

ESTUDO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA DO RIO DAS FLORES NO OESTE DE SANTA CATARINA

Ricardo André Brandão ¹, Julio Caetano Tomazoni ²

¹Mestrando de Engenharia Ambiental – UTFPR Campus Francisco Beltrão, Endereço: Linha Santa Bárbara interior, CEP 85601 970 - Francisco Beltrão, PR; e-mail: eng_ricardobrandao@hotmail.com; ²Professores Permanentes do PPGEA – UTFPR Campus Francisco Beltrão, Endereço: Avenida Julio Assis Cavalheiro 980, Apto. 122, CEP 85601 000, Francisco Beltrão PR; e-mail: caetano@utfpr.edu.br.

RESUMO

O estudo teve por objetivo avaliar as vulnerabilidades ambientais da bacia hidrográfica do Rio das Flores, localizada na Região Oeste do Estado de Santa Catarina, de forma a estabelecer ações e limitações no uso e ocupação do solo, servindo de base para o planejamento ambiental. Os resultados demonstraram que a Bacia Hidrográfica do Rio das Flores apresenta uma área de 702,9 km², sendo dessas 0,1% vulnerável; 18,1% moderadamente vulnerável; 60% medianamente estável/vulnerável; 21,3 % moderadamente estável e 0,6% estável. Também foram criados cenários de ocupação do solo dos quais resultaram na seguinte hipótese: se a área fosse toda urbanizada ou com solo exposto, caracterizar-se-ia como sendo 25,7% vulnerável; 71,6% moderadamente vulnerável; 2,7% medianamente estável e/ou vulnerável; 0 % moderadamente estável e 0 % estável. Por fim, foram estabelecidas 5 propostas ações com caráter reativo ou preventivo visando a redução da vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica.

Palavras-chave — meio ambiente, bacia hidrográfica, impacto ambiental.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the environmental vulnerabilities from Rio das Flores Watershed, located in the west region of Santa Catarina State, in order to establish actions and limitations on land use, serving as a baseline study for environmental planning. The results show Rio das Flores Watershed presents an area of 702.9 km², of which 0.1% is considered vulnerable; 18.1% moderately vulnerable; 60% median stable/vulnerable; 21.3% moderately stable; and 0.6% stable. Additionally, land occupational scenarios were created, resulting in the following theory: if all the land was urbanized or with soil exposure, would be characterized as being 25.7% vulnerable; 71.6% moderately vulnerable; 2.7 median stable and/or vulnerable; 0% moderately stable; and 0% stable. Finally, five action proposals with reactive or preventive features were established, aiming to reduce the environmental vulnerability of the watershed.

Todos os artigos escritos em Português e Espanhol devem conter um Abstract. Tanto o título da seção quanto o texto em inglês devem estar em itálico. O Abstract também deve conter de 100 a 150 palavras. Note que ao longo do texto todas as palavras de língua inglesa também devem aparecer em itálico.

Key words — *environment, watershed, environmental impact.*

1. INTRODUÇÃO

A área de estudo abrange a bacia hidrográfica do Rio das Flores. Essa bacia está localizada na porção Extremo Oeste de Santa Catarina, com escoamento predominantemente Norte-Sul, fazendo divisa na direção Leste com a Bacia Hidrográfica do Rio das Antas, ao Oeste com as Bacias Hidrográficas do Rio Maria Preta e Peperí-Guaçu, e ao Sul com a Bacia Hidrográfica do Rio Macaco Branco.

Nas áreas urbanizadas, além da ocupação urbana, ocorre a presença de atividades industriais, sendo, principalmente, as atividades de agroindústrias, metalúrgicas, produtos para a construção civil, entre outras.

Já nas áreas rurais, as principais atividades na bacia estão vinculadas à criação de animais (gado de leite, gado de corte, suinocultura e avicultura). Quanto aos cultivos, é observado com maiores índices os cultivos permanentes como laranja, tangerina e uva, e temporários com milho, trigo e soja.

