

Indicadores e índices de vulnerabilidade ambiental

Nos últimos anos, uma demanda explícita tem sido colocada sobre a comunidade científica na produção de indicadores para direcionar os investimentos em conservação ^[30]. O gerenciamento da vulnerabilidade surge como uma parte crítica de qualquer estratégia de desenvolvimento sustentável e os índices de vulnerabilidade ambiental são importantes ferramentas para auxiliar nesse gerenciamento.

Indicadores e Índices têm sido desenvolvidos em diferentes escalas e para diferentes propósitos ^[31]. O desenvolvimento de indicadores de vulnerabilidade ambiental tem sido descrito como complexo, já que a quantificação e a qualificação da vulnerabilidade ambiental não podem ser resolvidas de forma geral, além disso, a integridade de um ecossistema não pode ser medida diretamente ou expressa por meio de um único indicador [30, 32].

O Índice de Vulnerabilidade Ambiental (EVI) foi desenvolvido pela *South Pacific Applied Geoscience Commission* (SOPAC) juntamente com a *United Nations Environmental Programme* (UNEP) e seus parceiros. Foi desenvolvido com a colaboração de especialistas de diversos países e pode ser utilizado como um indicador de vulnerabilidade social e econômica dando uma visão dos processos que podem interferir no desenvolvimento sustentável dos países. Na Figura 4.1, ilustra como o Índice de Vulnerabilidade Ambiental (EVI - *Environmental Vulnerability Index*) é composto.

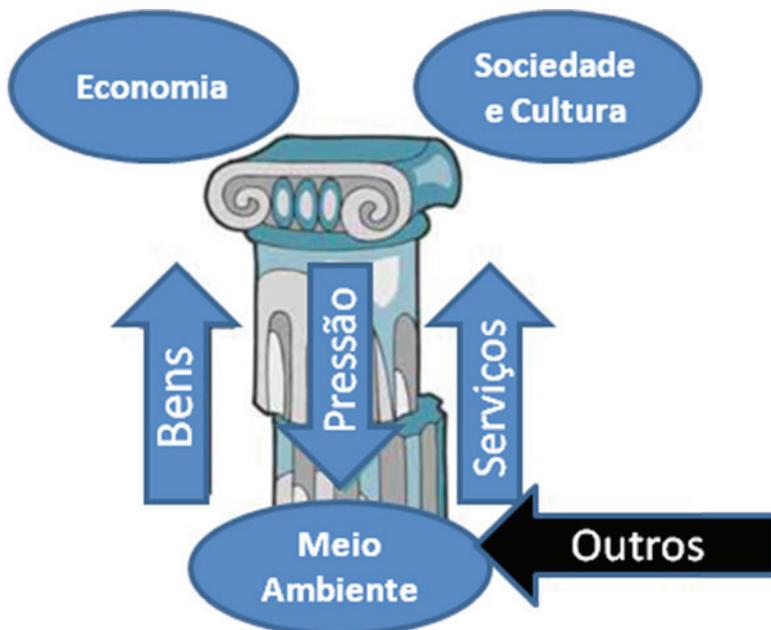


Figura 4.1 Fatores que influenciam a Vulnerabilidade Ambiental e que englobam o EVI ^[33].

Segundo a OMS (1981), os indicadores deverão atender os seguintes requisitos: *ser válidos*, ou seja, devem medir realmente o que se supõem deviam medir, *ser objetivos*, isto é, dar o mesmo resultado quando a medição é feita por pessoas distintas em circunstâncias análogas; *ser sensíveis*, ou seja, ter a capacidade de captar mudanças ocorridas na situação; e ser específicos, isto é, refletir só as mudanças ocorridas na situação que tratem ^[34]. Assim a proposta da metodologia do EVI é compreender e mensurar as vulnerabilidades do meio ambiente, antever danos maiores e irreversíveis que coloquem em risco o bem-estar e o futuro da humanidade.

De acordo com o EVI ^[32], a avaliação da vulnerabilidade ambiental requer o uso de uma ampla base de indicadores objetivados em cada um dos componentes de vulnerabilidade (Indicadores de Risco - REI, Indicadores de Resiliência - IRI e Indicadores de Integridade Ambiental ou Degradação - EDI) e em diferentes níveis espaciais, temporais e hierárquicos da organização do ecossistema. Tratando-se de um país inteiro a avaliação não é uma tarefa fácil. Idealmente, os indicadores exigidos descrevem:

- Frequência e intensidade dos riscos mais importantes;
- Vulnerabilidade intrínseca/resiliência a riscos como características de um país que se apresenta suscetível ao perigo, taxas naturais de regeneração ou de produtividade que tornam provável a recuperação a perturbações mais rápida e de forma mais completa antes da chegada de um próximo perigo etc.;

- Ecossistemas: Perda de habitats, espécies-chave, funções do ecossistema, bens e serviços;
- Grupos de organismos: Perda de diversidade, populações de organismos e da diversidade genética e redundância ecológica;
- Elementos do ambiente físico (água, tempestades, processos litorais, planícies de inundação, terras perto do nível do mar);
- Espécies raras, ameaçadas e aquelas de importância econômica que podem ser mais visadas do que normalmente por atividades humanas; e
- Mitigadores dos efeitos dos perigos tais como a legislação que modifica os riscos humanos e programas de monitoramento que fornecem um aviso antecipado do dano ao ecossistema.

Os indicadores para o cálculo do EVI e seus sub-índices foram selecionados de acordo com os seguintes critérios:

- Ser aplicável sobre escalas diferentes, ou devem pelo menos ser calculáveis sobre a toda a escala de interesse;
- Estender-se sobre diferentes tipos geográficos, climáticos e de habitat (e.g. tropical, temperado, terrestre, litoral e marinho);
- Ser relativamente fácil de compreender;
- Ser imparcial;
- Ser tão bem definido quanto possível de modo que os dados sejam comparáveis e meçam a mesma variável de país para país e de operador para operador;
- Estender-se sobre diferentes níveis de organização (ecossistemas, biodiversidade, processos);
- Dados disponíveis, relativamente confiáveis e coletados como rotina por autoridades do país;
- Dados que devem estar disponíveis caso um especialista for ao país auxiliar em seu cotejo ou para os programas dirigidos na coleta ou cotejo podem ser propostos e executados; e
- Os indicadores devem ser tão não relacionados quanto possível entre si. Indicadores redundantes não acrescentam informações adicionais ao EVI ^[36].

