

Vulnerabilidade ambiental

O conceito de vulnerabilidade tem despertado o interesse em diversas áreas do conhecimento. No que diz respeito a área ambiental, a ausência de um consenso e a confusão entre os conceitos de RISCO e VULNERABILIDADE ainda persistem, dificultando o pleno entendimento do uso dos termos nos casos que se aplicam.

Neste livro, considerou-se que o risco ambiental está ligado a probabilidade de um evento de determinada magnitude – esperado ou não - ocorrer num sistema, perturbando assim o seu estado imediatamente anterior.

Já a vulnerabilidade ambiental pode ser definida como o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas. Pode ser decorrente de características ambientais naturais ou de pressão causada por atividade antrópica; ou ainda de sistemas frágeis de baixa resiliência, isto é, a capacidade concreta do meio ambiente em retornar ao estado natural de excelência, superando uma situação crítica.

Tricart ^[3] define um sistema como um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia. Esses fluxos originam relações de dependência mútua entre os fenômenos, originando uma entidade global nova, mais dinâmica (unidade ecodinâmica). Esse conceito permite adotar uma atitude dialética entre a necessidade de análise e a necessidade de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre esse meio ambiente. Por meio da análise de um sistema, reconhecem-se conceitualmente as suas partes interativas, o que torna possível captar a rede interativa ser ter de separá-las.

Ao tratar de vulnerabilidade ambiental, Santos ^[4] define sistemas como um conjunto de elementos que mantêm relações entre si e onde residem os seres vivos. Elementos como solo, recursos hídricos, vegetação, campos agrícolas, são estruturas do meio que se relacionam através de fluxos e ciclos. Se ocorre uma perturbação no equilíbrio desses sistemas, as relações do meio podem ser bastante

diferentes considerando as características locais naturais e da ocupação humana. Observa ainda que para atendê-lo devemos considerar a resiliência e a persistência do sistema. Persistência corresponde à medida do quanto um sistema, quando perturbado, se afasta do seu equilíbrio ou estabilidade sem mudar essencialmente seu estado.

Neste contexto e numa abordagem mais recente, Figueiredo ^[5] conceitua vulnerabilidade ambiental a susceptibilidade de um sistema à degradação ambiental, considerando-se:

- A exposição do sistema às pressões ambientais típicas de atividades agroindustriais, avaliada por indicadores que mostram a pressão antropogênica exercida no sistema;
- A sensibilidade do sistema às pressões exercidas, avaliada pelo uso de indicadores que mostram as características do meio físico e biótico próprias de uma região (tipo de solo, clima, vegetação) que já ocorrem antes de qualquer perturbação e que interagem com as pressões;
- A capacidade de resposta do meio, avaliada pela adoção de ações de conservação ou preservação ambiental que mitigam ou reduzem os possíveis efeitos das pressões exercidas.

Assim sendo, são as características e magnitudes de interações ao qual um sistema está exposto, a sensibilidade do sistema e sua capacidade de adaptação a qualquer tipo de alteração que ditam a vulnerabilidade ambiental deste sistema.

Alguns ambientes com baixa resiliência podem ser citados: montanhosos, acidentados, encostas geologicamente instáveis, baixas planícies costeiras, vulcânicas, pequena massa de terra em relação à grande biodiversidade, lagos, lagoas, restingas, manguezais. Estas regiões são particularmente sensíveis aos impactos ambientais adversos, por apresentarem baixa capacidade de recuperação. Entretanto, ressalta-se a necessidade de elaboração de ferramentas para o estudo da vulnerabilidade real de sistemas, facilitando o seu uso como instrumento na gestão dos recursos naturais.

Como exemplo, estudando a vulnerabilidade ambiental dos municípios de Belmonte e Canavieiras (BA), Nascimento e Dominguez ^[6] elaboraram uma avaliação de vulnerabilidade ambiental a partir de índices que correspondiam a integração de características geológicas, de solos, de declividade, de uso da terra e vegetação. Confirmaram a elevada vulnerabilidade dos manguezais, das várzeas flúviolagunares e da linha de costa e reforçaram a importância da elaboração de mapas de vulnerabilidade ambiental, de modo a facilitar a compreensão dos diferentes graus de fragilidade de áreas mapeadas para uso como instrumento de gestão costeira.

