, meta-basaltos e monzonitos.

Com relação à análise dos atributos geomorfológicos, quanto à declividade (Figura

6b), as classes de vulnerabilidade alta a muito alta ocorrem de forma mais expressiva na porção oeste da BHRA, mais precisamente a partir da cidade de Itajuípe, onde predominam morros e serras com amplitudes que variam de 200 a 600m e topos que alcançam altitudes de até 1040m

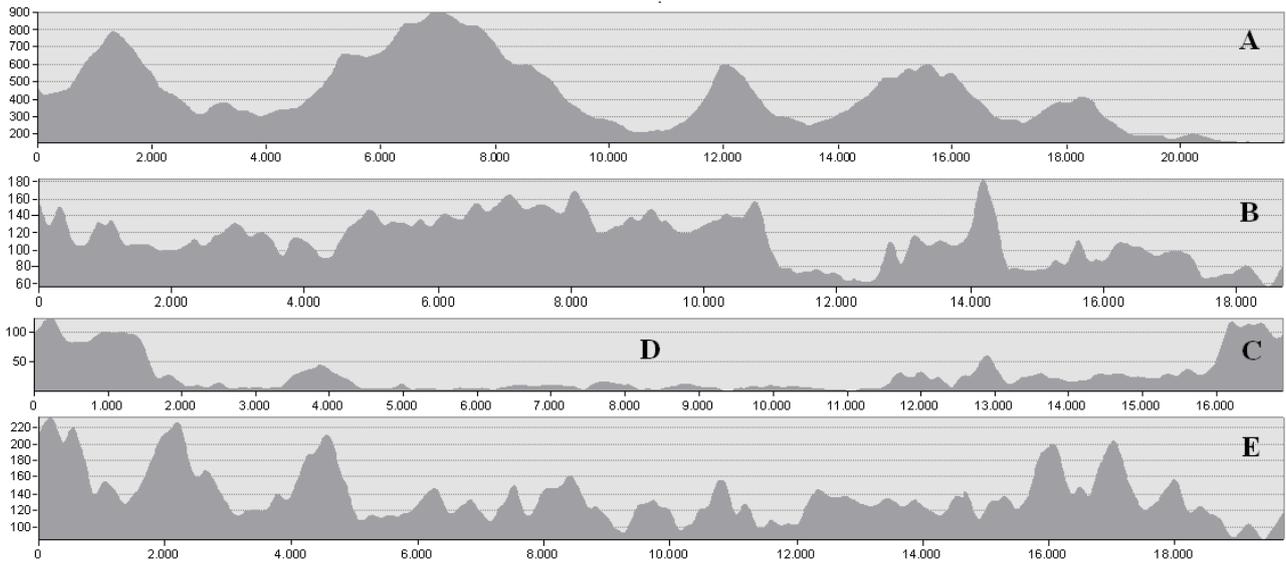


Figura 3: Perfis topográficos das unidades de Relevo da BHRA (A: Serras e Maciços Pré-litorâneos, B: Depressão Itabuna – Itapetinga, C: Tabuleiros Pré-litorâneos Bacia Sedimentar, D: Planície Costeira, E: Tabuleiros Pré-litorâneos)