Segundo o EVI de 2004 ^[35] o termo indicador é derivado do verbo em latim *indicare* significando “apontar para ou descobrir” Um indicador pode por essa razão ser explicado como qualquer componente do meio ambiente que estima quantitativamente a condição dos recursos ecológicos, a magnitude do stress, a exposição do componente biológico ao stress, ou a total mudança na condição.

O EVI utiliza 50 “indicadores *smart*” para capturar os elementos chave da vulnerabilidade ambiental. O termo “indicadores *smart*” tem sido utilizado para definir indicadores que tem por objetivo capturar um extenso número de elementos em um sistema interativo complexo enquanto simultaneamente mostra

como o valor obtido se relaciona com alguma condição ideal. Cada indicador é classificado em:

Tipos

- Tempo & Clima
- Geologia
- Geografia
- Recursos e Serviços
- Populações Humanas

Aspectos

- Perigos
- Resistência
- Danos

Sub-índices

- Mudanças Climáticas
- Biodiversidade
- Água
- Agricultura e Pesca
- Aspectos da Saúde Humana
- Desertificação
- Exposição a Desastres Naturais

Cada indicador é, também, acompanhado por uma denominação abreviada, uma definição detalhada, palavras-chave e uma descrição dos principais sinais dos quais é representante, assim como os indicadores de relevância política. Os indicadores que compõem o EVI são:

1. VENTOS FORTES – Média anual do excesso de velocidade do vento durante os últimos cinco anos, calculada sobre todas as estações climáticas de referência.

2. PERÍODOS DE SECA – Déficit da média anual de precipitação (mm) durante os últimos cinco anos para todos os meses com mais de 20% de redução de chuva do que os 30 anos mensalmente medidos, calculada sobre todas as estações climáticas de referência.

3. PERÍODOS DE CHUVA – Média anual do excesso de precipitação (mm) durante os últimos 5 anos para todos os meses com mais de 20% de aumento de chuva do que os 30 anos mensalmente medidos, calculada sobre todas as estações climáticas de referência.

4. PERÍODOS QUENTES – Média anual do excesso de calor (graus) durante os últimos cinco anos para todos os dias 5°C (9°F) mais quente do que as médias máximas mensais de 30 anos, calculada sobre todas as estações climáticas de referência.

5. PERÍODOS FRIOS – Déficit da média anual de calor (graus) durante os últimos cinco anos para todos os dias 5°C (9°F) mais frio do que as médias mínimas mensais de 30 anos, calculada sobre todas as estações climáticas de referência.

6. TEMPERATURA DOS OCEANOS – Desvio médio anual da Temperatura da Superfície dos Oceanos (TSO) nos últimos 5 anos em relação às médias mensais de 30 anos.

7. VULCÕES – Risco acumulado de vulcões como número ponderado de vulcões com potencial de erupção maior ou igual a 2 do Índice de Explosividade Vulcânica (IEV), dentro de 100 km da fronteira do país.

8. TERREMOTOS – Energia acumulada de terremotos dentro de 100 km da fronteira do país medida como Magnitude Local (ML) $\geq 6,0$ e ocorrendo a uma profundidade menor ou igual a 15 km em cinco anos.

9. TSUNAMIS – Número de tsunamis ou maré de tempestade com espraio de ondas maior do que 2 metros acima da Média Alta das Águas da Primavera por 1000 km de litoral desde 1900.

10. DESLIZAMENTOS – Número de deslizamentos registrados nos últimos cinco anos, divididos por área de terra.

11. ÁREA DE TERRA – Total da área de terra (km²).

12. DISPERSÃO DO PAÍS – Razão da extensão das fronteiras (terrena e marítima) do total de área de terra.

13. ISOLAMENTO – Distância em quilômetro do continente mais próximo.

14. RELEVO – Diferença de altitude (ponto mais alto subtraído do mais baixo do país).

15. TERRAS BAIXAS – Porcentagem da área de terra menor ou igual a 50 m acima do nível do mar.

16. FRONTEIRAS – Número de fronteiras terrenas e marítimas divididas com outros países.

17. DESEQUILÍBRIO DO ECOSSISTEMA – Média ponderada da mudança no nível trófico desde o início da pesca.

18. TRANSPARÊNCIA AMBIENTAL – Média anual dos fretes de importação (Dólar Dos Estados Unidos) nos últimos cinco anos por qualquer meio por km² de área.

19. MIGRAÇÕES – Número de espécies conhecidas que migraram para fora da área territorial em qualquer momento durante o período de vida/área de terra.

20. ENDÊMICAS – Número de espécies endêmicas conhecidas por milhão de km² de área.

21. INTRODUÇÃO – Número de espécies introduzidas por 100 km² de área.

22. ESPÉCIES AMEAÇADAS – Número de espécies ameaçadas e vulneráveis por 100 km² de área.

23. EXTINÇÃO – Número de espécies conhecidas por 100 km² de área que, desde 1900, têm se tornado extintas.

24. COBERTURA VEGETAL – Porcentagem de cobertura vegetal natural e de regeneração remanescentes.

25. PERDA DE COBERTURA – Mudança na porcentagem líquida da cobertura vegetal natural durante os últimos cinco anos.

26. FRAGMENTAÇÃO DO HABITAT – Extensão total de todas as rodovias em um país dividida por área de terra.

27. DEGRADAÇÃO – Porcentagem de área de terra que é severamente ou muito severamente degradada.

28. RESERVAS TERRESTRES – Porcentagem de áreas terrestres legalmente não utilizadas para servirem como reservas.

29. RESERVAS MARINHAS – Porcentagem de plataformas continentais legalmente designadas como Área Marinha Protegida (AMP's).

30. AGRICULTURA INTENSIVA – Produção anual em toneladas dos produtos animais cultivados intensivamente durante os últimos cinco anos 100 km² de área.

31. FERTILIZANTES – Média anual da intensidade do uso de fertilizantes sobre a área total durante os últimos cinco anos.

32. PESTICIDAS – Média anual em kg/km²/ano dos pesticidas utilizados sobre a área total durante os últimos cinco anos.

33. BIOTECNOLOGIA – Número acumulado de ensaios de campo deliberados para organismos geneticamente modificados conduzidos no país desde 1986.

34. PRODUTIVIDADE DA SOBREPESCA – Razão média de produtividade: captura da pesca nos últimos cinco anos.

35. ESFORÇO DE PESCA – Número médio anual de pescadores por quilômetro de litoral nos últimos cinco anos.

36. ÁGUA RENOVÁVEL – Média anual do consumo de água em porcentagem de fontes de água renovável nos últimos cinco anos.

