

## **Análise sazonal de áreas vulneráveis à erosão no trecho do gasoduto Coari-Manaus.**

Claudio Roberto Oliveira da Silva<sup>1</sup>  
Fernando Pellon de Miranda<sup>2</sup>  
Luiz Landau<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Estudos de Recursos Energéticos e Ambientais - LEREA/COPPE/UFRJ  
Bloco – I-211, Cidade Universitária, Ilha do Fundão,  
21949-900 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
claumao@gmail.com

<sup>2</sup>Centro de Desenvolvimento e Pesquisa da Petrobrás - CENPES  
Av. Horácio Macedo, 950, Cidade Universitária, Ilha do Fundão,  
21941-915 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
fmiranda@petrobras.com.br

<sup>3</sup>Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia — LAMCE/UFRJ/CT  
Bloco – I-214 Cidade Universitária, Ilha do Fundão,  
21949-900 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
landau@lamce.coppe.ufrj.br

**Abstract.** The methodology presented in this paper aims to generate seasonal scenarios of stability/vulnerability to erosion in the Coari-Manaus pipeline (situated in the Brazilian Amazon) using morphological, climatic and vegetation cover information. This approach is an adaptation of a model previously proposed in the literature (Crepani et al., 2001) which establishes the general vulnerability as a result of a average value of weights ascribed to geology, geomorphology, pedology, vegetation and pluviometric intensity, based on the concept of ecodynamics and on the capability of remote sense images. According to this principle, the model proposed here contributed as a alternative that is capable of generating dynamic and flexible results customized to the Amazon region, from space-time manipulation of the aforementioned Information Planes. In order to adjust to the reality of the Amazonian climate, scenarios were created corresponding seasonal variations of rainfall intensity for intermediate (March to May, November), dry (June to October) and wet (December, January to February) periods. Result obtained for the intermediate scenario were the ones closest to the model conceived by Crepani et al. (2001) if a time span of one year is considered. Furthermore, vulnerability to erosion in the annual average approach is overestimated if compared with the dry period. On the other hand, if confronted with the wet period, the annual scenario underestimates the vulnerability to erosion.

**Palavras-Chave:** spatial modeling, environmental vulnerability, geomorphology, amazonia, modelagem espacial, vulnerabilidade ambiental, geomorfologia, amazônia.

### **1. Introdução**

O conceito de modelagem de sistemas ambientais como ferramenta para tomada de decisão foi introduzido na Geomorfologia por Chorley (1962), Strahler (1980), Huggett (1985) e Scheidegger (1991) apud Christofolletti (1999). Para tais autores, a modelagem de sistemas ambientais é entendida como uma representação matemática dos fenômenos observados no mundo real. Assim o estudo desses sistemas estabelece um conjunto de elementos e operações que procuram descrever um dado fenômeno, os quais são adquiridos e combinados com base no conhecimento científico do pesquisador e com apoio de métodos matemáticos. Nesse procedimento, são levados em consideração cada elemento neste sistema, assim como sua influência sobre a combinação das diversas fontes de informação empregadas. Geralmente, estas aproximações são de caráter subjetivo, pela ausência de determinadas observações ou medidas associadas. Alguns dos problemas encontrados para a aplicação de métodos matemáticos complexos são a aquisição, o processamento e armazenamento de um grande

número de informações. Estas limitações, no passado, criaram barreiras para a difusão da modelagem geomorfológica de sistemas ambientais. No entanto, com o avanço da informática, surgiu espaço para as ferramentas computacionais robustas, tais como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), que constituem uma tecnologia estabelecida para armazenar, organizar, recuperar e modificar informações sobre a distribuição espacial de recursos naturais, como também sobre muitos outros tipos de dados localizados na superfície da terra (Pedrosa e Câmara, 2007). Neste contexto, a apresentação dos dados geográficos em um SIG inclui atributos espaciais, representando a geometria e a localização de feições, assim como informações associadas ao ambiente e a características temporal. Tal sistema descreve com maior fidelidade os fenômenos e processos que ocorrem na natureza, tornando sua modelagem uma tarefa mais eficiente no processo de tomada de decisões, onde se envolve grande número de informações e métodos matemáticos. Partindo dessas premissas são executados os trabalhos que buscam conceber uma metodologia para estabelecer a vulnerabilidade das paisagens à perda de solo, a fim de subsidiar o ordenamento territorial e o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE). Uma destas metodologias, disponível em Crepani et al. (1996), foi desenvolvida através de convênio entre a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para aplicação nos estados que compõem a Amazônia Legal, a partir da utilização de imagens orbitais em Sistemas de Informações Geográficas.

