



**COPPE/UFRJ**

DETECÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS À EROSÃO NO TRECHO DO GASODUTO  
COARI-MANAUS, ESTADO DO AMAZONAS

Claudio Roberto Oliveira da Silva

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador(es): Luiz Landau

Fernando Pellon de Miranda

Rio de Janeiro  
Outubro de 2008

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

DETECÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS À EROSÃO NO TRECHO DO GASODUTO  
COARI-MANAUS, ESTADO DO AMAZONAS

Claudio Roberto Oliveira da Silva

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Aprovada por:

---

Prof. Luiz Landau, D.Sc.

---

Dr. Fernando Pellon de Miranda, PhD.

---

Prof. Alexandre Gonçalves Evsukoff, Dr.

---

Prof. Carlos Edward de Carvalho Freitas Dr.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL  
OUTUBRO DE 2008

Silva, Claudio Roberto Oliveira da

Detecção de áreas vulneráveis à erosão no trecho do gasoduto Coari-Manaus, Estado do Amazonas/Claudio Roberto Oliveira da Silva. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2008.

XIV, 102 p.: il., 29,7 cm.

Orientadores : Luiz Landau

Fernando Pellon de Miranda

Dissertação (Mestrado) – UFRJ/COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2008.

Referências Bibliográficas: p. 83 - 86

1. Vulnerabilidade à erosão. 2. Geoprocessamento. 3. Gasoduto 4. Amazonas. I. Landau, Luiz. *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

A minha família, com muito carinho...

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe.

Aos queridos amigos.

Aos competentes e prestativos, orientador e co-orientador Professor Luiz Landau e Professor Fernando Pellon de Miranda.

À equipe do Programa de Engenharia Civil (PEC).

Às instituições e aos integrantes do, LABSAR, PIATAM, COPPE, INPA e INPE pelo apoio logístico e pessoal recebidos para o desempenho das atividades de aquisição e demonstração do conhecimento contido neste trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

DETECÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS À EROSÃO NO TRECHO DO GASODUTO  
COARI-MANAUS, ESTADO DO AMAZONAS

Cláudio Roberto Oliveira da Silva

Outubro/2008

Orientadores: Luiz Landau

Fernando Pellon de Miranda

Programa: Engenharia Civil

O método desenvolvido nesta dissertação visa gerar cenários sazonais de estabilidade/vulnerabilidade à erosão no trecho do gasoduto Coari–Manaus, utilizando informações morfológicas, da cobertura vegetal e climáticas. Este método é uma adaptação do modelo anteriormente proposto na literatura (Crepani *et al.* 2001), que estabelece a vulnerabilidade geral como resultado um valor médio de pesos atribuídos aos temas geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e intensidade pluviométrica. Partindo deste princípio, o modelo aqui proposto, contribuiu como uma alternativa capaz de gerar resultados adaptados às peculiaridades da Amazônia, dinâmicos e flexíveis a partir da manipulação espaço-temporal dos citados Planos de Informação. A variação temporal foi tratada através da simulação dinâmica, atribuídos à sazonalidade da intensidade de chuvas nos períodos de estiagem, intermediário e chuvoso. As imprecisões espaciais entre as classes morfológicas foram tratadas usando a metodologia de suavização de fronteiras.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements the degree of Master of Science (M.Sc.)

DETECTION OF AREAS VULNERABLE TO EROSION ALONG OF PIPELINE COARI-MANAUS, AMAZONAS STATE

Cláudio Roberto Oliveira da Silva

October/2008

Advisors: Luiz Landau

Fernando Pellon de Miranda

Department: Civil Engineering

The methodology developed in this dissertation aims to generate seasonal scenarios of stability/vulnerability to erosion in the Coari-Manaus pipeline 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 from of an average value of weights ascribed to geology, geomorphology, pedology, vegetation and pluviometric intensity. Based on this principle, the model proposed here contributed as a alternative that is capable of gerating dynamic and flexible results customized to the Amazon region, from the space-time manipulation of the aforementioned Information Planes. Scenarios were created corresponding to seasonal variations of rainfall intensity for intermediate, dry and wet periods. Spatial inaccuracies were treaty using a smoothing border method.

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
SUMÁRIO.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xii
ANEXO I.....	xiii
ANEXO II.....	xiii
ANEXO III.....	xiv
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 -Considerações Iniciais.....	1
1.2 -Objetivos.....	3
1.3 -Justificativa do Estudo.....	3
1.4 -Área de Estudo.....	5
1.5 -Estrutura do trabalho.....	6
<b>CAPÍTULO 2 - MODELAGEM COMPUTACIONAL.....</b>	<b>7</b>
2.1 -Modelagem de Sistemas Ambientais.....	7
2.2 -Modelagem de Processos Morfológicos.....	9
2.2.1 -Tratamento de Incertezas de Dados Morfológicos.....	12
2.3 -Tipos de modelos espaciais geográficos.....	15
2.3.1 -Modelos Baseados na Lógica Booleana.....	16
2.3.2 -Modelo por Peso em Mapas Binários.....	16
2.3.3 -Modelo por Peso em Mapas Multiclasses.....	17
2.4 -Modelagem de Processos dinâmicos.....	18
2.4.1 -Estrutura dos Modelos Dinâmicos.....	19
2.5 -Aplicação de SIG à Modelagem Ambiental.....	21
2.5.1 -Representação e Modelagem no SPRING.....	23

2.5.2 -Linguagem Espacial para Processamento Algébrico.....	28
2.5.3 -Espacialização de Dados Pontuais.....	28
2.6 -Metodologia Aplicada ao Zoneamento Ecológico-Econômico.....	35
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>40</b>
3.1 -Materiais.....	40
3.1.1 -Descrição dos dados.....	41
3.2 -Descrição dos Métodos.....	58
3.2.1 -Ponderação do PI's Morfológicos.....	59
3.2.2 -Suavização de Fronteiras.....	59
3.2.3 -Integração dos Planos de Informações vegetação e uso do solo.....	61
3.2.4 -Simulação sazonal da Intensidade Pluviométrica.....	64
3.2.5 -Operação Algébrica.....	70
3.2.6 -Fatiamento e Apresentação dos Resultados.....	70
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>71</b>
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>81</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>83</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Localização do traçado do gasoduto Coari-Manaus.....	5
Figura 2.1- Erros e incertezas sobre a separação e posicionamento de mapas morfológicos.....	13
Figura 2.2 - Ilustração da representação de informação semântica para contatos entre classes temáticas. ....	14
Figura 2.3- Modelo dinâmico.....	20
Figura 2.4 - Fluxograma de um sistema de informação geográfica.....	22
Figura 2.5 - Exemplo de definição do modelo conceitual do SPRING.....	24
Figura 2.6 - Tipos de formações geológicas com representação cadastral: mapa vetorial, tabela de atributos e legenda.....	26
Figura 2.7 - Exemplo de Semi variograma Experimental.....	33
Figura 3.1 - Fluxograma proposto da pesquisa.....	41
Figura 3.2 - Mapa Temático do PI Geologia.....	44
Figura 3.3 - Mapa de vulnerabilidade à erosão do PI Geologia.....	45
Figura 3.4 - Mapa Temático do PI Geomorfologia.....	47
Figura 3.5 - Mapa de vulnerabilidade à erosão do PI Geomorfologia.....	48
Figura 3.6 - Mapa Temático do PI Pedologia.....	50
Figura 3.7 - Mapa de vulnerabilidade à erosão do PI Pedologia.....	51
Figura 3.8 - Mapa Temático do PI Vegetação.....	52
Figura 3.9 - Pesos de vulnerabilidade à erosão do PI Vegetação.....	52
Figura 3.10: Mapa de Cobertura e Uso do solo.....	54
Figura 3.11 - Localização e identificação das estações pluviométricas, e polígono da área de estudo.....	56
Figura 3.12 - Mapa Numérico do PI Pluviometria anual média.....	57
Figura 3.13 - Mapa de vulnerabilidade à erosão do PI Intensidade Pluviométrica.....	58
Figura 3.14: Desenho esquemático da região de fronteiras.....	60

Figura 3.15 - Representação das classes temáticas de Vegetação e cobertura e uso do solo.....	62
Figura 3.16 - (A) Representação do PI numérico Vegetação após a fusão com os dados de Cobertura e Uso do Solo. (B) Representação do PI no formato de Imagem, para visualização.....	63
Figura 3.17 - Distribuição da média mensal de pluviosidade em trinta e seis (36) estações, nas proximidades da área de estudo.....	65
Figura 3.18 - Mapa de Intensidade Pluviométrica (período chuvoso).....	68
Figura 3.19 - Mapa de Intensidade Pluviométrica (Intermediário).....	68
Figura 3.20 - Mapa de Intensidade Pluviométrica (estiagem).....	69
Figura 4.1 - Área ocupada (Km <sup>2</sup> ) pelas classes de vulneráveis à erosão nos diferentes cenários climáticos.....	74
Figura 4.2 - Mapa de vulnerabilidade à erosão – cenário anual: Metodologia de Crepani et al. (2001).....	76
Figura 4.3 - Mapa de vulnerabilidade à erosão – cenário chuvoso.....	77
Figura 4.4 - Mapa de vulnerabilidade à erosão – cenário intermediário.....	78
Figura 4.5 - Mapa de vulnerabilidade à erosão – cenário de estiagem.....	79
Figura 4.6 - Distribuição proporcional da área ocupada pelas classes de vulnerabilidade à erosão – cenário anual.....	80
Figura 4.7 - Distribuição proporcional da área ocupada pelas classes de vulnerabilidade à erosão – cenário chuvoso.....	80
Figura 4.8 - Distribuição proporcional da área ocupada pelas classes de vulnerabilidade à erosão – cenário intermediário.....	80
Figura 4.9: Distribuição proporcional da área ocupada pelas classes de vulnerabilidade à erosão – cenário de estiagem.....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Escala de estabilidade/vulnerabilidade à erosão. FONTE: Crepani et al. 2001.....	36
Tabela 3.1. Descrição do formato e das fontes dos dados.....	42
Tabela 3.2 - Pesos de vulnerabilidade à erosão para o Plano de Informação Geologia. .....	44
Tabela 3.3 - Pesos de vulnerabilidade à erosão para o PI Geomorfologia.....	47
Tabela 3.4 - Pesos de vulnerabilidade à erosão para o PI Pedologia.....	49
Tabela 3.5 - Pesos de vulnerabilidade à erosão para o PI Vegetação.....	53
Tabela 3.6 - Pesos de vulnerabilidade à erosão par o PI Cobertura e uso do solo.....	54
Tabela 3.7 - Pesos de vulnerabilidade à erosão para o PI Intensidade Pluviométrica.	57
Tabela 3.8 - Localização das estações pluviométricas.....	66
Tabela 4.1 - Área das classes de vulnerabilidade/estabilidade à erosão nos períodos climáticos anual, chuvoso, intermediário e estiagem.....	73

## ANEXO I

Tabela A I. 1 - Escala de Vulnerabilidade à Denudação das Rochas Mais Comuns....	87
Tabela A I. 2 - Classes de Declividade Com os Respectiveos Valores da Escala de Vulnerabilidade.....	87
Tabela A I. 3 - Valores de Vulnerabilidade Para a Intensidade de Dissecação do Relevo.....	88
Tabela A I. 4 - Valores de Vulnerabilidade Para a Amplitude Altimétrica.....	88
Tabela A I. 5 - Valores de Vulnerabilidade Para a Declividade Das Encostas.....	88
Tabela A I. 6 - Valores de Vulnerabilidade/Estabilidade dos Solos.....	89
Tabela A I. 7 - Escala de Erosividade da Chuva E Valores de Vulnerabilidade à Perda De Solo.....	89

## ANEXO II

Programa A II - 1 Transforma de Cadastral Para Numérico.....	90
Programa A II. 2 - Programa Soma Fitologia com Uso e Cobertura do Solo.....	91
Programa A II. 3 - Programa de Normalização da Intensidade Pluviométrica.....	91
Programa A II. 4 - Suavização De Fronteiras – PI Geologia.....	92
Programa A II. 5 - Suavização de Fronteiras – PI Geomorfologia.....	93
Programa A II. 6 - Suavização de Fronteiras – PI Pedologia.....	94
Programa A II. 7 - Programa Suavização de Fronteiras - PI Vegetação.....	95
Programa A II. 8 - Ponderação das Intensidade Pluviométrica.....	96
Programa A II. 9 - Programa de Operação – Média Aritmética.....	97
Programa A II. 10 - Fatiamento.....	98

### ANEXO III

Figura_A_III 1 - Mapa de Vulnerabilidade à erosão com escala contínua: cenário anual.....	99
Figura_A_III 2 - Mapa de Vulnerabilidade à erosão com escala contínua: cenário chuvoso.....	100
Figura_A_III 3 - Mapa de Vulnerabilidade à erosão com escala contínua: cenário intermediário.....	101
Figura_A_III 4 - Mapa de Vulnerabilidade à erosão com escala contínua: cenário de estiagem.....	102

## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

### **1.1 -Considerações Iniciais**

A construção da obra de infra-estrutura do gasoduto Coari-Manaus requer a retirada da vegetação e intensa movimentação do solo. Estas atividades têm grande contribuição para o desencadeamento de processos erosivos e de assoreamento de magnitude variada ao meio ambiente.

Para amenizar o impacto que estas atividades causam, torna-se necessário conhecer de forma integrada os diversos componentes da paisagem (Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima), de modo que seja possível entender sua dinâmica e com isso adotar medidas mitigadoras ou compensatórias ao meio ambiente.

Neste sentido, esforços coletivos de diversas instituições têm procurado estabelecer modelos de ocupação e desenvolvimento regional. Dentre estes, estão os trabalhos que buscam 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 elaborada 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 e de Sistemas de Informações Geográficas.

Esta metodologia determina a vulnerabilidade à erosão através da atribuição de pesos numéricos a classes temáticas, com base no conceito de Ecodinâmica (Tricart, 1977) e na potencialidade para estudos integrados das imagens de satélite. O resultado é parâmetro obtido através de média aritmética, de forma que, para os valores baixos, prevalecem os processos de pedogênese, enquanto que os valores altos indicam a predominância de processos de morfogênese.

No entendimento de Meireles *et al.* (2007), a análise de dados espaciais engloba uma variedade de atividades que auxiliam na descrição, compreensão e predição de padrões e associações nos mapas. A utilização da modelagem que explique o comportamento dessas informações é primordial para a representação simbólica dos relacionamentos entre os objetos espaciais e seus atributos. Os modelos lógicos são os mais freqüentemente empregados em sistemas de informações geográficas (SIG's).

Apesar de tais modelos representarem uma tentativa de quantificação da dominância dos citados processos, eles não consideram os problemas das incertezas espaciais e da variação temporal dos atributos, impossibilitando a geração de resultados mais precisos.

No entanto, é importante que esses aspectos sejam considerados para aplicações na região amazônica, onde a sazonalidade é característica marcante de fenômenos hidrológicos e meteorológicos.

## **1.2 -Objetivos**

Este trabalho teve como objetivo adaptar o modelo de Crepani *et al.* (2001), as peculiaridades da região amazônica, levando em consideração a sazonalidade climática e a incerteza da separação entre as classes para a determinação da vulnerabilidade à erosão.

## **1.3 -Justificativa do Estudo**

A área de estudo do gasoduto Coari-Manaus foi escolhida com base em uma série de análises elaboradas sobre o meio físico, biológico e sócio-econômico, contidas no EIA-RIMA (Saraiva e Rivas, 2003).

O modelo desenvolvido pelos citados Autores determinou os graus de estabilidade/vulnerabilidade à erosão na região do gasoduto através da álgebra de mapas. Este processo integrou os temas geologia, geomorfologia, pedologia, fitologia e pluviometria, processados e combinados segundo o modelo desenvolvido por Crepani *et al.* (1996) e Crepani *et al.* (2001).

O resultado deste estudo serviu para subsidiar as tomadas de decisão referentes às áreas com maior e menor estabilidade à movimentação de massa, ou perda de solo, durante ou posteriormente ao período de construção.

Apesar do referido modelo ter representado adequadamente as relações dos atributos pontuais e da distribuição das classes, ele não considerou as variações espaço-temporais dos fenômenos climáticos não conseguiu captar as incertezas da separação entre as classes.

## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

### **1.1 -Considerações Iniciais**

A construção da obra de infra-estrutura do gasoduto Coari-Manaus requer a retirada da vegetação e intensa movimentação do solo. Estas atividades têm grande contribuição para o desencadeamento de processos erosivos e de assoreamento de magnitude variada ao meio ambiente.

Para amenizar o impacto que estas atividades causam, torna-se necessário conhecer de forma integrada os diversos componentes da paisagem (Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima), de modo que seja possível entender sua dinâmica e com isso adotar medidas mitigadoras ou compensatórias ao meio ambiente.

Neste sentido, esforços coletivos de diversas instituições têm procurado estabelecer modelos de ocupação e desenvolvimento regional. Dentre estes, estão os trabalhos que buscam 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 elaborada 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 e de Sistemas de Informações Geográficas.

Esta metodologia determina a vulnerabilidade à erosão através da atribuição de pesos numéricos a classes temáticas, com base no conceito de Ecodinâmica (Tricart, 1977) e na potencialidade para estudos integrados das imagens de satélite. O resultado é parâmetro obtido através de média aritmética, de forma que, para os valores baixos, prevalecem os processos de pedogênese, enquanto que os valores altos indicam a predominância de processos de morfogênese.

No entendimento de Meireles *et al.* (2007), a análise de dados espaciais engloba uma variedade de atividades que auxiliam na descrição, compreensão e predição de padrões e associações nos mapas. A utilização da modelagem que explique o comportamento dessas informações é primordial para a representação simbólica dos relacionamentos entre os objetos espaciais e seus atributos. Os modelos lógicos são os mais freqüentemente empregados em sistemas de informações geográficas (SIG's).

Apesar de tais modelos representarem uma tentativa de quantificação da dominância dos citados processos, eles não consideram os problemas das incertezas espaciais e da variação temporal dos atributos, impossibilitando a geração de resultados mais precisos.

No entanto, é importante que esses aspectos sejam considerados para aplicações na região amazônica, onde a sazonalidade é característica marcante de fenômenos hidrológicos e meteorológicos.

## **1.2 -Objetivos**

Este trabalho teve como objetivo adaptar o modelo de Crepani *et al.* (2001), as peculiaridades da região amazônica, levando em consideração a sazonalidade climática e a incerteza da separação entre as classes para a determinação da vulnerabilidade à erosão.

## **1.3 -Justificativa do Estudo**

A área de estudo do gasoduto Coari-Manaus foi escolhida com base em uma série de análises elaboradas sobre o meio físico, biológico e sócio-econômico, contidas no EIA-RIMA (Saraiva e Rivas, 2003).

O modelo desenvolvido pelos citados Autores determinou os graus de estabilidade/vulnerabilidade à erosão na região do gasoduto através da álgebra de mapas. Este processo integrou os temas geologia, geomorfologia, pedologia, fitologia e pluviometria, processados e combinados segundo o modelo desenvolvido por Crepani *et al.* (1996) e Crepani *et al.* (2001).

O resultado deste estudo serviu para subsidiar as tomadas de decisão referentes às áreas com maior e menor estabilidade à movimentação de massa, ou perda de solo, durante ou posteriormente ao período de construção.

Apesar do referido modelo ter representado adequadamente as relações dos atributos pontuais e da distribuição das classes, ele não considerou as variações espaço-temporais dos fenômenos climáticos não conseguiu captar as incertezas da separação entre as classes.

As incertezas sobre a separação entre as classes e sobre erros advindos da distribuição no espaço e no tempo dos fenômenos naturais geram grandes problemas no cruzamento de informações geográficas. Entretanto, as discrepâncias entre as condições do mundo real e as informações apresentadas pelos traçados dos mapas do mundo real informações apresentadas pelo traçado dos mapas são, na maioria das vezes, desprezadas.

Assim, tendo em vista os problemas apresentados no modelo anterior, as justificativas para a realização da presente dissertação fundamentam-se nos métodos de simulação dos processos dinâmicos climáticos ao longo do tempo, bem como na representação das incertezas espaciais agregadas aos dados nas fases de coleta, processamento e combinação de planos de informação.

Tais discrepâncias existentes entre as condições do mundo real e as informações apresentadas pelo traçado do mapa.

