

## **TÉCNICA PARA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DE AMBIENTES COSTEIROS UTILIZANDO UM SISTEMA GEOGRÁFICO DE INFORMAÇÕES**

CARLOS RONEY ARMANINI TAGLIANI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FURG - Fundação Universidade de Rio Grande  
ctagliani@geol.log.furg.br

**Abstract.** This paper presents a technique to evaluate the environmental vulnerability of a portion the Rio Grande do Sul Coastal Plain, Brazil, by using the Geographical Information System IDRISI 32. After defining environmental vulnerability criteria and factors, IDRISI 32's decision making routines were applied. The factors were standardized to a common numeric range (0 to 255) and then combined by means of a weighted average (weighted linear combination – WLC) to obtain the relative environmental vulnerability map. This map shows a range of continuous values varying from 0 (low vulnerability) to 255 (high vulnerability). The methodology, as well as the computational analysis tool are very flexible helping to reach a technical consensus or a decision making, which are very important aspects to integrated coastal zone management programs.

**Keywords:** Environmental Vulnerability, GIS.

## 1. Introdução.

A pressão de uso sobre as zonas costeiras no mundo todo e os seus efeitos sobre o equilíbrio dos ecossistemas têm sido um assunto freqüentemente abordado na literatura científica. Uma das maiores preocupações relaciona-se ao fato de que há um grande descompasso entre a velocidade com que este processo ocorre e o relativamente lento avanço da pesquisa científica, o que leva à constatação de que é completamente irreal supor que se possa adiar a utilização de recursos naturais até que todos os dados fundamentais sejam conhecidos.

Essa situação tem levado os planejadores a optarem por abordagens integradas e sistêmicas de gerenciamento dos recursos naturais, procurando sintetizar a informação científica para desenvolver modelos de processos costeiros integrados.

As características naturais da porção mediana da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, fortemente marcadas pela presença de um complexo estuarino-lagunar, são responsáveis por um mosaico ambiental diferenciado, de grande significado ecológico, sociocultural e econômico. Atualmente, a região vem adquirindo um destaque especial devido a um processo de revitalização geopolítica e econômica da zona Sul do Estado, centrada no porto de Rio Grande. Esta situação, exige um planejamento de uso dos recursos naturais que considere conjuntamente a característica única e diferenciada da zona costeira e a base legal que disciplina os usos nessa zona.

Nesse contexto, esse trabalho tem por objetivo elaborar um mapa de vulnerabilidade ambiental para a região, por meio de técnicas de geoprocessamento em um SIG, e disponibilizar uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para o planejamento ambiental.

## 2. Localização da área de estudo.

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul, uma das quatro províncias morfológicas do Estado (Carraro et alii, 1974), localiza-se entre os paralelos de 29° 18' e 33° 48' de latitude Sul ocupando uma faixa adjacente ao Oceano Atlântico, com 650 km de extensão por cerca de 70 km de largura média.

A área de estudo deste trabalho, limitada pelas coordenadas UTM 334000, 486000, 6380000, 6534000, abrange integralmente a área dos municípios de Pelotas, Rio Grande e São José do Norte, os quais delimitam a porção estuarina da Laguna dos Patos (**Figura 1**).