37. EMISSÃO DE DIÓXIDO DE ENXOFRE – Média anual de emissões de dióxido de enxofre nos últimos cinco anos.

38. PRODUÇÃO DE RESÍDUOS – Quantia líquida anual de tóxicos gerados e importados, resíduos perigosos e municipais por km² de área nos últimos cinco anos.

39. TRATAMENTO DE RESÍDUOS – Porcentagem média anual de resíduos perigosos, tóxicos e municipais efetivamente gerenciados e tratados nos últimos cinco anos.

40. INDÚSTRIA – Média anual do consumo de eletricidade da indústria durante os últimos 5 anos por km² de área.

41. DERRAMAMENTO – Número total de derramamentos de óleo e substâncias perigosas maiores do que 1000 litros em terra, em rios ou em águas terrestres por milhão de quilômetros de costa marítima durante os últimos cinco anos.

42. MINERAÇÃO – Produção média anual de mineração por km² de área nos últimos cinco anos.

43. SANEAMENTO – Densidade da população sem acesso a um saneamento seguro.

44. VEÍCULOS – Número de veículos por km² de área.

45. POPULAÇÃO – Densidade total da população humana (número por km² de área).

46. CRESCIMENTO DA POPULAÇÃO – Taxa anual de crescimento da população humana nos últimos cinco anos.

47. TURISTAS – Número médio anual de turistas internacionais por km² de área nos últimos cinco anos.

48. POVOADOS COSTEIROS – Densidade de pessoas vivendo em povoados costeiros.

49. ACORDOS AMBIENTAIS – Número de tratados ambientais em vigor em um país.

50. CONFLITOS – Número médio de conflitos armados por década dentro de um país nos últimos 50 anos ^[35].

A Tabela 4.1 apresentada a seguir descreve os indicadores e suas classificações.

Tabela 4.1 Indicadores e suas classificações. Onde: **MC** = Mudanças Climáticas; **EDN** = Exposição a Desastres Naturais; **SH** = Aspectos da Saúde Humana; **AP** = Agricultura e Pesca; **A** = Água; **D** = Desertificação; **B** = Biodiversidade.

Indicadores	Tipos	Aspectos	Sub-índices					
1. Ventos fortes	Tempo & Clima	Perigos	MC	EDN				D
2. Períodos de Seca	Tempo & Clima	Perigos	MC	EDN		AP	A	D
3. Períodos de Chuva	Tempo & Clima	Perigos	MC	EDN		AP	A	D
4. Períodos Quentes	Tempo & Clima	Perigos	MC	EDN				D
5. Períodos Frios	Tempo & Clima	Perigos		EDN				D
6. TSO	Tempo & Clima	Perigos	MC			AP		B
7. Vulcões	Geologia	Perigos		EDN				
8. Terremotos	Geologia	Perigos		EDN				
9. Tsunamis	Geologia	Perigos		EDN				
10. Deslizamentos	Geologia	Perigos		EDN				
11. Área de Terra	Geografia	Resistência	MC					B
12. Dispersão	Geografia	Resistência	MC					B
13. Isolamento	Geografia	Resistência						B

(continua)

Tabela 4.1 Indicadores e suas classificações. Onde: **MC** = Mudanças Climáticas; **EDN** = Exposição a Desastres Naturais; **SH** = Aspectos da Saúde Humana; **AP** = Agricultura e Pesca; **A** = Água; **D** = Desertificação; **B** = Biodiversidade.
(continuação)

Indicadores	Tipos	Aspectos	Sub-índices						
14. Relevo	Geografia	Resistência	MC					D	B
15. Terras Baixas	Geografia	Resistência	MC					D	B
16. Fronteiras	Geografia	Resistência							B
17. Desequilíbrio	Recursos e Serviços	Danos							B
18. Transparência	Recursos e Serviços	Perigos							B
19. Migrações	Recursos e Serviços	Resistência							B
20. Endêmicas	Recursos e Serviços	Resistência							B
21. Introduções	Recursos e Serviços	Danos	MC						B
22. Ameaçadas	Recursos e Serviços	Danos							B
23. Extinção	Recursos e Serviços	Danos							B
24. Vegetação	Recursos e Serviços	Danos					A	D	B
25. Perda de Cobertura	Recursos e Serviços	Perigos					A	D	B
26. Fragmentação	Recursos e Serviços	Danos							B
27. Degradação	Recursos e Serviços	Danos					A	D	
28. Reservas	Recursos e Serviços	Perigos					A		B
29. AMP's	Recursos e Serviços	Perigos							B
30. Agricultura	Recursos e Serviços	Perigos							
31. Fertilizantes	Recursos e Serviços	Perigos			SH		A		
32. Pesticidas	Recursos e Serviços	Perigos			SH		A		
33. Biotecnologia	Recursos e Serviços	Perigos							
34. Pesca	Recursos e Serviços	Perigos							
35. Esforço de Pesca	Recursos e Serviços	Perigos							
36. Água	Recursos e Serviços	Perigos	MC		SH		A	D	
37. Ar	Recursos e Serviços	Perigos			SH				

(continua)

Tabela 4.1 Indicadores e suas classificações. Onde: **MC** = Mudanças Climáticas; **EDN** = Exposição a Desastres Naturais; **SH** = Aspectos da Saúde Humana; **AP** = Agricultura e Pesca; **A** = Água; **D** = Desertificação; **B** = Biodiversidade.
(continuação)

Indicadores	Tipos	Aspectos	Sub-índices							
38. Resíduos	Recursos e Serviços	Perigos								
39. Tratamento	Recursos e Serviços	Perigos			SH			A		
40. Indústria	Recursos e Serviços	Perigos								
41. Derramamentos	Recursos e Serviços	Perigos								
42. Mineração	Recursos e Serviços	Perigos								
43. Saneamento	Recursos e Serviços	Perigos			SH					
44. Veículos	Recursos e Serviços	Perigos								
45. População	Populações Humanas	Danos	MC	EDN				A		
46. Crescimento	Populações Humanas	Perigos						A		
47. Turistas	Populações Humanas	Perigos								
48. Povoados Costeiros	Populações Humanas	Danos	MC	EDN						
49. Acordos	Populações Humanas	Perigos								
50. Conflitos	Populações Humanas	Danos								

Fonte: Building Resilience in SIDS, the Environmental Vulnerability Index ^[36].