## 1.4 -Área de Estudo

A Figura 1.1 apresenta a área de estudo da presente dissertação, o gasoduto Coari-Manaus, que se estende 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, a área de estudo está contida 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. Tal polígono que foi definido considerando as possíveis mudanças e os impactos causados pelo traçado proposto, possuindo uma área de aproximadamente 2.350 km<sup>2</sup>.

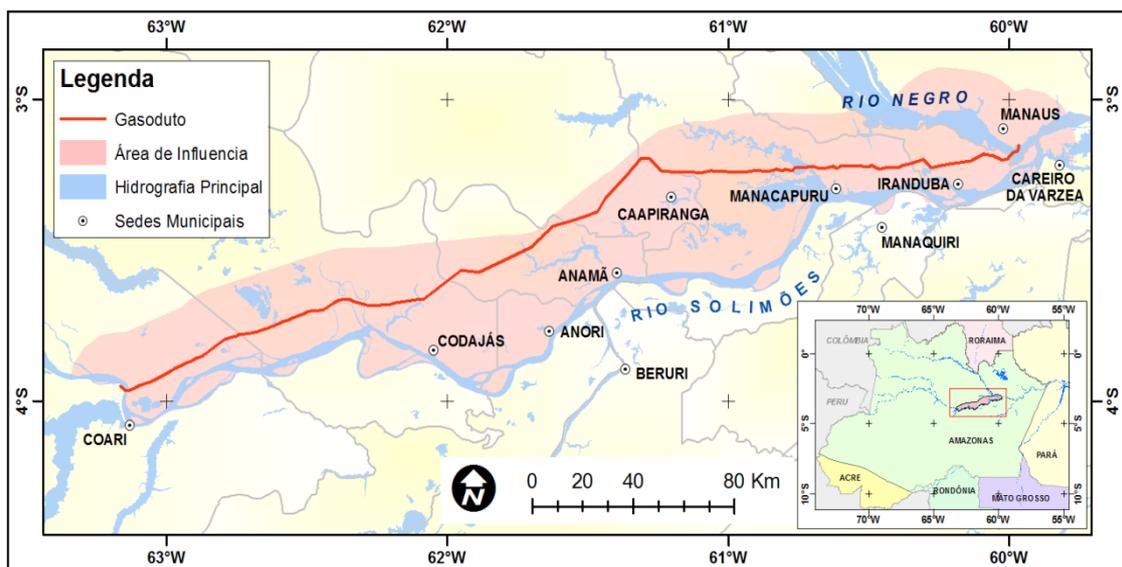


Figura 1.1- Localização do traçado do gasoduto Coari-Manaus.

## **1.5 -Estrutura do trabalho**

O texto até aqui apresentado do Capítulo 1 discorre sobre os objetivos e a justificativa do estudo, bem como sobre a localização da região investigada.

O capítulo contém uma revisão bibliográfica sobre o tema Modelagem computacional, focalizando os princípios básicos utilizados na representação dos principais componentes dessa ferramenta. Na exposição, são definidos os problemas técnicos e exemplos de aplicação da metodologia em modelos espaciais morfológicos de vulnerabilidade à erosão.

Os materiais e métodos envolvidos no presente estudo de vulnerabilidade à erosão são apresentados no Capítulo 3, incluindo a descrição de cada etapa de aquisição, pré-processamento e processamento da informação necessária à investigação, assim como a modalidade de representação dos resultados. As citadas operações algébricas com planos de informação condiziam à obtenção dos resultados exibidos no Capítulo 4.

No capítulo 5, são comentados os resultados da pesquisa, no que tange às perspectivas expressas em seus objetivos, além de apresentar propostas para a realização de trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2 - MODELAGEM COMPUTACIONAL**

### **2.1 -Modelagem de Sistemas Ambientais**

A modelagem de sistemas ambientais é entendida como uma representação matemática dos fenômenos observados no mundo real. Estas aproximações são geralmente de caráter subjetivo, pela ausência de determinadas observações ou medidas associadas.

O estudo desses sistemas estabelece um conjunto de elementos e operações que procuram descrever um dado fenômeno, adquiridos e combinados com base no conhecimento científico do pesquisador e com apoio de métodos matemáticos. Cada elemento neste sistema exerce uma influência sobre a combinação das diversas fontes de informação empregadas.

Tais sistemas são compostos pela associação das propriedades físicas dos fenômenos (geometria, composição, etc) e constituem os de menor complexidade dentre as estruturas naturais, como por exemplo, rede de drenagem e as vertentes.

O conceito de modelagem de sistemas ambientais como ferramentas de tomada de decisão foi introduzido na Geomorfologia por Chorley (1962), Strahler (1980), Huggett (1985) e Scheidegger (1991) *apud* Chistofolletti (1999).

Segundo os Autores acima mencionados, os diversos fatores a serem considerados durante a construção do sistema estão relacionados à seleção de

informações relevantes para o estudo, à estruturação das características ambientais e funcionais e à simplicidade de cada uma de suas etapas.

Muitas dificuldades são encontradas na concepção de um sistema que represente os fenômenos ambientais com desejado grau de aproximação. As principais estão relacionadas à identificação das variáveis nos processos e nas suas relações.

Na análise ambiental, a classificação dos sistemas obedece ao critério funcional e à composição integrativa dos elementos. Os critérios funcionais, de acordo com (Chistofolletti, 1999), diferenciam entre sistemas isolados e não isolados. Os critérios referentes à complexidade da composição integrativa distinguem onze tipos de sistemas, sendo de relevância para o presente estudo os sistemas morfológicos.

Com o avanço da informática, a construção de modelos computacionais capazes de simular sistemas morfológicos, consubstanciados em programas computacionais, que possibilitam a realização de diversas operações com dados espaciais.

Neste contexto os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) constituem uma tecnologia estabelecida para armazenar, organizar, recuperar e modificar informações sobre a distribuição espacial de recursos naturais, e sobre muitos outros tipos de dados localizados na superfície da terra (Pedrosa e Câmara, 2007).

A apresentação dos dados geográficos em um SIG inclui atributos espaciais, representando a geometria e a localização de feições, assim como associadas ao ambiente e a características temporais.

Informações sobre o ambiente são, portanto, derivadas de dados disponíveis sobre topografia, clima e tempo, propriedades do solo, propriedades geológicas, cobertura da terra, uso da terra, hidrografia e qualidade da água, entre outras (Davis e Borges, 2001). Alguns desses fenômenos, como chuva, elevação e propriedades do solo, possuem variação contínua sobre o espaço (visão de campos). Outros, como falhas geológicas e redes de rios, podem ser discretizados (visão de objetos), enquanto outros podem estar em ambas categorias, dependendo do nível de detalhe considerado.

As possíveis implementações de modelos dos processos erosivos configuram procedimentos lógicos onde um mapa de risco de erosão pode ser gerado a partir do cruzamento dos dados de declividade, cobertura vegetal e tipos de solos (Felgueiras, 1999). Tais modelos são empíricos e se baseiam em experiências ou em conhecimentos adquiridos através da observação de fenômenos ambientais.

Eles utilizam mapas ponderados por pesos previamente definidos pelo operador, que são obtidos através da combinação de temas relevantes para a representação da vulnerabilidade de ambientes.

## **2.2 -Modelagem de Processos Morfológicos**

A modelagem dos processos morfológicos consiste em caracterizar a geometria dos sistemas ambientais e sua composição através de um conjunto de procedimentos. Assim, o emprego de modelos expressos por diagramas ou expressões matemáticas é bastante difundido para manipular as variáveis descritivas.

O entendimento da estrutura desses modelos é um aspecto fundamental para definir a sua representatividade, pois os aspectos ligados aos métodos de análise e às operações determinam a aplicabilidade, de seus resultados. Segundo Chistofolletti (1999), existem dois tipos de modelos morfológicos capazes de representar de forma diferente a realidade dos fenômenos que ocorrem no mundo real.

Os Modelos Análogos Naturais utilizam representações simples para analisar uma categoria de fenômenos ambientais, podendo ser representados por regressões simples a múltiplas, lineares ou não. A principal característica desse tipo de modelo é a busca de relações entre as variáveis de estudo que a princípio não são conhecidas.

Na segunda categoria, que envolve o uso de equações diferenciais os processos a serem modelados são conhecidos, a priori. Os Modelos Análogos Abstratos empregam o raciocínio lógico quantitativo e desmembram a estrutura do sistema em componentes, onde cada parte é analisada interativamente. Estes modelos foram inicialmente implementados nas décadas de 30 e 40 com aplicação em análises quantitativas nas Geociências.

Atualmente, existem duas categorias distintas para os Modelos Análogos Abstratos: os Modelos Experimentais, que simulam concretamente os fenômenos ambientais, exercendo alto controle sobre as variáveis para compreender a dinâmica dos processos; os Modelos Matemáticos, que representam os processos através de abstrações, substituindo as interações por expressões matemáticas constituídas de variáveis, parâmetros e constantes pré-definidas.

A simulação por meio de ferramentas matemáticas que proporciona previsões do mundo real que não podem ser obtidas por outros métodos. Chistofolletti (1999) define duas classes para tais modelos: determinísticos e estocásticos.

Os modelos determinísticos utilizam ferramentas matemáticas clássicas de relações entre variáveis independentes e dependentes. Tal abordagem requer o uso de parâmetros pré-determinados em equações que definem processos de maneira precisa. Eles têm uma definição teórica que, no entanto, nem sempre reflete inteiramente a realidade. A utilização da modelagem pode ser relacionada à teoria física, como equações de movimento oriundas de princípios mecânicos para explicar a dinâmica de um rio em termos de campos de velocidade. Existem ainda modelos baseados no conhecimento, onde operadores de lógica booleana são utilizados para extrair informações a partir de um conjunto de mapas.

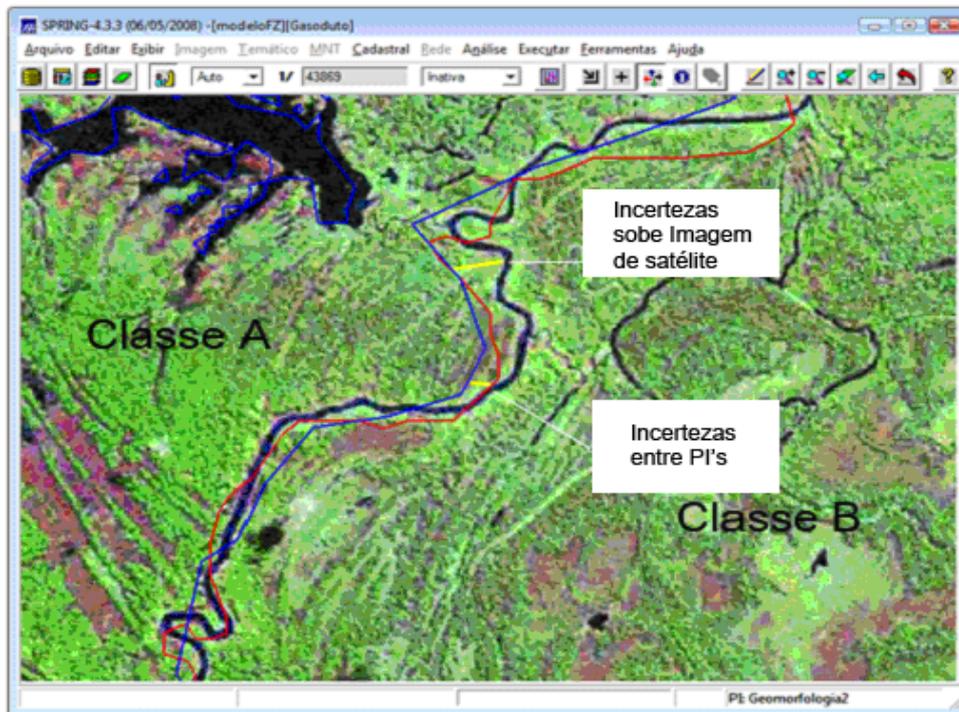
A modelagem estocástica emprega expressões matemáticas que descrevem efeitos aleatórios, levando em consideração as incertezas dos dados coletados e os fenômenos no mundo real.

O processo estocástico torna as inferências mais eficientes para a descrição do padrão espacial do fenômeno estudado.

### **2.2.1 -Tratamento de Incertezas de Dados Morfológicos**

A maior dificuldade presente nos dados morfológicos consiste nas discrepâncias espaciais provenientes da separação entre as classes, que são agregados durante a aquisição, transformação e processamento dos dados vetoriais. Por ocasião da combinação de mapas temáticos para gerar produtos derivados, tais discrepâncias causam uma série de erros nas regiões próximas às fronteiras.

A Figura 2.1 representa os erros e incertezas espaciais dos Planos de Informação geomorfologia (linha azul) e, pedologia, (linha vermelha). Os traços transversais na cor amarela indicam as medidas de incerteza sobre a separação das classes no caso de combinação entre PI's, e as incertezas uma imagem de satélite georreferenciada.



*Figura 2.1- Erros e incertezas sobre a separação e posicionamento de mapas morfológicos.*

Segundo Wang e Brent Hall (1996) apud Moreira (2002), o problema de imprecisão dos contatos está associado às diferenças existentes no mundo real e as informações representadas pelas linhas do mapa. Borrough e McDonnell (1998) consideram que a natureza dos fenômenos naturais não é representável por limites estáticos ou rígidos, sugerindo uma metodologia de análise espacial capaz de gerar informações que descrevam de maneira mais complexa os fenômenos naturais. Os citados autores propõem a metodologia de eliminação de fronteiras rígidas entre as classes, estabelecendo uma variação suave em sua transição, que será expressa através de uma relação linear entre a imprecisão da separação das classes e o conhecimento do operador sobre as áreas de contatos dos polígonos.

Em um trabalho realizado anteriormente por Moreira (2001) é proposta a aplicação desta metodologia para inferir a existência de minerais ao longo de lineamentos estruturais e estruturas circulares em Poços de Caldas, conforme apresentado na Figura 2.2.

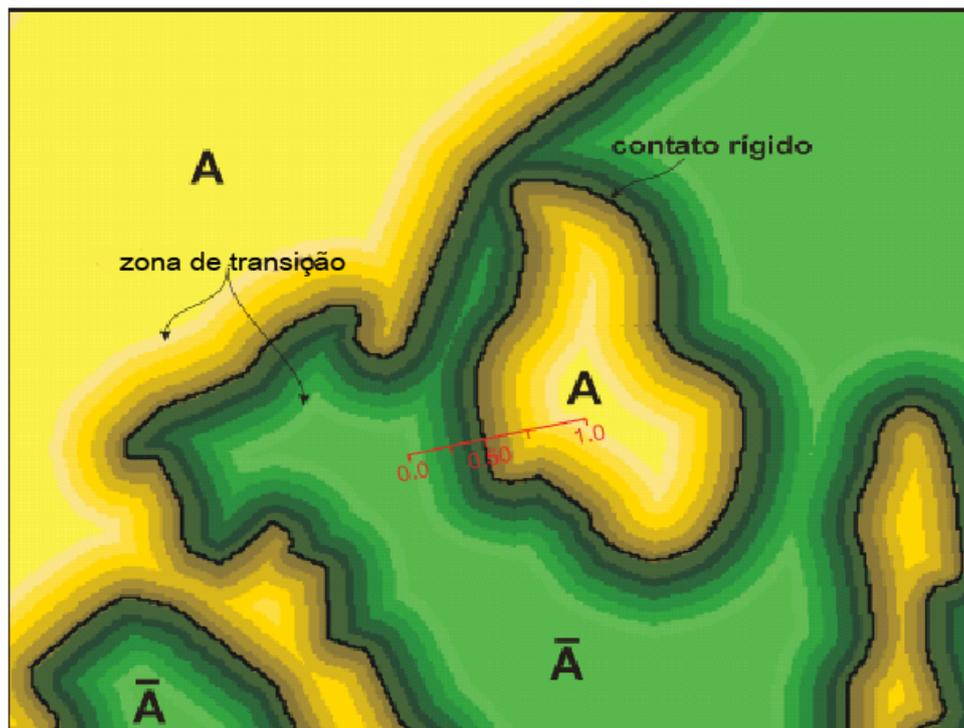


Figura 2.2 - Ilustração da representação de informação semântica para contatos entre classes temáticas. Modificado de Moreira, 2002.

A classe temática amarela representa a fatia totalmente contida em A. As fatias menores indicam a graduação das demais fatias até a maior verde, que representa aquelas fora da classe A (ou seja,  $\bar{A}$ ).

A escala em vermelho na zona de fronteira define uma relação linear (0,0 a 0,1) para a imprecisão da separação entre as classes (Figura 2.1).

## 2.3 -Tipos de modelos espaciais geográficos

Os modelos espaciais geográficos são formas simplificadas de representar a realidade através da reprodução de ocorrências espaciais ou temporais do mundo real. Este processo resulta na produção de novas informações derivadas daqueles previamente existentes, por meio da função (modelo) definida na Equação 2.1.

$$\text{Informação de saída} = f(\text{info1}, \text{info2}, \dots) \quad \text{Equação 2.1}$$

A função  $f$  por ter diferentes representações, expressando um entendimento teórico de processos naturais e antrópicos, ou então possuindo caráter empírico advindo da simples observação dos dados.

Segundo Bonham-Carter (1994), essa abordagem pode apresentar dois casos: modelos definidos através da atribuição de pesos por meio de critérios estatísticos, através da estimativa de ocorrência de um fenômeno numa dada área, (*data-driven*), ou então modelos cujos pesos podem ser estimados pela opinião de especialistas, (*knowledge-driven*).

Nos modelos *data-driven*, os parâmetros utilizados são calculados a partir de amostras de treinamento, com os mapas de entrada combinados a partir de regressões ou Redes Neurais. Nos modelos (*knowledge-driven*), os parâmetros são estimados por especialistas e incluem o uso de lógica *fuzzy*, probabilidade bayesiana, entre outras.

### **2.3.1 -Modelos Baseados na Lógica Booleana**

Modelos booleanos envolvem a combinação de evidências contidas em planos de informação (PI's) binários resultantes da aplicação de operadores condicionais. A hipótese e a proposição são suportadas pela combinação de vários PI's de evidência.

Cada ponto no espaço geográfico é testado para se determinar se ele pertence ou não a um grupo específico, de evidências nas quais alguns critérios são satisfeitos. A hipótese é avaliada repetidas vezes sobre todas as localizações da área de estudo, resultando em um mapa binário, cujo conjunto de valores assume duas posições: 1 (verdadeiro) e 0 (falso). Não existe a possibilidade de respostas intermediárias.

Os modelos geográficos baseados na sobreposição por pesos em mapas binários constituem os casos mais simples.

### **2.3.2 -Modelo por Peso em Mapas Binários**

Quando se utiliza múltiplas classes, a cada classe de cada mapa é atribuída uma nota diferente, o que leva a um sistema de análise por pesos mais flexíveis. Cada mapa binário é multiplicado pelo seu fator de peso. A seguir são somados todos os mapas que estão sendo combinados e normalizados através da soma dos pesos.

O resultado é a geração de um mapa com valores que variam de 0 a 1, que podem ser classificados em intervalos apropriados para um determinado mapeamento. Para cada localização analisada, os valores de saída (S) são definidos como na Equação 2.2.

$$Saída = \frac{\sum P_i \text{classe} \times (\text{Mapa}_i)}{\sum P_i}$$

*Equação 2.2*

onde  $P_i$ , é o peso fornecido a cada classe, e  $\text{Mapa}_i$  é o valor da classe do mapa que em cada classe no  $i$ -ésimo, que, por sua vez é binário é (0 ou 1), ou seja, ausência ou presença da classe naquele mapa.

### **2.3.3 -Modelo por Peso em Mapas Multiclasses**

São atribuídos valores ou notas distintas para cada classe, assim como para cada mapa, de acordo com sua importância para o fenômeno estudado. A média ponderada é obtida pela Equação 2.3.

$$Saída = \frac{\sum N_{ij} \times P_i}{\sum P_i}$$

*Equação 2.3*

onde,  $P_i$  é o Peso fornecido ao  $i$ -ésimo mapa de entrada, e  $N_{ij}$  é a nota fornecida pela classe  $j$ -ésima do Mapa  $i$ . As notas das classes são armazenadas em tabelas de atributos no contexto de um SIG.