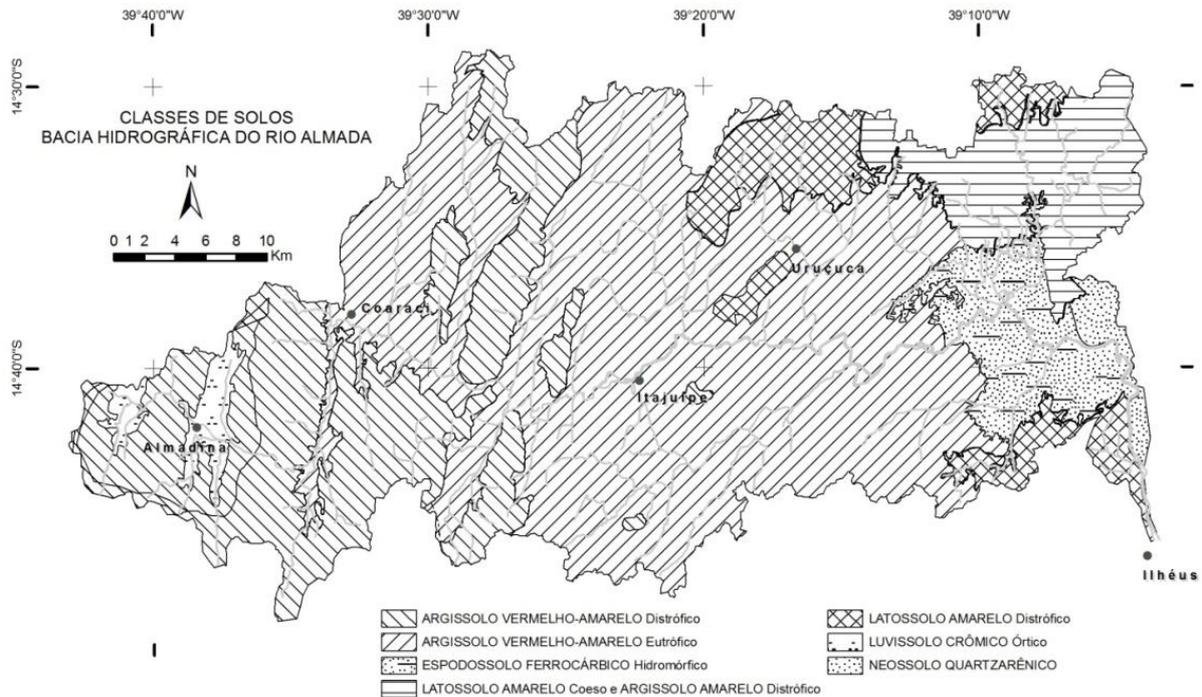


Figura 4: Distribuição dos tipos de solos da BHRA

orientados no *trend* NNE-SSO. Nas outras partes da bacia ocorre, de forma mais proeminente as classes de vulnerabilidade baixa a média com bolsões de classes alta a muito alta associadas a zonas de morros isolados e distribuídos na porção nordeste em área da Serra do Condurú.

Quanto a análise da dimensão dos interflúvios a ponderação de Crepani et al. (1996) subdivide a BHRA em dois domínios (Figura 6c), sendo um localizado a oeste de baixa vulnerabilidade,

associado ao domínio de morros e serras, e o outro, a leste, de muito alta vulnerabilidade, associado as demais tipologias do relevo. Na ponderação de Ross (1994), a dimensão interfluvial apresenta mais detalhada (Figura 7c), ocorrendo na parte oeste fragilidade muito fraca a fraca, na parte central fragilidade fraca a média e na parte leste, fragilidade média a forte, associada aos sedimentos mesozóicos da bacia sedimentar, e

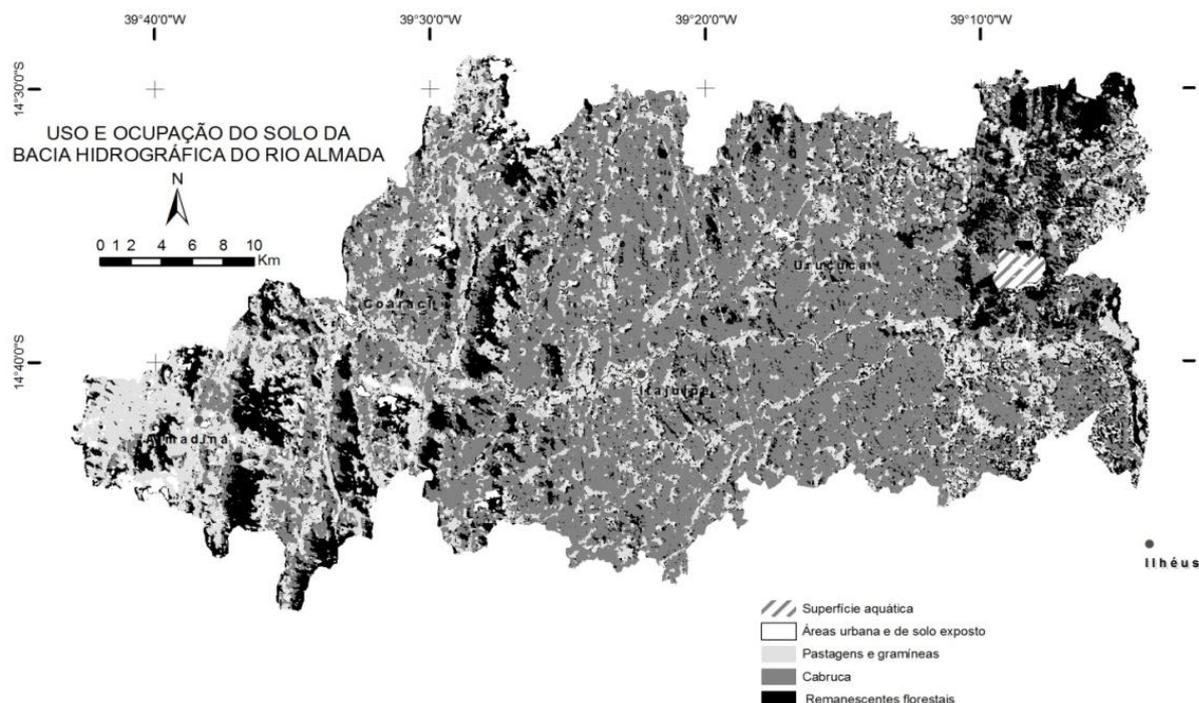


Figura 5: Distribuição dos tipos de uso e ocupação do solo da BHRA

muito fraca a fraca relacionada ao domínio da planície costeira.