Villa e McLeod ^[30] sugerem que um modelo teórico capaz de produzir um indicador de vulnerabilidade geral necessita incluir três componentes. O primeiro é um modelo de vulnerabilidade, identificando seus componentes e suas dependências mútuas em termos de propriedades que podem ser associadas a indicadores. O segundo é um modelo de sistema, definindo um caminho para decompor o sistema alvo de maneira que seja prático relacionar a visão do sistema com a definição de vulnerabilidade e assegurar que diferentes sistemas, interpretados de acordo com um sistema modelo comum, sejam comparáveis. O terceiro componente é um modelo matemático, utilizado para agregar a informação definida pelo sistema modelo em um conjunto de indicadores hierarquicamente organizado, cujo maior nível de agregação é o indicador de vulnerabilidade. Para que diferentes indicadores de vulnerabilidade sejam comparáveis por meio de diferentes ambientes, os três componentes precisam ser compatíveis, isto é, adotar o mesmo modelo de vulnerabilidade, o mesmo sistema modelo, e o mesmo modelo

matemático. Cada componente deve servir para publicação como um conjunto de diretrizes para o levantamento e elaboração de dados.

Diferentes organizações, cientistas e outros têm experimentado e utilizado um conjunto de abordagens e técnicas diferentes para tentar medir ou abranger os grupos vulneráveis. Alguns desses incluem a identificação de indicadores de vulnerabilidade incluindo mudanças na vegetação, risco de enchente ou aridez, acesso e disponibilidade de comida, e/ou má nutrição. Métodos e modelos pelos quais é possível identificar a vulnerabilidade tem sido geralmente o produto de empréstimo e combinação junto a abordagens relacionadas na tentativa de identificar ambientes vulneráveis e regiões de risco ^[37].

Outros esforços para quantificar a vulnerabilidade ambiental se referem a sistemas específicos, a estressores particulares ou a classes de estressores. Os exemplos citados por Villa e McLeod ^[30] incluem a vulnerabilidade ao aumento do nível do mar e mudanças climáticas, derramamento de óleo em zonas entre-marés, contaminação de águas subterrâneas por pesticidas em escala regional e aumento do nível do mar em escala nacional.

Três grandes projetos globais têm sido desenvolvidos para medir risco e/ou vulnerabilidade com o auxílio de indicadores e índices em escala nacional e para comparações internacionais e globais. Esses incluem o *UNDP's Disaster Risk Index* (DRI), o projeto Hotspots projetado pela Universidade Columbia e os Indicators for the Americas desenvolvido pelo Instituto de Estudos Ambientais, Universidade Nacional de Colômbia—Manizales. Em nível local, uma ampla variedade de abordagens tem sido aplicada para medir e estimar vulnerabilidade e riscos a perigos de origem natural, um exemplo é o *Community-Based Risk Index* desenvolvido na Indonésia ^[30].

Outro programa, o *Sustainable Livelihoods Approach* tem sido extensivamente utilizado em várias partes do mundo como um meio para identificar áreas e grupos que são vulneráveis. Nesta abordagem o meio ambiente é encontrado incluído em ambas as dimensões físicas e sociais ^[37].

Dada a complexidade das diferentes dimensões da vulnerabilidade, mensurá-la requer a integração de um grande número de informações relacionadas a uma pluralidade de disciplinas e áreas de conhecimento ^[38]. As medidas têm que ser flexíveis e frequentemente incluir técnicas qualitativas bem como quantitativas ^[37].

A construção de um sistema de indicadores com séries históricas permite, não só o diagnóstico da situação, como também, o seu acompanhamento ao longo do tempo, servindo como suporte à tomada de decisão ^[39].

No site do EVI index ^[40] é disponibilizada uma planilha, onde alimentando cada um dos indicadores, obtém-se o Índice de Vulnerabilidade Ambiental. Ao todo, 235 países foram avaliados e receberam uma pontuação, de acordo com o grau de vulnerabilidade/resiliência ambiental calculado pelo EVI, constituindo um

ranking mundial. É importante salientar que as pontuações consideradas válidas foram as de países que forneceram dados para mais de 80% dos 50 indicadores do EVI. Já os países que apresentaram dados insuficientes (menos de 80% dos 50 indicadores) tiveram uma classificação de tendência de vulnerabilidade ambiental ^[40]. Cada país foi classificado numa das seguintes categorias: Extremamente Vulnerável, Altamente Vulnerável, Vulnerável, Em Risco ou Resiliente. A Tabela 4.2 apresenta os valores dos índices para cada uma das categorias.

Tabela 4.2 Classificação do Índice de Vulnerabilidade e seus respectivos valores.

Extremamente Vulnerável	365 +
Em risco	215 +

Dos países com índices válidos, Argentina, Brasil, Estados Unidos, Nova Zelândia e Suécia foram alguns dos classificados como vulneráveis. Austrália, Bolívia, Canadá, Moçambique, Paraguai e Uruguai estão entre os países considerados em risco. Já Áustria, Bélgica, Itália, Israel, Japão e Reino Unido constam entre os extremamente vulneráveis, enquanto apenas dez países, a maioria do continente africano, foram considerados resilientes.

A Tabela 4.3, extraída do site oficial do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (*The Official Global EVI Website*) ^[40] mostra de modo resumido os Índices de Vulnerabilidade de alguns países (EVI) calculados por meio da planilha anteriormente mencionada. Este índice engloba 50 indicadores, e também o grau de vulnerabilidade ou resiliência de cada país. Estes dados foram atualizados em 2005.

Tabela 4.3 Relação de alguns países avaliados e classificação quanto à vulnerabilidade.

