

CARACTERIZAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA GI8, PE

Nildson Rodrigues de França e Silva¹
Willian Vieira de Oliveira¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{nildson.silva; willian.oliveira}@inpe.br

Resumo. O mapeamento da fragilidade ambiental de um ambiente representa uma importante ferramenta para o planejamento, uma vez que permite se conhecer as potencialidades e limitações do espaço geográfico. Neste estudo é apresentado o mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica GI8, localizada no extremo oeste do estado de Pernambuco. Para alcançar este objeto é considerado o modelo proposto por Ross (1994), o qual ainda é amplamente citado na literatura como referência nessa linha de pesquisa, associado à utilização de técnicas de geoprocessamento aplicadas em ambiente SIG, como forma de proporcionar uma melhor visualização e análise das variáveis consideradas neste estudo.

Palavras-chave: fragilidade ambiental, potencialidades, limitações, SIG.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de ambientes SIGs (Sistemas de Informação Geográficas) para desenvolvimento de estudos ambientais favorece a análise conjunta de diversos tipos de dados; essencial no apoio a tomada de decisões, sobretudo, no planejamento ambiental. Essas tecnologias computacionais auxiliam a interpretação da relação existente entre as diversas variáveis que influenciam a dinâmica de um ambiente, a partir da representação destes elementos em ambiente computacional, considerando a disposição destas no mundo real, em termos de posicionamento. Clima, geologia, relevo, solos e uso do solo são apenas alguns exemplos de variáveis que podem ser consideradas.

Dentre as diversas possibilidades de aplicação, a interpretação da inter-relação existente entre essas variáveis pode ser utilizada na avaliação da fragilidade, ou vulnerabilidade, de um ambiente. Este estudo representa uma importante ferramenta para o planejamento, uma vez que permite se conhecer as potencialidades e limitações

do espaço geográfico, a partir da análise dos diversos atributos físicos que o compõem, bem como os impactos oriundos da intervenção antrópica.

Na literatura, dentre os modelos mais utilizados para mapeamento de fragilidade ambiental, destaca-se o modelo proposto por Ross (1994), onde são considerados dados que caracterizam o ambiente quanto seus aspectos de cobertura vegetal, clima, geomorfologia, solos e uso do solo. Neste modelo, a fragilidade ambiental é classificada em cinco classes: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5).

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo realizar, por meio de técnicas de geoprocessamento, o mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica GI8, localizada na cidade de Petrolina, no extremo oeste do estado de Pernambuco. Diversos são os fatores que têm contribuído para o surgimento de problemas ambientais nesta área, tais como: intenso desenvolvimento hidroagrícola; crescimento urbano desordenado; desmatamento para produção de carvão; e, uso inadequado dos insumos agrícolas. Dentre os problemas destacam-se: salinização de solos, problemas de drenagem e poluição dos cursos d'água com insumos agrícolas.

A metodologia proposta se baseia na análise integrada de: dados de declividade, provenientes do processamento de imagem SRTM; dados pedológicos, disponibilizados pela Embrapa Solos / UEP Recife referente ao Zoneamento Agroecológico de Pernambuco; dados pluviométricos, fornecidos pela Embrapa Semiárido; e, dados de uso/ocupação do solo, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, referente ao ano de 2014. Para diagnóstico e mapeamento da fragilidade emergente ou ambiental da área de estudo, utiliza-se as técnicas de análise multicriterial descritas por Ross (1994), como também o uso de lógica fuzzy e a técnica de suporte a decisão AHP (Processo Analítico Hierárquico).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fragilidade ambiental

Como forma de analisar as potencialidades e limitações de um ambiente, a fim de favorecer o gerenciamento eficiente de seus recursos, são consideradas diversas

informações referentes aos aspectos que caracterizam a região, tais como clima, declividade, pedologia, solos e uso do solo. (Martín-Duque et al, 2012; Ross, 2012). Assim, a partir de dados do terreno é possível se analisar a sensibilidade de um ambiente quanto à dinâmica dos processos naturais, bem como as pressões ocasionadas pela intervenção humana.

Na visão de Ross (1994), a fragilidade de ambientes naturais varia conforme suas características físicas e biológicas, bem como a resistência do ambiente às intervenções antrópicas. Ainda segundo o autor, esta fragilidade pode ser classificada levando em consideração o grau de estabilidade do ambiente, quando em equilíbrio dinâmico, ou de instabilidade, quando em desequilíbrio. Assim, a fragilidade ambiental, ou instabilidade ambiental, pode ser classificada em Muito Fraca (1), Muito Forte (2), Média (3), Forte (4) e Muito Forte (5). Desta forma, na metodologia apresentada por Ross (1994; 2012), as características do terreno são classificadas de forma discreta, além de possuírem mesmo peso entre si.

Por outro lado, outros autores adotam a utilização de métodos para representação das variáveis em campos contínuos, realizando uma padronização dos valores, além de adotarem diferentes pesos para cada uma das variáveis. Para realização destas operações destacam-se a Lógica Fuzzy, para normalização dos dados, e o Processo Analítico Hierárquico (AHP), para definição da relação de pesos entre as variáveis; ambas favorecidas pela estrutura encontrada nos sistemas SIG.