A análise da vulnerabilidade ambiental teve um crescimento tão relevante que até no novo Código Florestal ^[7], para aquisição de nova área de Reserva Le-

gal, o proprietário deve ter como um dos critérios para escolha as áreas de maior fragilidade ambiental, ou seja, as de maior vulnerabilidade.

Logo, para avaliação da vulnerabilidade ambiental, deve-se elaborar um plano que pode de certa forma envolver outros aspectos como o social e o econômico de uma região, escolhendo-se adequadamente indicadores que possam mostrar ao pesquisador a real fragilidade ou resistência de um sistema aos riscos que este pode estar exposto.

Medeiros *et al.*^[8], estudando as áreas mais vulneráveis na zona Oeste de Natal (RN), fez uso de metodologia na qual classifica as áreas de risco e o grau de vulnerabilidade usando os processos morfodinâmicos como indicadores, associando os resultados aos possíveis riscos a população direta ou indiretamente envolvida.

Além disso, instrumentos como sistema de informação geográfica (SIG) podem ser adicionados à avaliação, de modo a facilitar a localização de áreas mais vulneráveis.

Costa *et al.*^[9], utilizando SIG, geraram mapas de vulnerabilidade natural e ambiental a partir de mapas base de geologia, solos, vegetação, geomorfologia e de uso e ocupação da Bacia Potiguar (RN), possibilitando o diagnóstico de áreas mais sensíveis a problemas ambientais e permitindo recomendações para um melhor aproveitamento das atividades de controle e proteção.

Figueiredo *et al.*^[10], avaliando a vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização, e Figueiredo^[5] também utilizaram SIG como ferramenta álgebra de mapas para manipular os dados e identificar áreas de elevada vulnerabilidade.

Em resumo, a integração de dados obtidos dos sistemas e a utilização de ferramentas que agilizem essa integração compõem a avaliação de vulnerabilidade ambiental, permitindo ao pesquisador e observação do dinamismo destes sistemas e os reais riscos a que estes estão susceptíveis.

2.1 Fundamentação teórica: avaliação de vulnerabilidade ambiental

Nos estudos previamente publicados, há predominância pelo uso de aspectos geomorfológicos como indicadores no estudo de avaliação de vulnerabilidade. Ocorre que muitos autores se baseiam no conceito de geossistemas e na teoria de Ecodinâmica proposta por Tricart^[3] para elaboração de suas avaliações.

O método geossistêmico de análise integrada da paisagem é baseado na Teoria Geral dos Sistemas elaborada por Bertalanffy^[11], e propõe estudar não um aglomerado de partes, mas sim os elementos que compõem um sistema em integração.

O estudo do geossistema não visa a paisagem em si, e sim as relações existentes em seu interior. Essas inter-relações traduzem sua dinâmica e permitem que

o estudo se aprofunde na busca da compreensão do espaço em dimensões tanto anteriores quanto posteriores. Na dimensão anterior, quando os geossistemas primitivos são revistos e fornecem dados importantes para a compreensão das condições atuais, de acordo com sua evolução espaço-temporal; e posterior, com a previsão de estados futuros que o geossistema atual poderá tomar, a partir da visualização de uma série de cenários possíveis. O homem atua nos geossistemas com uma infinidade de fatores que conduzem a rupturas do equilíbrio ambiental, promovendo, assim, condições de instabilidade. As atividades humanas mudam de um geossistema para outro e tendem a caracterizá-los com um padrão homogêneo. No entanto, não existe uma homogeneidade em seu interior devido as suas propriedades e características serem variadas. Contudo, um fator sempre se sobressairá e dará certa particularidade ao geossistema ^[12].

Baseado neste conceito, Tricart ^[3] propôs a teoria de Ecodinâmica pensando na gestão dos recursos ecológicos, onde deveria haver uma taxa aceitável para a extração dos recursos sem degradar o ecossistema, fazendo-se necessário o conhecimento dos fluxos de matéria e energia que caracterizam o ecossistema em questão. Todos esses fatores incluem-se no fato da adaptabilidade humana, o que implica na quantidade de energia utilizada do ambiente no qual a comunidade está instalada ^[13].

Este autor utiliza em seu vocabulário o conceito de “instabilidade” para classificar suas unidades ecodinâmicas. Segundo ele, uma unidade ecodinâmica se caracteriza por certa dinâmica do meio ambiente que tem repercussões mais ou menos imperativas sobre as biocenoses, ou seja, o conjunto de seres vivos de um ecossistema.