## 2. Modelo de vulnerabilidade à erosão

A metodologia preconizada pelo Zoneamento Ecológico-Econômico tem como princípio o estabelecimento de um modelo para a geração de cartas de vulnerabilidade à erosão a partir da integração de dados temáticos existentes. Esta metodologia foi criada com base no conceito de ecodinâmica estabelecido por Tricart (1977) apud Crepani et al. (2001), que requeira integração de planos de informação (PI's) temáticos e imagens de satélite, permitindo visão sinóptica e holística da paisagem. Este método foi criado e aperfeiçoado por Crepani et al. (1996) e Crepani et al. (2001) para dar subsídio ao planejamento territorial da Amazônia.

De acordo com esta metodologia, os pesos de vulnerabilidade à erosão são obtidos através da reinterpretação dos dados temáticos (geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação) sobre imagens de satélite, bem como da geração de curvas de intensidade pluviométrica. Posteriormente, desenvolveu-se a classificação de vulnerabilidade descrita na Tabela 1, que estabelece 21 classes de vulnerabilidade à perda de solo, distribuídas entre as situações onde há o predomínio dos processos de pedogênese (às quais se atribuem valores próximos de 1,0), passando por situações intermediárias (às quais se atribuem valores ao redor de 2,0), até situações de predomínio dos processos de morfogênese (às quais se atribuem valores próximos de 3,0).

A escala de estabilidade e vulnerabilidade apresentada na Tabela 1 é aplicada individualmente aos PI's (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Clima), sendo gerado posteriormente um valor final (PI), resultante da média aritmética dos valores específicos de cada tema segundo uma equação empírica. Tal expressão busca a representação através de uma escala de vulnerabilidade natural à perda de solo, como apresentado na Equação 1.

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

Onde:

VL = Mapa de Vulnerabilidade à Erosão; G = Geologia; R = Geomorfologia;  
S = Pedologia (solos); V = Vegetação; C = Intensidade Pluviométrica (clima)

Tabela 1. Escala de estabilidade e vulnerabilidade à erosão. Fonte: Crepani et. al. (2001).

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

### 3. Área de Estudo

A área de estudo, ilustrada na Figura 1, estende-se integralmente no Estado do Amazonas, paralelamente à margem esquerda do Rio Solimões, por um trecho de aproximadamente 400 km, a oeste da Capital, Manaus. Cartograficamente, é delimitada por um polígono situado entre os meridianos 63° 30' 00" e 59° 42' 00" W, e paralelos 4° 15' 00" e 2° 50' 00" S, abrangendo aproximadamente 2.350 km<sup>2</sup>. Nela está inserido o gasoduto Coarí-Manaus, que em associação com a ampliação do duto existente entre Urucu e Coarí, transportará gás natural a cidade de Manaus.