Os ambientes SIG são essenciais para a realização de estudos que requerem a associação de diversos conjuntos de dados geográficos, tais como estudos voltados ao dinamismo da superfície terrestre. No caso do estudo de fragilidade ambiental, estes sistemas permitem não apenas uma visualização mais eficiente da distribuição espacial dos elementos, mas também um melhor entendimento da relação de importância entre as variáveis consideradas para a fragilidade ambiental (Miara, 2007).

2.2 Classificação Contínua - Lógica Fuzzy

Proposta por Lotfi Zadeh em 1965, a teoria dos conjuntos fuzzy (Zadeh, 1965) procura tornar a representação da informação o mais próxima da linguagem natural. A

fuzzy é um conjunto impreciso, sem limites bem definidos a qual é muito útil em decisões com alto grau de incerteza.

Segundo Rignel et al. (2011) essa lógica permite que variáveis não admitam valores precisos necessariamente, como 0 ou 1, possibilitando que elas tenham graus de pertinência entre os elementos, em relação ao seu conjunto. Possibilita ainda a construção de várias regras, que facilitam a modelagem dos problemas, tornando-os assim, menos complexos. Tal lógica atrai pesquisadores da área e diversos profissionais de tecnologia da informação, pelo fato dela tornar geralmente mais simples as soluções dos diversos problemas complexos existentes atualmente.

2.3 Processo Analítico Hierárquico (AHP)

O AHP foi desenvolvido por Saaty (1978) e tem sido intensivamente utilizado. Atualmente é aplicado para a tomada de decisão em diversos cenários complexos em que pessoas trabalham em conjunto para tomar decisões e onde percepções humanas, julgamentos e consequências possuem repercussão de longo prazo (Bhushan & Rai, 2004).

A técnica baseia-se numa matriz quadrada na qual os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados dois-a-dois, e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, conforme uma escala pré-definida.

Devido a sua importância o método vem sendo implantado em softwares de sistemas de informações geográficas para aplicação, por exemplo, em estudos de: risco a deslizamento de terras, zoneamento, análise de vulnerabilidade, entre outros.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica GI8 localiza-se no extremo oeste de Pernambuco, entre 7°18'29" e 07°40'43" de latitude sul, e 39°17'56" e 39°44'01" de longitude oeste

(Figura 1). A bacia limita-se ao norte com a bacia do rio Pontal (UP13), ao sul e a leste com o rio São Francisco, e a oeste com o estado da Bahia. A bacia é composta por pequenos riachos que deságuam na margem esquerda do rio São Francisco, com destaque para os riachos Vitória, das Porteiras, Salina, Bebedouro e Umburana.

O clima que predomina na região é o semiárido. Excluídos todos os locais de altitude elevada as temperaturas médias anuais do ar da região estão acima de 24° C e podendo apresentar maiores que 26° C nas depressões com 200 m a 250 m de altitude. A média anual máxima é 33° C e a mínima de 19° C, sendo os valores mensais na faixa de 17° C a 29° C. Sendo o período chuvoso é concentrado de janeiro a abril, com picos ocorrendo em março.