Como o conceito de unidades ecodinâmicas está diretamente relacionado ao de ecossistema, é importante considerar a teoria dos sistemas como ponto de partida para essa teoria, bem como os conceitos que foram trazidos da termodinâmica, que trata das relações entre fluxo de matéria e energia, essencial para a compreensão da dinâmica do meio ambiente.

Em função da intensidade dos processos atuais do ambiente, o autor distinguiu três grandes tipos de meios morfodinâmicos: meios estáveis, meios intergrades e os fortemente instáveis.

Para ele, os meios ditos estáveis são aqueles cujo modelado – interface atmosfera-litosfera – evolui lentamente, apresentando condições como vegetação em clímax, que proporciona maior proteção contra a ação mecânica das intempéries; dissecação moderada, com vertentes em lenta evolução; e ausência de manifestações vulcânicas, que poderiam desencadear processos mais ou menos catastróficos. É onde predominam os processos pedogenéticos, isto é, de formação de horizontes de solos.

Os meios *intergrades* representam a passagem gradual de um meio estável para um meio instável. Esses tipos de meio caracterizam-se por interferência per-

manente de morfogênese e pedogênese sobre o mesmo espaço, isto é, a velocidade dos eventos catastróficos não é tão grande que não permita uma formação lenta dos solos.

Por fim, a forte instabilidade dos meios é caracterizada pela predominância da morfogênese na dinâmica natural, sendo todos os outros elementos a ela subordinados. Caracterizam esses ambientes eventos catastróficos de consequências imediatas, como os vulcões, ou então, em casos mais aplicáveis à realidade brasileira, ambientes como o do semiárido em episódios de chuvas torrenciais. Eventos como esse levam a uma grande perda de solos, por meio das enxurradas e a uma consequente perda de fertilidade, formação de ravinas e voçorocas e movimentos de massa.

A composição dos solos, aliadas à supressão da vegetação e ao manejo inadequado do ambiente pelo homem, constituem fatores que levam o ambiente ao nível de forte instabilidade.

2.2 Fragilidade ambiental: exemplos de abordagem

Essa susceptibilidade natural do ambiente aos danos, tratada também como “fragilidade” ou instabilidade, diz respeito à suscetibilidade natural do ambiente físico, aplicável ao ambiente com diferentes níveis de vulnerabilidade dos seus próprios elementos constituintes do ecossistema e também da interferência humana.

Nos trabalhos de Ross [14,15,16], utilizam-se unidades de fragilidade ambiental como a síntese de todos os temas que se inter-relacionam, identificando-se as fragilidades potencial e emergente das áreas determinadas, o que é de grande importância para as ações de planejamento e gestão territorial e ambiental.

O autor propõe uma hierarquia de variáveis a ser seguida na análise integrada das fragilidades ambientais em um determinado sistema em questão:

- 1º – *Relevo* (tipos de vertentes e índices de dissecação);
- 2º – *Tipo de solo*;
- 3º – *Grau de proteção do solo*: cobertura vegetal e tipos de uso da terra;
- 4º – *Clima*: pluviosidade

De acordo com Ross ^[16], a hierarquia apresentada acima serve de base para uma matriz de três algarismos, onde cada um deles representa um dos referidos parâmetros de acordo com a hierarquia apresentada e os classifica em função de cinco graus de fragilidade, em:

- 1 – Muito fraco;
- 2 – Fraco;
- 3 – Médio;
- 4 – Forte;
- 5 – Muito forte.

Para as escalas de detalhe, de 1: 25000 a 1: 2000, a variável “relevo” requer a consideração de classes de declividades, as quais Ross classificou em 5 classes, apresentadas na Tabela 2.1:

Tabela 2.1 Classes de declividade segundo as categorias hierárquicas.

Categorias Hierárquicas	Classes de Declividade
1 – Muito fraca	até 6 %
2 – Fraca	de 6 a 12 %
3 – Média	de 12 a 30 %
4 – Forte	de 20 a 30 %
5 – Muito forte	Acima de 30 %

Fonte: Ross ^[16].

Para as demais escalas, Ross ^[16] preconiza o uso de índices de dissecação do relevo.