Quanto à análise da vulnerabilidade para amplitude altimétrica do relevo, novamente a BHRA divide-se em dois compartimentos, estando um localizado na porção oeste, de alta vulnerabilidade, em virtude das elevadas amplitudes dos morros e serras, e outro no restante da bacia, de vulnerabilidade baixa (Figura 6d). Pela proposta das fragilidades de Ross (1994) (Figura 7d), comportamento semelhante ocorre na porção oeste classificada como de forte a muito forte fragilidade. Porém, o restante da bacia é compartimentado em áreas de fraca a média fragilidade, localizada na porção central da BHRA, e em área de muito fraca a fraca fragilidade, associada a zona da planície litorânea e ao relevo de tabuleiros pré-litorâneos sustentados pelos sedimentos mesozóicos.

Na proposta de Ross (1994; 2006) os atributos de dimensão interfluvial e amplitude altimétrica são analisados no sentido caracterização da denominada fragilidade da dissecação do relevo (Figura 7e). Na BHRA, a distribuição da fragilidade de dissecação do relevo ocorre de forma forte a muito forte no domínio dos morros e serras da porção oeste da bacia, fraca a média na porção central associada ao domínio da depressão Itabuna-itapetinga, média a forte no relevo de tabuleiros pré-litorâneos sustentados pelos sedimentos mesozóicos e, muito fraca a fraca na zona da planície litorânea.

Com relação às vulnerabilidades e fragilidades dos tipos de solos mapeados na BHRA (Figuras 6e e 7b), tem-se que onde ocorrem os espodossolos e neossolos quartzareníticos, tanto as vulnerabilidades quanto as fragilidades possuem grau máximo, ou seja, muito alta vulnerabilidade e forte a muito forte fragilidade. Tal fato se dá devido à textura predominantemente arenosa destes materiais incoesos que se reflete em elevados valores de permeabilidade e porosidade. Com relação à vulnerabilidade e fragilidades das tipologias de uso e ocupação do solo (Figuras 6f e 7f), ocorre na BHRA o predomínio da baixa vulnerabilidade e muito fraca a fraca fragilidade em função da grande extensão dos domínios de floresta e cabruca. Áreas de média vulnerabilidade e fragilidades que variam de fraca a média associam-se, preferencialmente, a áreas de pastagens e gramíneas, enquanto que as classes de alta a muito alta vulnerabilidade e forte a muito forte fragilidade estão associadas a bolsões de áreas degradadas, de solo exposto e ocorrência de áreas úmidas e manguezais, este último presente na zona litorânea da bacia.

3.2 Vulnerabilidade Natural a Perda de Solo da BHRA

A Figura 8 apresenta a distribuição das classes de VNPS na BHRA obtidos a partir dos cruzamentos definidos na Equação (1). De acordo com os dados mapeados, 46,4% da área da bacia

apresentam vulnerabilidade ambiental baixa. Estas áreas associam-se a bolsões bem preservados de floresta localizados, principalmente, em áreas altas dos topos de morros e serras da porção oeste da bacia e no trecho do Parque do Condurú. Na parte central da bacia, a classe de VNPS baixa está associada a áreas mais aplainadas e de cobertura vegetal mais densa, podendo ser bolsões de mata ou trechos de cobertura da cabruca. A classe de vulnerabilidade ambiental média ocorre praticamente na mesma proporção da classe baixa, com 46,2% de cobertura. É representada nas áreas central e oeste da bacia pelas áreas de declividades menores que 20%, substrato rochoso cristalino, solos de comportamento laterítico e cobertura

vegetal predominantemente de cabruca e pastagens em menor proporção. Nota-se uma maior homogeneidade da classe de média vulnerabilidade nos extremos oeste e leste da bacia, associadas às pressões de ocupação por pastagens na porção oeste, e em função da baixa fragilidade do substrato rochoso e do processo de ocupação da parte leste.

As classes de vulnerabilidade alta (7,43% da BHRA) a muito alta (0,02% da BHRA) distribuem-se na porção leste e litorânea, conforme exposto anteriormente, em função da baixa fragilidade do substrato rochoso e dos solos, presença de vegetação de gramíneas, manguezais e processo de ocupação em estágio de expansão.