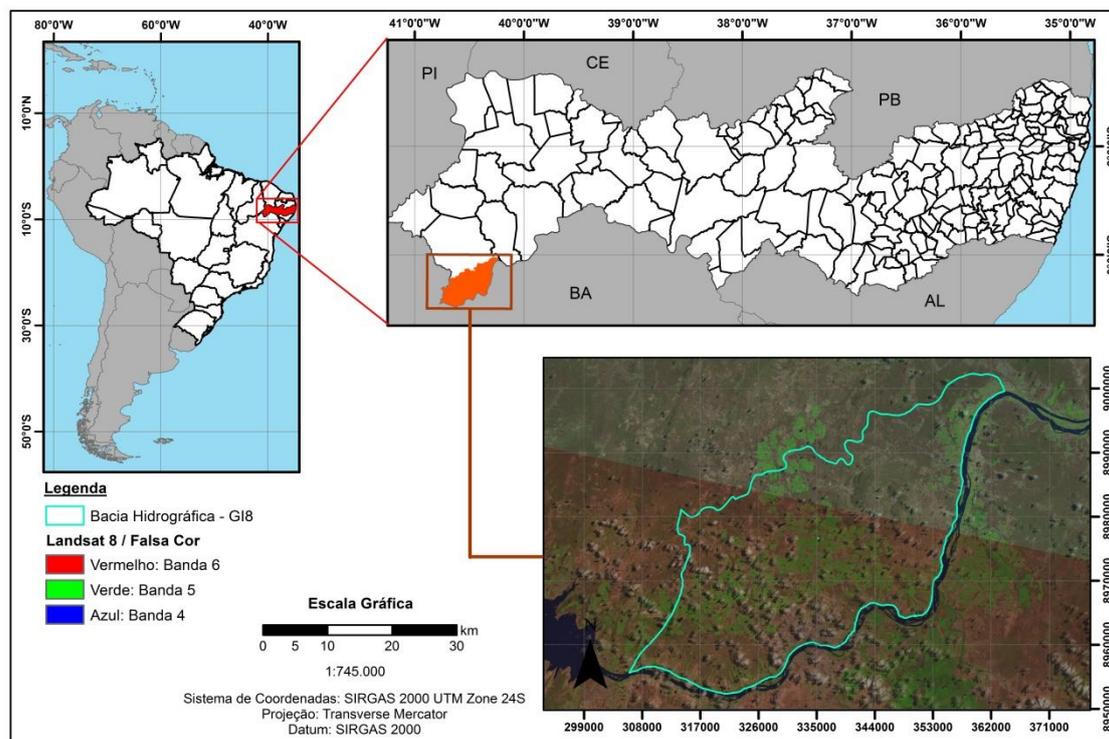


Figura 1 - Mapa de localização.

3.2 Material

A metodologia proposta se baseia na análise integrada de: dados de declividade, obtidos a partir do processamento de imagem proveniente da missão SRTM (*Shuttle*

Radar Topography Mission); dados pedológicos, disponibilizados pela Embrapa Solos / UEP Recife referente ao Zoneamento Agroecológico de Pernambuco; dados pluviométricos, fornecidos pela Embrapa Semiárido; e, dados de uso/ocupação do solo, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referente ao ano de 2014. Uma breve descrição dos dados utilizados é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Fontes dos dados utilizados.

Dados	Fonte	Descrição	Formato
Imagem SRTM	Earth Explorer, USGS	Resolução Espacial: 30 metros.	Raster
Limites da Bacia Hidrográfica	Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC)	Base vetorial pertencente ao Atlas de Bacias Hidrográficas do Estado.	Shapefile
Precipitação	Embrapa Semiárido	Dados das estações dos Campos Experimentais da Caatinga da Embrapa; Bebedouro; Timbaúba; Fazenda FuitFort; e, Vale das Uvas.	Planilha / Shapefile
Tipo de Solo	Embrapa Solos UEP/Recife	Oriundo do Plano de Informação do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco: Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado do Pernambuco.	Shapefile
Uso e Ocupação do Solo	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)	Dado pertencente ao Mapa de cobertura e Uso da Terra do Brasil de 2014.	Shapefile

Para visualização, processamento e análise do conjunto de dados foram utilizados técnicas de geoprocessamento a partir de ambiente SIG, utilizando-se o software QGIS. Neste ambiente, os mapas gerados de classes de declividade,

precipitação, solos e uso e ocupação do solo foram utilizados para obtenção do mapa de fragilidade ambiental, ou emergente.

3.3 Métodos

A metodologia envolve a utilização de dados de declividade, precipitação, solos e uso e ocupação do solo, como critérios para definição das classes a serem consideradas no mapa de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica GI8. A Figura 2, ilustrada abaixo, apresenta os procedimentos adotados para realização do trabalho.