A segunda variável na hierarquia dos estudos de fragilidade é o tipo de solo. Neste será considerada a característica de escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais, de acordo com a estrutura e a composição pedológica.

As classes de fragilidade segundo este critério são descritas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Classes de fragilidade segundo tipos de solo.

Classes de Fragilidade	Tipos de Solo
1 – Muito Baixa	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo textura argilosa.
2 – Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho-amarelo textura média/ argilosa.
3 – Média	Latossolo Vermelho-amarelo, Terra roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho-amarelo textura média/ argilosa.
4 – Forte	Podzólico Vermelho-amarelo textura média/arenosa, Cambissolos.
5 – Muito Forte	Podzolizados com cascalho, Litólicos e Areias Quartzosas

Fonte: Ross ^[16].

Outro fator de extrema importância para a determinação do grau de fragilidade ambiental é o uso da terra e cobertura vegetal. Nota-se que não é somente o tipo de vegetação que vai influenciar na fragilidade, mas também tipo de ati-

vidade que se exerce sobre a área. As classes determinadas por Ross ^[16] são apresentadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 Graus de proteção segundo tipos de cobertura vegetal.

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

Fonte: Ross ^[16].

Dados climatológicos referentes à pluviosidade constituem informações de grande preciosidade no que se refere aos estudos de fragilidade ambiental. É a chuva um importante fator de “input” no sistema, trazendo matéria e energia de ambientes externos. As chuvas contribuem também para a erosão física e química, fator que se agrava com a supressão da vegetação.

Na Tabela 2.4 são demonstrados os níveis hierárquicos correspondentes à pluviosidade.

Tabela 2.4 Níveis hierárquicos segundo situação pluviométrica.

Níveis Hierárquicos	Características Pluviométricas
1 – Muito Baixa	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 1000 mm/ano.
2 – Baixa	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 2000 mm/ano.

(continua)

Tabela 2.4 Níveis hierárquicos segundo situação pluviométrica. (continuação)

Níveis Hierárquicos	Características Pluviométricas
3 – Média	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno, e no verão com maiores intensidades de dezembro a março.
4 – Forte	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com período seco entre 3 e 6 meses, alta concentração das chuvas no verão entre novembro e abril, quando ocorrem de 70 a 80% do total das chuvas.
5 – Muito Forte	Situação pluviométrica com distribuição regular ou não, ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2500 mm/ano; ou ainda, comportamentos pluviométricos irregulares ao longo do ano, com episódios de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900 mm/ano (semi-árido).

Fonte: Ross ^[16].

Já proposta de Crepani *et al.* ^[17] quanto à vulnerabilidade natural à erosão baseia-se nos conceitos ecodinâmicos de Tricart ^[3], utilizando produtos de sensoriamento remoto. A primeira aproximação foi atribuir uma quantificação às características do ambiente, sendo o valor de instabilidade 1,0 para o meio estável, 2,0 para o meio intergrades e 3,0 para os meios instáveis conforme Tabela 2.5.

Tabela 2.5 Avaliação da estabilidade/vulnerabilidade das categorias morfodinâmicas.

Unidade	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a morfogênese	3,0

Fonte: Crepani *et al.* ^[17].

Crepani *et al.* utiliza em sua análise a UTB – Unidade Territorial Básica – definidas como unidades básicas de informação e análise para o ZEE – Zoneamento Ecológico-Econômico - para a qual se faz necessário o conhecimento de sua gênese, constituição física, forma e estágio de evolução, bem como sua cobertura vegetal. Para isso, utiliza informações de mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de vegetação/uso da terra e dados climatológicos.

Entre as bases temáticas citadas, Crepani *et al.* ^[17] define os critérios como vistos a seguir:

- GEOLOGIA: as 21 classes de estabilidade/vulnerabilidade do tema geologia estão relacionadas ao grau de coesão (intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem) das rochas que suportam a unidade de paisagem natural. Dessa forma, Crepani *et al.* ^[10] justifica os critérios utilizados, pois em rochas pouco coesas prevalecem os processos morfogenéticos, enquanto nas rochas bastante coesas prevalecem os processos pedogenéticos.
- GEOMORFOLOGIA: os autores utilizam os parâmetros do relevo quanto aos processos de perda de solo. Tais parâmetros subdividem-se em aspectos morfográficos, que dizem respeito à descrição do relevo quanto à sua forma; e aspectos morfométricos, os quais são quantitativos das formas do relevo, como o grau de dissecação do relevo pela drenagem, a declividade e a amplitude altimétrica.
- PEDOLOGIA: a suscetibilidade dos terrenos à erosão pode ser condicionada pelo parâmetro do tipo de solo, a partir das características que os definem, como a textura, a estrutura, a composição química, a espessura, e a relação textural entre os horizontes ou camadas.
- COBERTURA VEGETAL/USO DA TERRA: a cobertura vegetal, bem como sua ausência, tem total relação com os processos de perda de solo, pois é a densidade de vegetação que vai determinar o maior ou menor grau de proteção da paisagem. Quanto mais densa a vegetação, menor o impacto das gotas de chuva sobre o solo e menor o escoamento superficial.
- CLIMATOLOGIA: as chuvas são um dos principais responsáveis pelos processos erosivos, devendo ser consideradas quanto à quantidade e a distribuição no tempo e no espaço.

Sendo assim, Crepani *et al.* ^[17] define a equação (1.1) para a obtenção da carta de vulnerabilidade natural à perda de solo, onde o valor final de estabilidade/vulnerabilidade para cada UTB é determinado pela média aritmética dos temas citados, para que seja obtida a posição desta unidade dentro da escala de estabilidade/vulnerabilidade.

$$\text{Vulnerabilidade} = (G + R + S + V + C) / 5 \quad (1.1)$$

Onde:

G = vulnerabilidade para o tema de Geologia

R = vulnerabilidade para o tema de Geomorfologia

S = vulnerabilidade para o tema de Solos

V = vulnerabilidade para o tema de Vegetação/Uso da Terra

C = vulnerabilidade para o tema de Climatologia

A metodologia de Crepani *et al.* ^[17] também pode ser visualizada em formato de matrizes, onde os valores podem ser correlacionados entre si.

Para a variável geomorfologia, utilizando classes de declividade. Essas classes são mostradas na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 Classes de declividade com os respectivos valores da escala de vulnerabilidade.

Classes Morfométricas	Declividade (%)	Valores de Vulnerabilidade
Muito baixa	< 2	1,0
Baixa	2 – 6	1,5
Média	6 – 20	2,0
Alta	20 – 50	2,5
Muito alta	> 50	3,0

Fonte: Crepani *et. al.* ^[17].

Na Tabela 2.7 são apresentados os valores quanto à variável “solo”.

Tabela 2.7 Classificação segundo a variável “solo”. A primeira coluna refere-se ao trabalho de Camargo *et. al.* (1987) e a segunda à classificação da EMBRAPA (1999).

Classificação de Solos	Classificação de Solos	Vulnerabilidade
Latossolos Amarelos Latossolos Vermelho-Amarelos Latossolos Vermelho-escuros Latossolos Roxos Latossolos Brunos Latossolos Húmicos Latossolos Húmicos Brunos	Latossolos Amarelos Latossolos Vermelho-Amarelos Latossolos Vermelhos Latossolos Vermelhos Latossolos Brunos Latossolos (...) Húmicos Latossolos Bruno (...) Húmicos	1,0
Podzólicos Amarelos Podzólicos Vermelho-Escuros Luvissolos Alissolos Nitossolos Terras Roxas Estruturadas Brunos Não-Cálcicos Brunizéns Brunizéns Avermelhados Rendizinas Planossolos Solos Hidromórficos Podzóis	Argissolos Podzólicos Vermelho-Amarelos Luvissolos Alissolos Nitossolos Argissolos Nitossolos Luvissolos Chernossolos Chernossolos Chernossolos Chernossolos Planossolos Planossolos Espodossolos	2,0

(continua)

Tabela 2.7 Classificação segundo a variável “solo”. A primeira coluna refere-se ao trabalho de Camargo *et. al.* (1987) e a segunda à classificação da EMBRAPA (1999). (continuação)

Classificação de Solos	Classificação de Solos	Vulnerabilidade
Cambissolos	Cambissolos	2,5
Solos Litólicos	Neossolos Litólicos	3,0
Solos Aluviais	Neossolos Flúvicos	
Regossolos	Neossolos Regolíticos	
Areias Quartzosas	Neossolos Quartzênicos	
Vertissolos	Vertissolos	
Solos Orgânicos	Organossolos	
Solos Hidromórficos (não abúlticos)	Gleissolos	
Glei Húmico	Gleissolos Plintossolos	
Glei Pouco Húmico	Gleissolos Plintossolos	
Plintossolo	Plintossolos	
Laterita Hidromórfica	Plintossolos	
Solos Concrecionados Lateríticos	Plintossolos	
Afloramento Rochoso	Afloramento Rochoso	

Fonte: CREPANI *et. al.* ^[17].