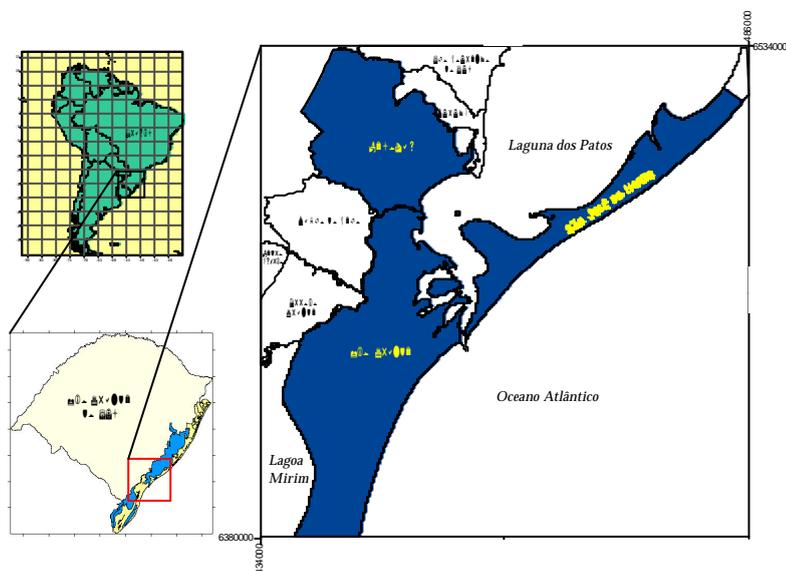


Figura 1 - Localização da área de estudo

### 3. Materiais e métodos.

Para a confecção do mapa de vulnerabilidade ambiental foram utilizados os mapas de vegetação e uso do solo, geologia, áreas protegidas por lei, declividades e capacidade de uso dos solos, disponíveis em um banco de dados elaborado por Tagliani, (2002), na escala 1: 100.000. As informações disponíveis permitiram a aplicação de várias rotinas de apoio à decisão do Sistema de Informações Geográficas IDRISI 32 .

Nesse trabalho, *vulnerabilidade ambiental* significa a maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer, avaliada segundo três critérios:

- a) Fragilidade estrutural intrínseca – condicionada por características inerentes ao substrato físico e que descrevem seus materiais, formas e processos, sintetizando suas relações. Os fatores de fragilidade estrutural analisados foram a declividade e a capacidade de uso dos solos.
- b) Sensibilidade – condicionada pela proximidade de ecossistemas sensíveis, os quais sustentam e mantêm inúmeras funções ambientais (Groot, 1994). Os fatores analisados foram a proximidade de recursos hídricos e a proximidade de comunidades vegetais sob proteção legal.
- c) Grau de maturidade dos ecossistemas – condicionada pelo tempo de evolução, uma das características que determinam a fragilidade relativa dos ecossistemas frente a perturbações antrópicas.

Para avaliar e agregar os vários critérios, foi utilizado o método de combinação linear ponderada, onde os diversos fatores foram padronizados para uma escala contínua de vulnerabilidade, definindo o limite entre o mais vulnerável e o menos vulnerável através de um conceito relativo, ou *fuzzy*.

Para gerar o mapa de vulnerabilidade ambiental, considerou-se que a declividade não poderia ser utilizada como um fator de análise em toda a extensão da área de estudo. Ela só tem relevância na região oeste, na transição da Planície Costeira para o Escudo Cristalino, devido às características bastante variáveis do relevo. Assim, decidiu-se elaborar dois mapas separados: um para a região oeste, considerando os fatores declividades, solos, proximidade dos recursos hídricos e da vegetação e idade (Área 1), e outro para a região das restingas litorâneas (Rio Grande e São José do Norte), considerando apenas os quatro últimos fatores (Área 2).

### 4. Resultados e discussão

#### 4.1. Desenvolvimento de dados e critérios de padronização de fatores (fuzzy)

##### 4.1.1. Fator declividade

Embora o processo erosivo dependa de uma série de fatores conjugados, a declividade é um dos mais importantes no processo de escoamento superficial (Pejon, 1992), e essencial para uma avaliação de risco a erosão. Assim, pode-se estabelecer que, para esse fator, quanto maior a declividade da área maior a vulnerabilidade ambiental.

Áreas com declividades acima de 10% representam, segundo Pejon (*op cit*), uma condição bastante favorável ao escoamento superficial. Considerou-se esse valor como um marco a partir do qual os efeitos da declividade, como fator de vulnerabilidade, são cada vez mais significativos. Adicionalmente, como a legislação ambiental (Art. 13 do Código Florestal do Rio Grande do Sul) estabelece como áreas de preservação aquelas áreas situadas em terrenos com inclinação superior a 25 graus (cerca de 45%), considerou-se esse valor também como um marco, significando que, em termos de vulnerabilidade, não importa que a declividade tenha valores de declividade igual a 45, 50% ou mais, ou seja, é igualmente alta.

Para reescalonar esse fator, foi utilizada uma função sigmoideal crescente com o primeiro ponto de inflexão em 10% e o segundo em 45% (rotina *fuzzy* do módulo de apoio à decisão).