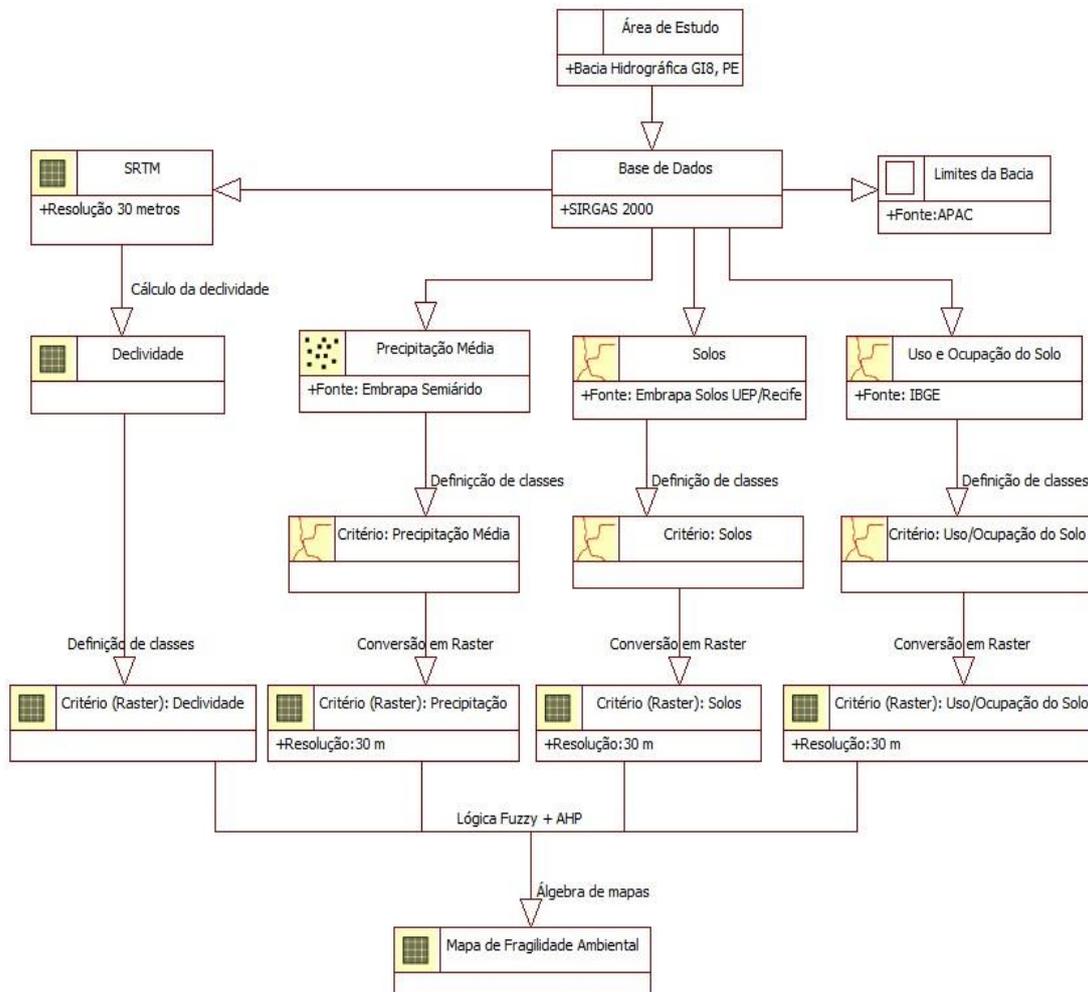


Figura 2 - Metodologia de trabalho.

Neste estudo, foram considerados trabalhos desenvolvidos por diversos autores, podendo-se destacar os estudos de Crepani et al. (2001), Ross (1994; 2012) e Cereda Jr. & Röhm (2013) para definição dos procedimentos e critérios de classificação das variáveis, além de fazer uso da técnica de inferência Fuzzy, para transformação dos dados da forma discreta para contínua, e, o método de suporte à decisão AHP (Processo Analítico Hierárquico), para definição dos pesos entre as variáveis utilizadas.

Toda a base de dados foi transformada para um mesmo sistema de referência, SIRGAS 2000 UTM ZONA 24 S, além de serem extraídos apenas os dados compreendidos na área de estudo. Os dados considerados na análise foram utilizados para obtenção de mapas intermediários, que por sua vez serviram de base para geração do produto final, o mapa de fragilidade ambiental.

O primeiro produto intermediário foi obtido a partir do processamento da imagem SRTM, com resolução espacial de 30 metros, visando a obtenção da declividade do terreno. Na metodologia descrita por Ross (1994), a declividade é tratada como dado discreto, seguindo uma classificação de fragilidade que varia de 1 (Muito fraca) a 5 (Muito forte). Entretanto, para este estudo, foi realizada a normalização Fuzzy dos dados de declividade, sendo adotado um espaço de referência [0, 1], onde o índice 1 (Muito forte) é definido para declividades acima de 30%. A conversão dos percentuais de declividade foi realizada conforme apresentado na Equação 1.

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq 0 \\ \frac{x}{30}, & \text{se } 0 < x < 30 \\ 1, & \text{se } x \geq 30 \end{cases} \quad (1)$$

Em seguida, foi realizado a classificação dos dados de precipitação, segundo a metodologia apresentada por Ross (2012). Para obtenção deste produto intermediário foram considerados dados referentes a cinco estações pluviométricas (Figura 3), espalhadas ao longo da bacia hidrográfica, para um período de 10 anos, a partir de 2004. Na Tabela 2 são apresentadas as características consideradas para definição das classes de fragilidade referentes à variável precipitação.

Tabela 2 – Classes consideradas para a classificação da precipitação.

Classes de fragilidade para a variável precipitação	
1 – Muito Fraca	Situação com distribuição regular da precipitação ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 1000 mm/ano.
2 – Fraca	Situação com distribuição regular da precipitação ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 2000 mm/ano.
3 – Média	Situação com precipitação anual distribuída desigualmente, com períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno e com maiores intensidades no verão, entre Dezembro e Março, com volumes de 1300 a 1600 mm/ano.
4 – Forte	Situação com precipitação anual distribuída desigualmente, com períodos secos entre 3 e 6 meses, e grande concentração da precipitação no verão, entre Novembro e Abril, quando ocorre de 70 a 80% do total de precipitação no ano, com volumes de 1600 a 1800 mm/ano.
5 – Muito Forte	Comportamentos irregulares da precipitação ao longo do ano, com episódios de alta intensidade de chuva e fracos volumes anuais, geralmente abaixo de 900 mm/ano (semiárido).

Fonte: Ross (2012).

Em relação aos dados de solos, a classificação foi realizada considerando os estudos desenvolvidos por Crepani et al. (2001), Ross (1994) e Ross (2012). As classes de fragilidade para as diferentes unidades de mapeamento de solos foram estabelecidas conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Classes consideradas para a classificação dos solos.