Crepani *et. al.* ^[17] propõe os valores mostrados na Tabela 2.8 de vulnerabilidade quanto aos graus de proteção da cobertura vegetal:

Tabela 2.8 Valores de vulnerabilidade da cobertura vegetal, segundo os graus de proteção ao solo.

Cobertura Vegetal	Proteção	Vulnerabilidade
Mata/ Reflorestamento	Alta	~ 1,0
Pastagens	Média	~ 2,0
Agricultura de ciclo curto, café; cana de açúcar	Baixa	~ 3,0

Fonte: CREPANI *et. al.* ^[10].

Quanto aos valores pluviométricos, Crepani *et al.* ^[17] propõe os seguintes valores apresentados na Tabela 2.9.

Tabela 2.9 Graus de vulnerabilidade segundo a pluviosidade.

Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade
< 50	1,0
50-75	1,1
75-100	1,2
100-125	1,3
125-150	1,4
150-175	1,5
175-200	1,6
200-225	1,7
225-250	1,8
250-275	1,9
275-300	2,0
300-325	2,1
325-350	2,2
350-375	2,3
375-400	2,4
400-425	2,5
425-450	2,6
450-475	2,7
475-500	2,8
500-525	2,9
>525	3,0

Fonte: Crepani *et. al.* ^[17].

A escala de vulnerabilidade de Crepani *et al.* ^[17] depende também da variável geologia. Estas variáveis são demonstradas na Tabela 2.10.

Tabela 2.10 Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns.

Tipos de Rocha	Litologias	Vulnerabilidade
Metamórficas	Quartzitos ou Metaquartzitos	1,0
Ígneas	Riólito, Granito, Dacito	1,1
Ígneas Intrusivas	Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos.	1,2
Metamórficas	Migmatitos, Gnaisses	1,3
Ígneas Intrusivas	Fonólito, Nefelina, Sienito Traquito	1,4
Ígneas	Andesito, Diorito, Basalto	1,5
Ígneas Intrusivas	Anordosito, Gabro, Peridotito	1,6
Metamórficas	Milonitos, Quartzo, Muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7
Ígneas e Metamórficas	Piroxênio, Anfibolito, Kimberlito, Dunito	1,8
Ígneas	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9
Metamórficas	Estaurulita xisto, Xistos granatíferos	2,0
Metamórficas	Filito, Metassilito	2,1
Metamórficas	Ardósia, Argilito	2,2
Metamórficas	Mármore	2,3
Sedimentares	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Sedimentares	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Sedimentares	Grauvasas, Arcózios	2,6
Sedimentares	Siltitos, Argilitos	2,7
Sedimentares	Folhelhos	2,8
Sedimentares	Mármore, Calcários, Dolomitos, Mangas, Evaporitos	2,9
Sedimentos	Sedimentos Inconsolidados, Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Fonte: Crepani *et. al.* ^[17].

Atualmente todos esses modelos que sintetizam estudos de vulnerabilidade ambiental e os transformam em dados quantitativos são utilizados em grande parte nos trabalhos acadêmicos e também na administração pública. Trabalhos como os de Massa ^[18] e Valles ^[19] são exemplos dessa utilização com o auxílio de

ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, aplicando esses conhecimentos ao planejamento ambiental e territorial.

Em resumo, este capítulo procurou abranger o que há de mais comum nas avaliações de vulnerabilidade ambiental: o estudo da resiliência e persistência de um sistema ambiental frente aos riscos que podem acometê-lo. Entretanto, nos próximos capítulos, procurou-se abordar esta vulnerabilidade junto a outros aspectos como o social e o econômico, de modo a esclarecer ao leitor que o foco da sua avaliação de vulnerabilidade pode sim mudar conforme a necessidade, tornando-se um estudo mais holístico e atendendo aos interesses da sociedade direta ou indiretamente envolvida em desastres ambientais.