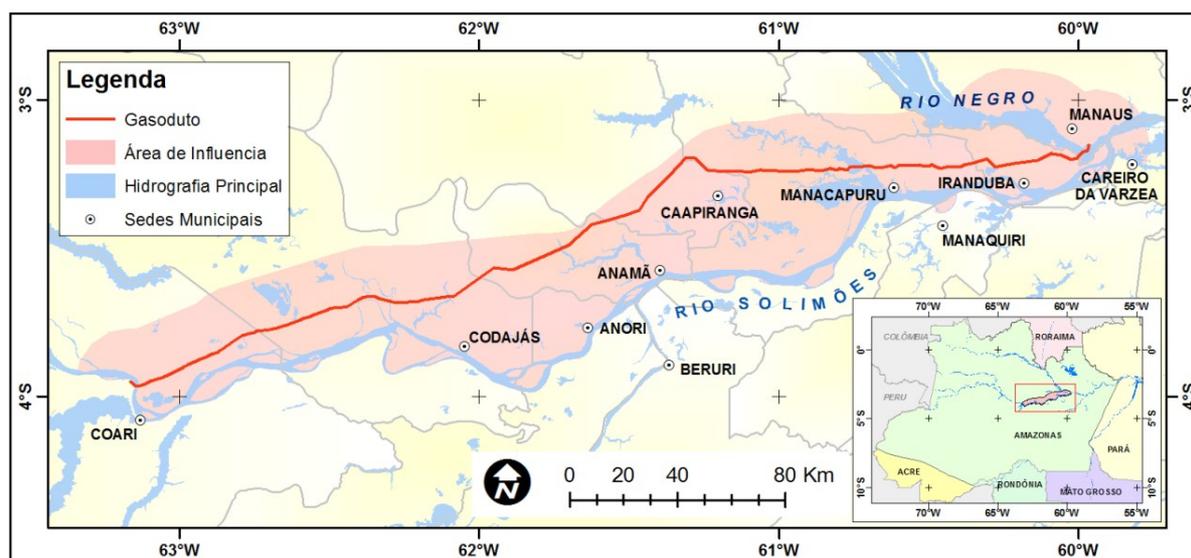


Figura 1. Área de estudo do gasoduto Coari-Manaus.

#### 4. Materiais e Métodos

Os materiais usados foram obtidos da Base de Dados Integrada (BDI) do projeto PIATAM, do Laboratório de Sensoriamento Remoto por Radar Aplicado à Indústria do Petróleo (LABSAR/ COPPE/UFRJ), da Agência Nacional de Águas (ANA), da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA) e da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Tal acervo consta de dados tabulares, vetoriais e matriciais armazenados no Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING) e processados segundo os conceitos da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL).

##### 4.1. Modelagem e processamento dos dados

Os planos de informação foram importados para o ambiente do Sistema SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas) onde foram realizadas todas as edições e o processamento. Os respectivos PI's, Geologia, Geomorfologia, Vegetação e Solos foram obtidos através de digitalização dos mapas RADAMBRASIL (1977) descritos em Saraiva e Rivas (2003), EIA-RIMA desenvolvido para o gasoduto Coari-Manaus.

Os PI's correspondentes aos períodos hidrológicos foram adquiridos através do processamento de dados pluviométricos de trinta e seis (36) estações meteorológicas, no intervalo de 5 anos (1995 – 2000), segundo o método descrito por Crepani et. al. 2001.

Após uma análise histórica dos dados, foram estabelecidas as curvas de média anual, de estiagem (Junho a Outubro), intermediário (Maio a Junho e Outubro a Novembro), e chuvoso (Janeiro a Maio e Dezembro). O fluxograma apresentado na Figura 2 descreve os processos seguidos neste trabalho, conforme Silva (2008).