#### 4.1.2. Fator solos

Enquanto a maioria dos fatores pode ser reescalada automaticamente usando-se alguma função matemática, o reescalonamento de dados discretos para fornecer um índice subjetivo para cada categoria deve ser baseado em algum conhecimento (Eastmann, 1997).

A definição das classes em mapas de capacidade de uso agrícola envolve uma diversidade de critérios (Cunha, 1997) que potencializam ou restringem não apenas o uso agrícola, mas outros usos no geral (e.g, susceptibilidade a erosão, profundidade do solo, permeabilidade, drenabilidade, relevo, hidromorfismo, entre outros). Tendo em consideração que a vulnerabilidade ambiental dos solos deve ser analisada em um contexto amplo de usos, além do potencial agrícola, decidiu-se que dentro de uma mesma classe, aquelas unidades (sub-classes) com problemas de fertilidade do solo(s) e clima(c) teriam um peso menor em relação àquelas com problemas de erosão(e) e drenagem (d).

Assim, a ordem hierárquica especificada para padronização desse fator (**tabela 1**), em uma escala de 0 (menos vulnerável) a 255 (mais vulnerável), foi de que a cada mudança de classe corresponderia um valor 2 vezes maior do aquele correspondente a mudanças de fatores dentro de uma mesma classe. A exceção foi na mudança da classe II para III e IV para V (3 vezes), devido a variações mais significativas nos fatores que determinam a capacidade de uso.

Tabela 1 – Associação das classes de uso do solo aos graus de vulnerabilidade ambiental

Classes	vulnerabilidade	Classes	vulnerabilidade
categoria 1 : II sd	0	categoria 10 : VI se	150
categoria 2 : III sd	30	categoria 11 : VI sce	160
categoria 3 : III se	40	categoria 12 : VII sd	180
categoria 4 : IV sd	60	categoria 13 : VII se	190
categoria 5 : IV se	70	categoria 14 : VII sc	200
categoria 6 : V sd	100	categoria 15 : VII sce	210
categoria 7 : V d	110	categoria 16 : VIII d	230
categoria 8 : V sde	120	categoria 17 : VIII sd	240
categoria 9 : VI sd	140	categoria 18 : VIII se	255

#### 4.1.3. Fator Vegetação

Uma avaliação de graus de vulnerabilidade ambiental entre diferentes tipos de comunidades vegetais é uma tarefa que exigiria a consideração de uma quantidade enorme de variáveis, praticamente impossíveis de quantificar. Desta forma, optou-se por considerar como fator de vulnerabilidade apenas o critério de proximidade da vegetação protegida por lei na área de estudo, estabelecendo que quanto menor a distância, maior a vulnerabilidade.

Após o cálculo das distâncias (rotina *distance*), a imagem resultante foi utilizada para reescalonar os valores (rotina *fuzzy*) segundo uma função linear decrescente, de modo que os valores obtidos significam que a célula que possui o valor 0 tem a vulnerabilidade mais baixa (mais distante) e a de valor 255 a mais alta (mais próximo).

#### 4.1.4. Fator Recursos Hídricos

Dos ativos ambientais existentes em uma região, os recursos hídricos (rios, arroios, lagoas) são um dos mais vulneráveis aos impactos causados por usos antrópicos, devido principalmente ao tipo de uso atual (agricultura, atividades industriais, portuárias e turismo).

A proximidade dos mesmos é, portanto, um fator de vulnerabilidade ambiental, o que justifica as faixas de preservação especificadas em vários dispositivos legais de proteção ambiental.

O mesmo critério e os mesmos procedimentos de padronização do fator anterior foram utilizados para este fator: quanto menor a distância dos recursos hídricos maior a vulnerabilidade.

#### 5.1.5. Fator Idade

Em uma distância de cerca de 60 km, medida transversalmente à área de estudo, a partir da linha de costa em direção ao continente, a idade dos terrenos varia de 0 a mais de 570 milhões de anos, ocorrendo terrenos de idade holocênica, pleistocênica, terciária e pré-cambriana.

A estabilidade dos ecossistemas da área de estudo, quando analisada sob o ponto de vista da estruturação dos solos (proximidade do equilíbrio, *steady state*), desenvolvimento de flora e fauna específicas em ambientes sob atuação de processos físicos muito ativos, mostra uma certa dependência da idade. Quanto mais recentes, menos estáveis e portanto mais vulneráveis a ações antrópicas.