Este modelo quando aplicado a classes temáticas funciona como ponderador transformando os intervalos discretos das classes nominais em intervalos contínuos com representação numérica. Tal abordagem é aplicada nesta presente dissertação como método de cruzamento dos  $P_i$ 's.

## **2.4 -Modelagem de Processos dinâmicos**

Na conceituação de Câmara *et al.* (2004), a análise espacial é composta por um conjunto de procedimentos encadeados, cuja finalidade é a escolha de um modelo inferencial que considere explicitamente o relacionamento presente no fenômeno investigado. Estes modelos são estruturados em três grupos: variação contínua, variação discreta e os processos pontuais.

Os modelos de variação contínua analisam uma superfície e sua variação no espaço e no no tempo. Nos modelos de variação discreta, um conjunto de pontos irregularmente distribuídos é selecionado através de mecanismos estocásticos para analisar um padrão geográfico. O processo pontual é modelado através de sub-regiões, onde são estimadas as localizações de possíveis ocorrências de eventos pré-definidos.

Os modelos de variação contínua utilizam superfícies geográficas construídas a partir de amostras obtidas no campo, pelo pesquisador. Os métodos mais empregados para a estimação dessas superfícies consideram os processos como os da geo-estatística.

Os métodos mais utilizados para a estimação desses modelos são os processos estacionários, cujos dados são oriundos de eventos determinados pelo pesquisador através de processos de amostragem. As principais dificuldades inerentes ao desenvolvimento desses modelos são o reconhecimento de padrões dentro de cada amostra e agregar as informações, pois a co-variância entre as sub regiões depende unicamente da distância ou da estrutura de vizinhança entre as áreas.

Os Modelos de variação contínua utilizam amostras de campo geradas a partir das superfícies geográficas pré-determinadas e suas respectivas interações no espaço.

Os Modelos de Simulação Dinâmica Temporal, segundo Pedrosa E Câmara (2007) procura acomodar a heterogeneidade espacial no processo de tomada de decisões. A sua estruturação consiste em aplicar equações matemáticas através de uma matriz de células que representam o espaço em estudo. A utilização deste modelo requer modelos funcionais espacialmente definidos, com o objetivo de prever tanto as mudanças temporais dos processos envolvidos quanto à evolução de padrões espaciais.

As principais dificuldades na sua implementação constituem na interpolação das informações consideradas como um conjunto de dados sem erros, e na estimação das medidas de incertezas inerentes ao processo de construção do modelo.

#### **2.4.1 -Estrutura dos Modelos Dinâmicos**

A estrutura dos Modelos Dinâmicos é determinada através de cinco fatores: Espaço, Vizinhança, Função de Transição, Tempo e Sistema. Neste trabalho, abordaremos o Espaço e o Tempo, primordiais para a representação dinâmica do comportamento do processo erosivo. O espaço, como processo dinâmico, leva em consideração o espaço relativo e próximo para estabelecer e representar fluxos e conexões entre entidades do sistema.

O Tempo é representado pelos seguintes aspectos: Ordem, Variação e Granulação. A ordem temporal é a forma como o tempo evolui no processo dinâmico, enquanto que a variação temporal é a forma que este flui.

A Granularidade por sua vez, é a periodicidade do fenômeno, e representa os valores de padrões médios para o intervalo de tempo.

A Figura 2.3 mostra a estrutura do modelo dinâmico aplicado a processos hidrológicos. Neste modelo, a influência sazonal do período hidrológico é combinada com os Planos de Informação (PI's) morfológicos (geologia, geomorfologia, pedologia, declividade, densidade vegetal e pluviometria) para a obtenção de resultados periódicos. O tempo tem o aspecto granulado, e compreendendo os estados hidrológico de cheia e de seca. As entidades espaciais são representadas por coordenadas geográficas (longitude e latitude).

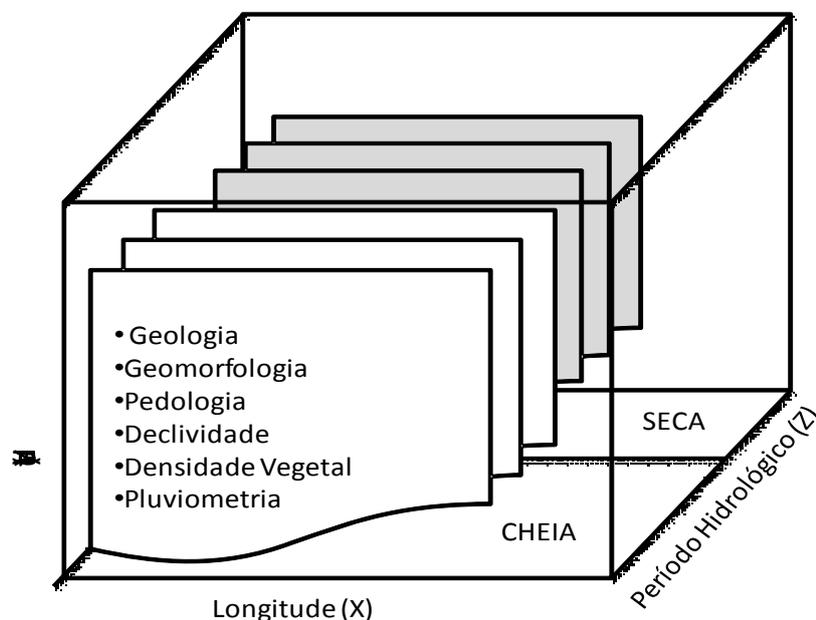


Figura 2.3- Modelo dinâmico. Adaptado de Meireles (2007)

## **2.5 -Aplicação de SIG à Modelagem Ambiental**

O histórico de aplicação de análise espacial de dados geográficos tem referência inicial no mapeamento de poços de água e de casos de cólera em Londres, em 1854, realizada pelo Dr. John Snow. Foi elaborado um mapa de pontos para detectar a relação de proximidade entre os casos de cólera e os poços de água dentro da cidade.

Com a evolução da informática e dos programas específicos para a operação com informações geográficas, surgiram os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's).

O que distingue um SIG de outros tipos de sistemas de informação são as funções que possibilitam a realização de análises espaciais (geográficas). Tais funções utilizam os atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais; buscando fazer simulações (modelos) sobre os fenômenos do mundo real (Câmara et al. 1996).

Assim, a partir da aquisição de informações no espaço geográfico, o SIG torna possível ao usuário a possibilidade de entender a realidade de maneira sistêmica, composta por fenômenos físicos ou virtuais, constituindo sistemas, nos quais ocorrem as relações de inserção (hierarquias), topologia (proximidade/contigüidade) e funcionalidades.

Nessa perspectiva o meio ambiente pode ser tratado como um agregado de sistemas relacionados entre si. A natureza dual da informação espacial ou dado geográfico possui uma localização expressa como coordenadas de um mapa e

atributos descritivos representados num banco de dados convencional (Câmara, 1995).

Tal capacidade é fundamental para aplicações como ordenamento territorial e estudos de impacto ambiental, caso em que a informação final deve ser deduzida e compilada a partir de levantamentos básicos. A demonstra o fluxograma do processo de criação e manipulação de dados georreferenciados em um SIG.

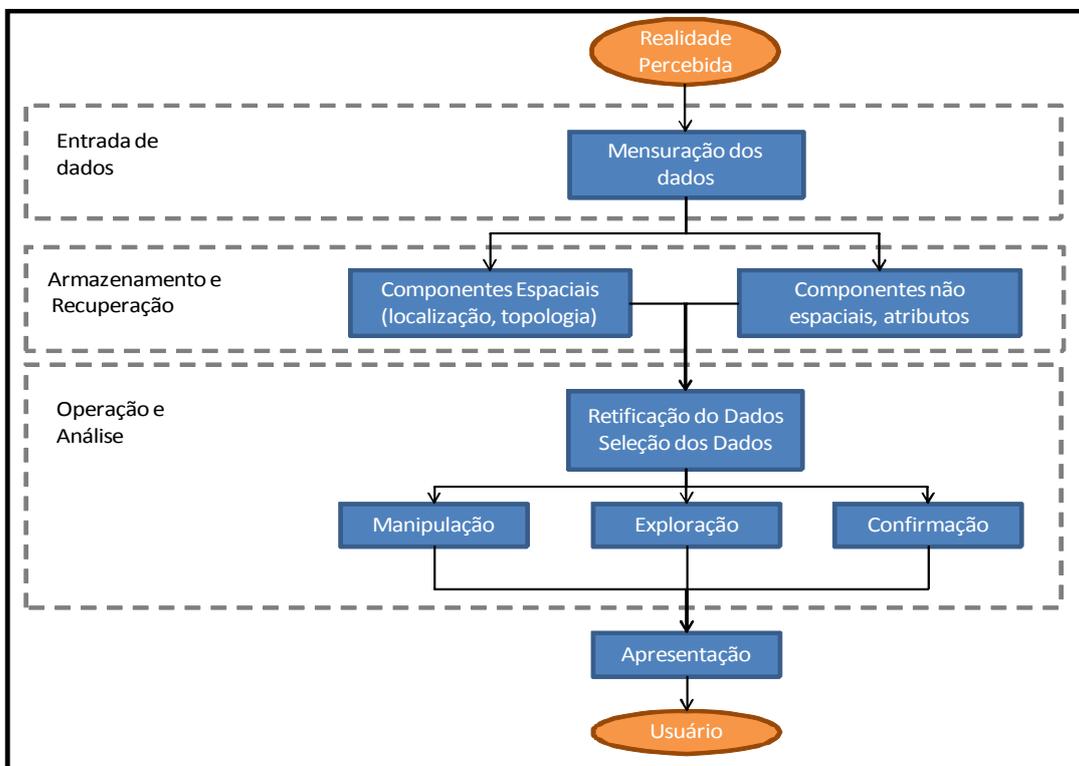


Figura 2.4 - Fluxograma de um sistema de informação geográfica Adaptado Anselin e Getis, 1992. apud Meireles 2007.

### **2.5.1 -Representação e Modelagem no SPRING**

O Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), é um SIG que oferece um conjunto integrado de ferramentas para processamento de informações geográficas, com modelagem digital de terreno, análise espacial e tratamento de imagens de sensoriamento remoto (Câmara *et al.*, 1996). Segundo o autor, os objetivos do sistema SPRING são:

- integrar as tecnologias de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica;
- utilizar modelo de dados orientado-por-objetos, que melhor reflete a metodologia de trabalho de estudos ambientais e cadastrais;
- fornecer ao usuário um ambiente interativo para visualizar, manipular e editar imagens e dados geográficos;

O princípio básico do modelo de dados no SPRING, na concepção de Câmara (2004), é um conjunto descrito pelo conceito de geo-campo e geo-objeto, usados para descrever a estrutura e as operações em um banco de dados. O modelo busca sistematizar o entendimento a respeito de objetos e fenômenos a serem visualizados em um sistema informatizado. É construído a partir de uma abstração dos do mundo real, de forma a se ter uma representação conveniente, embora simplificada, que seja adequada à finalidade do usuário.

Para que as informações do mundo real possam ser representadas em um SIG, o espaço geográfico é modelado segundo duas visões complementares: o modelo de campo ou geo-campo e o modelo de objetos ou geo-objeto.

O geo-campo representa a distribuição espacial de uma variável que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica (*e.g.*, modelos temáticos, numéricos e imagens). O Geo-objeto é um elemento único que possui atributos não espaciais e está associado a múltiplas localizações geográficas, sua localização pretende ser exata e o objeto é distinguível de seu entorno (*e.g.*, os mapas de cadastro rural).

Segundo INPE (2000), estes modelos se dividem de acordo com suas representações, topologia e formato dos dados, os quais são apresentados no fluxograma (Figura 2.5).

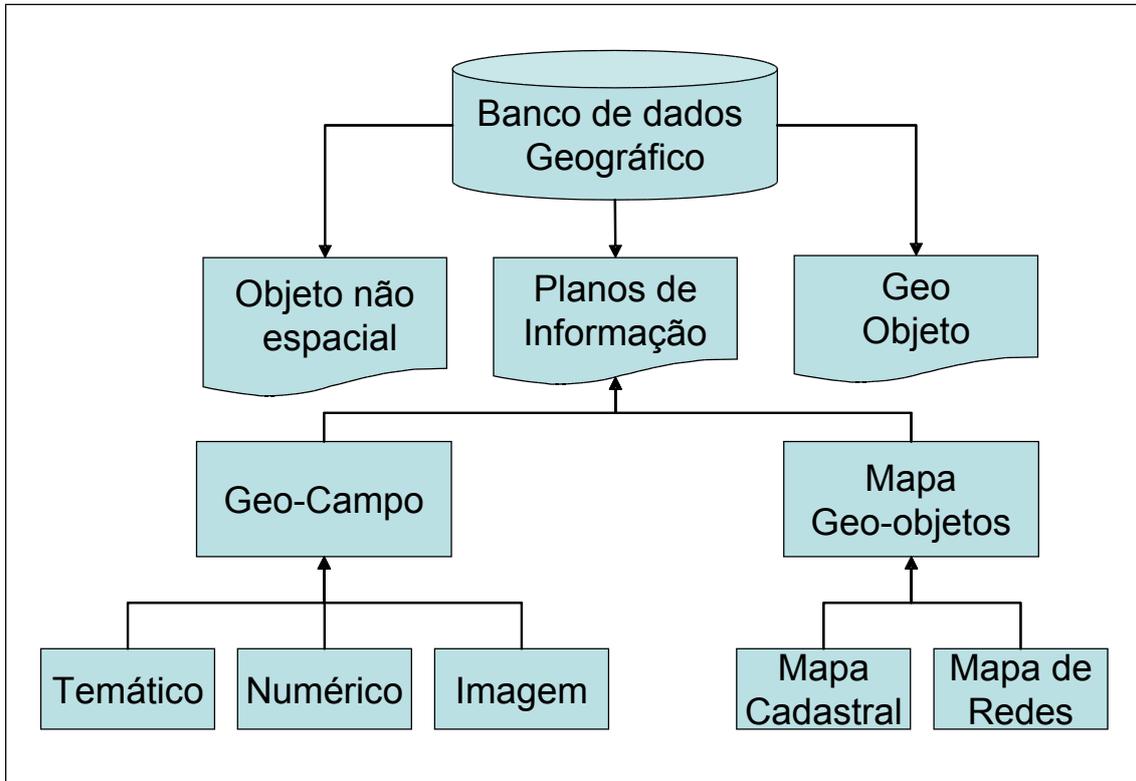


Figura 2.5 - Exemplo de definição do modelo conceitual do SPRING.  
Adaptado de Câmara (1995).

### 2.5.1.1 - Mapas Temáticos

Descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica expressa de forma qualitativa, como, por exemplo, os mapas de pedologia e aptidão agrícola de uma região. Mapas temáticos medem, no espaço de atributos, valores nominais que representam as classes temas e valores ordinais, quando as classes expressam intervalos (escala) de valores. Estes dados são do tipo geo-campo e admitem tanto a representação matricial quanto a vetorial. Na representação matricial, a área correspondente ao mapa é dividida em células de tamanho fixo e cada célula tem um valor correspondente ao tema mais freqüente naquela localização espacial.

Em caso de combinação, são aplicados em cruzamentos booleanos entre planos de informação, gerando resultados numéricos.

### 2.5.1.2 - Mapas Cadastrais

Mapas cadastrais são dados do tipo geo-objeto, onde cada elemento é um objeto geográfico, que possui atributos e pode estar associado a várias representações gráficas. Permitem a representação de elementos gráficos (geo-objeto) por pontos, linhas ou polígonos, sendo que cada um dos seus elementos possui um atributo descritivo e pode estar associado a várias representações gráficas.

A forma mais eficiente e convencional de armazená-la é como coordenadas vetoriais, com sua topologia associada.

A Figura 2.6 apresenta um mapa cadastral com informações geológicas agrupadas por tipos de formação. A tabela de atributos e a legenda funcionam como mecanismos de armazenamento, consultas e análises.

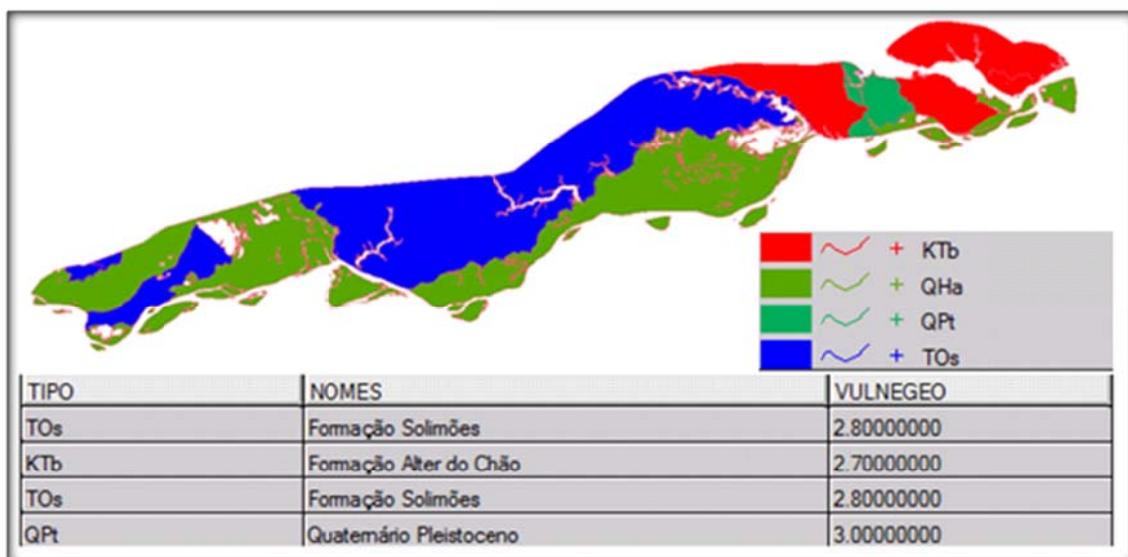


Figura 2.6 - Tipos de formações geológicas com representação cadastral: mapa vetorial, tabela de atributos e legenda.

### **2.5.1.3 - Redes**

Redes também são do tipo geo-objeto e também se caracterizam representar em objeto geográfico possui localização exata e está sempre associado a estruturas linearmente conectadas, com atributos descritos e armazenados nas representação não-espacial, no banco de dados. Como por exemplo poder ser citados cabos telefônicos, redes de drenagem, canos de água, etc. inclui ainda informações adicionais, como conexão, fluxo e fragmentação dinâmica.

As informações gráficas de redes são armazenadas em coordenadas vetoriais, com topologia arco-nó: arcos têm um sentido de fluxo e nós, têm atributos que podem ser fontes ou sorvedouros.

### **2.5.1.4 - Modelo Numérico de Terreno (MNT)**

É definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real, a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos  $(x, y)$  em um referencial qualquer, com atributos denotados de  $z$ , que descrevem a variação contínua da superfície através da função  $z=f(x,y)$ . É utilizado para denotar a representação de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Este modelo é comumente associado à formas do relevo, podendo ser utilizado para modelar características geológicas, como teor de minerais, propriedades do solo ou subsolo, distribuição de chuvas ou poluentes na água.

Um arquivo MNT pode assumir formas regulares, representados por matrizes, ou distribuição de pontos cotados com espaçamentos irregulares, denominados de amostras.

As amostras são obtidas, geralmente, de dados pontuais coletados no campo, tais como: dados meteorológicos, amostras de solos, e amostras de água.

A geração de grades regulares consiste em interpolar os valores das amostras a fim de formar uma malha regular de pontos, onde seja mais fácil realizar operações matemáticas computacionais.

#### **2.5.1.5 - Imagem**

Representam formas de captura indireta de informação espacial. Consideradas geo-campo, são armazenadas como matriz e cada elemento de imagem (pixel) tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida, emitida ou espalhada pela área da superfície terrestre correspondente. As informações são capturadas indiretamente pelos sensores de satélites, com características distintas de aquisição.

#### **2.5.2 -Linguagem Espacial para Processamento Algébrico**

A ferramenta LEGAL (Linguagem Espacial par Processamento Algébrico) tem o objetivo de prover um ambiente geral para análise espacial através de álgebra de mapas, incluindo operações de manipulação, consulta espacial e apresentação. O programa consiste de uma seqüência de operações descritas por sentenças organizadas segundo regras gramaticais, envolvendo operadores, funções e dados espaciais, categorizados segundo o modelo de dados SPRING e representados em Planos de Informações (PI's).