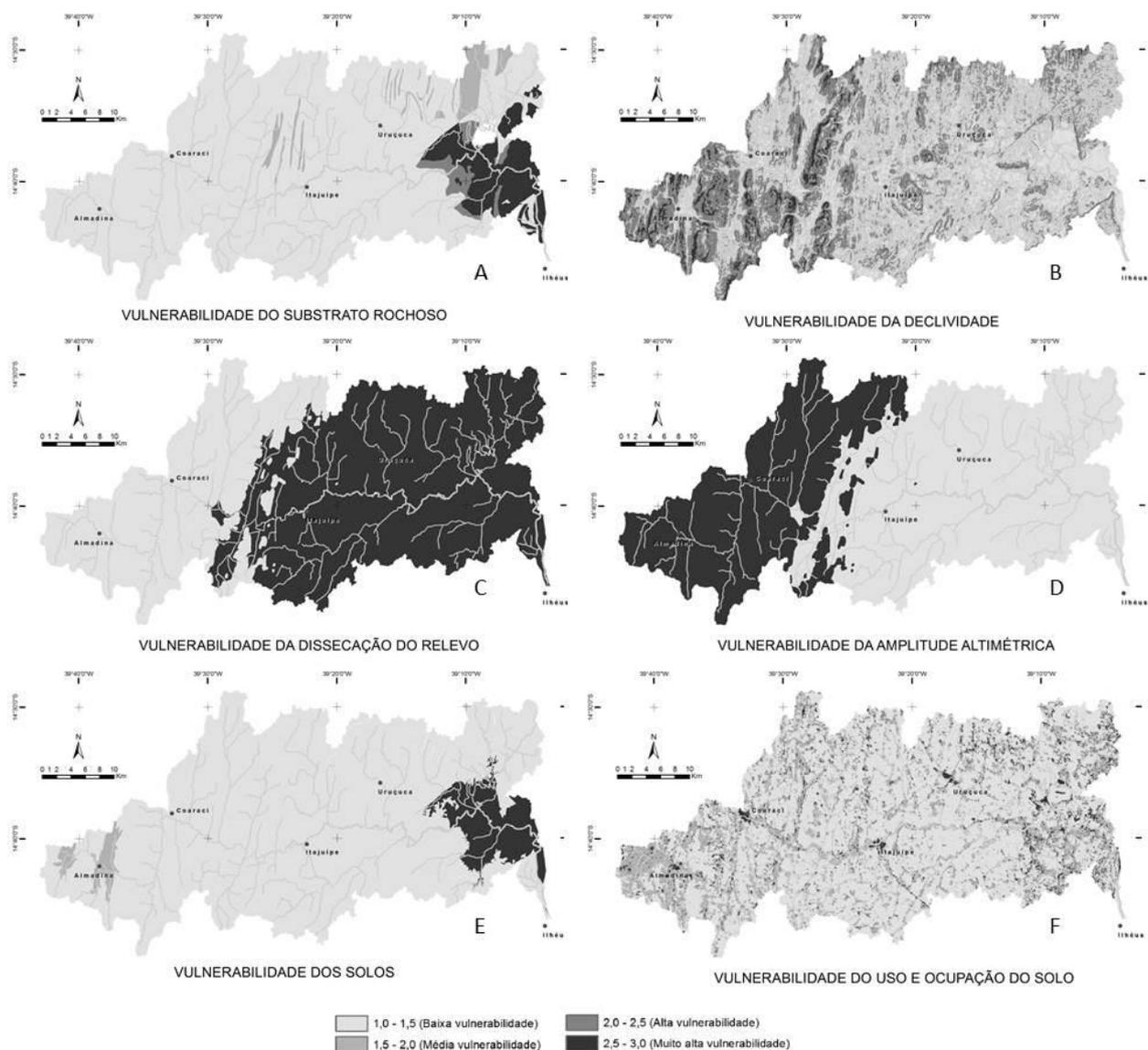


Figura 6: Mosaico apresentando a distribuição das vulnerabilidades dos atributos avaliados de acordo com Crepani et al. (1996) na BHRA