O objetivo deste estudo é avaliar as vulnerabilidades ambientais da bacia hidrográfica do Rio das Flores, localizada na Região Oeste do Estado de Santa Catarina, de forma a estabelecer as limitações e potencialidades no uso e ocupação do solo, servindo de base para o planejamento ambiental orientado, visando a conservação ambiental e a redução de riscos naturais na região de estudo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A Bacia Hidrográfica do Rio das Flores (Figura 1), é formada por 1.593 nascentes e possui uma área de drenagem de 702,90 km², distribuídos em 10 municípios, sendo Dionísio Cerqueira (SC), Guarujá do Sul (SC), Princesa (SC), São José do Cedro (SC), Guaraciaba (SC), Paraíso (SC), São Miguel do Oeste (SC), Bandeirante (SC), Descanso (SC) e Belmonte (SC).

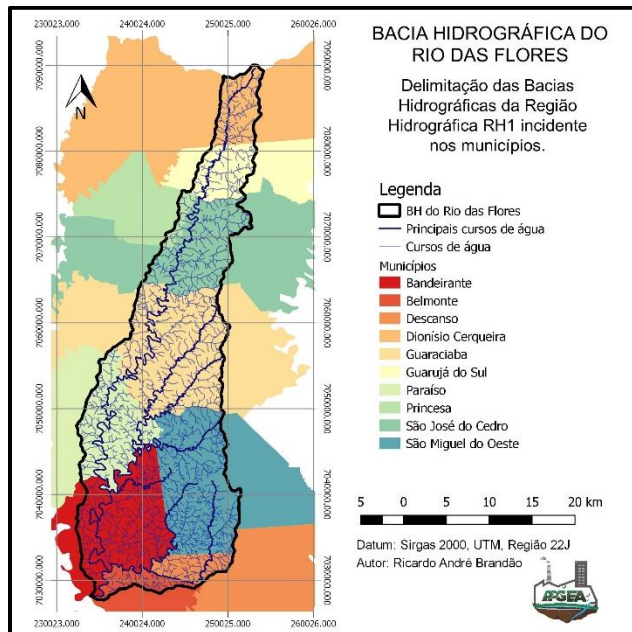


Figura 1. Delimitação das Bacias Hidrográficas da Região Hidrográfica RH1 incidente nos municípios.

O desenvolvimento da metodologia foi realizado em quatro etapas conforme apresentado na figura 2, sendo divididos em obtenção de dados, processamento dos dados, fase de diagnóstico e a elaboração de proposta de ações.

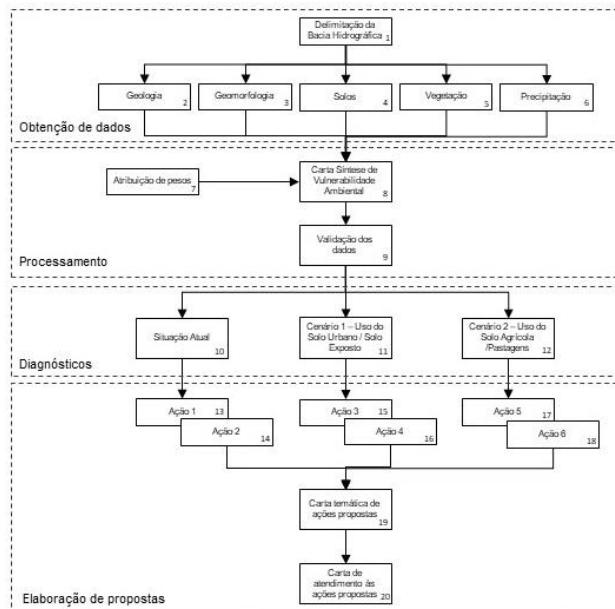


Figura 2. Diagrama de fluxo do roteiro metodológico.

Na fase de obtenção de dados, foram utilizadas bases cartográficas georreferenciadas para a delimitação da Bacia Hidrográfica e dos seguintes mapas temáticos: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Precipitação, com base nos mapas extraídos das fontes apresentadas na tabela 1.