Um programa em LEGAL é constituído por uma lista de sentenças que descreve um procedimento, isto é, um conjunto de ações sobre dados espaciais, que faça sentido no contexto dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's). Tais

sentenças em LEGAL são estruturadas em quatro grupos: I) Declaração de variáveis, II) Instanciações de variáveis, III) Operações de álgebra de mapas, e IV Controle de comandos (Barbosa, 1997).

Esta linguagem de programação é um dos possíveis modos de interação entre o usuário e o sistema SPRING. Utilizando um editor de texto, o usuário escreve os programas seguindo a gramática da LEGAL, descrevendo todos os procedimentos para execução de sua metodologia de análise. Em seguida, tal programa é submetido ao interpretador da linguagem no SPRING, o qual irá checar a validade das expressões e da execução do procedimento.

### **2.5.3 -Espacialização de Dados Pontuais**

O conhecimento da precipitação pluviométrica tem grande importância para a realização de estimativas de processos erosivos. Tendo em vista que a coleta de dados de precipitação é restrita a poucas estações climatológicas, torna-se necessário estimar os valores esperados para as localidades nas quais não haja disponibilidade de informações.

Atualmente, há inúmeros modelos de interpolação espacial de dados pontuais disponível nos SIG's, tais como triangulação, média local das amostras, método da inversa distância, etc. No entanto, para dados esparsos, tais métodos possuem limitações na representação da variabilidade espacial, porque desconsideram a anisotropia e a continuidade dos fenômenos observados.

De acordo com Caram (2007), a utilização das técnicas da Geoestatística como metodologia de interpolação são mais eficientes para este tipo de dados, pois

possibilita considerar a correlação espacial entre observações vizinhas para prever atributos de valores em locais sem dados.

A geoestatística teve sua origem na área de mineração (KRIGER, 1951 apud Camargo, 1997). Atualmente esta ferramenta está difundida em diversos ramos do conhecimento, envolvendo as ciências humanas, biológicas e exatas. Na meteorologia, a geoestatística é utilizada com bastante frequência para interpolação espacial, em diversos níveis de complexidade, com o intuito de se gerar estimativas consistentes de informações geograficamente distribuídas.

Sua base conceitual está fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, formalizada por Matheron (1973,1971) *apud* Camargo (1997), em que alguma medida pode ser vista como uma realização de uma função aleatória.

Segundo BURROUGH (1987), a variação espacial de uma variável regionalizada pode ser expressa pela soma de três componentes: uma componente estrutural, associada a um valor médio constante ou a uma tendência constante; uma componente aleatória, espacialmente correlacionada; e um ruído aleatório ou erro residual, dado pela Equação 2.4.

$$z(x) = m(x) + \varepsilon' + \varepsilon'' \quad \text{Equação 2.4,}$$

onde:

$m(x)$  é uma função determinística que descreve a componente estrutural de  $Z$  em  $x$ ;

$\varepsilon'$  é um termo estocástico, que varia localmente e depende espacialmente de  $m(x)$ ;

$\varepsilon''$  é um ruído aleatório não correlacionado, com distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$ .

Dentre os procedimentos geoestatísticos, as formas mais usuais são a krigagem simples e a krigagem ordinária. A krigagem simples é utilizada quando a média é assumida como estatisticamente constante para toda a área e a krigagem ordinária, por sua vez, considera a média flutuante ou móvel por toda a área.

Na presente dissertação será discutido o método de krigagem ordinária, cuja aplicação será realizada sobre os dados de pluviometria.

De acordo com Felgueiras (1999), um estimador de krigagem ordinária, utiliza médias locais ou tendências locais estimadas a partir das amostras vizinhas, ao invés de uma única média estacionária, como o faz um algoritmo de krigagem simples. Os valores ( $z$ ) são estimados em localizações espaciais não observadas ( $u$ ), sem a necessidade de se conhecer a média estacionária  $m$ , segundo uma combinação linear dos valores de um subconjunto amostral local. A condição para isso é a somatória dos ponderadores da krigagem ordinária  $z(u)$  seja igual a 1.

O estimador de krigagem ordinária é dado por:

$$Z_0^*(u) = \sum_{\alpha=0}^n w_{0\alpha}(u) \cdot z(u) \quad \text{Equação 2.5}$$

onde:

$Z_0^*(u)$  - estimativa do valor na posição  $u$ ;

$w_{0\alpha}$  - ponderadores;

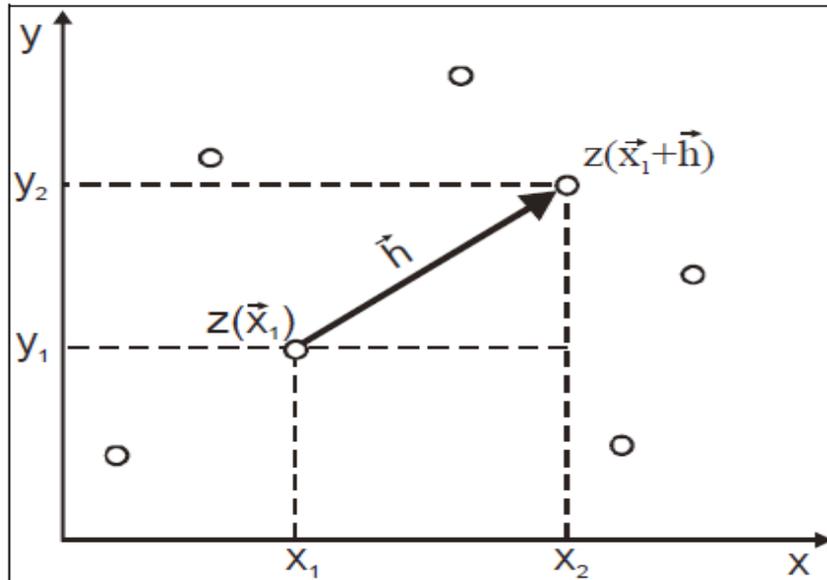
$z(u)$  - Valor da variável na posição  $u$ .

No caso da Krigagem ordinária a variância está relacionada com a distribuição espacial das amostras, dependendo apenas da distância e não dos valores dos atributos.

O conhecimento do conceito de dependência espacial entre amostras coletadas é um dos pré-requisitos para a compreensão dos instrumentos e conceitos utilizados na Geoestatística. A Dependência Espacial, no entendimento de Câmara *et al.* (2004), está presente em todas as direções e fica mais fraca à medida que aumenta a dispersão na localização as amostras. Ela é representada por um processo estocástico em termos dos efeitos de segunda ordem, proveniente da estrutura da correlação espacial.

Para medir a dependência espacial, procura-se estimar o relacionamento entre pares de eventos separados no espaço, que pode ser caracterizado pela co-variância e representado por um gráfico de variabilidade espacial, denominado variograma experimental.

O semivariograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de Krigagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço. O semivariograma pode ser calculado experimentalmente, considerando o esquema de amostragem em duas dimensões mostrado na Figura 2.6, onde  $z(x)$  denota o valor de uma posição, cujos componentes são  $(x_1, y_1)$ , e  $z(x+h)$  o valor da amostra numa posição cujas coordenadas são  $(x_2, y_2)$ , sendo  $h$  um vetor distância (módulo e direção) que separa os pontos.



Equação 2.6 - Amostragem em duas dimensões.

$$\hat{\gamma} = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

Equação 2.7

$$h = \frac{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{A}$$

Equação 2.8

onde:  $\hat{\gamma}(h)$  é o semivariograma estimado e  $N(h)$  é o número de pares de valores medidos,  $z(x)$  e  $z(x+h)$ , separados pelo vetor  $h$ . Esta fórmula, entretanto, não é robusta. Podem existir situações em que variabilidade local não é constante e se modifica ao longo da área de estudo (heteroscedasticidade). Um caso particular desse fato (denominado efeito proporcional) ocorre quando as distribuições são assimétricas e a média se correlaciona com a variância.

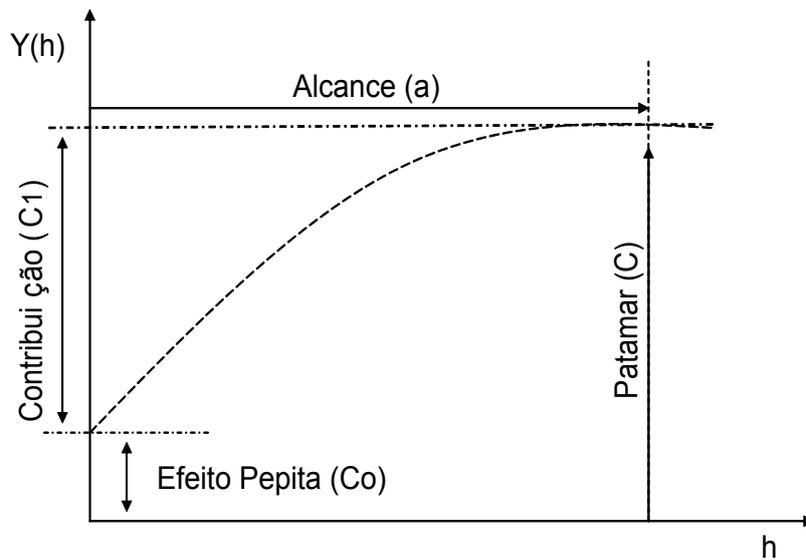


Figura 2.7 - Exemplo de Semi variograma Experimental.  
Adaptado de Camargo 2007.

Modelagem do semivariograma requer o ajuste de parâmetros que, intuitivamente, é o que se espera dos dados no campo, onde as diferenças  $\{Z(x_i) - Z(x-h)\}$  devem decrescer a medida que a distância (h) aumente. É esperado que amostras mais próximas geograficamente tenham comportamento mais semelhante entre si do que aquelas separadas por maiores distâncias. Dessa maneira, é esperado que  $Y(h)$  aumenta com a distância (Camargo 2003).

Tais parâmetros (Figura 2.7) são dados pelo alcance (a), patamar( $C_0$ ), Efeito Pepita ( $C_0$ ) e contribuição ( $C_1$ ). O alcance determina a distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. O patamar é o valor do semivariograma correspondente a seu alcance (a). Deste ponto em diante é considerado que não há mais dependência, com a diferença entre os pares de amostra, invariante ( $\text{Var}[Z(x) - Z(x+h)]$ ). O Efeito Pepita, revela a descontinuidade do

variograma pra distâncias pequenas entre amostras. E a contribuição, um parâmetro de ajuste, cujo valor é a diferença entre o patamar e o efeito pepita.

O procedimento de ajuste do semivariograma é um processo iterativo, onde o pesquisador faz um primeiro ajuste e verifica se há adequação ao modelo teórico.

O modelo teórico aqui apresentado é considerado básico e transitivo, denominados de modelo isotrópico ( Isaaks e Srivastava (1989) *apud* Camargo (2003).

Neste caso suas estimativas são combinações lineares ponderadas dos dados existentes; não acompanha a tendência, procura que a média dos erros (desvios entre o valor real e o valor estimado) seja nula; é a melhor porque os erros de estimação apresentam uma variância (variância de estimação) mínima.

Este modelos alcançam o patamar (C), o alcance (a) é arbitrariamente definido como a distância 95% do Patamar (C). A equação Equação 2.9 apresenta a função desenvolvida para representar o modelo linear padrão, desenvolvido na presente dissertação. A componente (S) representa uma média invariável para todas as amostras.

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + S \cdot h$$

*Equação 2.9*

## **2.6 -Metodologia Aplicada ao Zoneamento Ecológico-Econômico**

A metodologia preconizada pelo modelo de Zoneamento Ecológico-Econômico tem como princípio a geração de cartas de vulnerabilidade à erosão a partir da integração de dados temáticos existentes. Esta metodologia foi criada a partir do conceito de ecodinâmica estabelecido por Tricart (1977) apud Crepani *et al.* (2001), através da integração de informações oriundas de planos de informação 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. Demais informações sobre a sua metodologia e sua aplicação podem ser encontradas nos trabalhos de Escada (1998), Palmeira (2004), Crepani *et al.* (2004), e Silva e Fernandes Filho (2005).

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 a geração de curvas de intensidade pluviométricas.

Posteriormente, desenvolveu-se a classificação de vulnerabilidade descrita na , 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).

O modelo apresentado na Tabela 2.1 é aplicado individualmente aos temas (Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima) sendo posteriormente um valor final, resultante da média aritmética dos valores individuais segundo uma equação empírica. Tal expressão busca a representação através de uma escala de vulnerabilidade natural à perda de solo, como apresentado na Equação 2.6.

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

Tabela 2.1: Escala de estabilidade/vulnerabilidade à erosão.

FONTE: Crepani et al. 2001.

$$VL = \frac{G+R+S+V+C}{5}$$

*Equação 2.10*

onde:

VL = vulnerabilidade à erosão;

G = vulnerabilidade para o tema Geologia;

R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia;

S = vulnerabilidade para o tema Solos;

V = vulnerabilidade para o tema Vegetação;

C = vulnerabilidade para o tema Clima.

Segundo os princípios de ecodinâmica e morfodinâmica estabelecidos por Tricart (1977), a interação entre estes processos mantém a estabilidade da superfície e a sua transformação contínua. No entanto, as pressões antrópicas sobre os recursos naturais têm interferido em um ou mais fatores integrantes do processo que garantem esta estabilidade ao meio ambiente, desencadeando processos erosivos de várias magnitudes.

Tal processo age na remoção do solo e no conseqüente abaixamento do relevo de uma superfície elevada pela interação de processos intempéricos e erosivos. A velocidade e intensidade da denudação (abaixamento) são maiores nas áreas de topografias acidentadas, variando também em função do grau de declividade, da intensidade pluviométrica, da resistência das rochas à erosão e de modificações introduzidas por atividade humana, que modifica a densidade de cobertura vegetal. Segundo Guerra (2003) os fatores controladores que determinam as variações nas

taxas de erosão são: a erodibilidade da chuva, propriedades do solo, coberturas vegetais e características das encostas.

A erodibilidade da chuva é a habilidade da chuva causar erosão, no entendimento de Guerra (1993), o potencial erosivo da chuva é um assunto complexo, porque depende, em especial, dos parâmetros de erosividade e também das características das gotas de chuva, que varia no tempo e no espaço. O parâmetros usados para investigar a erodibilidade da chuva são: o total de chuva, a intensidade, o momento e a energia cinética. Apesar do uso do total de chuvas para investigar processos erosivos, sua predição ele não constitui um bom método para prever a perda de solos, enquanto que, o método que apresenta melhor resultados é a intensidade de chuvas, que está diretamente correlacionada a capacidade de infiltração dos solos.

As propriedades dos solos são de grande importância no estudo da erosão, porque, juntamente com outros fatores, determinam o grau de susceptibilidade a erosão. Várias são as propriedades que afetam a erosão dos solos, dentre elas podemos destacar: textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor de estabilidade dos agregados e o PH do solo.

A Vegetação também influencia nos processos erosivos de várias maneiras: através dos efeitos espaciais da cobertura vegetal, dos efeitos da energia cinética da chuva, e do papel da vegetação na formação de húmus, que afeta a estabilidade e teor de agregados. Quando existente em boa densidade vegetal, protege o solo da ação direta das gotas de chuva e do escoamento superficial, abrindo poros no solo,

facilitando a infiltração, e atuando também na estocagem e absorção da água, acelerando o ciclo hidrológico.

A declividade guarda uma relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética e, portanto, com velocidade das massas de água em movimento, responsável pelo efeito denominado “runo” ou enxurrada. Quanto maior a declividade, mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais transforma-se em energia cinética e maior é, também, a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte, responsável pela erosão que esculpi as formas de relevo.

## **CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 -Materiais**

As caixas pontilhadas da Figura 3.1 segmentam o fluxograma do modelo proposto da pesquisa segundo as suas fases de execução. Os retângulos representam as atividades do modelo, cujas conexões obedecem a um fluxo de resultados e operações. A primeira fase apresenta os dados no sistema e as operações armazenadas no banco de dados. Os dados são representados por atributos de formato tabulares, e vetoriais (cadastral e temático). A simulação espaço-temporal dos dados tabulares, retrata a influência da sazonalidade da intensidade de chuvas sobre os processos erosivos. A transformação e a manipulação dos dados consideram o uso de equações matemáticas e operações espaciais como a instância de integração do conjunto de dados, enquanto que a fase de análise define os resultados do modelo para a detecção de áreas susceptíveis à erosão.

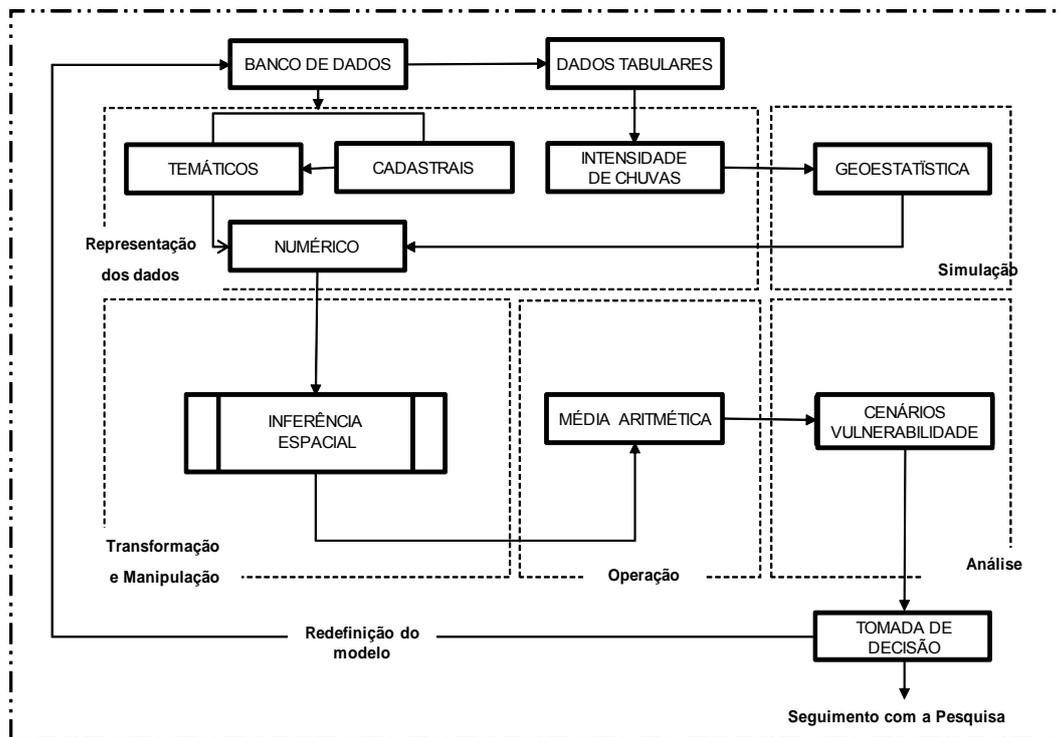


Figura 3.1 - Fluxograma proposto da pesquisa.

### 3.1.1 -Descrição dos dados

Os dados usados na presente dissertação foram obtidos da Base de Dados Integrada (BDI) do projeto PIATAM, do Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado a Indústria do petróleo (LABSAR), COPPE/UFRJ, da Agência Nacional 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), descritos na Tabela 3.1. Tal acervo consta de dados tabulares, vetoriais e matriciais processados e armazenados no Sistema de Processamento de Informações georreferenciadas (SPRING), adquirido gratuitamente no endereço do INPE, [www.inpe.gov.br/spring](http://www.inpe.gov.br/spring), conforme anexo 1.

*Tabela 3.1. Descrição do formato e das fontes dos dados.*

DADOS	FORMATO	FONTE
Mapa Geomorfológico	Temático	RADAMBRASIL
Mapa Geológico	Cadastral	RADAMBRASIL
Mapa Pedológico	Cadastral	RADAMBRASIL
Mapa Vegetação	Cadastral	RADAMBRASIL
Dados Pluviométricos	Tabular	ANA
Mapa de Uso do Solo	Temático	LABSAR

Os dados foram descritos quanto ao seu relacionamento com as características estruturais, morfológicas e dinâmicas dos fenômenos naturais. A descrição seguinte trata de cada Plano de Informação envolvido no estudo, com o respectivo procedimento de aferição do grau de vulnerabilidade, atribuindo pesos de acordo com sua relevância na ocorrência de processos erosivos, segundo a metodologia de Crepani et. al. (2001).