Sigla	País	EVI	Dados (%)	Classificação
AF	Afeganistão	289	76	Vulnerável
AM	Armênia	247	72	Em risco
AO	Angola	225	96	Em risco
AQ	Antártica	235	40	Em risco
AR	Argentina	287	94	Vulnerável

(continua)

Tabela 4.3 Relação de alguns países avaliados e classificação quanto à vulnerabilidade. *(continuação)*

Sigla	País	EVI	Dados (%)	Classificação
AU	Austrália	238	96	Em risco
BE	Bélgica	387	94	Extremamente Vulnerável
BO	Bolívia	250	84	Em risco
BR	Brasil	281	94	Vulnerável
BS	Bahamas	248	62	Em risco
CA	Canadá	251	98	Em risco
CG	Congo	219	94	Em risco
CH	Suíça	348	88	Altamente Vulnerável
CL	Chile	287	94	Vulnerável
CN	China	360	94	Altamente Vulnerável
CO	Colômbia	296	96	Vulnerável
CR	Costa Rica	354	96	Altamente Vulnerável
CU	Cuba	329	90	Altamente Vulnerável
DE	Alemanha	357	98	Altamente Vulnerável
DO	República Dominicana	324	90	Altamente Vulnerável
EC	Equador	304	96	Vulnerável
EG	Egito	298	96	Vulnerável
ES	Espanha	352	96	Altamente Vulnerável
T	Etiópia	260	80	Em risco
FI	Finlândia	265	98	Vulnerável
FJ	Fiji	333	92	Altamente Vulnerável
FR	França	361	98	Altamente Vulnerável
GB	Reino Unido	373	96	Extremamente Vulnerável
GF	Guiana Francesa	174	62	Resiliente
GL	Groelândia	243	56	Em risco
GN	Guinea	254	92	Em risco

(continua)

Tabela 4.3 Relação de alguns países avaliados e classificação quanto à vulnerabilidade. *(continuação)*

Sigla	País	EVI	Dados (%)	Classificação
GR	Grécia	353	98	Altamente Vulnerável
HK	Hong Kong	309	44	Vulnerável
HN	Honduras	273	90	Vulnerável
HT	Haiti	343	92	Altamente Vulnerável
HU	Hungria	363	86	Altamente Vulnerável
ID	Indonésia	316	98	Altamente Vulnerável
IE	Irlanda	318	98	Altamente Vulnerável
IL	Israel	380	90	Extremamente Vulnerável
IN	Índia	385	92	Extremamente Vulnerável
IT	Itália	386	98	Extremamente Vulnerável
JP	Japão	389	94	Extremamente Vulnerável
KE	Kenia	262	94	Em risco
KW	Kuwait	323	94	Altamente Vulnerável
LT	Lituânia	314	88	Vulnerável
LU	Luxemburgo	327	66	Altamente Vulnerável
MA	Marrocos	315	96	Vulnerável
MN	Mongólia	208	80	Resiliente
MX	México	306	94	Vulnerável
MZ	Moçambique	227	88	Em risco
NA	Namíbia	200	90	Resiliente
NG	Nigéria	336	94	Altamente Vulnerável
NI	Nicarágua	272	92	Vulnerável
NO	Noruega	273	98	Vulnerável
NZ	Nova Zelândia	292	98	Vulnerável
PE	Peru	268	94	Vulnerável
PR	Porto Rico	334	64	Altamente Vulnerável

(continua)

Tabela 4.3 Relação de alguns países avaliados e classificação quanto à vulnerabilidade. (continuação)

Sigla	País	EVI	Dados (%)	Classificação
PT	Portugal	335	98	Altamente Vulnerável
PY	Paraguai	260	84	Em risco
SG	Singapura	428	92	Extremamente Vulnerável
SO	Somália	265	80	Vulnerável
SV	El Salvador	348	92	Altamente Vulnerável
TH	Tailândia	308	100	Vulnerável
US	Estados Unidos das Américas	300	94	Vulnerável
UY	Uruguai	259	92	Em risco
VA	Vaticano	293	28	Vulnerável
VE	Venezuela	291	94	Vulnerável
WS	Samoa	328	78	Altamente Vulnerável
ZA	África do Sul	324	90	Altamente Vulnerável
ZM	Zâmbia	210	82	Resiliente

Fonte: *The Official Global EVI Website* ^[40].

A Figura 4.2 ilustra um resumo da situação mundial, apresentando o número de países sob cada classificação, segundo o EVI.

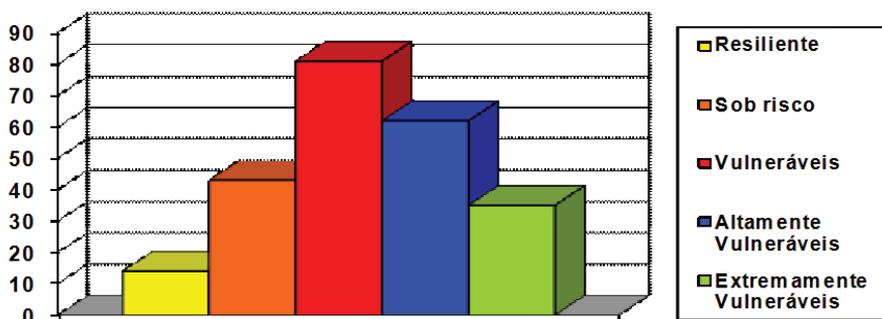


Figura 4.2 Número de países em relação à classificação do Índice de Vulnerabilidade Ambiental.

Os índices de vulnerabilidade são ferramentas importantes para pesquisadores, ecologistas, órgãos ambientais e governos que avaliam as condições ambientais

podendo compará-las com um padrão, ou com outros países. Ajudam também a identificar um melhor gerenciamento de recursos e proteger a integridade ambiental reduzindo assim a vulnerabilidade. Existe uma limitação para aplicação deste índice, pois o meio ambiente tem natureza dinâmica, o índice reflete o estado atual do meio ambiente e deve então ser constantemente revisado para assegurar a precisão ^[40]. O ponto forte deste índice é que ele pode ser aplicado individualmente, não é necessário que outros países o façam para poder ter significado.

O EVI pertence a uma nova geração de ferramentas designadas especificamente para ajudar a atingir as metas identificadas nas auditorias / avaliações e alertar os responsáveis pela tomada de decisões. As informações são apresentadas em formato simplificado o que facilita a identificação das vulnerabilidades. É um índice que pode ser usado de imediato para apoiar decisões. Este enfoque apóia os governos e os órgãos ambientais para que as vulnerabilidades identificadas e cada ponto seja prontamente abordado. Pode ser utilizado para avaliar periodicamente (a cada 5 anos) as mudanças na vulnerabilidade ambiental. O EVI é uma ferramenta que pode ser utilizada para monitorar o desenvolvimento sustentável ^[41]. O Comitê das Nações Unidas, na sua política de desenvolvimento, estuda a possibilidade de adotar o EVI como critério para classificação de desenvolvimento dos países ^[13].