Informação	Dados	Fonte	Escala
Delimitação da bacia hidrográfica	Ottobacias das Unidades Hidrográficas	Agência Nacional de Águas	1:10.000
Mapeamento Geológico	Mapa Geológico do estado de Santa Catarina	CPRM - Serviço Geológico do Brasil	1:500.000
Mapeamento Geomorfológico	Modelo Digital do Terreno - Topodata	Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)	90 x 90
Mapeamento de solos	Mapa de Solos do Brasil	Embrapa	1:250.000
Mapeamento da Vegetação	Imagem do satélite Landsat 8	Projeto MAPBiomass	30 x 30
Mapeamento das precipitações	Intensidade Pluviométrica Mensal	Epagri/CIRA M	1:500.000

Tabela 1: Dados extraídos para geração dos mapas.

Para a determinação do grau de vulnerabilidade, o modelo de [1] é aplicado individualmente nas unidades territoriais básicas, quanto aos temas Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima, dos quais recebem um valor final, resultante da média aritmética dos valores individuais, segundo a equação empírica (1), a qual apresenta a posição da unidade na escala de vulnerabilidade à perda de solo.

$$V = \frac{(G + R + S + Vg + C)}{5} \quad (1)$$

Onde:

V = Vulnerabilidade;

G = vulnerabilidade para o tema Geologia;

R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia;

S = vulnerabilidade para o tema Solos;

Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação;

C = vulnerabilidade para o tema Clima.

Os valores resultantes de cada unidade apresentam maior estabilidade quando aproximados de 1,0. Aqueles que se apresentam próximos a 2,0 possuem estabilidade intermediária, já as unidades que se aproximam de 3,0 apresentam maior vulnerabilidade devido à instabilidade [1].

A determinação dos pesos de influência das variáveis no índice de vulnerabilidade, foram obtidos por meio do método Analytic Hierarchy Process (AHP) proposto por [2], com o uso de uma escala fundamental.

A AHP é uma teoria geral de medição. É usada para derivar escalas de proporção a partir de comparações discretas e contínuas emparelhadas. Essas comparações

podem ser extraídas de medições ou a partir de uma escala fundamental que reflete a força relativa de cada variável ([2].

Para possibilitar a modelagem em AHP foi realizada a comparação pareada com a elaboração de uma escala fundamental a partir da intensidade de importância.

A análise em questão foi desenvolvida por meio da escala fundamental desenvolvida pelo autor utilizando a escala de valores proposta do [3], conforme tabela 2 e, após essa avaliação, foram aplicadas as fórmulas do algoritmo AHP para obtenção do vetor de pesos e Razão de Consistência (RC). Alguns testes e ajustes no julgamento dos critérios foram feitos na matriz de pesos até se chegar a um RC aceitável.

	A	B	C	D	E	
A	1	1/7	1/7	1/8	1/2	Sendo:
B	7	1	2	1/4	7	A: Geologia
C	7	1/2	1	1/3	7	B: Geomorfologia
D	8	4	3	1	7	C: Solos
E	2	1/7	1/7	1/7	1	D: Uso do Solo
						E: Precipitação

Tabela 2: Comparação pareada dos critérios avaliados (escala fundamental) no estudo de vulnerabilidade ambiental.

De acordo com [4], as prioridades médias locais dos elementos comparados na matriz de julgamento podem ser obtidas por meio de operações matriciais, calculando-se o principal autovetor da matriz e normalizando-o em seguida.

Conforme [5], o resultado obtido em cada linha corresponde ao total percentual relativo de prioridades ou preferências em relação ao foco objetivo imediato. O vetor de prioridades resultante é chamado autovetor da matriz, e a somatória de seus elementos é igual a 1. Após o cálculo das prioridades locais em relação a cada nó imediatamente superior, foi realizado o cálculo da consistência de tais julgamentos. Ainda, segundo [4], caso o CR calculado seja inferior ou igual a 0,10, a matriz de julgamento é considerada consistente. Caso contrário, a matriz é considerada inconsistente, e o julgamento deve ser refeito. No cálculo em questão, o índice de consistência da análise resultou em 8,1%, dessa forma o julgamento foi considerado como consistente e gerando a matriz de prioridades e pesos (Tabela 3).