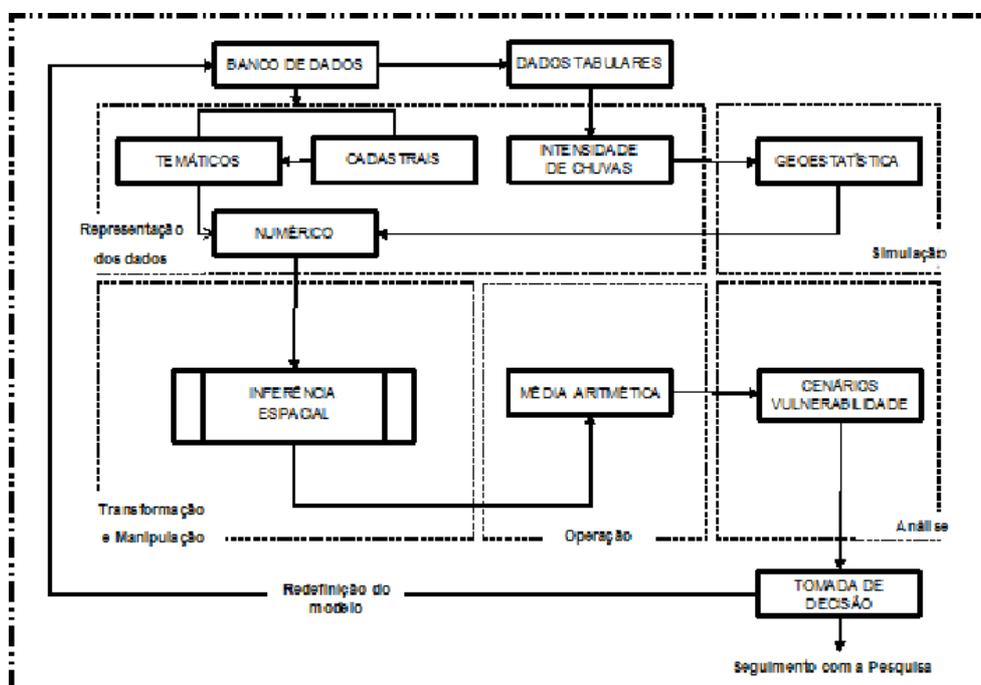


Figura 2 – Fluxograma proposto da pesquisa. Fonte: Silva (2008).

## 5. Resultados e Discussão

Os procedimentos anteriormente descritos geraram resultados com representações numéricas, temáticas e tabulares, processados e armazenados no banco de dados. Medidas quantitativas para apresentação dos resultados foram obtidas através do cálculo da área (km<sup>2</sup>) ocupada por cada classe de vulnerabilidade à erosão em quatro (04) cenários climáticos distintos: anual (correspondente à metodologia de Crepani et al., 2001), chuvoso, intermediário e estiagem. O primeiro cenário gerado compreende o período anual, obedeceu à metodologia estabelecida por Crepani et al. (2001), onde a vulnerabilidade à erosão resulta da média aritmética decorrente da combinação dos planos de informação pertencentes às unidades temáticas com a intensidade pluviométrica, (neste caso representada pela média anual). Os demais cenários, uma adaptação do primeiro, foram gerados com base na variação sazonal da intensidade pluviométrica, representadas pelos períodos chuvoso, intermediário e de estiagem (Silva 2008).

Para o cenário anual, representado pela Figura 3, as classes Medianamente Estável/Vulnerável e Moderadamente Vulnerável ocupam, respectivamente, 56,48% e 40,72% da superfície investigada, perfazendo assim, 97,2% da área total.

No cenário chuvoso, ilustrado na Figura 4, obteve-se como resultado que 46,07% da região foram classificados como Medianamente Estável/Vulnerável, cerca de 10,41% a menos, portanto, que no cenário anual. Além disso, 51,52% da superfície em análise corresponderam à classe Moderadamente Vulnerável, ou seja, 10,80% a mais que no cenário anual. O período chuvoso, apresentou a menor distribuição espacial para as classes Estável (0,52%) e Moderadamente Estável (0,81%), assim como a maior área ocupada pela classe Vulnerável (1,00%), indicando maior influência sobre valores extremos na escala de vulnerabilidade.

No cenário intermediário, ilustrado na Figura 5, cerca de 55,35% da área de estudo apresentaram-se como pertencentes à classes Medianamente Estável/Vulnerável, ou seja, somente 1,13% a menos que no cenário anual. Por outro lado, a classe Moderadamente Vulnerável ocupou 41,85% da superfície total, um valor apenas 1,13% maior que no cenário anual.

No período de estiagem, ilustrado na Figura 6, verificou-se que a classe Medianamente Estável/Vulnerável ocupou 63,02% da superfície investigada, 6,54% mais que no cenário anual. Ademais, 34,16% da área em análise correspondem à classe Moderadamente Vulnerável, ou seja 6,56% a menos que no cenário anual.

Em síntese, é possível afirmar que o cenário intermediário foi o que mais se aproximou do cenário anual, obtido segundo a metodologia de Crepani et al. (2001), onde o cálculo da vulnerabilidade à erosão utiliza valores obtidos com a média anual da intensidade pluviométrica.

No contexto do cenário anual, a vulnerabilidade à erosão é superestimada em comparação com o período de estiagem (40,72% contra 34,16%, respectivamente, para a classe Moderadamente Vulnerável) Alternativamente, se confrontado com o cenário chuvoso, o cenário anual subestima a vulnerabilidade à erosão (40,72% contra 51,52%, respectivamente, para classe Moderadamente Vulnerável). Outro aspecto relevante diz respeito à classe Vulnerável, que apresentou distribuição espacial em aproximadamente 05 (cinco) vezes maior que no cenário anual (1,00% contra 0,18%, respectivamente).