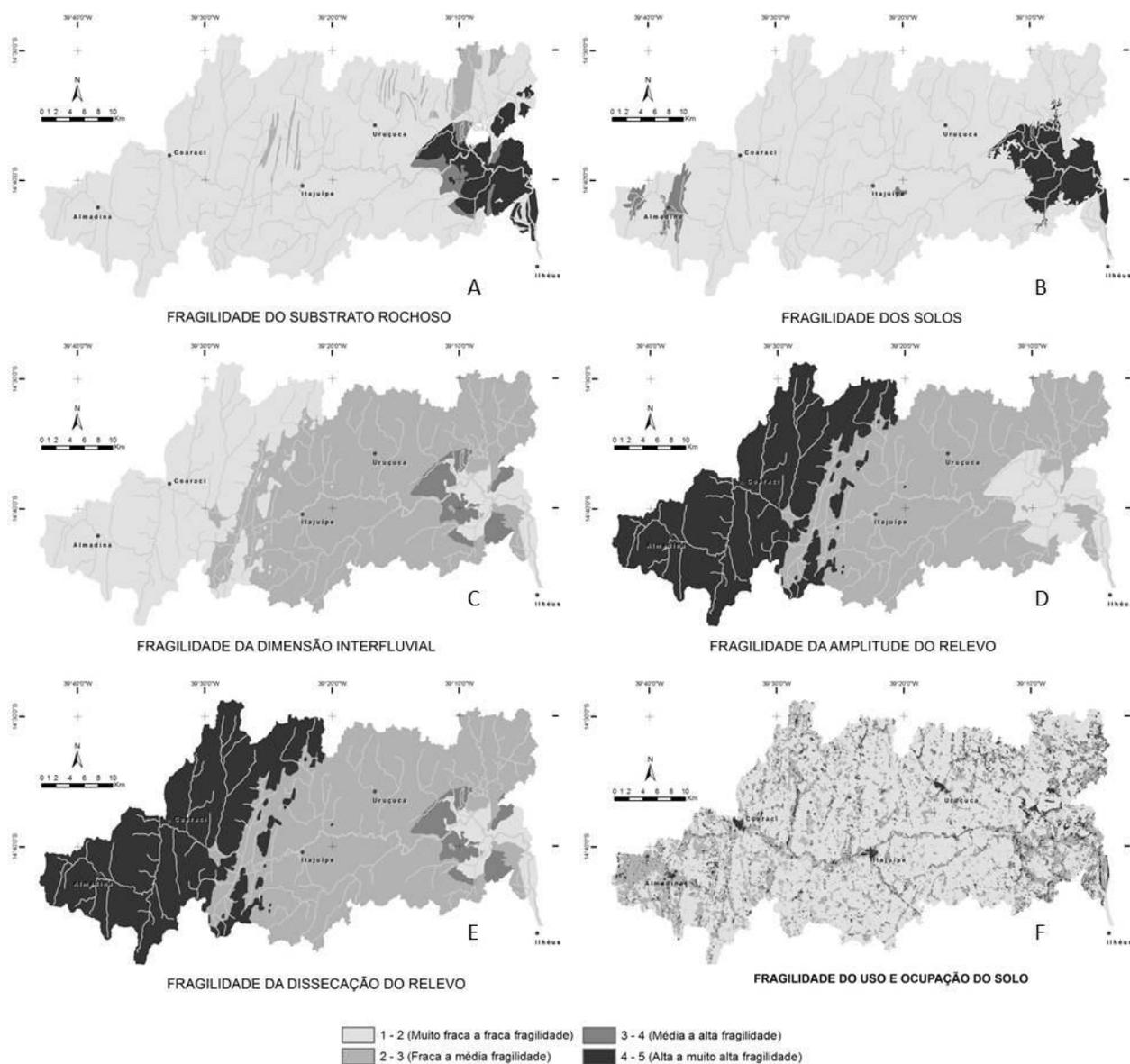


Figura 7: Mosaico apresentando a distribuição das fragilidades dos atributos avaliados de acordo com Ross (1994) na BHRA

3.3 Fragilidade Natural e Ambiental da BHRA

A Figura 9 apresenta a distribuição das fragilidades naturais na BHRA, enquanto que a Figura 10 a distribuição das classes de fragilidade ambiental. A Figura 9 demonstra que a classe de fragilidade natural baixa ocorre na parte central da BHRA, na depressão Itabuna-Itapetinga, caracterizada pela fraca fragilidade dos solos e fraca à média fragilidade do substrato e relevo. Já a classe de fragilidade natural média associa-se as áreas de relevo mais movimentado encontrado nas porções oeste (domínio das serras e maciços) e norte e nordeste (domínio dos tabuleiros pré-litorâneos) da BHRA. Por fim as classes de fragilidade natural alta a muito alta ocorrem na porção leste da área, associadas ao domínio da

planície costeira e dos tabuleiros pré-litorâneos sustentados pelos sedimentos mesozóicos da bacia sedimentar, e na porção oeste associado à ocorrência de luvisolos em um fundo de vale nas proximidades da cidade de Almadina-BA. As classes de fragilidade natural baixa, média, alta e muito alta representam, respectivamente, 38,6%, 51,9%, 7,4 e 2,2% em área de cobertura da BHRA.

A Figura 10 apresenta o resultado do cruzamento entre a fragilidade natural (Figura 9) e a fragilidade das classes de uso e ocupação do solo (Figura 7f) realizado de acordo com a Equação (3). De forma geral, a contribuição das características de fragilidade do uso e ocupação na porção oeste da bacia e na área ao norte da Lagoa Encantada, se dá no sentido de diminuição das