Os PI's temáticos da geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação foram obtidos da Base de Dados Integrada (BDI) do projeto PIATAM, e constitui de dados vetoriais oriundos do levantamento do estudo de vulnerabilidade à erosão realizada como subsídio ao estudo do meio físico, parte integrante do EIA-RIMA do gasoduto Coari-Manaus. Os respectivos PI's foram obtidos através de digitalização dos mapas RADAMBRASIL (1977), na escala de 1:1.000.000, produto do Levantamento dos

Recursos Naturais das folhas NB.20, NA.19-21, SA.19-21, SB.18-21, SC.19-21, descritos em Saraiva (2003).

As Informações sobre uso e ocupação do solo foram obtidas do banco de dados georreferenciado do Laboratório de Sensoriamento Remoto por Radar Aplicado a Indústria do Petróleo (LABSAR) da COPPE/UFRJ, composta de dados vetoriais produtos da classificação de imagens multi-temporais SAR e dados SRTM para a estimativa do grau de elevação e altura da vegetação nas planícies fluviais da Amazônia.

As informações sobre a pluviosidade foram obtidas através de valores registrados diariamente nas estações meteorológicas (hidroweb) junto a ANA, no endereço <http://hidroweb.ana.gov.br/>.

### **3.1.1.1 - Geologia**

O grau de coesão das rochas é a informação básica da geologia a ser considerada em estudos de processos morfodinâmicos, uma vez que, em rochas pouco coesas, prevalecem os processos modificadores das formas de relevo, enquanto que, nas rochas bastante coesas, predominam os processos de formação de solos (Crepani *et al.*, 2001).

A área de estudo é constituída por rochas pertencentes as seguintes unidades estratigráficas: Formação Alter do Chão, do Cretáceo Superior (90 Milhões de anos), Formação Solimões, do Mioceno (23 a 6 Milhões de anos), estruturas lateríticas quaternárias (1,6 a 0,01 Milhões de anos), sedimentos fluviais do Quaternário (Moraes Rego 1930, Caputo *et al.* 1971 *apud* Saraiva e Rivas, 2005). Tais unidades estão apresentadas na Tabela 3.2 e Figura 3.2.

Os valores de vulnerabilidade à erosão para o PI geologia foi obtido da Tabela A I. 1, ANEXO I, de acordo com a classificação de vulnerabilidade à erosão estabelecida por Crepani *et al.* (2001). As classes de geologia identificadas na área de estudo apresentam alto grau de vulnerabilidade à erosão (Tabela 3.2 e Figura 3.3). Os valores altos para os pesos terá grande influência sobre o resultado da combinação com os demais Planos de Informação.

Tabela 3.2 - Pesos de vulnerabilidade à erosão para o Plano de Informação Geologia.

CÓDIGO	NOME	VULNERABILIDADE
Tos	Formação Solimões	2,8
KTb	Formação Alter do Chão	2,7
QHa	Sedimentos fluviais do Quaternário	3,0
QPt	Estruturas lateríticas do Quaternário	3,0

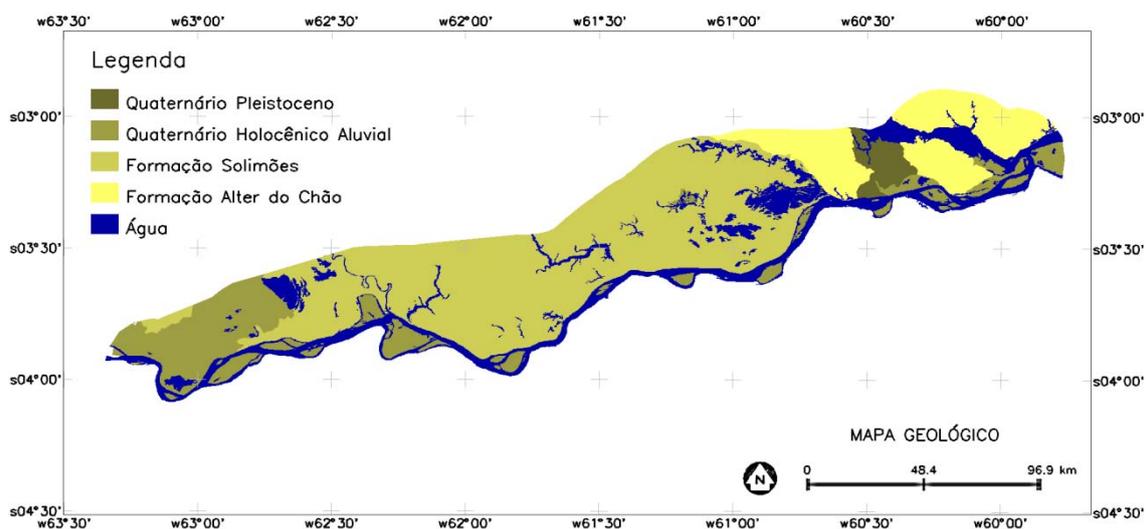


Figura 3.2 - Mapa Temático do PI Geologia

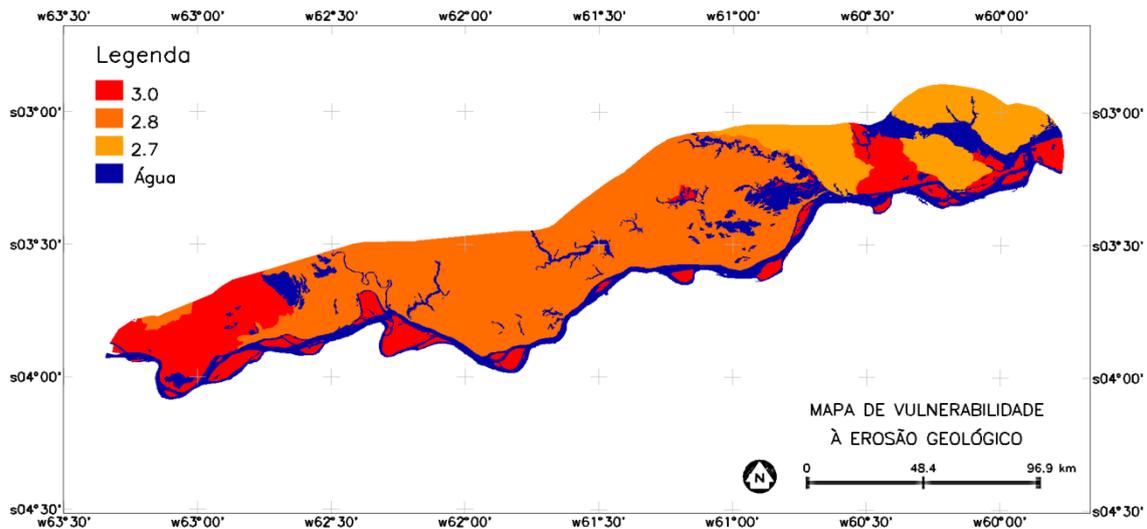


Figura 3.3 - Mapa de vulnerabilidade à erosão do PI Geologia.

### 3.1.1.2 - Geomorfologia

A geomorfologia é a ciência que se ocupa dos processos responsáveis pela forma do relevo. As informações derivadas da altimetria, tais como declividade e dissecação do terreno, são indicadores da capacidade de uma dada região de absorver os impactos causados pelos agentes erosivos.

A área de estudo do gasoduto Coari-Manaus abrange o domínio das unidades geomorfológicas do Planalto Dissecado Rio Trombetas - Rio Negro (PDTN), Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental (PRAO) e Planície Amazônica (RADAMBRASIL, 1977). Essas unidades foram subdivididas, com base no grau de dissecação, e na distância interfluvial, em diversas subunidades. Essas subunidades foram reorganizadas nas unidades de Terra-Firme e Planície Fluvial, de acordo com o método de Crepani *et al.* (2001). A Terra-Firme e a Planície fluvial comportaram as subunidades descritas na Tabela 3.3 e Figura 3.4.

A unidade de Terra Firme está relacionada às cotas topográficas superiores a 30 m, bem como às ocorrências de áreas isoladas com declividades acima de 5 %, basicamente refletindo os depósitos da Formação Alter do Chão e Solimões.

A Planície Fluvial, por sua vez, apresenta a topografia mais plana, com cotas inferiores a 30m.

Os pesos obtidos para o plano de informação geomorfologia são resultantes de um valor médio (Equação 3.1) entre as informações morfométricas obtidos através do processamento de dados altimétricos, contidos em Saraiva e Rivas (2003).

$$R = \frac{G + A + D}{3} \qquad \text{Equação 3.1}$$

onde:

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

G = Vulnerabilidade atribuída ao Grau de Dissecação.

A = Vulnerabilidade atribuída à Amplitude Altimétrica.

D = Vulnerabilidade atribuída à Declividade.

Os pesos de vulnerabilidade à erosão foram obtidos das Tabela A I. 2, Tabela A I. 3, Tabela A I. 4 e Tabela A I. 5, ANEXO I, segundo a metodologia de Crepani et al (2001).

Tabela 3.3 - Pesos de vulnerabilidade à erosão para o PI Geomorfologia.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	NOMES	VULNERABILIDADE
T21	Dissecação ao tabular 21	Terra Firme	3,0
T22	Dissecação ao tabular 22		
T31	Dissecação ao tabular 31		
T32	Dissecação ao tabular 32		
T51	Dissecação ao tabular 51		
C11	Dissecação convexa 11		
C22	Dissecação convexa 22		
Apf EtfI,	Acumulação Planície fluvial Acumulação Planície fluvial lacustre	Planície Fluvial	2,7

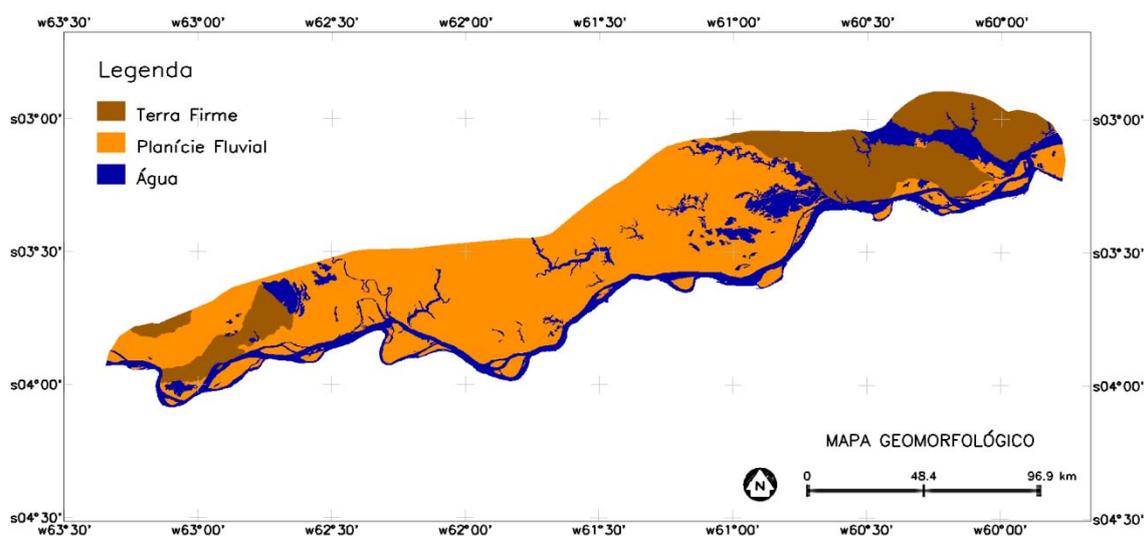


Figura 3.4 - Mapa Temático do PI Geomorfologia.

De acordo com a classificação de vulnerabilidade à erosão estabelecida propostas por Crepani *et al.* (2001), as classes de geomorfologia identificadas na área de estudo apresentam de baixo a intermediário grau de vulnerabilidade à erosão

(Figura 3.5 e Tabela 3.3). Este aspecto indica que terá baixa influência sobre o resultado da combinação com os demais Planos de Informação.

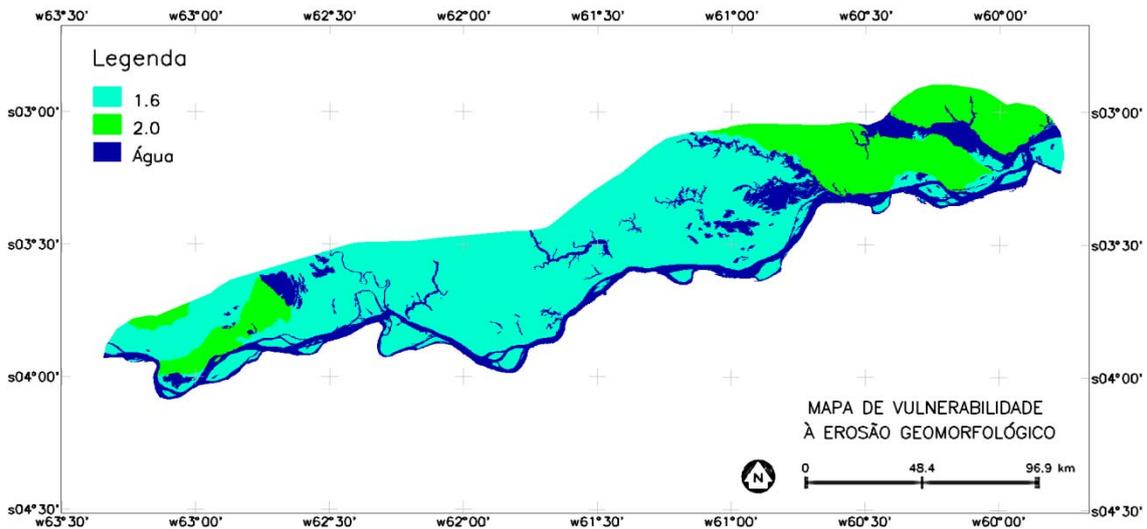


Figura 3.5 - Mapa de vulnerabilidade à erosão do PI Geomorfologia.

### 3.1.1.3 - Pedologia

As propriedades dos solos são de grande importância para os estudos de erosão, porque também contribuem para a determinação do seu grau erodibilidade.

Dentre as várias propriedades que afetam na erosão dos solos, podemos destacar a textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade de agregados e o pH do solo. Guerra (1993) define erodibilidade como a resistência do solo à erosão e ao transporte.

Os tipos de solos presentes na área de estudo do gasoduto Coari-Manaus são os solos aluviais, os gleissolos, o podzólico vermelho – amarelo, os plintossolos e o latossolo amarelo, apresentados na Tabela 3.4 e Figura 3.6 (Saraiva e Rivas, 2003).

*Tabela 3.4 - Pesos de vulnerabilidade à erosão para o PI Pedologia.*

CÓDIGO	NOME	VUNERABILIDADE
HGPe	Gleissolo	3
LAa	Latossolo Amarelo	1
HLRa	Plintossolo	3
PVa	Podzólico Vermelho – Amarelo	2
Ae	Solos Aluviais	3

Latossolos Amarelos são oriundos de sedimentos das formações Solimões e Alter do Chão, formados em área de relevo plano à fortemente ondulado.

O Podzólico Vermelho – Amarelo se desenvolve a partir de rochas do Pré-Cambriano e de sedimentos da Formação Solimões, ocorrendo em relevo plano a ondulado e associam-se às outras classes de solos da região.

Os Gleissolos estão associados aos Solos Aluviais e aos Plintossolos. O material de origem é representado pelos sedimentos do Quaternário, depositados em relevo plano, constituindo solos siltosos com baixo percentual de argila e areia.

Os Plintossolos são originados dos sedimentos da Formação Solimões e se encontram, geralmente, em relevo plano a suave ondulado. São solos pouco profundos, fortemente ácidos, bastante intemperizados, de textura siltosa, argilosa ou mesmo indiscriminada.

Os solos Aluviais são formados pelos terraços fluviais e áreas aluvionares, que correspondem aos depósitos aluviais mais antigos localizados em terraços, colúvios e

eflúvios. Os aluviões atuais são encontrados nas planícies fluviais, constituindo barrancos em ambas as margens dos rios com até 5m de espessura e as praias, nas partes convexas dos meandros.

Os pesos de vulnerabilidade à erosão foram obtidos da Tabela A I. 6, ANEXO I, segundo a metodologia de Crepani *et al* (2001).

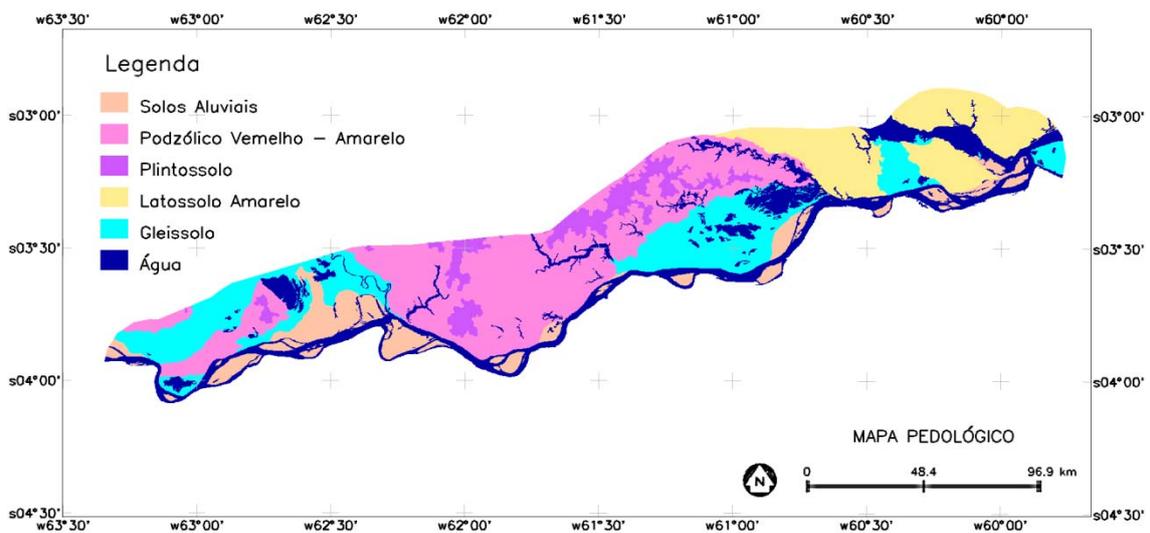
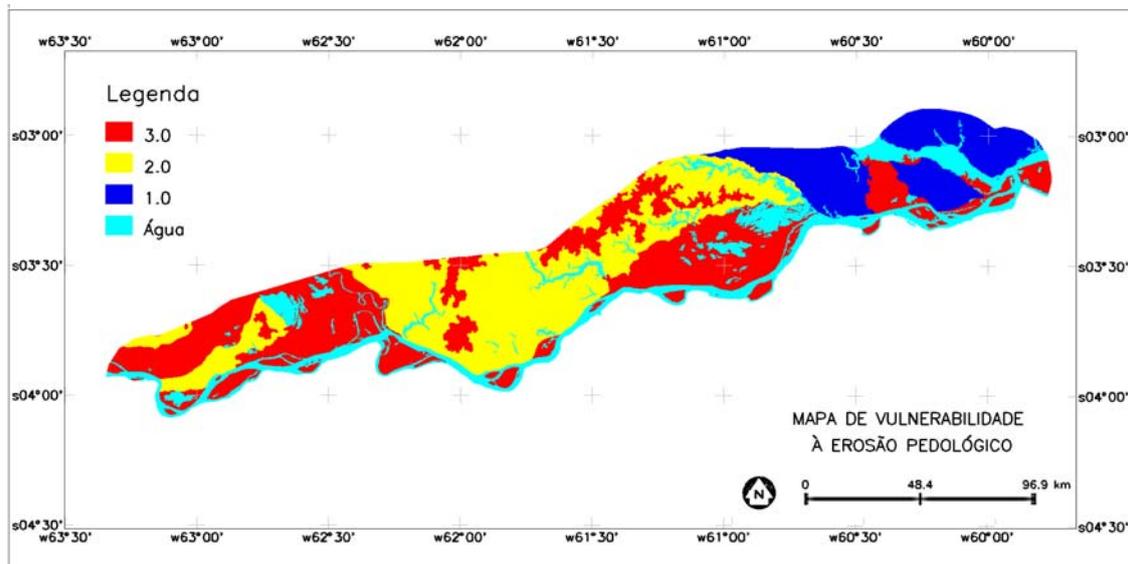


Figura 3.6 - Mapa Temático do PI Pedologia.