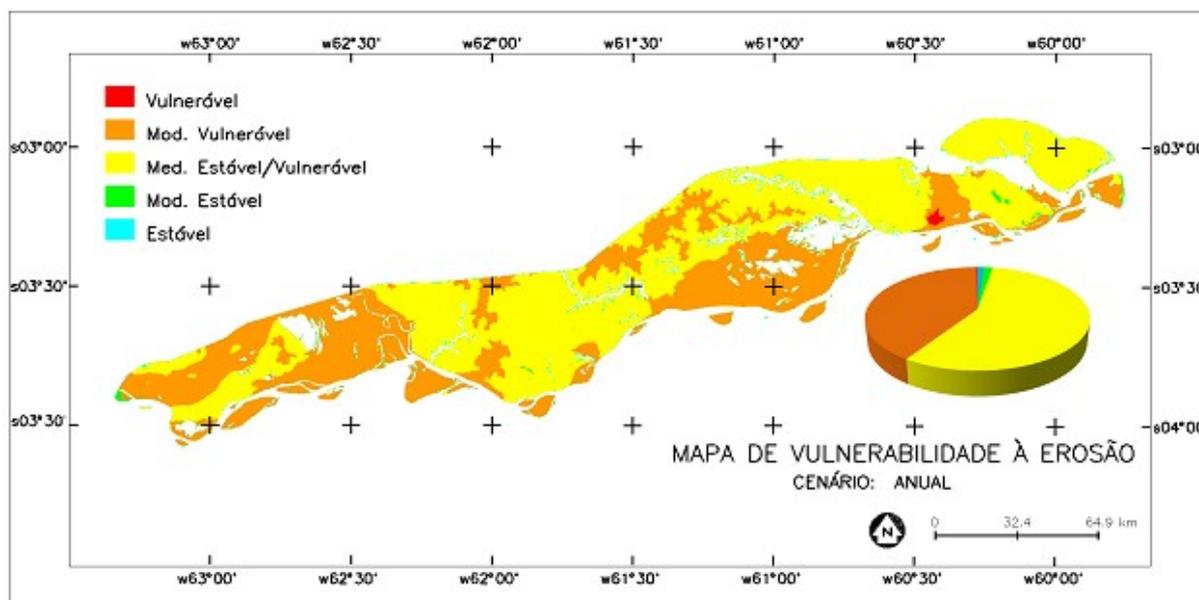


Figura 3 – Mapa de vulnerabilidade à erosão no cenário anual.