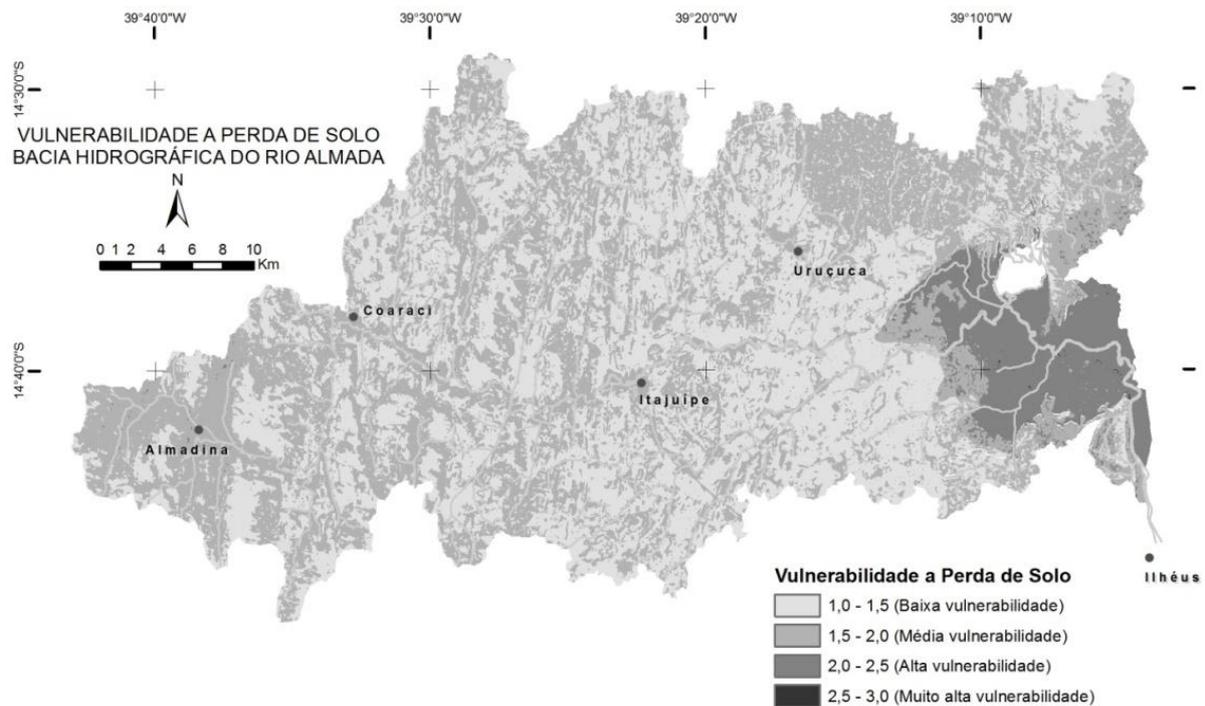


Figura 8: Distribuição das classes de vulnerabilidade à perda de solo na BHRA

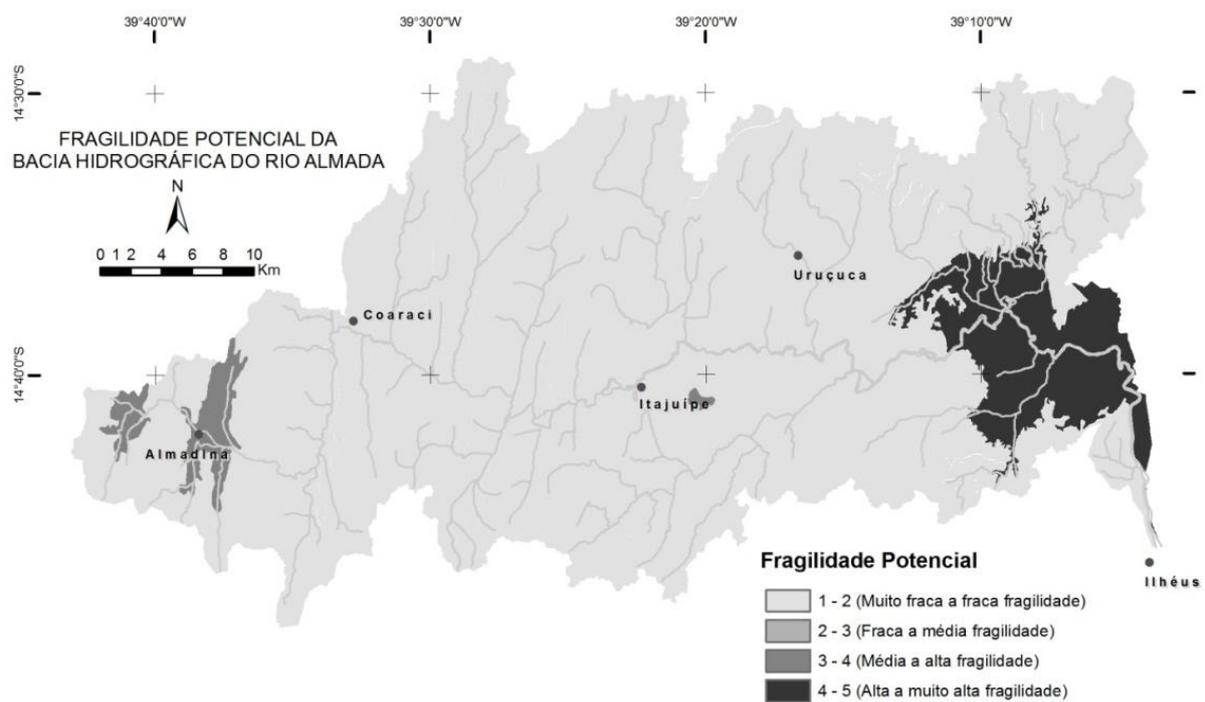


Figura 9: Distribuição das classes de fragilidade ambiental da BHRA

fragilidades ambientais em função da presença de áreas de floresta preservada, principalmente, as ocorrentes nos topos dos morros e serras. Já na porção central da bacia, onde ocorre o predomínio de muito fraca a fraca fragilidade natural, a ocorrência de pastagens, localizadas ao longo das calhas da rede de drenagem, promove o aumento