Ordem de prioridade	Variável	Atribuição de pesos
1	Vegetação	48,8%
2	Geomorfologia	24,2%
3	Solos	19,1%
4	Precipitação	4,5%
5	Geologia	3,4%

Tabela 3: Ordem de prioridade e atribuição de pesos obtidas com o uso do método AHP.

Com o uso do algoritmo AHP possibilitou-se determinar os pesos, indicando a ordem das variáveis de maior importância (prioridade).

A Carta Síntese de Vulnerabilidade ambiental foi elaborada por meio da álgebra raster, com uso do software QGIS, sendo utilizada a média do índice de vulnerabilidade atribuída às variáveis Geologia (G), Geomorfologia (R), Solos (S), Vegetação (Vg) e Clima (C), sendo aplicada a equação (1).

$$\text{Vulnerabilidade} = 0,488x(\text{Vegetação}) + 0,242x(\text{Geomorfologia}) + 0,191x(\text{Solos}) + 0,045x(\text{Precipitação}) + 0,034x(\text{Geologia}) \quad (1)$$

3. RESULTADOS

A Bacia Hidrográfica do Rio das Flores apresenta uma área de 702,90 km² e possui como principais afluentes os rios Cambuim, Famoso e Índio e os Lajeados do Cedro, Barulho, Bandeirante, Gramado, Lagarto, Arroio Liso, Sanga do Tatu e Vacaria.

O Rio das Flores possui sentido de escoamento predominantemente do Norte para o Sul, estando localizado próximo à porção oeste da bacia hidrográfica, sendo a porção leste da bacia responsável por grande parte da drenagem natural.

A Bacia Hidrográfica apresenta, no total, 1.593 nascentes e, aproximadamente, 1.549,50 km de extensão, somando-se todos os trechos de drenagem.

4. DISCUSSÃO

O mapa “Síntese de Vulnerabilidade” apresentou resultados consistentes propiciando uma visão mais ampla da bacia como um todo. Ademais, considerou um total de variáveis e relevância, que, se analisadas isoladamente, poderiam apresentar apenas situações mais pontuais para os temas avaliados.

Os resultados demonstraram que a bacia hidrográfica apresenta uma maior relevância para a classificação Medianamente Estável/Vulnerável, com predominância de 60 % da área da bacia sendo uma área de 421,43 km². Esse fato pode ser efetivamente identificado em grande parte da bacia, sendo que a ocupação do solo tem sido intensa para o desenvolvimento da agricultura e pastagens que, apesar de representar uma ação antrópica, a mesma ainda tem capacidade de conter o solo em virtude da vegetação e enraizamento das camadas de solo.

As regiões consideradas estáveis representam 0,6% da área da bacia, compreendendo 4,18 km² e são compostas basicamente por áreas vegetadas associadas a baixa ou média declividade ocorrendo com maior predominância nas áreas rurais dos municípios de Guarujá do Sul e Dionísio Cerqueira. Por outro lado, as áreas consideradas como vulneráveis representam 0,1% da área da Bacia, compreendendo uma área de 0,44 km², e estão associadas às áreas com maiores declividades e uso do solo geralmente

urbano ou regiões com solo exposto, sendo esses vinculados diretamente à ação antrópica.

As maiores vulnerabilidades (Figura 3) foram identificadas nas regiões urbanizadas dos municípios de São Miguel do Oeste, Guaraciaba e, em maior predominância, nas áreas urbanizadas do município de São José do Cedro. Esses resultados demonstram que medidas reativas e preventivas devem ser aplicadas para garantir a segurança e qualidade de vida da população, sendo que, sugere-se aos municípios que incluam essas áreas como prioridade no planejamento ambiental municipal.