As informações fornecidas pelo EVI são de grande relevância, pois por meio delas podem-se identificar os sistemas ambientais que ainda tem boa resiliência, podendo-se assim mantê-los. Esta é a parte mais fácil. É necessário também reconhecer as áreas altamente vulneráveis para gerenciá-las diretamente (exemplo a devastação de florestas) ou recuperar a resiliência em outras áreas (exemplo desastres naturais). Com uma ferramenta como o EVI é possível olhar para o futuro e identificar o desenvolvimento sem que o meio ambiente, que suporta a vida humana seja comprometido.

Os desafios para a pesquisa em vulnerabilidade são desenvolver medidas robustas e de confiança, incorporar diversos métodos que incluam percepção de risco e vulnerabilidade, e incorporar as pesquisas do governo nos mecanismos que mediam a vulnerabilidade e promovam ações adaptáveis e de resiliência ^[1].

4.1 Estudos de casos brasileiros de vulnerabilidade ambiental

Além dos trabalhos já citados nos capítulos anteriores, vários trabalhos foram realizados com a finalidade de averiguar os índices de vulnerabilidade no território brasileiro. Serão citadas abaixo algumas referências que demonstram a realização dos estudos nas determinadas áreas, tal como a interpretação dos resultados e tidas como estudos de caso.

COSTA *et al.* [42] estudaram as sub-bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro na abordagem ao risco de comprometimento da qualidade e quantidade dos recursos hídricos devido à degradação por erosão do solo/ assoreamento do recurso hídrico/ perda da cobertura vegetal agravada por fatores antrópicos. Para a avaliação dos processos erosivos, foram observados: os declives e comprimentos das encostas, a erosividade (mensurada pela intensidade e energia cinética da chuva), a cobertura vegetal, erodibilidade (caracterizada pelas propriedades físicas, químicas e morfológicas do solo) e as práticas de conservação e manejo do solo.

Os fatores acima relacionados são utilizados na equação empírica denominada *Universal Soil Loss Equation* – USLE [43]. A equação estima as perdas de solo por hectare ano, que é dada por um modelo empírico calibrado por ensaios de campo, porém outros fatores como as variáveis morfométricas, densidade de drenagem amplitude altimétrica, índice de circularidade e a declividade média também são relacionados com a vulnerabilidade ambiental, mas para esses não foram estabelecidas relações estatísticas [42].

No estudo de COSTA *et al.* [42] foi tido como objetivo integrar o resultado da USLE, a variáveis morfométricas extraídas por sub-bacias hidrográficas e ao uso/ cobertura da terra, obtendo um IVA com maior controle dos fatores que contribuem nos processos erosivos, calculado por meio da AMC (análise multicriterial), agregando-se os critérios da combinação linear de pesos (WLC), em que a variável objetivo (S) é o índice de vulnerabilidade ambiental.

Após a obtenção dos dados e a realização dos cálculos, foi apresentado um mapa do índice de vulnerabilidade, conforme a Figura 4.3, onde se observa que as bacias mais vulneráveis estão na região do Vale do Paraíba e no noroeste do Estado, com a ocorrência de vulnerabilidade ambiental muito severa para algumas bacias que contém a calha do rio Paraíba do Sul:

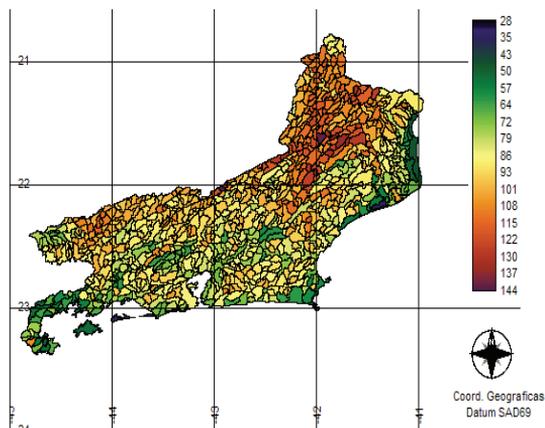


Figura 4.3 Índice de Vulnerabilidade Ambiental para Sub-bacias do Estado do Rio de Janeiro [42].

Silva *et al.* [44] avaliaram o mapeamento de vulnerabilidade ambiental do município de Pacoti/CE utilizando o método AHP – *Analytic Hierarchy Process*, o qual consiste em uma análise integrada do ambiente, avaliando múltiplas variáveis que se intra-relacionam e inter-relacionam com outros sistemas, criando-se uma hierarquia de decisão, que permite uma visão global das relações inerentes ao processo. Foram abordados os aspectos considerados decisivos para a avaliação da vulnerabilidade da área: declividade, área legal e vegetação (uso e ocupação), que foi mapeado pelas técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, com base imagens obtidas pelo satélite SPOT-5.

Silva *et al.* [44] discutem as seis etapas do processo de decisão AHP, que são divididos em três estágios:

- **Estágio 01** – Estruturação da Hierarquia de Decisão
 - Estruturação da hierarquia;
- **Estágio 02** – Construção da Matriz de Comparação Pareada
 - Construção da matriz;
 - Verificações de consistência;
 - Definir o valor da importância relativa (peso) de cada fator;
- **Estágio 03** – Priorização das Alternativas e Definição das Classes de Vulnerabilidade
 - Priorização das alternativas;
 - Classificação final.

No estágio 3, são utilizados os autovetores, Notas e Pesos, resultantes das matrizes de avaliação para compor a classificação final, ou seja, o Plano de informação (PI) resultante de três PI mapeados, que refletem a vulnerabilidade ambiental da área de estudo. Foi apresentada a Figura 4.4 que demonstra o cruzamento dos PI pelo formato *raster*, onde o PI vetorial foi convertido ao formato matricial.

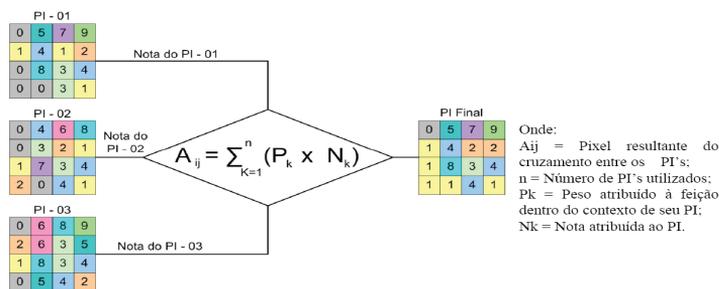


Figura 4.4 Ilustração do processo de cruzamento dos PI [44].

O resultado deste cruzamento é o PI de Vulnerabilidade Ambiental, o qual apresentou a variação dos resultados entre 0 e 0,3596, onde 0 representa a ausência e 0,3596 o máximo de vulnerabilidade.