O critério utilizado para padronizar esse fator foi o de que quanto maior a idade, menor a vulnerabilidade e vice-versa, atribuindo-se valores médios de hierarquia de vulnerabilidade, distribuídos na escala de padronização (**tabela 2**).

Tabela 2 – Associação dos graus de vulnerabilidade ambiental para o fator idade

Pré-cambriano	0	- vulnerável
Terciário	85	
Pleistoceno	170	
Holoceno	255	+ vulnerável

#### 4.2. Ponderação de fatores

O método de combinação linear ponderada (rotina *MCE*) permite reter toda a variabilidade dos dados contínuos, além da possibilidade de compensação entre os fatores através de um conjunto de pesos que indicam a importância relativa de cada fator (Eastmann, 1997). Para gerar esse conjunto de pesos empregou-se a técnica de comparação pareada (rotina *Weight*), onde cada fator é comparado aos demais por meio de uma matriz (**tabela 3**), levando-se em conta a importância relativa para a vulnerabilidade ambiental.

Tabela 3: Matriz de comparação pareada entre os fatores da área 1

FATORES	Rec. hídricos	Declividades	Solos	Vegetação	Idade
Rec. Hídricos	1				
Declividades	3	1			
Solos	3	1	1		
Vegetação	1	1/3	1/3	1	
Idade	1/3	1/3	1/3	1/3	1

Cada elemento da matriz indica quanto o fator da coluna da esquerda é mais importante que o fator correspondente na linha superior. Foi utilizada a escala de comparadores de Saaty (in Eastmann, 1997) para estabelecer as relações qualitativas.

O cálculo dos pesos de compensação resultante (**tabela 4**) indica, finalmente, a importância de qualquer fator em relação aos demais.

Tabela 4: Pesos calculados para cada fator na análise de vulnerabilidade da área 1.

Fatores	Pesos
Recursos hídricos	0.1370
Declividades	0.3262
Solos	0.3262
Vegetação	0.1370
Idade	0.0736

#### 4.3. Mapa de vulnerabilidade ambiental

A geração do mapa de vulnerabilidade ambiental de cada área foi realizada pelo módulo de avaliação multicritério do Idrisi (*MCE*) onde ocorre uma multiplicação entre os pesos de compensação e as imagens-fator correspondentes e, a seguir, uma soma de todos os fatores. Uma vez que essa soma é igual a 1, o mapa possui uma amplitude de valores contínua semelhante àquela das imagens dos fatores padronizados.

Devido à compensação entre os fatores considerados, cada mapa de vulnerabilidade apresenta ausência de alguns valores nos extremos da escala. Como os valores não têm significado quantitativo, e para efeito de uma melhor visualização, efetuou-se um “espichamento” de cada imagem (*stretch*), redistribuindo esses valores de 0 a 255 considerando esses valores mínimos e máximos de cada uma. Finalmente, para obter o mapa final (**Anexo I**) foi efetuada a união dos mapas da área 1 e área 2 (módulo *CONCAT*).

A distribuição dos valores de vulnerabilidade ambiental relativa (*VAR*) na Área 1, mostra que os valores mais elevados localizam-se principalmente em regiões do escudo cristalino (a NW e SW de Pelotas), ocupando 44,32km<sup>2</sup>, o que representa cerca de 1,2 % da área total desta região. Valores de *VAR* médios aparecem preferencialmente nos entornos dos principais rios da região, bem como das margens lagunares, ocupando 1018,24 km<sup>2</sup> (27 %), enquanto os valores mais baixos estão amplamente distribuídos entre as anteriores, ocupando 2703,63 km<sup>2</sup> (71,8 %).

A distribuição dos valores de *VAR* na Área 2, correspondendo aos municípios de Rio Grande e São José do Norte, é mostrada no gráfico da **figura 2**.