Classificação	Fragilidade (Ross, 1994; 2012)
Latossolos Amarelos	2
Planossolos	3
Podzólicos Amarelos	3
Podzólicos Vermelho-Amarelos	3

Podzólicos Vermelho-Escuros	3
Cambissolos	4
Areias Quartzosas	5
Solos Aluviais	5
Solos Litólicos	5
Vertissolos	5

Além destes, os dados de uso e ocupação do solo foram classificados de acordo com os estudos desenvolvidos por Ross (1994; 2012); porém, algumas adequações foram feitas considerando as características da região. Diferentemente da metodologia original, que considera “Pastagem” como classe 3 (Média), foi atribuída a classe 4 (Forte), uma vez que esta condiz mais com a realidade da região. Além disso, classificou-se como fragilidade Média os polígonos de “Vegetação Campestre mais Áreas Agrícolas”, uma vez que representam a união de duas classes de valores distintos, sendo esta uma classificação média das fragilidades observadas. A Tabela 4 apresenta a classificação adotada para este plano de informação.

Tabela 4 – Classes consideradas para a classificação do uso e ocupação do solo.

Uso/ocupação do solo	Fragilidade (Ross, 1994; 2012 adaptado pelo Autor)
Corpo d'Água Continental	2
Vegetação Campestre com Áreas Agrícolas	3
Área Agrícola	4
Pastagem Natural	4
Área Artificial	5

Após a geração da base vetorial de precipitação, solos, e de uso e ocupação dos solos conforme a metodologia de Ross (1994; 2012), todos os vetores foram convertidos para o formato raster. Nesta etapa, foi considerada uma resolução espacial de 30 metros, compatível com a resolução do produto obtido para a declividade, visando a adequação

da escala de trabalho de todos os planos de informação. Em seguida, foi feita a normalização Fuzzy destes, considerando um índice de fragilidade com grau de pertinência de 0 a 1 de forma linear, para todos os três produtos, sendo 0 o equivalente a fragilidade Muito Baixa e 1 a Muito Alta. A normalização foi realizada conforme apresentado na Equação 2.

$$f(x) = 0,25x - 0,25, \text{ se } 1 < x < 5 \quad (2)$$

Realizado a normalização Fuzzy dos planos de informação, utilizou-se o método de suporte à decisão AHP, conforme a Tabela 5, a fim de determinar uma relação de pesos entre as variáveis. Este procedimento foi realizado a partir do software QGIS (versão 2.6.1), utilizando a extensão EasyAHP. Os critérios atribuídos para o método AHP são apresentados na Tabela 6. A partir destes critérios foram obtidos pesos para cada uma das variáveis, bem como a razão de consistência da análise AHP, a qual deve ser inferior a 0,10.

Tabela 5 – Escala de valores AHP para comparação pareada.

Intensidade de importância	Definição e explicação
1	Importância igual – os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada – um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial – um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada – um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema – a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre julgamentos – possibilidade de compromissos adicionais.

Fonte: Saaty (1980).

Tabela 6 – Matriz de critérios para AHP.

	Solos	Uso/ocupação do solo	Declividade	Pluviosidade
Solos	1			
Uso/ocupação do solo	2	1		
Declividade	2	2	1	
Pluviosidade	3	2	1	1

Em seguida, foi gerado o mapa de fragilidade ambiental da bacia, por meio de uma soma ponderada das classes de fragilidade referente à pluviosidade, declividade, solos e uso e ocupação do solo, considerando os pesos definidos a partir da análise AHP. Por fim, foi realizado o fatiamento deste mapa, considerando as classes apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Classes de fragilidade ambiental.

Intervalo	Classificação
0 – 0,2	Muito Fraca
0,2 – 0,4	Fraca
0,4 – 0,6	Média
0,6 – 0,8	Forte
0,8 – 1	Muito Forte

4. ANÁLISE E RESULTADOS

Por meio da aplicação de técnicas de geoprocessamento e de inferência geográfica para análise dos dados de declividade, pluviosidade, solos e uso e ocupação do solo foi possível realizar o cálculo da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica GI8, Pernambuco.

Primeiramente, a partir do fatiamento da declividade, a qual foi obtida por meio do processamento da imagem SRTM, foi gerado o seguinte mapa apresentado na Figura 3. Nesta classificação, a classe de fragilidade Muito Forte foi atribuída para declividades

acima de 30%. Além disso, nesta figura são também ilustradas as estações meteorológicas consideradas neste estudo. Para o processamento desta variável não foi necessário a utilização de métodos de interpolação dos dados, uma vez que todas as estações apresentaram uma mesma classificação, segundo a metodologia de Ross (1994; 2012), fragilidade Muito Forte.