De acordo com a classificação de vulnerabilidade à erosão estabelecida pela metodologia de Crepani *et al.* (2001), as classes de pedologia (solos) contendo gleíssolos, solos aluviais e plintossolos na área de estudo apresentam alto grau de vulnerabilidade á erosão. ( e Figura 3.6). As regiões com Latossolo Amarelo e Plintossolo apresentam grau de vulnerabilidade à erosão de baixo a intermediário, respectivamente. Estes aspectos heterogêneos apresentados pelas classes de solo têm influência com potencial variado sobre a combinação dos diversos PI's para o cálculo de vulnerabilidade.



*Figura 3.7 - Mapa de vulnerabilidade à erosão do PI Pedologia.*

#### **3.1.1.4 - Vegetação**

A cobertura vegetal é um fator importante na análise de processos erosivos, possuindo diferentes tipos de influência sobre a erosão dos solos. A presença da vegetação exerce um papel de proteção que varia em função dos aspectos ligados aos tipos de vegetação, e da densidade vegetal.

Os tipos de vegetação são representados pelos mapas temático fito-ecológicos dos levantamentos do projeto RADAMBRASIL (1997), apresentado na Tabela 3.5 e Figura 3.8.

As informações sobre a densidade vegetal foi adquirida de resultados da classificação do uso e cobertura solo, aplicados a estudos ambientais do Projeto PIATAM.

Os pesos de vulnerabilidade à erosão foram obtidos do texto que descreve os graus de vulnerabilidade à erosão para os PI's vegetação e cobertura e uso do solo, contido na metodologia de Crepani *et al* (2001).

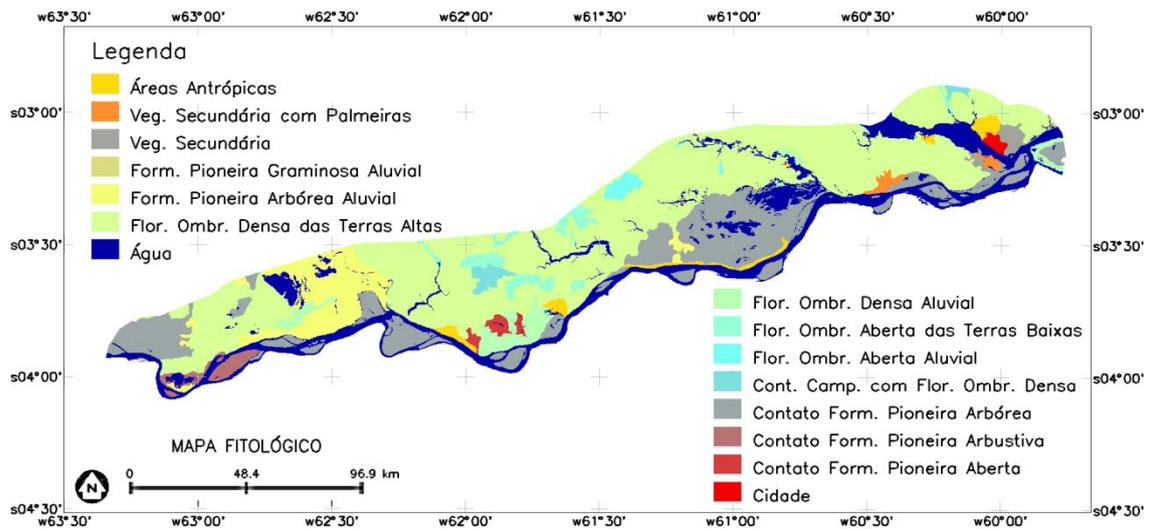


Figura 3.8 - Mapa Temático do PI Vegetação.

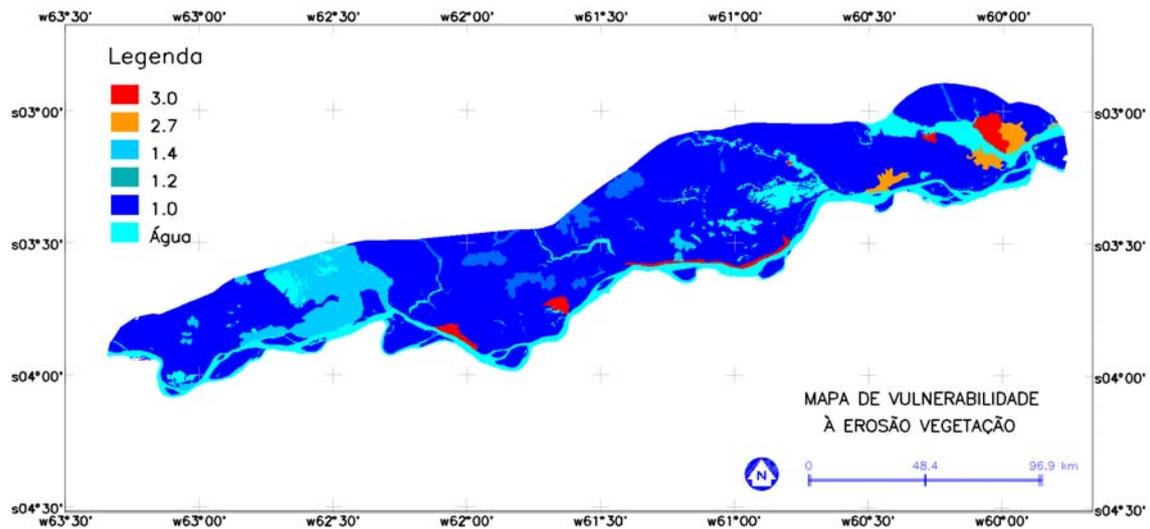


Figura 3.9 - Pesos de vulnerabilidade à erosão do PI Vegetação.

Tabela 3.5 - Pesos de vulnerabilidade à erosão para o PI Vegetação.

CÓDIGO	NOME	VULNERABILIDADE
Ap	Áreas Antrópicas	3
CFab	Contato Formação Pioneira Aberta Aluvial com Floresta Ombrófila Densa	1,0
CPap	Contato Formação Pioneira Arbórea Aluvial com Floresta Ombrófila Densa	1,0
CPau	Contato Formação Pioneira Arbustiva Aluvial com Floresta Ombrófila Densa	1,0
PFc	Contatos de Campinaranas com Floresta Ombrófila Densa	1,0
Faa	Floresta Ombrófila Aberta Aluvial	1,2
Fa	Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas	1,2
Fda	Floresta Ombrófila Densa Aluvial	1,0
Fdb	Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas	1,0
Pap	Formação Pioneira Arbórea Aluvial	1,4
Gm	Formação Pioneira Graminosa Aluvial	2,7
Fsl	Vegetação Secundária	2,7
FslP	Vegetação Secundária com Palmeiras	2,7

De acordo com a classificação de vulnerabilidade à erosão estabelecida pela metodologia de Crepani *et al.* (2001), as classes de vegetação identificadas na área de estudo e seus respectivos graus de vulnerabilidade à erosão são apresentados na Figura 3.9

As informações sobre o uso e cobertura do solo são uma importantes informações na modelagem de processos erosivos, uma vez que a densidade vegetal é limitante a ocorrência do fenômeno. A atualização das classes de vegetação com informações de caráter antrópico, resultante da classificação de imagem de satélite, tem caráter de aproximar a predições do modelo com o mundo real (Figura 3.10) . A classes de vulnerabilidade à erosão para o tema cobertura e uso dos solo encontram-se descritos na Tabela 3.6.

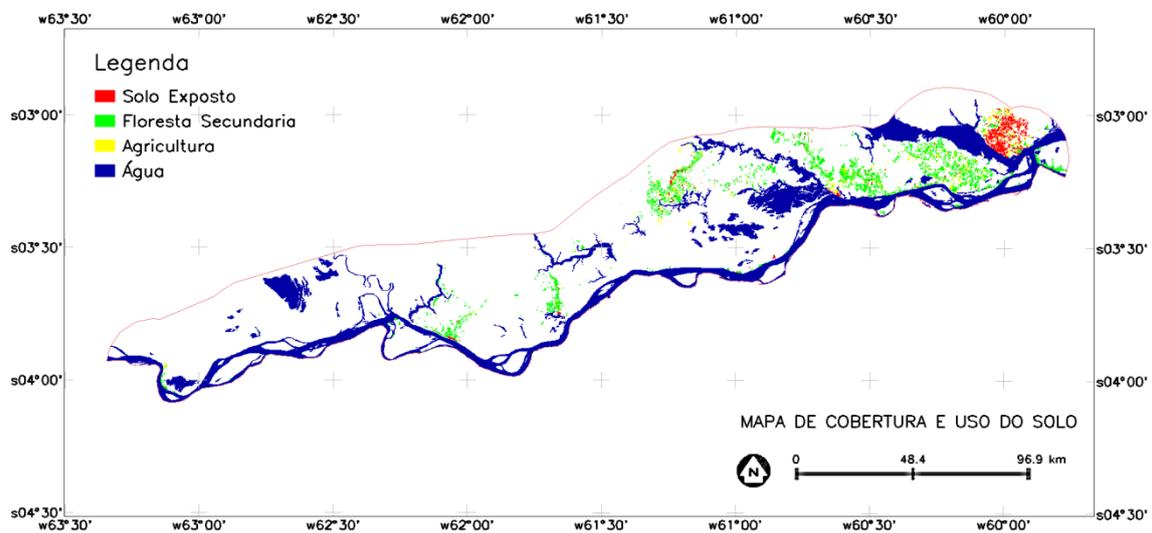


Figura 3.10: Mapa de Cobertura e Uso do solo.

FONTE: LABSAR

Tabela 3.6 - Pesos de vulnerabilidade à erosão par o PI Cobertura e uso do solo.

COBERTURA E USO DO SOLO	VULNERABILIDADE
Floresta Secundária	2,7
Agricultura	3,0
Solos Exposto	3,0

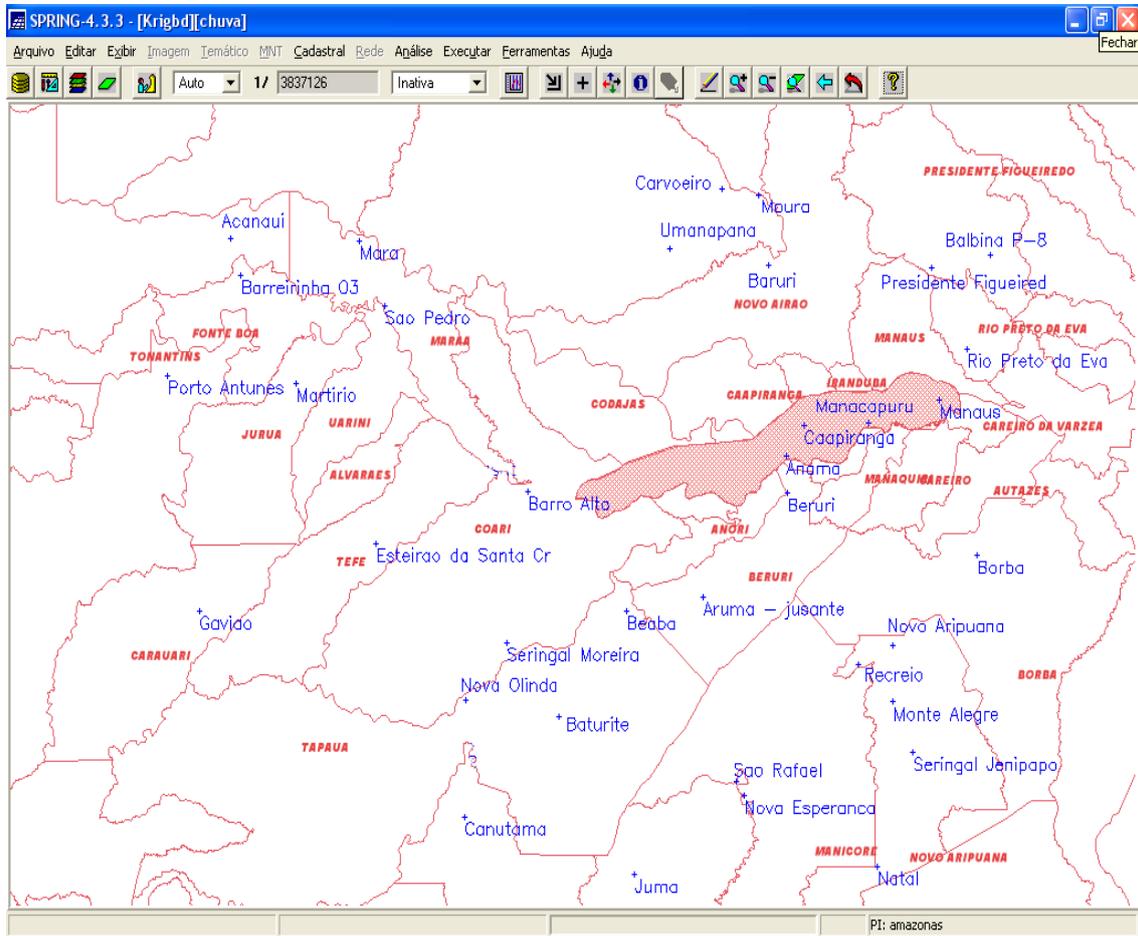
FONTE: Crepani *et al.* (2006), p.113.

### **3.1.1.5 - Intensidade Pluviométrica**

A ação da chuva é a causa fundamental da denudação, agindo primeiramente sobre as rochas, provocando o intemperismo químico e/ou físico e, mais tarde sobre o solo, removendo-o pela erosão hídrica. O impacto das gotas e o escoamento superficial do excesso de água da chuva (runoff ou enxurrada) são os agentes ativos da erosão hídrica. Por sua vez, o solo é o agente passivo, ou seja, a interação chuva/solo é uma resultante do poder da chuva em causar erosão e da capacidade do solo de resistir à erosão.

Os valores de intensidade pluviométrica podem ser considerados representantes de valores de energia potencial disponível para transformar-se em energia cinética responsável pela erosividade da chuva. Assim, pode-se dizer que quanto maior o valor da intensidade pluviométrica, maior é a erodibilidade da chuva, o que permite criar uma escala que represente a influência do clima nos processos morfodinâmicos.

Foram usados dados pluviométricos coletados em trinta e seis (36) estações (dentro e nas proximidades da área de estudo), obtidos junto à ANA (2006), via Internet, no formato de texto (Figura 3.11)



*Figura 3.11 - Localização e identificação das estações pluviométricas, e polígono da área de estudo.*

FONTES: ANA (2006); Saraiva e Rivas (2003).

As Figuras representa as isoietas da média de chuva anual, na região de abrangência da área de estudo.

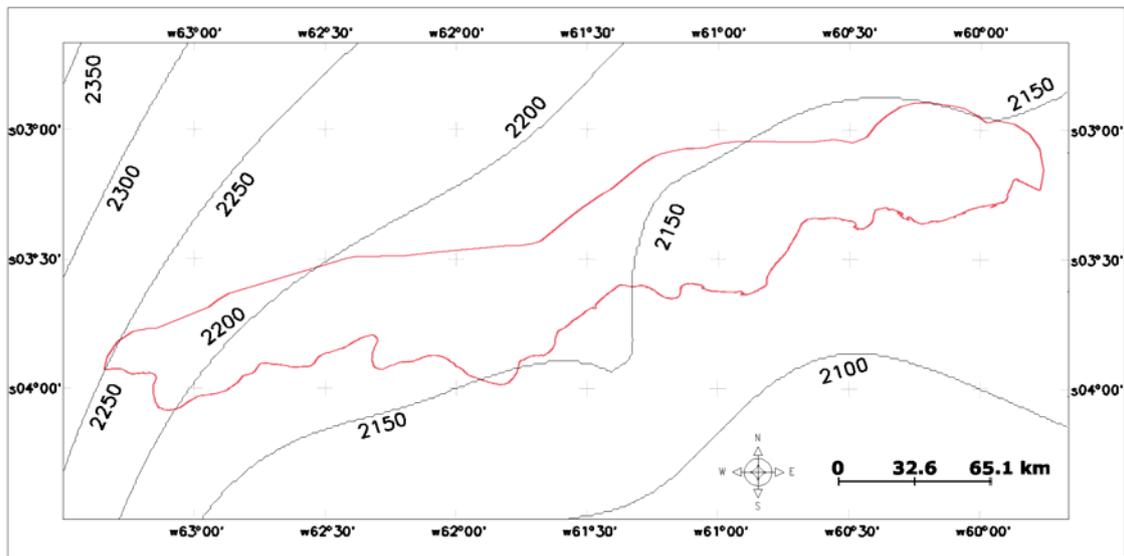


Figura 3.12 - Mapa Numérico do PI Pluviometria anual média.

Com base nos conceitos de erodibilidade da chuva foi estabelecida uma escala de vulnerabilidade construída de maneira a comportar 21 classes e associar valores, relativos e empíricos, de vulnerabilidade a perda de solo, uma vez que, quanto maior a erodibilidade da chuva maior é a perda de solo das unidades da paisagem, conforme descrita na Tabela A I. 7, ANEXO I (Crepani, *et al.* 2001).

Tabela 3.7 - Pesos de vulnerabilidade à erosão para o PI Intensidade Pluviométrica.

INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA	VULNERABILIDADE
375 – 400	2,4
400 – 425	2,5

Segundo a classificação estabelecida pela metodologia de vulnerabilidade à erosão estabelecida por Crepani *et al.* (2001), foram identificadas duas classes de vulnerabilidade na área de estudo, descritas na Tabela 3.7 e Figura 3.13.

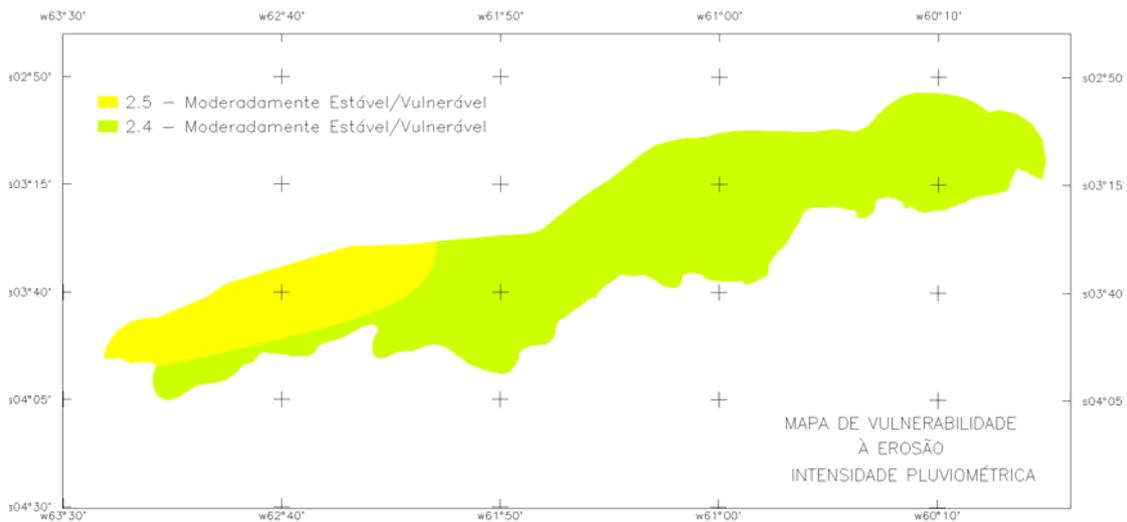


Figura 3.13 - Mapa de vulnerabilidade à erosão do PI Intensidade Pluviométrica.

### 3.2 -Descrição dos Métodos

Os tópicos a seguir descrevem métodos de processamento dos dados e a construção e a compilação do modelo de vulnerabilidade à erosão. Os planos de informação foram importados para o ambiente do Sistema SPRING (Sistemas de Processamento de Informações Georeferenciadas), onde foram realizadas todas as edições e processamento.

O processamento dos dados consta de ponderação, atualização, operações algébricas e fatiamento. A atualização dos dados temáticos buscou a melhoria das suas relações espaciais através de edição vetorial e edição da tabela de atributos.