da fragilidade ambiental para a classe fraca a média. Na porção leste da BHRA, predomínio das classes de fragilidade natural forte a muito forte, ocorre à diminuição da fragilidade ambiental em função da cobertura vegetal predominantemente de gramíneas e cabruca. Ao longo de toda a BHRA nota-se a ocorrência de pequenas áreas de

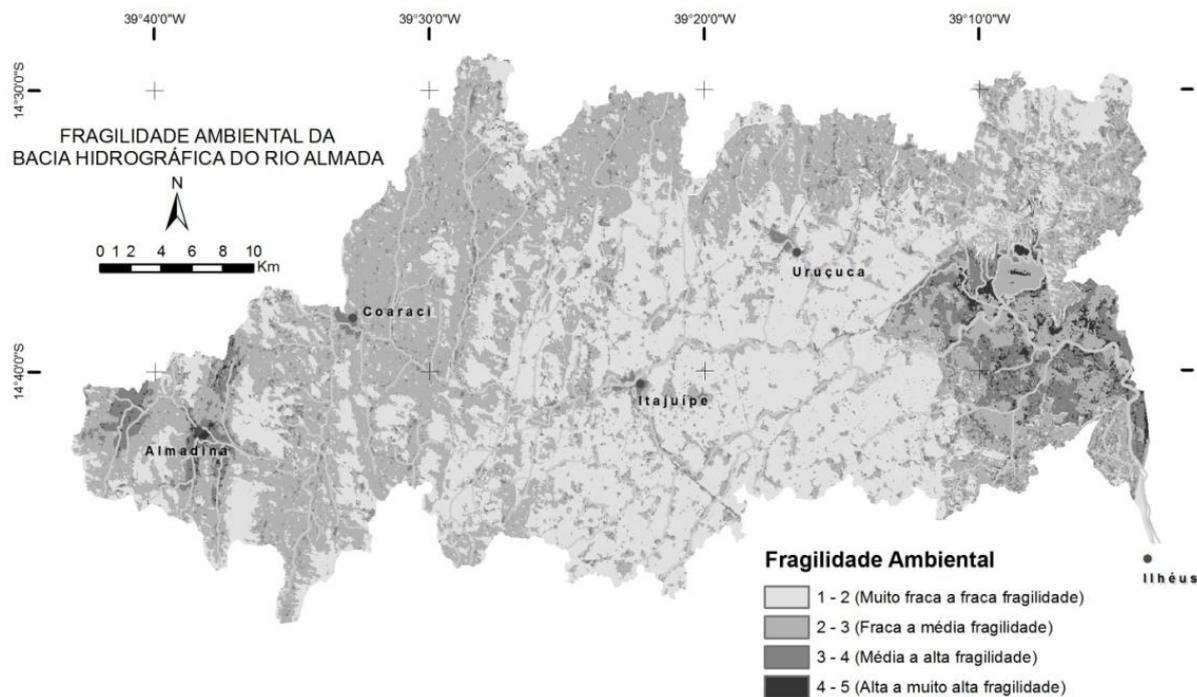


Figura 10: Distribuição das classes de fragilidade ambiental da BHRA

fragilidade forte a muito forte associadas a ocorrência de áreas úmidas ou degradadas por solo exposto. As classes de fragilidade ambiental baixa, média, alta e muito alta representam, respectivamente, 42,6%, 46,1%, 10,0 e 1,3% em área de cobertura da BHRA.

3.4 Correlação entre os Métodos Utilizados

Avaliando-se a área total da BHRA o índice R^2 encontrado foi de 0,61. Porém, quando analisados separadamente os diferentes setores geomorfológicos, nota-se clara variação nos valores de R^2 . A porção oeste da bacia, caracterizada pela ocorrência de formas de relevo serrano, apresenta o maior valor de coeficiente de correlação ($R^2 = 0,87$). Por outro lado, a área associada à planície costeira possui o menor valor, com $R^2 = 0,50$. Tal comportamento, controlado pela menor ou maior dissecação do relevo, refletida em diferentes valores de declividades e amplitudes altimétricas, ocorre, também, nos compartimentos dos tabuleiros costeiros da porção norte ($R^2 = 0,79$) e nos morros e colinas da porção central da bacia ($R^2 = 0,67$).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O panorama da distribuição da vulnerabilidade à perda de solo e das fragilidades ambientais da BHRA remete a um cenário em que:

1) As áreas de baixa vulnerabilidade e muito fraca a fraca fragilidade associam-se a fragmentos bem preservados de floresta localizados, principalmente, em áreas altas dos topos de morros e serras da porção oeste da bacia e no trecho do Parque do Condurú. Na parte central da bacia associam-se a áreas mais aplainadas e de cobertura vegetal mais densa, podendo ser bolsões de mata ou trechos da cabruca mais densos. Na área costeira esta classe associa-se aos topos planos do relevo de morros onde prevalece a cobertura vegetal de mata ou cabruca.