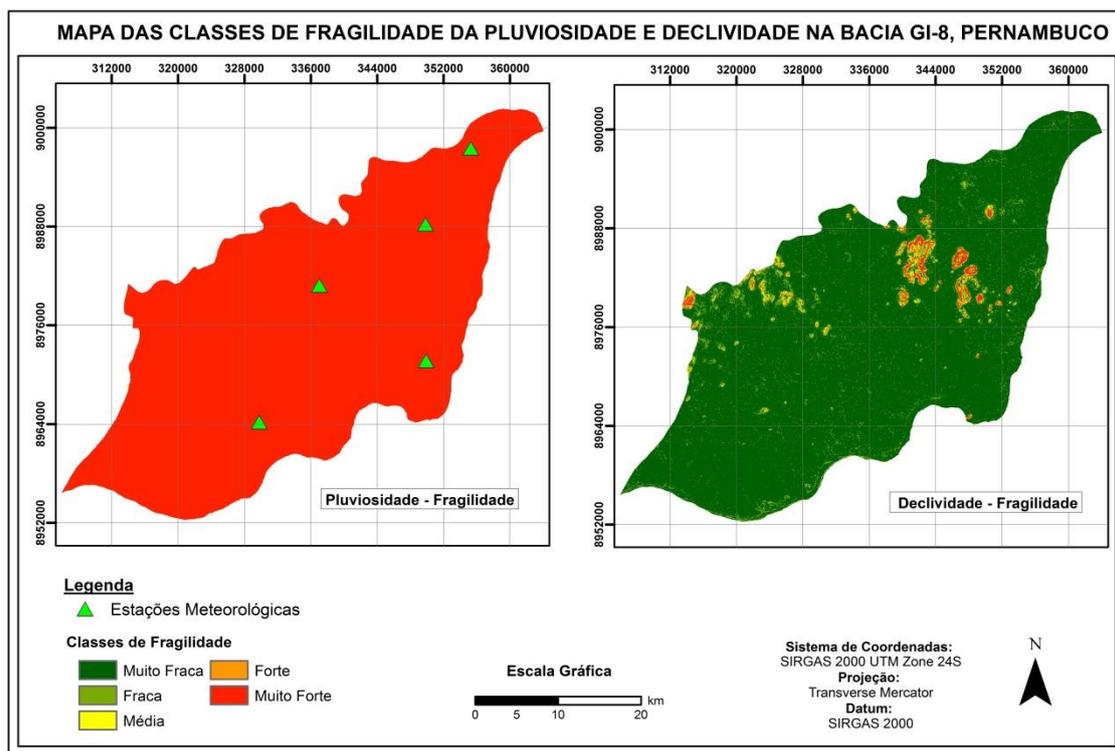


Figura 3 - Classificação de fragilidade para as variáveis Declividade e Pluviosidade.

Em seguida, com a classificação dos dados de solos e uso e ocupação do solo, segundo a metodologia de Ross (1994; 2012), foram obtidos as classes de fragilidade para cada uma destas variáveis. Em seguida, estas classes foram convertidas para um intervalo entre 0 e 1. As Figuras 4 e 5, ilustradas abaixo, apresentam a classificação destas variáveis, tanto em relação aos seus respectivos atributos, quanto às classes de fragilidade.

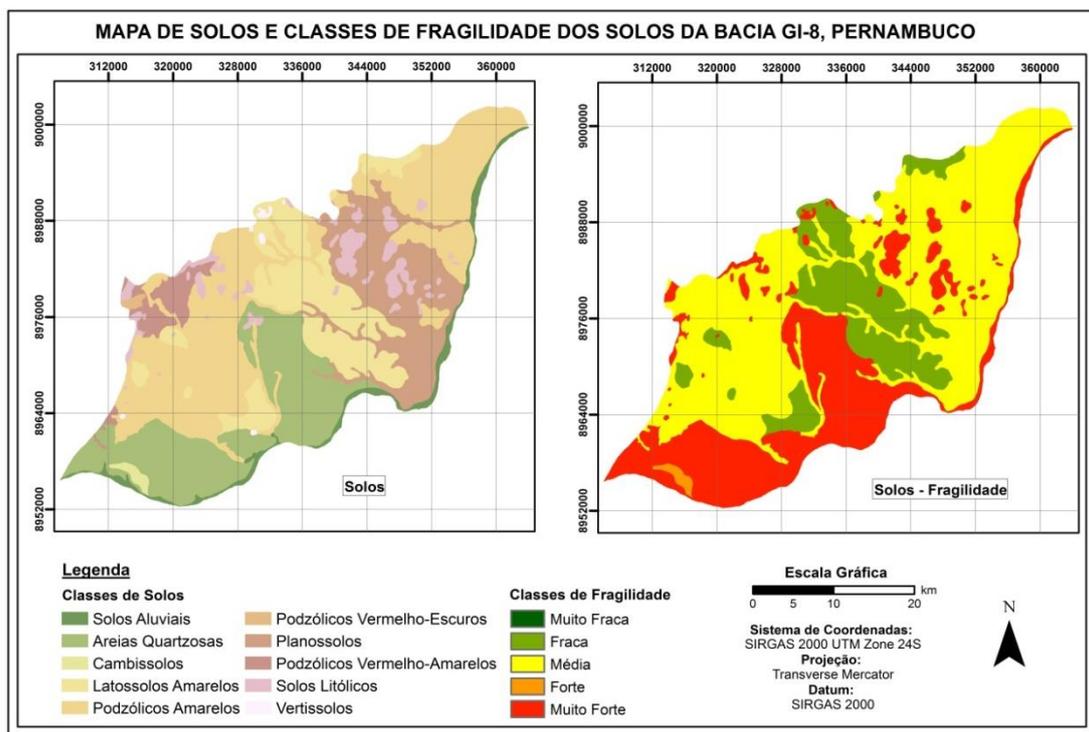


Figura 4 - Mapa de solos e classificação da fragilidade para a variável Solo.