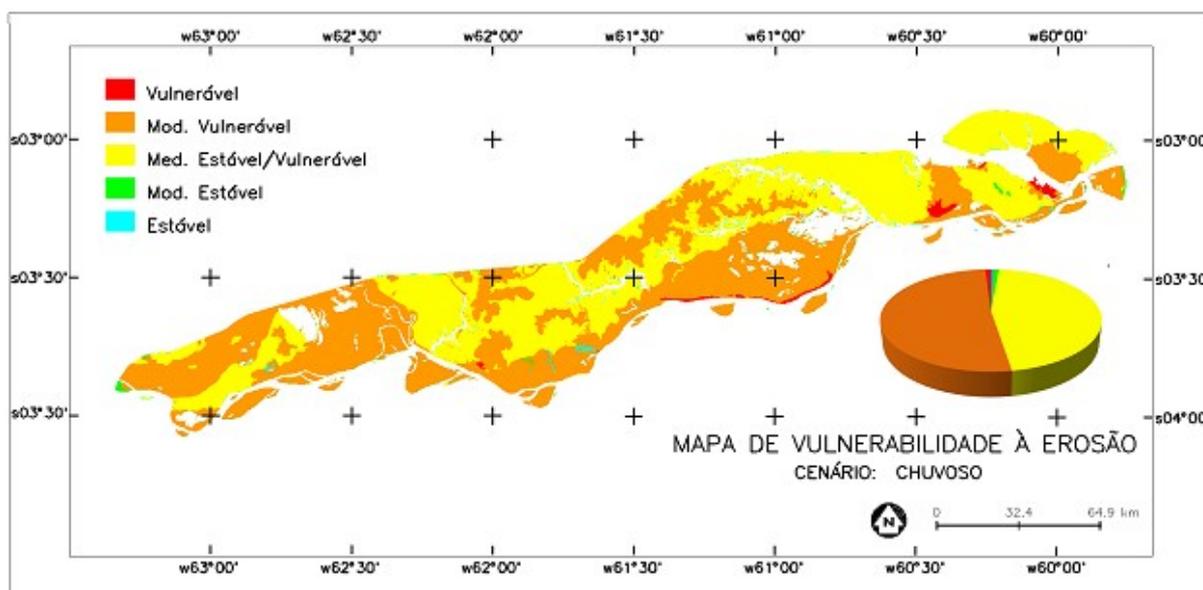


Figura 4 – Mapa de vulnerabilidade à erosão no cenário chuvoso.

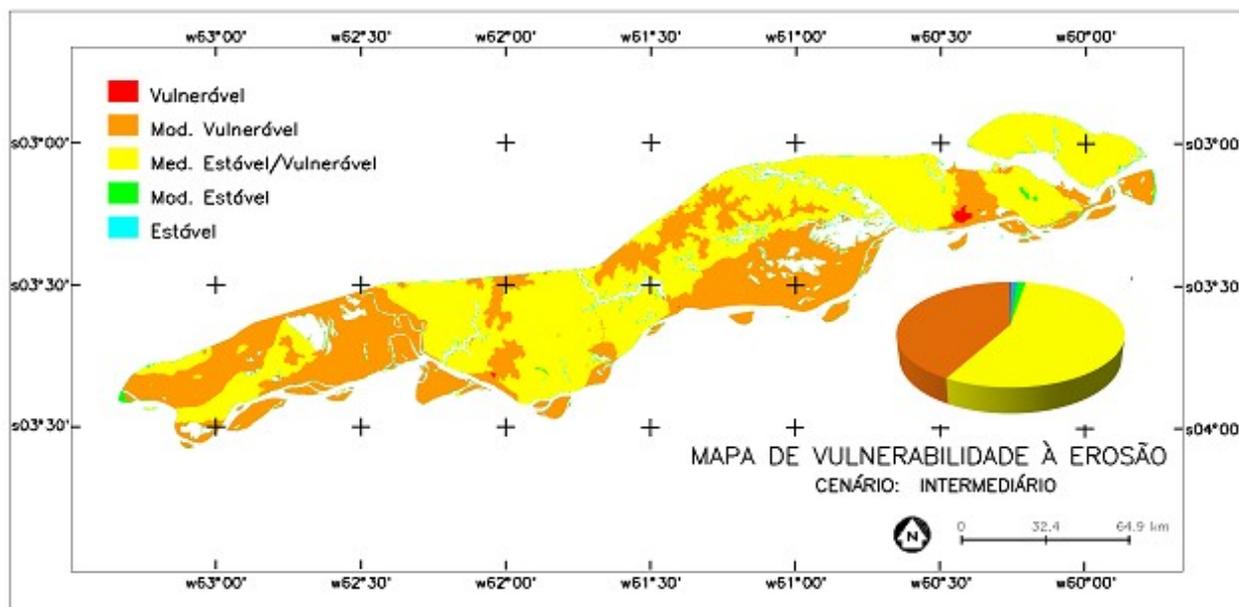


Figura 5 – Mapa de vulnerabilidade à erosão no cenário intermediário.