Na transformação, foram empregados os métodos de suavização de fronteiras, atualização dos dados temáticos (geomorfologia e vegetação), e simulação sazonal da intensidade pluviométrica.

### **3.2.1 -Ponderação do PI's Morfológicos**

A ponderação transforma os dados Cadastrais em dados Numéricos através da atribuição dos pesos de vulnerabilidade das classes temáticas. Tais valores estão armazenados na tabela de atributo e, sua transformação segue a rotina apresentada no Programa A II - 1, ANEXO I.

### **3.2.2 -Suavização de Fronteiras**

A metodologia propõe a eliminação de fronteiras rígidas entre as classes estabelecendo uma variação suave na transição. Este processo cria uma escala de valores contínuos na região de fronteira através de uma relação linear entre o valor dos objetos de cada classe e a distância da fronteiras que as separam. As funções descritas abaixo forma implementadas através dos Programas A II.4, A II.5, A II.6 e A II.7, ANEXO II.

A distância (D) foi estimada com base nos erros de sobreposição observados nos mapas temáticos (geológico, geomorfológico, pedológico e vegetação). Posteriormente, foi gerado um Plano de Informação de cada fronteira que separa as classes.

A distribuição dos valores de transição entre as classes foi obtida através da aplicação de uma função linear,  $f(AB)$ , que relaciona os valores dos das classes A e B em função da distância da fronteira, como apresentado na Equação 3.1.

$$f(AB) = \frac{(A - B)}{D \times 2} \quad \text{Equação 3.2}$$

onde  $f(AB)$  é a relação linear entre o valor do atributo das classes A e B; D representa a distância observada nos erros de sobreposição.

A Figura 3.14 apresenta um desenho esquemático da suavização de fronteira com um exemplo de distribuição de duas classes (A e B).

A classificação contínua das fronteiras obedeceu a operações lógicas condicionais para atribuição valores conforme descrita na Equação 3.3.

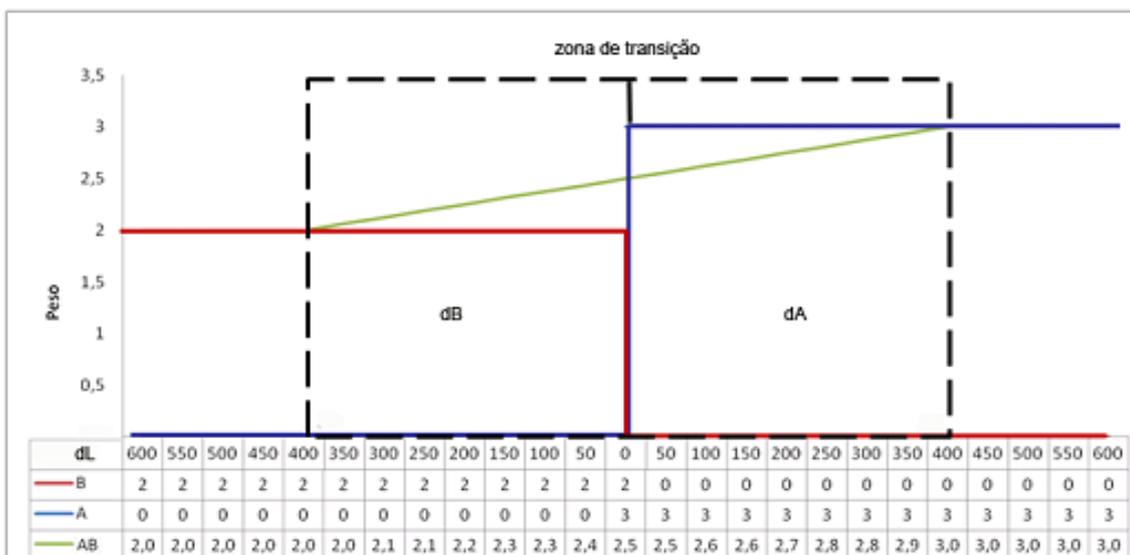


Figura 3.14: Desenho esquemático da região de fronteiras.

$$AB = \begin{cases} \text{Se } \Rightarrow \text{zona} = dA \Rightarrow E \Rightarrow dL \geq D, \text{ ENTÃO} \\ A + (-f(AB) \times (D - dL)), \text{ SENÃO } \Leftrightarrow A \\ \text{OU} \\ \text{Se } \Rightarrow \text{zona} = dB \Rightarrow E \Rightarrow dl \leq D, \text{ ENTÃO} \\ B + (f(AB) \times (D - dl)), \text{ SENÃO } \Leftrightarrow B \end{cases}$$

*Equação 3.3*

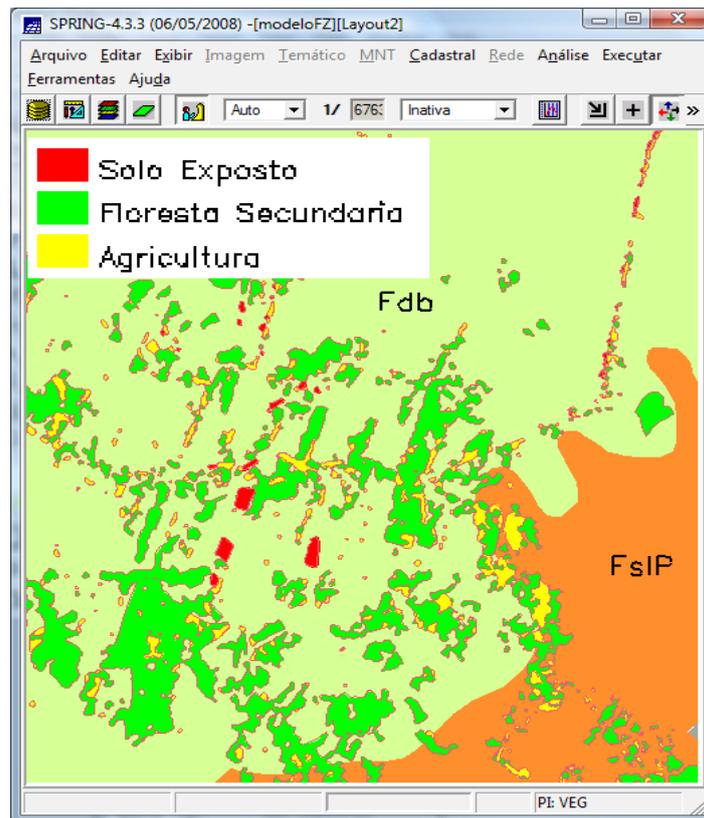
onde: AB representa a junção da classe A com a classe B, considerando a zona de transição; D representa a distância inferida; dA e dB delimitam a zona de transição, dL representa o PI de distância na fronteira.

### **3.2.3 -Integração dos Planos de Informações vegetação e uso do solo**

A atualização dos dados de vegetação foi realizada através da sobreposição dos Planos de Informação Numéricos (MNT) dos tipos de vegetação e da cobertura e uso dos solos . A incorporação da cobertura e uso do solo à vegetação vai dar melhor definição das diferentes influências das áreas de ocupação antrópica sobre o potencial erosivo. Os PI's Temáticos receberam valores de vulnerabilidade à erosão de acordo com seus devidos pesos conforme a de Vegetação, Tabela 3.5 e Tabela 3.6, de Cobertura e uso do solo.

A Figura 3.15 apresenta uma região com as classes temáticas de vegetação (Fdb - Vegetação Secundária; FsIP - Vegetação Secundária com Palmeiras), sobrepostas pelas classes de cobertura e uso do solo (Solo Exposto, Floresta Secundária, Agricultura).

Na Figura 3.16 (A) e (B) é apresentada o produto entre Planos de Informação no formato numérico e Imagem, resultante da integração das classes de vegetação e de cobertura e uso do solo.



*Figura 3.15 - Representação das classes temáticas de Vegetação e cobertura e uso do solo.*

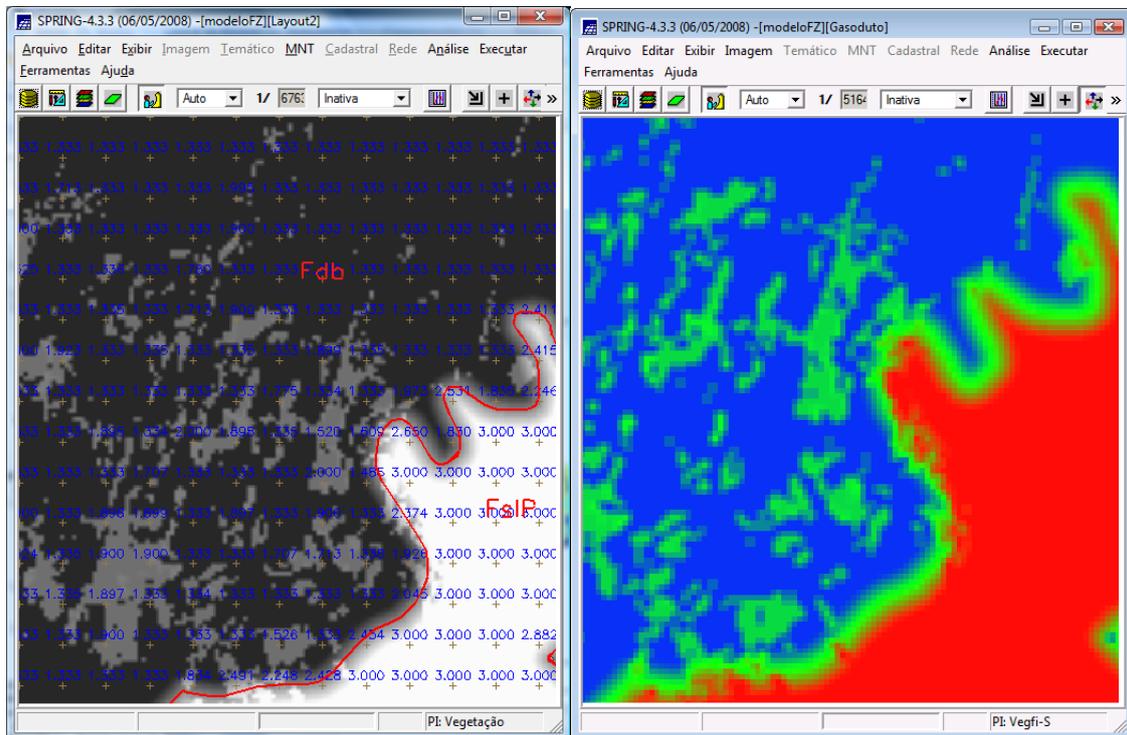


Figura 3.16 - (A) Representação do PI numérico Vegetação após a fusão com os dados de Cobertura e Uso do Solo. (B) Representação do PI no formato de Imagem, para visualização.

Para tal, foi executado um programa com operação matemática e uma condicional lógica limitando o intervalo dos dados de acordo com os pesos de vulnerabilidade associados aos PI's Cobertura e Uso do Solo e Vegetação. O MNT da (A) incorpora a atualização dos pesos de vulnerabilidade associados a fusão dos dois PI's, obtido com a aplicação do Programa A II. 2, ANEXO II.

### **3.2.4 -Simulação sazonal da Intensidade Pluviométrica**

Os dados de precipitação fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA) foram analisados com o objetivo de identificar padrões de distribuição no tempo da chuva medida no trecho de estudo. Foram calculadas as médias de precipitação anual utilizando trinta e seis (36) estações meteorológicas, no intervalo de 5 anos (1995 – 2000), cuja descrição consta no item 3.3.1- Intensidade Pluviométrica.

A transformação de dados pontuais em informação espacial consistiu de duas importantes etapas: manipulação de atributos e operações de espacialização.

A manipulação com os atributos consistiu na seleção dos dados relevantes, no tratamento de erros e ausência de informações e a análise estatística sobre a distribuição da chuva ao longo do tempo.

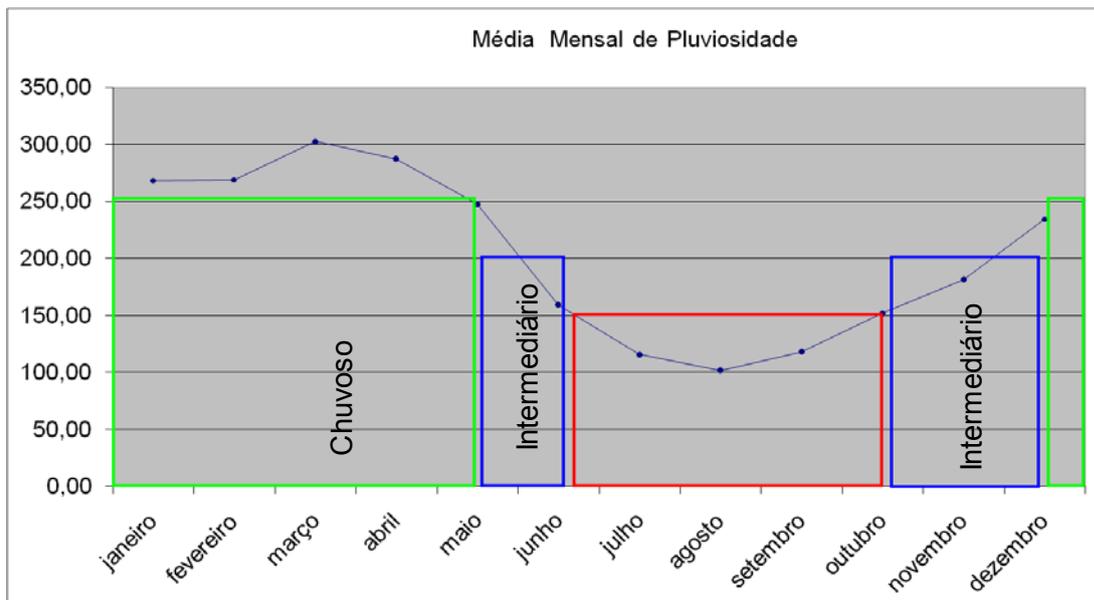
Os resultados da média mensal de chuva, representativos de todas as estações, foram obtidos para a delimitação do padrão de distribuição dos dados. Após uma análise visual, foi estabelecido os períodos de estiagem (Junho-Outubro), intermediário (Maio, Junho, Outubro, Novembro), e chuvoso (Janeiro a Maio e Dezembro) conforme apresentado no gráfico da Figura 3.17.

A variável considerada para representar a erosividade da chuva é a Intensidade Pluviométrica, esta foi obtida com a divisão dos totais pluviométricos (mm), pelos dias com ocorrência de chuva, indicando o quanto choveu em um dado intervalo de tempo, (Crepani *et al.* 2004, Palmeira 2004), representado Equação 3.4.

$$IP = \frac{TP}{NP}$$

*Equação 3.4*

onde IP representa a Intensidade Pluviométrica, TP representa o Totais Pluviométricos (mm) no período e NP é o número de dias com ocorrência de chuva no mesmo período.



*Figura 3.17 - Distribuição da média mensal de pluviosidade em trinta e seis (36) estações, nas proximidades da área de estudo.*

### 3.2.4.1 - Geração de amostras

Tabela 3.8 - Localização das estações pluviométricas.

ID	SITIO	LAT(S)	LONG (W)	MAX	INT	MIN	ANO
1	Acanaui	1,8	66,55	513	404	368	428
2	Anamã	3,5811	61,3783	458	352	344	385
3	Arumã – jusante	4,7344	62,1506	369	386	281	345
4	Balbina P-8	1,9381	59,4833	367	294	247	303
5	Barreirinha 03	2,1	66,45	667	662	641	657
6	Barro Alto	3,875	63,7858	410	358	333	367
7	Baruri	2,0158	61,5408	482	338	317	379
8	Beaba	4,8517	62,8672	420	381	308	370
9	Beruri	3,8853	61,3678	664	567	471	567
10	Baturite	5,7175	63,5022	357	325	242	308
11	Borba	4,3892	59,5994	527	452	383	454
12	Caapiranga	3,3297	61,2133	359	342	341	347
13	Canutama	6,5342	64,3839	570	463	354	462
14	Carvoeiro	1,3944	61,9783	435	365	435	412
15	Estirão da Sta Cruz	4,2922	65,2017	433	366	396	398
16	Gavião	4,8392	66,8506	428	320	284	344
17	Juma	7,0069	62,7889	433	448	327	403
18	Manacapuru	3,3083	60,6094	322	323	299	315
19	Manaus	3,1166	59,95	386	304	362	351
20	Maraã	1,8167	65,35	409	371	363	381
21	Martírio	2,9811	65,9419	471	345	303	373
22	Monte Alegre	5,5892	60,3736	328	254	199	260
23	Moura	1,45	61,6333	324	311	269	301
24	Natal	6,9333	60,5167	411	403	293	369
25	Nova Esperança	6,3592	61,7667	622	516	337	492
26	Nova Olinda	5,5833	64,3669	427	380	265	357
27	Novo Aripuanã	5,1228	60,3847	501	481	352	445
28	Porto Antunes	2,9167	67,1333	629	567	524	573
29	Presid. Figueiredo	2,0417	60,0258	405	402	356	388
30	Recreio	5,2881	60,7006	406	378	329	371
31	Rio Preto da Eva	2,7003	59,6997	365	322	256	314
32	São Pedro	2,35	65,1167	532	522	540	531
33	São Rafael	6,2478	61,8383	235	212	252	233
34	Seringal Jenipapo	6,0003	60,1878	587	455	309	450
35	Seringal Moreira	5,1092	63,9847	363	273	300	312
36	Umanapana	1,88	62,4608	544	493	471	503

A nomenclatura usada na Tabela 3.8 descreve os níveis de intensidade pluviométrica nos períodos chuvoso (MAX), intermediário (INT) e estiagem (MIN) e a precipitação anual média (ANO), em milímetros.

### 3.2.4.2 - Espacialização dos pontos amostrais

Para a espacialização dos dados pontuais, foi usada a ferramenta de krigagem do programa comercial “Surfer 8”. Esta ferramenta gerou uma superfície contínua através da interpolação de amostras espaçadas irregularmente. Tal procedimento conferiu a análise de aspectos ligado a variabilidade espacial através de variograma experimental, e escolha da função linear para representar a distribuição das amostras. O conceito do método aplicado está descrito no tópico Espacialização de Dados Pontuais 2.5.3.

Os resultados deste processos, geraram os mapas com isoietas de Intensidade Pluviométrica (Figura 3.18, 3.19 e 3.20 ).

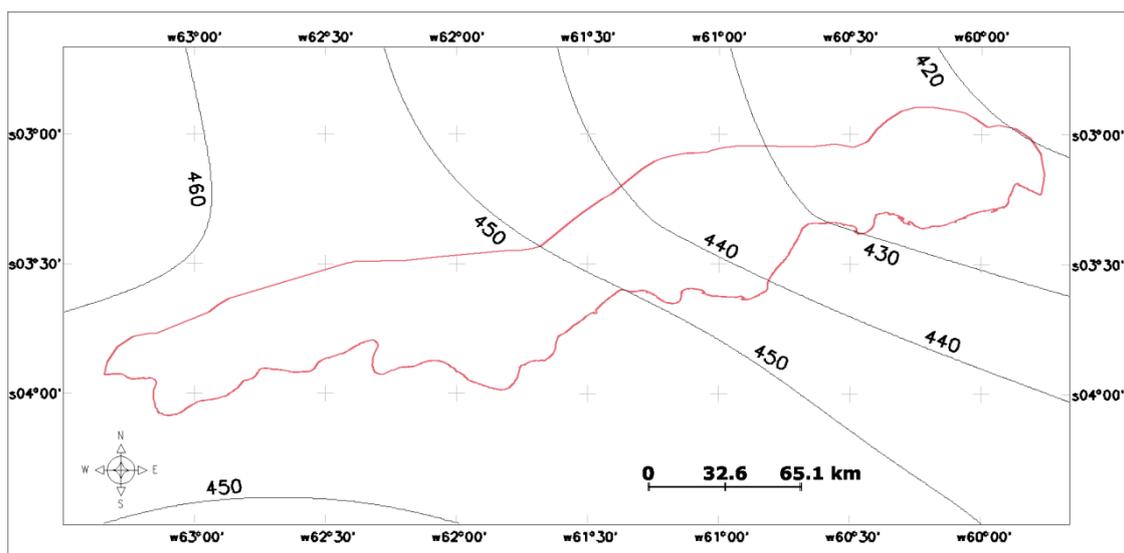


Figura 3.18 - Mapa de Intensidade Pluviométrica (período chuvoso).