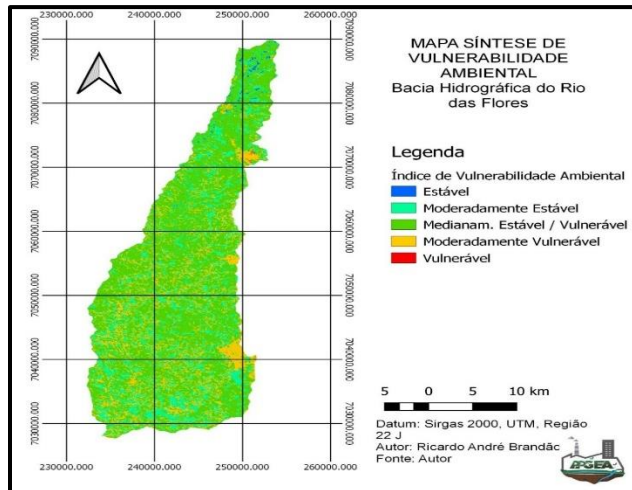


Figura 3. Mapa Síntese de Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio das Flores.

Também nas áreas rurais verificou-se alguns pontos isolados com alta vulnerabilidade, associados a alta declividade e a presença de uso do solo exposto, sendo importante também a aplicação de medidas para garantir a segurança e estabilidade das áreas (Vide Tabela 5).

Vulnerabilidade (Crepani et al, 2001)	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Estável	4,18	0,6
Moderadamente Estável	149,45	21,3
Medianamente Estável/Vulnerável	421,43	60,0
Moderadamente Vulnerável	127,36	18,1
Vulnerável	0,44	0,1
Total	702,9	100,0

Tabela 5. Classificação do índice de Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio das Flores.

Nas áreas rurais ficou visível que as áreas Vulneráveis e Moderadamente Vulneráveis acompanham os cursos de água, tendo em vista que, a bacia do Rio das Flores apresenta cursos de água em regiões mais profundas estando associada a declividade próximo ao leito dos rios, fator esse que

demonstra uma necessidade maior de proteção das áreas ciliares dos cursos de água.

As áreas com maiores declividades foram evidenciadas nos rios principais, em especial na região de jusante da bacia, assumindo valores de vulnerabilidade mais altos.

5. CONCLUSÕES

O estudo demonstrou a necessidade de uma gestão adequada no uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio das Flores, tendo como base as propostas apresentadas e os resultados da análise ao atendimento de tais propostas.

Quanto à metodologia aplicada, pode-se observar que a mesma foi válida e que sua aplicação pode contribuir para fins de planejamento regional ambiental, tendo em vista que apresentou resultados representativos, de forma rápida e com baixo custo, utilizando recursos técnicos e científicos disponíveis gratuitamente.

Por meio do uso da metodologia de [1], foi possível determinar os índices de vulnerabilidades, outrossim, os resultados se aproximaram da realidade quando houve uma distribuição de pesos no cálculo do mapa síntese de vulnerabilidade ambiental, sendo nesse caso, utilizado o método AHP proposto por [2], por meio da elaboração de uma escala fundamental, do qual apresentou resultados satisfatórios para a análise em questão.

A elaboração do mapa síntese de Vulnerabilidade Ambiental, propiciou a identificação das áreas com maiores índices de vulnerabilidade ambiental, de forma rápida e sistematizada, sendo possível, estabelecer as áreas prioritárias com necessidade de aplicações de ações e medidas para possível melhoria das condições de estabilidade das áreas, e conseqüente maior preservação e proteção ambiental.

6. REFERÊNCIAS

- [1] E. Crepani, P. Hernandez Filho, T. G. Florenzano, and V. Duarte. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf>>.
- [2] T. L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process. N. York, USA: McGraw-Hill, 1986
- [3] T. L. SAATY. That is not the analytic hierarchy process: what the AHP is and what it is not. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, v. 6, n. 6, p. 324-335, 1997.
- [4] T. L. Saaty. Some mathematical concepts of the analytic hierarchy process. Behaviormetrika, v. 18, n. 29, p. 1-9, 1991.
- [5] M. C. C. R. Ribeiro, and A. S. Alves. Aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. Sistemas e Gestão, v. 11, n. 3, p. 270-281, 2016.