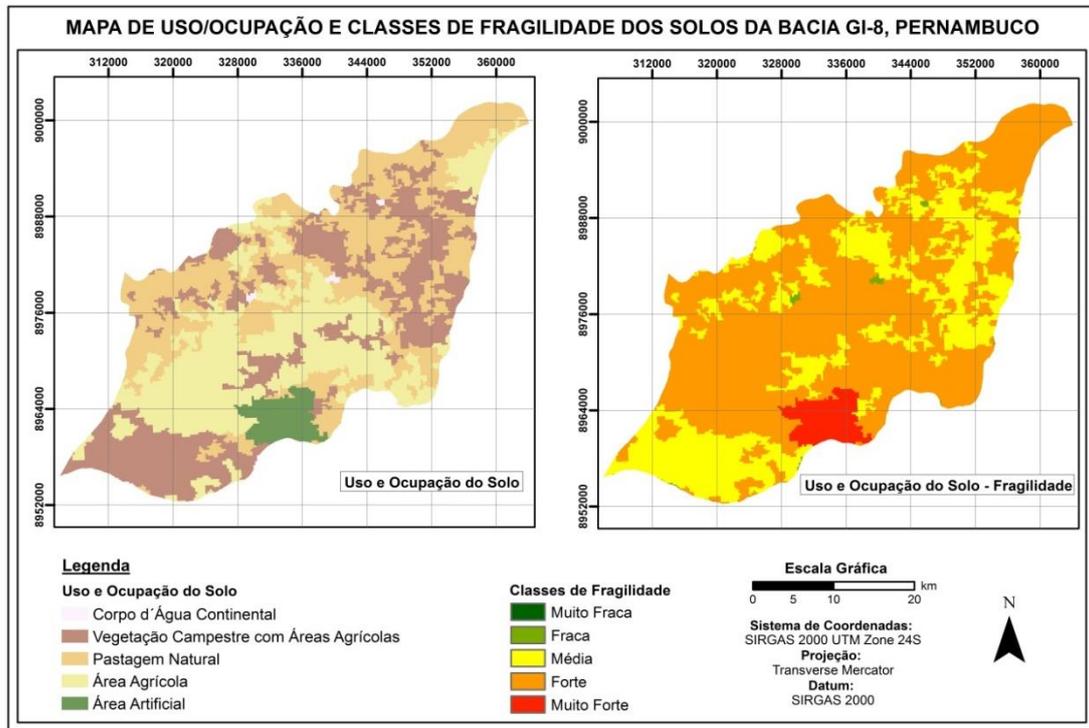


Figura 5 - Mapa de uso/ocupação do solo e classificação da fragilidade para esta variável.

A partir dos produtos intermediários gerados, o método AHP possibilitou a obtenção da relação de pesos entre as variáveis, a partir dos critérios descritos na Tabela 6. Os critérios escolhidos apresentaram uma razão de consistência aceitável (menor que 0,10), de 0,018. Os pesos gerados a partir da análise AHP são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Pesos das variáveis.

Variável	Peso
Solos	0,125
Uso e ocupação do solo	0,194
Declividade	0,325
Pluviosidade	0,356

Por fim, os produtos gerados para a fragilidade de cada uma das variáveis, bem como seus respectivos pesos, foram utilizados visando a obtenção do mapa de fragilidade ambiental. Este mapa é apresentado na Figura 6, ilustrado abaixo.