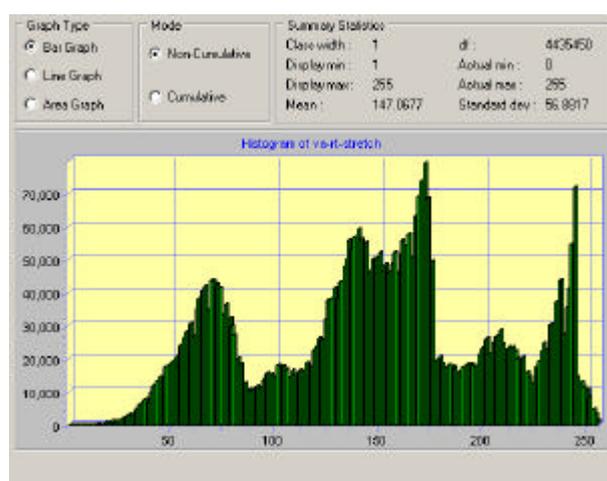


Figura 2: Histograma do mapa de vulnerabilidade ambiental relativa da Área 2

As áreas mais vulneráveis, com valores no intervalo 170 a 255, localizam-se às margens do canal São Gonçalo, região do Taim e faixa litorânea em Rio Grande, além das regiões

alagadiças, campos de dunas lagunares e litorâneas e região dos entornos da Lagoa do Peixe no município de São José do Norte, representadas no mapa em tons de marrom escuro. Ocupam 1281 km<sup>2</sup>, correspondendo a 32,1 % da área total.

As áreas menos vulneráveis, relativamente, ocorrem nos dois municípios em áreas que correspondem às barreiras marinhas pleistocênicas, representadas em tons de verde. Estas áreas ocupam 20,5 % da área total dessa região, abrangendo 821 km<sup>2</sup>. No intervalo de VAR média (85-170), localizadas na transição entre as anteriores, a área ocupada atinge 1891 km<sup>2</sup> (47,4 %).

## 5. Considerações finais

O mapa de vulnerabilidade ambiental relativa apresentado só foi possível de ser elaborado em função da existência de um banco de dados digitais georreferenciados os quais forneceram os elementos temáticos necessários para a análise interpretativa. Esta, reflete a visão pessoal do autor, baseada na sua percepção do ecossistema e nas informações disponíveis ou coletadas para este fim.

Contudo, a metodologia utilizada, bem como a ferramenta computacional de análise, é amplamente flexível. Permite fácil e rapidamente a inclusão de dados complementares ou mesmo a reavaliação das informações temáticas e critérios utilizados em um fórum técnico multidisciplinar, a partir do qual pode-se chegar a um consenso e à tomada de decisão. O mapa interpretativo, então, poderá se tornar prescritivo, indicando, além das áreas mais vulneráveis ambientalmente, aquelas mais adequadas ao desenvolvimento de projetos específicos.

As possibilidades de inter-relações entre este mapa e outras informações de interesse específico são inúmeras, fornecendo resultados praticamente automáticos, especializados e georreferenciados, tornando-se uma ferramenta extremamente importante e útil de apoio à decisão.

## 6. Referências Bibliográficas

Carraro, C.C., Gamermann, N., Eick N.C., Bertoluzzi C.A., Jost H., Pinto J.F. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: *Instituto de Geociências*, UFRGS, 1974. Escala 1: 1.000.000.

Cunha, N.G. Estudo dos Solos do Município de Pelotas. Pelotas: EMBRAPA/CPACT, 1997. 49p. (EMBRAPA/CPACT. Documentos 12/96).

Eastman, J. R. IDRISI for Windows version 2. *Tutorial Exercises*. Worcester, Clark University, 1997.

GROOT, R.S. 1994. *Evaluation of environmental functions as a tool in planning management and decision making*. Ph.D. (Thesis), Part B. Agricultural University. Wageningen. Netherlands.

Pejon, O. J. *Mapeamento Geotécnico Regional da folha de Piracicaba-SP (escala 1:100.000): Estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. 1992. 2v, 224p.

Rio Grande do Sul. Código Florestal Estadual. Porto Alegre, RS. 1992. disponível em: <http://www.silex.com.br/leis/legises.html>

Tagliani, C.R. 2002. *A mineração na porção média da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: estratégia para a gestão sob um enfoque de Gerenciamento Costeiro Integrado*. Tese de doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 252f.

Anexo I – Mapa de Vulnerabilidade Ambiental Relativa