Silva *et al.* [44] ainda apresentaram uma tabela que demonstra os intervalos das classes de vulnerabilidade divididos em quatro classes distintas (Tabela 4.4), assim como o mapa (Figura 4.5) que detalha a vulnerabilidade da área de proteção ambiental (APA) do Maciço de Baturité, localizada dentro dos limites do município de Pacoti (CE):

Tabela 4.4 Intervalo das classes de vulnerabilidade.

Intervalo	Vulnerabilidade	Área (ha)	%
0 – 0,042787458	Baixa	918,88	14,88
0,042787458 – 0,071123454	Moderada	2.413,60	39,10
0,071123454 – 0,098722602	Alta	1.343,87	21,77
0,098722602 – 0,3596	Muito alta	1.497,32	24,25

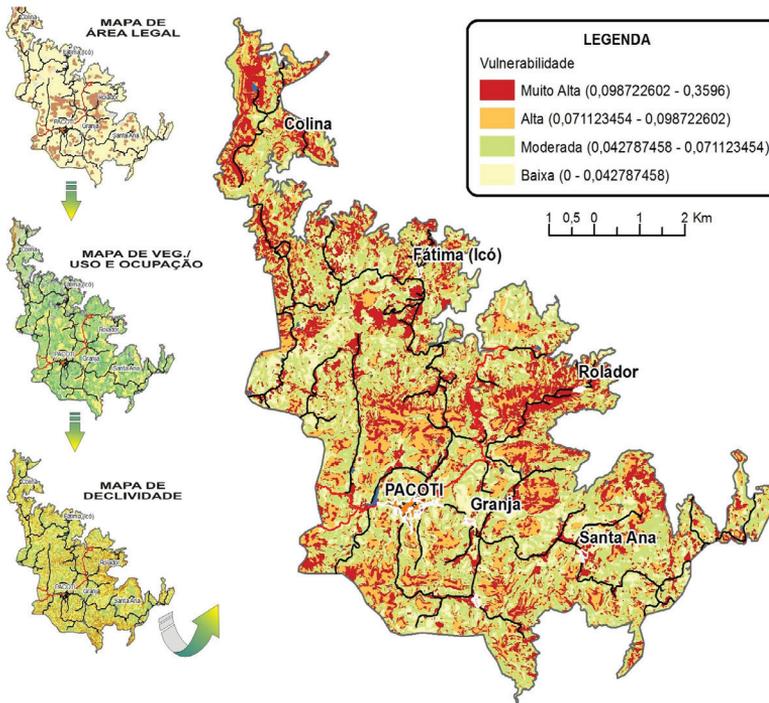


Figura 4.5 Mapa de Vulnerabilidade da área de proteção ambiental (APA) do Maciço de Baturité.

Silva *et al.* [44] concluíram que a APA de Baturité é uma região extremamente frágil do ponto de vista ambiental, e com base no PI Vegetação (uso e ocupação) verificaram que esta área está sentindo as consequências devido a um forte de-

sequilíbrio causado por práticas inadequadas de cultivo e pelo desmatamento indiscriminado, e, ainda de acordo com o mapeamento realizado observou-se que apenas 11% da vegetação de Mata Seca foi classificada como conservada, e as áreas mais degradadas estão localizadas entre os distritos de Fátima e Colina.

No mapeamento realizado no PI de declividade, a análise revela que 70% da área foi classificada como sendo de vulnerabilidade moderada, alta e restritiva, denotando a forte dissecação do relevo desta região.

Na análise do PI de área Legal, Silva *et al.* ^[44] concluíram que 45,6% da área estudada está enquadrada como AAP (Área de Preservação Permanente), com base na resolução CONAMA 303/02, o que justifica a necessidade de um planejamento que garanta a sustentabilidade da região.

Gherardi *et al.* ^[45] realizaram o mapeamento do índice de vulnerabilidade ambiental ao impacto por óleo da zona costeira entre o Ceará e o Rio Grande do Norte, utilizando imagens orbitais e sistema de informações geográficas, onde a área de estudo foi próxima a 41.000 km² entre o noroeste do estado do Rio Grande do Norte e leste do Ceará. Na região, são encontrados pequenos manguezais nas desembocaduras de rios e canais de maré, os quais apresentam-se bastante alterados devido à atividade salineira, sendo que estes ambientes são fundamentais na manutenção da produtividade primária local.

Para a avaliação do local, Gherardi *et al.* ^[45] utilizaram imagens do satélite Landsat-5 TM e, por meio do programa SPRING (DPI/INPE), realizaram os processamentos digitais das imagens, aplicando técnicas de filtragem e restauração, de forma a permitir um mapeamento detalhado da área de estudo.

Para a interpretação visual das imagens, foi efetuada uma campanha de campo, onde Gherardi *et al.* ^[45] percorreram todo o litoral da área de estudo, e com o auxílio de GPS, determinaram as posições para que se pudesse espacializar em ambiente de SIG.

Os dados de vento foram empregados os dados do difusômetro do satélite ERS-2 (lançado em 1996 pela Agencia Espacial Européia) e do difusômetro QuikScat (lançado pela NASA em 1999). Outro fator avaliado foi a altura de onda, no qual se obteve as informações a partir dos altímetros TOPEX-Poseidon e do ERS-2, que produzem pulsos verticais que são retro-espalhados pela superfície do oceano. Os dados brutos de altura significativa de onda foram obtidos junto ao CCAR.

A partir destas e outras informações, Gherardi *et al.* ^[45] identificaram as feições geomorfológicas e habitats da região da Bacia Potiguar, como:

- áreas efetivamente ocupadas por mangues;
- bancos arenosos/lamosos intermareais;
- bancos de vegetação submersa;
- esporões arenosos e ilhas-barreira;

- deltas de maré;
- delta dominado por onda.

Segundo Gherardi *et al.* ^[45], é possível executar mapeamentos dos diferentes ecossistemas costeiros na escala de 1:35.000, utilizando as imagens Landsat-5 TM, as quais permitem a determinação acurada de feições como ilhas barreira, canais de maré e áreas cobertas por vegetação de mangue, que são difíceis de mapear e possuem grande dinâmica espacial. O mapeamento adequado só foi possível devido ao processamento digital das bandas espectrais.