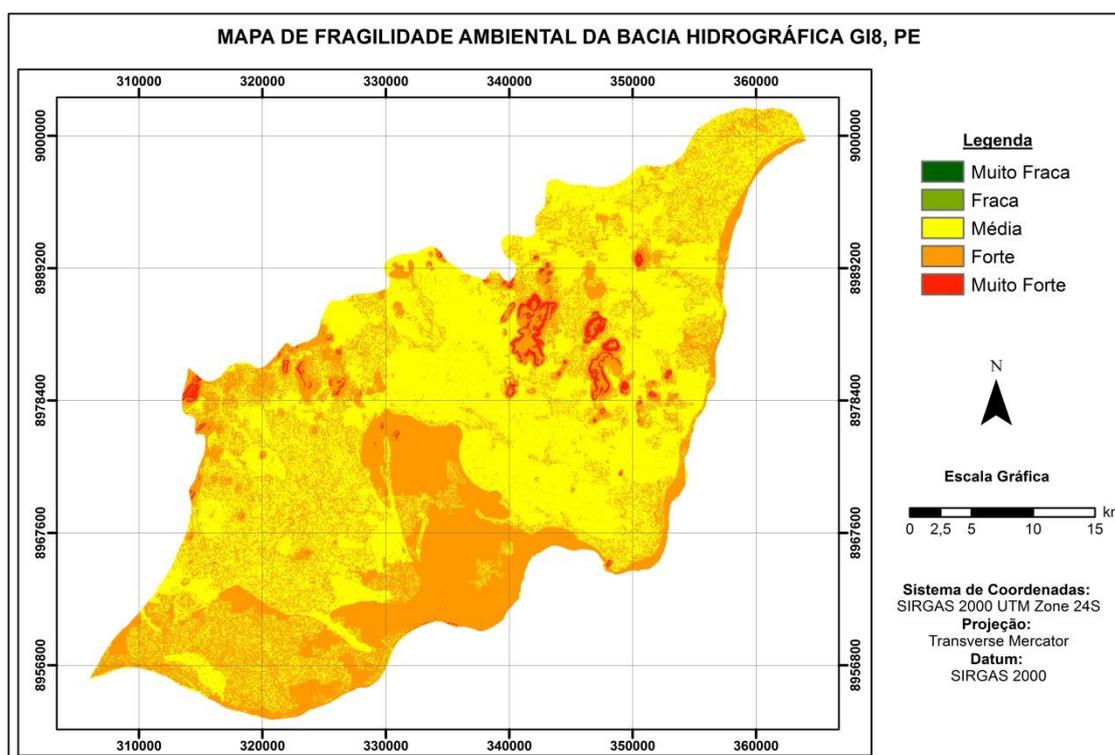


Figura 6 - Mapa de Fragilidade Ambiental da bacia hidrográfica GI8, PE.

Na Figura 6 nota-se uma Forte fragilidade ambiental na margem do Rio São Francisco. Considerando as informações extraídas a partir dos dados de uso e ocupação pode-se associar esta fragilidade ao fato de a cidade estar localizada à margem do rio, além da presença de propriedades rurais e agroindústrias, que fazem uso do rio para diversos fins, inclusive na irrigação de áreas agrícolas. Além disso, destaca-se que os solos das margens são considerados jovens, sendo suscetíveis a processos erosivos.

De acordo com a Figura 6 e a Tabela 9 observa-se que 59% da área da bacia foi avaliada como área de fragilidade Média, seguido por 40% na classe Forte e apenas 1% do território apresenta uma fragilidade ambiental Muito Forte; fragilidades de classe Muito Fraca e Fraca não são observadas neste ambiente. Assim, caso não sejam tomados os devidos cuidados, a instabilidade deste ambiente pode ser ainda mais intensificada, gerando um maior desequilíbrio ambiental.

Tabela 9 – Área referente a cada classe de Fragilidade Ambiental.

Classe	Área		
	m ²	ha	%
Muito Fraca	0	0	0
Fraca	0	0	0
Média	795.417.747,96	79.541,77	59
Forte	533.109.793,10	53.310,98	40
Muito Forte	19.206.181,41	1.920,62	1

As áreas de fragilidade Muito Forte estão localizadas na região de maior declividade. Devem-se destacar as áreas agrícolas, de pastagem natural e de vegetação campestre mais áreas agrícolas, já que nestas áreas ocorre o uso indiscriminado dos recursos naturais; em algumas das propriedades a técnica da irrigação vem sendo feito erroneamente, o que pode levar à salinização dos solos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi realizado o mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica GI8, no Pernambuco. A metodologia adotada permitiu, de forma

satisfatória, o mapeamento de fragilidade ambiental para a área em estudo, porém, existe a necessidade de realização de trabalhos de campo no intuito de aferir os resultados aqui apresentados. A realização de estudos de fragilidade ambiental pode servir como ferramenta de suporte à decisão, visando uma melhor gestão dos recursos hídricos da bacia, visto a escassez deste valioso recurso natural no semiárido brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BHUSHAN, N.; RAI, K. Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process. **Springer**, 2004.

CEREDA JÚNIOR, A.; RÖHM, S. A.; Analysis of Environmental Fragility Using Multi-Criteria Analysis (MCE) for Integrated Landscape Assessment. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v. 8, n. 1, p. 28-37, 2014.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. São José dos Campos: INPE. 2001. 103 p.

MARTÍN-DUQUE, J. F.; GARCÍA, J. C.; URQUÍ, L. C. Geoheritage information for geoconservation and geotourism through the categorization of landforms in a Karstic Landscape: a case study from Covalagua and Las Tuerces (Palencia, Spain). **Geoheritage**, v. 4, n. 1, p. 93-108, 2012.

MIARA, M. A.; OKA-FIORI, C. Análise por múltiplos critérios para a definição de níveis de fragilidade ambiental – um estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Cará-Cará, Ponta Grossa/PR. **RAVEGA**, n. 13, p. 85-98, 2007.

RIGNEL, D. G. S.; CHENCI, G. P.; LUCAS, C. A. Uma Introdução a Lógica Fuzzy. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica**, v. 1, p. 17-28, 2011.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do DG-USP**, n. 8, 1994.

ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities. **Revista do DG-USP**, p. 38-51, 2012.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation**. New York: Mcgraw-hill, 1980. 287 p.

ZADEH, L. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, p. 338-353, 1965.