2) As áreas de média vulnerabilidade e fraca a média fragilidade é representada nas áreas central e oeste da bacia pelas áreas de declividades menores que 20%, substrato rochosos cristalino, solos de comportamento laterítico e cobertura vegetal predominantemente de cabruca, além de pastagens em menor proporção. Nota-se uma maior homogeneidade da classe de média vulnerabilidade nos extremos oeste e leste da bacia, associadas às pressões de ocupação por pastagens na porção oeste, e em função da baixa fragilidade do substrato rochoso e do processo de ocupação da parte leste. Na zona costeira, a classe de vulnerabilidade média associa-se a áreas de mata rala, enquanto que na zona de relevo de morros, a bolsões de mata densa.

3) As classes de vulnerabilidade alta a muito alta e de fragilidades que variam forte a muito forte fragilidade distribuem-se em duas

zonas distintas da BHRA. Uma na porção do extremo oeste da bacia, a partir da cidade de Almadina-BA, em virtude do processo de ocupação por pastagens, e a outra na porção leste e litorânea, conforme exposto anteriormente, em função da baixa fragilidade do substrato rochoso, presença de vegetação de gramíneas, manguezais e processo de ocupação em estágio de expansão. Na zona costeira, estas classes estão associadas aos sedimentos arenosos expostos na zona de praia, manguezais e bolsões degradados localizados ao longo da planície marinha.

Com relação à comparação entre os métodos de Crepani et al. (1996) e Ross (1994), os valores de R^2 encontrados demonstram satisfatória correlação entre os dados que refletem, de forma coerente, as diferentes fragilidades e vulnerabilidades dos atributos avaliados na BHRA. Ressalta-se que não se propõe neste trabalho especificar as potencialidades e limitações de cada método, visto que tal análise foi realizada de forma minuciosa por Spörl e Ross (2004), porém o presente trabalho procura contribuir com o conhecimento das fragilidades ambientais e vulnerabilidades ocorrentes na BHRA no sentido de proporcionar ao Poder Público, empreendedores, ambientalistas e interessados em geral, informações úteis ao processo de gestão territorial, contribuindo, dessa forma, para uma ocupação planejada e sustentável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESB – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia e ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro a execução desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977.

CREPANI, E. et al. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. INPE, São José dos Campos: INPE, 1996.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. **Imagens fotográficas derivadas de MNT do Projeto SRTM para fotointerpretação na geologia,**

geomorfologia e pedologia. São José dos Campos: INPE, 2004.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GOMES, R. L. et al. **Implantação do laboratório análise e planejamento ambiental da UESC: projeto piloto – avaliação da qualidade ambiental da bacia do rio Almada e área costeira adjacente**. Ilhéus: UESC: FAPESB, 2006. Relatório final FAPESB: 056/2006.

GONÇALVES, G. G. G. et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas: o caso da bacia do rio Dourados – MS. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2., 2009, Corumbá. **Anais...** Corumbá: Embrapa Informática Agropecuária: INPE, 2009. p. 422-432.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Topodata: banco de dados geomorfométrico do Brasil**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/topodata/index.php>>. Acesso: 15 jan. 2009.

JENNESS, J. **Grid and theme regression 3.1e (grid_regression.avx) extension for arcview 3.x**. Disponível em: <<http://www.jennessent.com/arcview/regression.htm>>. Acesso em : 10 ago 2006.

KAWAKUBO, F. S. et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Instituto de Pesquisas Espaciais, 2005. p. 16-21.

NAKASHIMA, M. S. R. Carta de fragilidade ambiental da bacia do rio Keller, Estado do Paraná: subsídio ao estudo dos processos erosivos. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 6, p. 1547-1560, 2001.

NASCIMENTO, D. M. C.; DOMINGUEZ, J. M. L. Avaliação da vulnerabilidade ambiental

como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia.

Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 39, n. 3, p. 395-408, 2009.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, São Paulo, v. 8, p. 63-74. 1994.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos. 2006.

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

SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS - SRH. **Programa de**

recuperação dos rios Cachoeira e Almada. Salvador, 2001. v. 1.

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

VITTE A. C.; MELLO, J. P. Determinação da fragilidade ambiental na bacia do rio Verde, região nordeste do Estado de São Paulo, Brasil. **Territorium**, Lousã, n. 16, p. 79-98, 2009.

Data de submissão: 18.09.2012

Data de aceite: 13.08.2013

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.