Os dados obtidos de altura de ondas sugerem que o regime hidrodinâmico regional é de médio a alto (altura de onda entre 1 m e 3 m), o que implica em maior potencial de limpeza natural do ambiente das áreas contaminadas por manchas de óleo e, em contrapartida, nas áreas do sistema de canais e ilhas barreira de Galinhos/Guamaré (RN), o fluxo de água na preamar seria capaz de transportar o óleo de um eventual derramamento para as partes mais internas do sistema, o que aumentaria a extensão dos efeitos deletérios da poluição.

Paula *et al.* ^[46] objetivaram a defesa da utilização de metodologias qualitativas para aprofundar a compreensão da relação homem-meio em contextos geográficos específicos, realizando uma análise preliminar da vulnerabilidade ambiental no bairro São Bernardo, Campinas, concentrando-se nos vales que cortam o bairro: o rio Piçarrão e seus afluentes. Os vales são potencialmente fontes de riscos ambientais, principalmente em áreas densamente urbanizadas.

Dentre vários fatores, foram observados a constante passagem de veículos na área de estudo, o que caracteriza o ambiente com cheiros, fumaças e barulhos característicos do trânsito. Ainda segundo Paula *et al.* ^[46], os riscos ambientais no vale ao leste parecem ser desprezados pelos habitantes, e, a vulnerabilidade ambiental do local é flagrante. O rio Piçarrão parece assomar muito mais como fonte de poluição visual e inodora e a intenção de cobri-lo com uma avenida está entre as alternativas levantadas pelos moradores do local, enquanto uma solução estética e o aumento da acessibilidade do lugar.

Em meados de 2004, foi divulgado o relatório de vulnerabilidade ambiental do estado de Goiás, pela WWF Brasil ^[49]. Para a medida da vulnerabilidade, foi realizada uma sobreposição dos mapas das unidades de paisagem (mapa geológico, mapa geomorfológico, mapa de solos e mapa das unidades fisionômicas). Para a obtenção dos dados, o relatório da WWF Brasil ^[47] utilizou-se da metodologia proposta por Crepani *et al.* ^[48], segundo um modelo que estabelece 21 classes de vulnerabilidade à erosão, classificadas de acordo com o modelo de integração e representação de dados temáticos, conforme a Tabela 4.5.

Tabela 4.5 Modelo de integração e representação de dados temáticos.

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA		GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
				VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	▲	3,0	VULNERÁVEL	255	0	0	
U2	▲	2,9		255	51	0	
U3	▲	2,8		255	102	0	
U4	V	2,7		255	153	0	
U5	U	2,6	MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	L	2,5		255	255	0	
U7	N	2,4		204	255	0	
U8	E	2,3	MODERADAM. VULNERÁVEL	153	255	0	
U9	R	2,2		102	255	0	
U10	A	2,1	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	51	255	0	
U11	B	2,0		0	255	0	
U12	I	1,9		0	255	51	
U13	L	1,8	MODERADAM. VULNERÁVEL	0	255	102	
U14	I	1,7		0	255	153	
U15	D	1,6	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	204	
U16	A	1,5		0	255	255	
U17	D	1,4	MODERADAM. ESTÁVEL	0	204	255	
U18	E	1,3		0	153	255	
U19		1,2		0	102	255	
U20		1,1	ESTÁVEL	0	51	255	
U21		1,0		0	0	255	

Fonte: Crepani *et al.* [48].

A sobreposição de todos os mapas foi realizada a partir da transformação destes dados para o formato *raster*, e para esta operação, utilizou-se a extensão *Spatial Analyst* do software ArcGIS 8.3. Posteriormente, foi utilizada a equação (1.2), para obter um valor de vulnerabilidade final de cada unidade de paisagem.

$$V = (G + R + S + Vg) / 4 \quad (1.2)$$

Onde:

V = *Vulnerabilidade*

G = *Geologia*

R = *Geomorfologia*

S = *Solos*

Vg = *Vegetação/Usos da Terra*

O relatório de vulnerabilidade ambiental do estado de Goiás [47] descreveu o grau de vulnerabilidade para as unidades de paisagem, de acordo com o mapa representado na Figura 4.6.

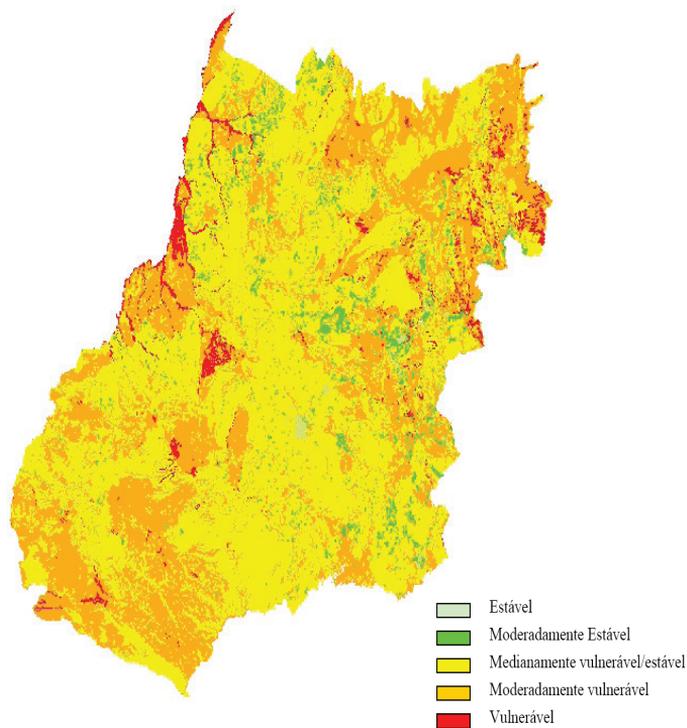


Figura 4.6 Mapa de Vulnerabilidade Ambiental do estado de Goiás [47].

Ainda de acordo com o relatório, os municípios de Flores de Goiás e de Luiz Alves apresentam plintossolos que merecem cuidados especiais, pois nos locais onde a vegetação natural foi retirada, houve flutuação do lençol freático, fazendo com que as plintitas perdessem suas propriedades originais e secassem. Estes plintossolos possuem vulnerabilidade 3,0, e o grau de vulnerabilidade empírica é 2,6, o que corresponde a moderadamente vulnerável.

Em todos os estudos de caso apresentados como exemplos no território brasileiro, são observadas algumas áreas que necessitam de atenção especial, de modo a evitar danos ao meio ambiente, por se tratarem de áreas mais vulneráveis, e podem ser objetos de uso para a implementação de ações de conservação e recuperação dos locais abordados.