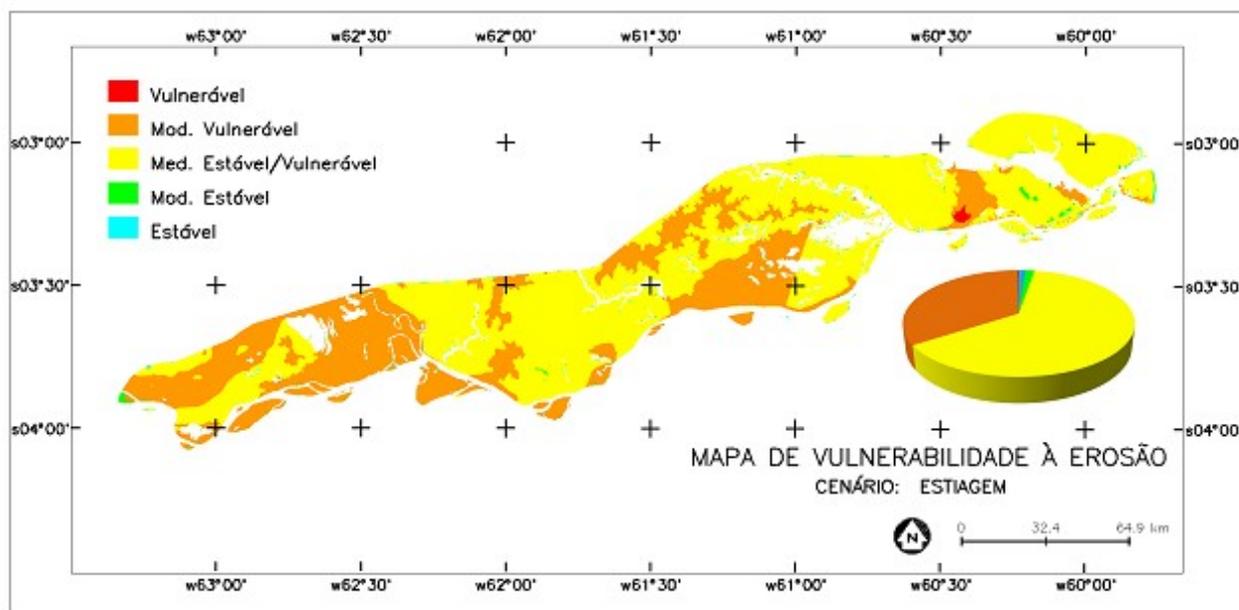


Figura 6 – Mapa de vulnerabilidade à erosão no cenário de estiagem.

## 5. Conclusões

A abordagem de análise utilizando a variação sazonal da intensidade pluviométrica para a detecção da áreas vulneráveis à erosão no trecho do gasoduto Coari-Manaus demonstrou agregar valor à metodologia proposta por Crepani et al. (2001). Em toda área de abrangência do estudo, predominaram as classes Medianamente Estável/Vulnerável e Moderadamente Vulnerável. Tais classes ocupam 97,20%, 97,59%, 97,20% e 97,18% da área total investigada, respectivamente, para os cenários anual, chuvoso, intermediário e estiagem.

Com este trabalho foi possível demonstrar que a aplicação de modelo espaço-temporal a sistemas geomorfológicos descreve com maior fidelidade as variações dos fenômenos que ocorrem na natureza.

Possíveis avanços neste sentido podem ser obtidos através da associação do modelo de vulnerabilidade à erosão com modelos meteorológicos contínuos.

## Agradecimentos

Aos competentes orientador e co-orientador Luiz Landau e Fernando Pellon de Miranda. Ao Dr. Bruce Rider Forsberg, pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia - INPA, e aos coordenadores do Projeto PIATAM, professores Carlos Edward Freitas e Alexandre Rivas, pela imensa ajuda e concessão dos dados para o desenvolvimento desta pesquisa.

## Referências Bibliográficas

Christofoletti A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo, Edgard Blücher, 1999. 215p.

Crepani E., Medeiros J.S., Azevedo L.G., Hernandez P., Florezano T.G., Duarte V., Barbosa C. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zonamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos, SAE/INPE. 2001.

Crepani E., Medeiros J.S., Azevedo L.G., Hernandez P., Florezano T.G., Duarte V. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zonamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos, SAE/INPE. 1996.

Pedrosa, B.M., Câmara, G., "Modelagem Dinâmica e Sistemas de Informações Geográficas". In: Meireles M.S , Câmara G. et. al. (eds). in: **Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais**, 1ª ed., capítulo 5, Brasília, Brasil, Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

PROJETO RADAMBRASIL – **Levantamento de Recursos Naturais**. Folhas. NB.20, NA.19-21, AS.19-21, SB.18-21, SC.19-21: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação. Rio de Janeiro, RJ, 1977, 420p. 13v.

Saraiva B.A., e Rivas, A. **Estudo Prévio de Impacto Ambiental Para Construção doo gasoduto Coari-Manaus**. Manaus, Amazonas, 2003.

Silva, C.R.O. Detecção de Áreas Vulneráveis a Erosão no Trecho do Gasoduto Coari-Manaus, Estado do Amazonas. Dissertação (Mestrado em Modelagem computacional/Engenharia Civil) – COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.