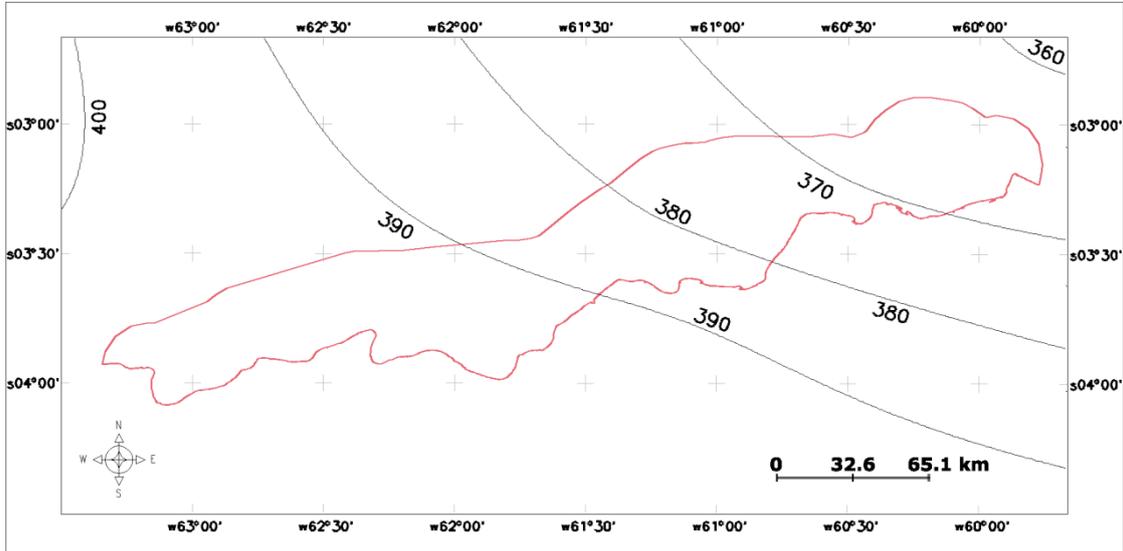


Figura 3.19 - Mapa de Intensidade Pluviométrica (Intermediário).

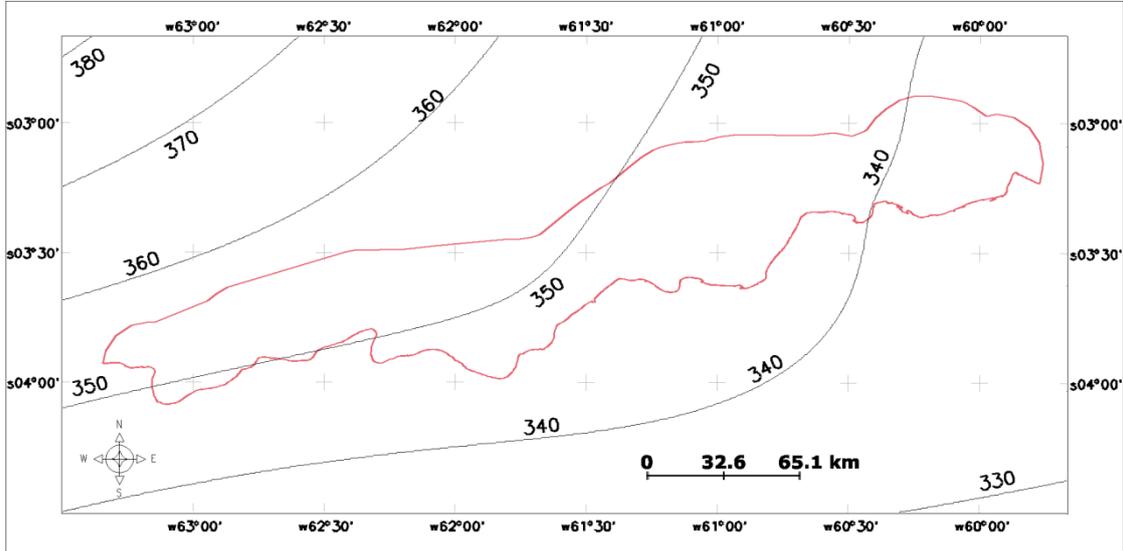


Figura 3.20 - Mapa de Intensidade Pluviométrica (estiagem).

### **3.2.4.3 - Ponderação da Intensidade Pluviométrica**

A transformação da escala de valores de Intensidade Pluviométrica para escala dos pesos de vulnerabilidade a erosão foi realizada através de um encurtamento linear, descrito no LEGAL Programa A II. 8.

### **3.2.5 -Operação Algébrica**

A operação algébrica foi aplicada sobre os Planos de Informação Numéricos com o objetivo de obter o valor médio de vulnerabilidade à erosão. O método descrito na Equação 2.6, Metodologia Aplicada ao Zoneamento Ecológico-Econômico, foi aplicado através do Programa Programa A II. 9.

### **3.2.6 -Fatiamento e Apresentação dos Resultados**

A representação temática dos resultados reflete o grau de vulnerabilidade através de intervalos nominais de vulnerabilidade, descritos na Tabela 2.1. Os mapas temáticos foram obtidos através da aplicação do Programa A II. 10, ANEXO II.

## CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram aplicados dois métodos de manipulação de informações espaço-temporais sobre o conjunto de dados: o método de influência temporal da intensidade pluviométrica sobre o potencial erosivo e a representação da incerteza espacial de separação entre as classes. O processamento gerou resultados com representações numéricas, temáticas, e tabulares, processados e armazenados no banco de dados.

A representação das incertezas espaciais, bem como da continuidade dos valores de vulnerabilidade à erosão, foi obtida com a geração de mapas com escala com escala contínua, para os quatro períodos observados, demonstrados nas Figuras 1, 2, 3 e 4, do ANEXO III.

As medidas quantitativas foram obtidas através da operação fatiamento dos Pis numéricos em cinco (05) intervalos de vulnerabilidade (estável, medianamente estável, moderadamente estável vulnerável, moderadamente vulnerável, vulnerável). O cálculo da área ocupada, em km<sup>2</sup>, por cada tipo de classe de vulnerabilidade é apresentado na Figura 4.1 e na Tabela 4.1. Foram considerados quatro (04) cenários climáticos anual (correspondente a metodologia de Crepani *et al.* 2001), chuvoso, intermediário e estiagem.

O primeiro cenário gerado compreende o período anual, que obedeceu à metodologia estabelecida por Crepani *et al.*, (2001), onde a erosão resulta da média aritmética decorrente da combinação dos Planos de Informação pertencentes as unidades temáticas com a Intensidade Pluviométrica, que neste caso, é representada pela média anual. Os resultados da contabilização de áreas para as classes de

vulnerabilidade são descritas na Tabela 4.1. O mapa contendo as classes temáticas de vulnerabilidade à erosão é apresentado na Figura 4.2, a distribuição proporcional da área ocupada por tais classes é exibida na Figura 4.6.

Os demais cenários, aqui considerados uma adaptação do primeiro, foram gerados com base na variação sazonal da intensidade pluviométrica, representadas pelos períodos chuvoso, intermediário e estiagem. As operações algébricas resultaram nas áreas apresentadas na Tabela 4.1, bem como nos mapas contendo as classes temáticas de vulnerabilidade (Figura 4.3, Figura 4.4 e Figura 4.5) e nos gráficos de distribuição proporcional da área ocupada pelas classes (Figura 4.7, Figura 4.8 e Figura 4.9).

Para o cenário anual, verifica-se na Tabela 4.1 que 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, obteve-se como resultado que 46,07% da região em estudo foram classificados como Medianamente Estável/Vulnerável, cerca de 10,41% a menos, portanto, que no cenário anual.

*Tabela 4.1 - Área das classes de vulnerabilidade/estabilidade à erosão nos períodos climáticos anual, chuvoso, intermediário e estiagem.*

Classes de vulnerabilidade à Erosão	Cenários Climáticos							
	Anual		Chuvoso		Intermediário		Estiagem	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Estável	160,18	1.14	72.16	0.52	155.4	1.1	162.34	1.15
Mod. Estável	208.49	1.48	123.64	0.89	207.58	1.47	210.84	1.49
Med.Estável/Vulnerável	7969.96	56.48	6431.76	46.07	7811.68	55.35	8890.82	63.02
Mod. Vulneráveis	5746.17	40.72	7191.94	52.52	5905.59	41.85	4818.32	34.16
Vulneráveis	26.28	0.18	140.07	1	31.82	0.23	24.84	0.18
*Área Total por cenário (km <sup>2</sup> )	14111.08		13959.57		14112.07		14107.16	

\*Discrepâncias entre os valores da soma total de áreas PA cada um dos cenários ocorrem em função de aproximações inerentes ao processo de fatiamento (transforma PI Numérico para temático).

Além disso, 51,52% da superfície em análise corresponderam a classe Moderadamente Vulnerável, ou seja, 1 a maior área ocupada pela classe vulnerável 0,80% a mais que no cenário anual.

O período chuvoso apresenta 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 ( muito baixos).

No cenário intermediários, cerca de 53,35% da área de estudo apresentaram, ou seja, 6,56% a menos que no cenário anual.

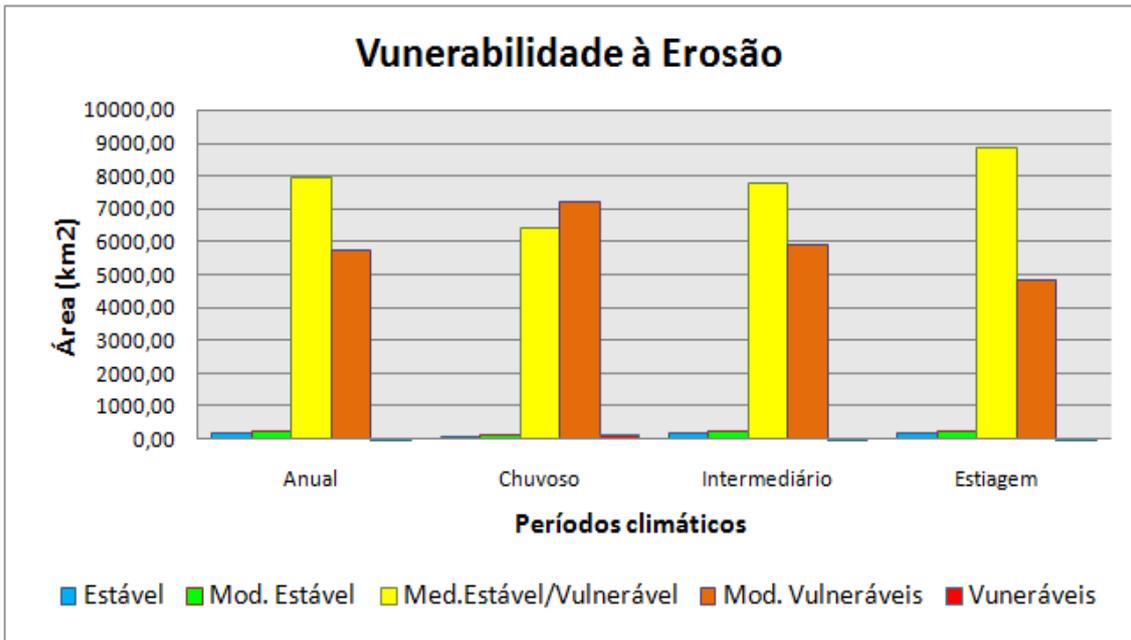


Figura 4.1 - Área ocupada (Km<sup>2</sup>) pelas classes de vulneráveis à erosão nos diferentes cenários climáticos.

Em síntese, é possível afirmar que o cenário intermediário foi o que mais 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 a erosão é superestimada em comparação com o período de estiagem (4,72% contra 34,16 %, respectivamente, para a classe Moderadamente Vulnerável) Alternativamente, se confrontando 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 a classe Vulnerável, que apresentou distribuição espacial em aproximadamente 05 (cinco) vezes mais no período chuvoso que no

cenário anual (1,00% contra 0,18%, respectivamente), assim como nos demais cenários.

Às regiões das incertezas sobre a separação das classes foram contabilizadas através do fatiamento do mapa numérico de distância das fronteiras. A fatia com distância de 400m ocupou uma área de 1.970 km<sup>2</sup>, equivalente a 11,5% do total de toda área das classes de vulnerabilidade à erosão. A distribuição das classes sobre a faixa de incerteza apresentaram as mesmas proporções de área que os mapas de vulnerabilidade geral obtidos nos quatro (04) períodos climáticos observados.

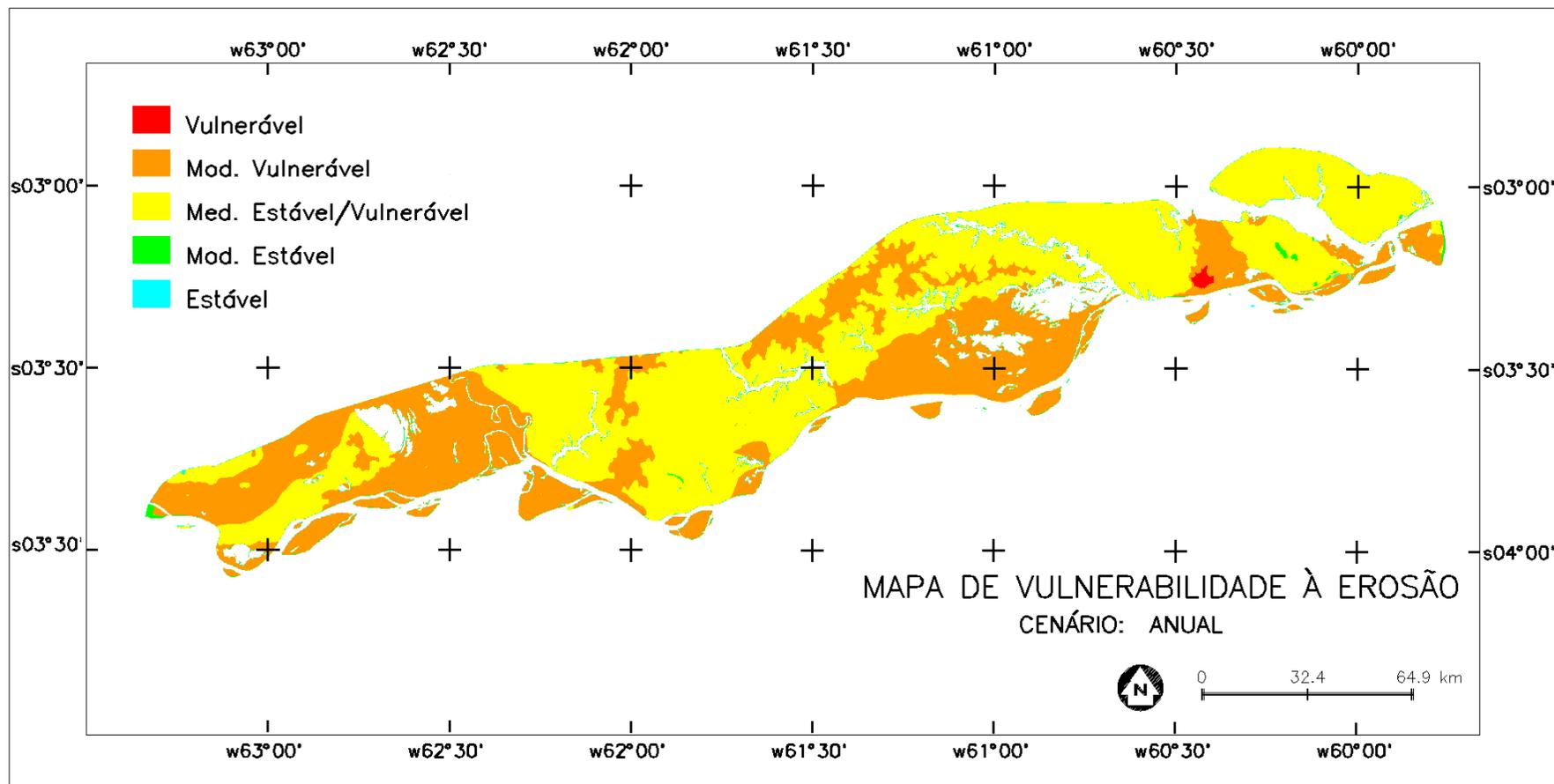


Figura 4.2 - Mapa de vulnerabilidade à erosão – cenário anual: *Metodologia de Crepani et al. (2001).*

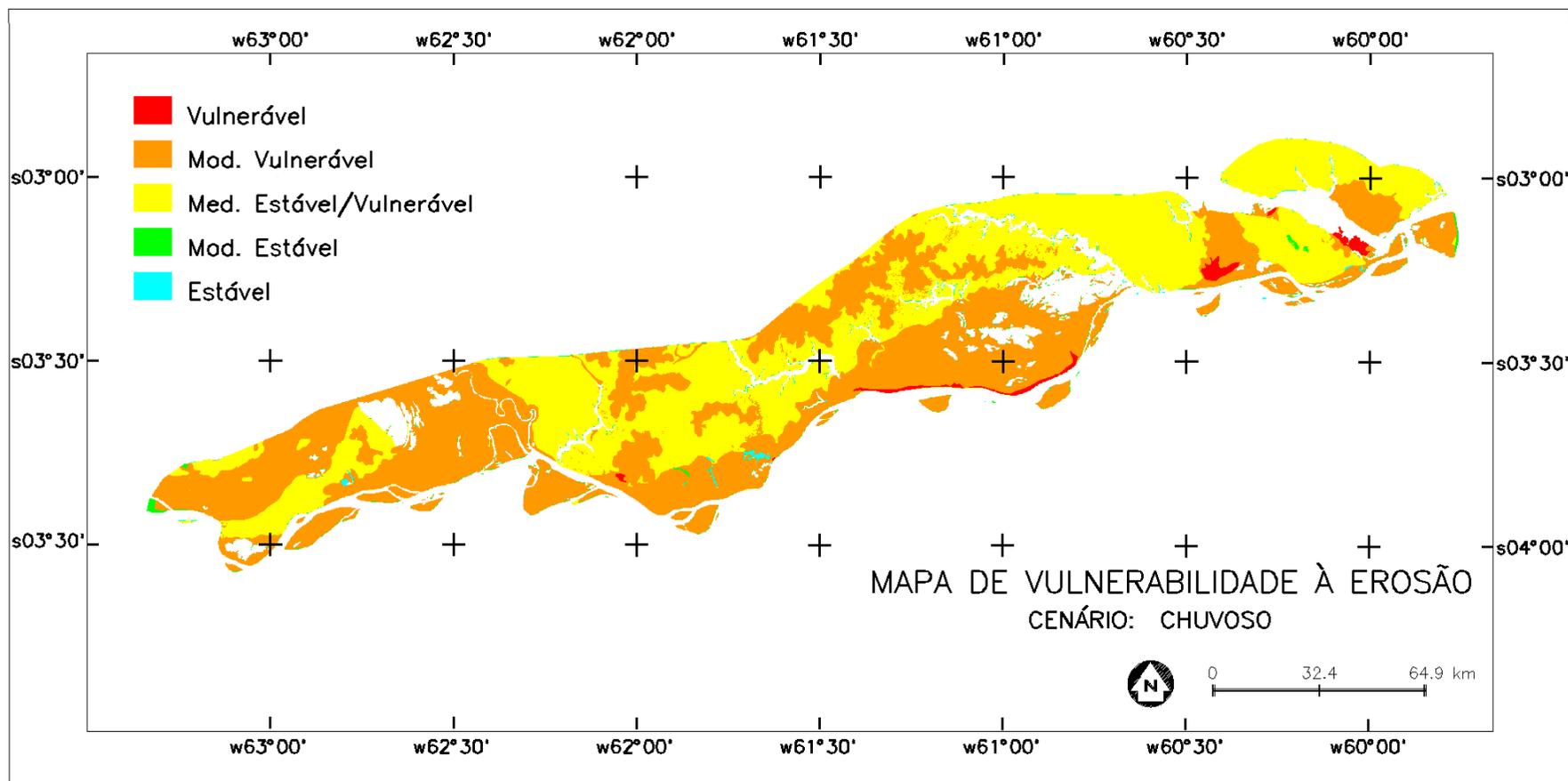


Figura 4.3 - Mapa de vulnerabilidade à erosão – cenário chuvoso.

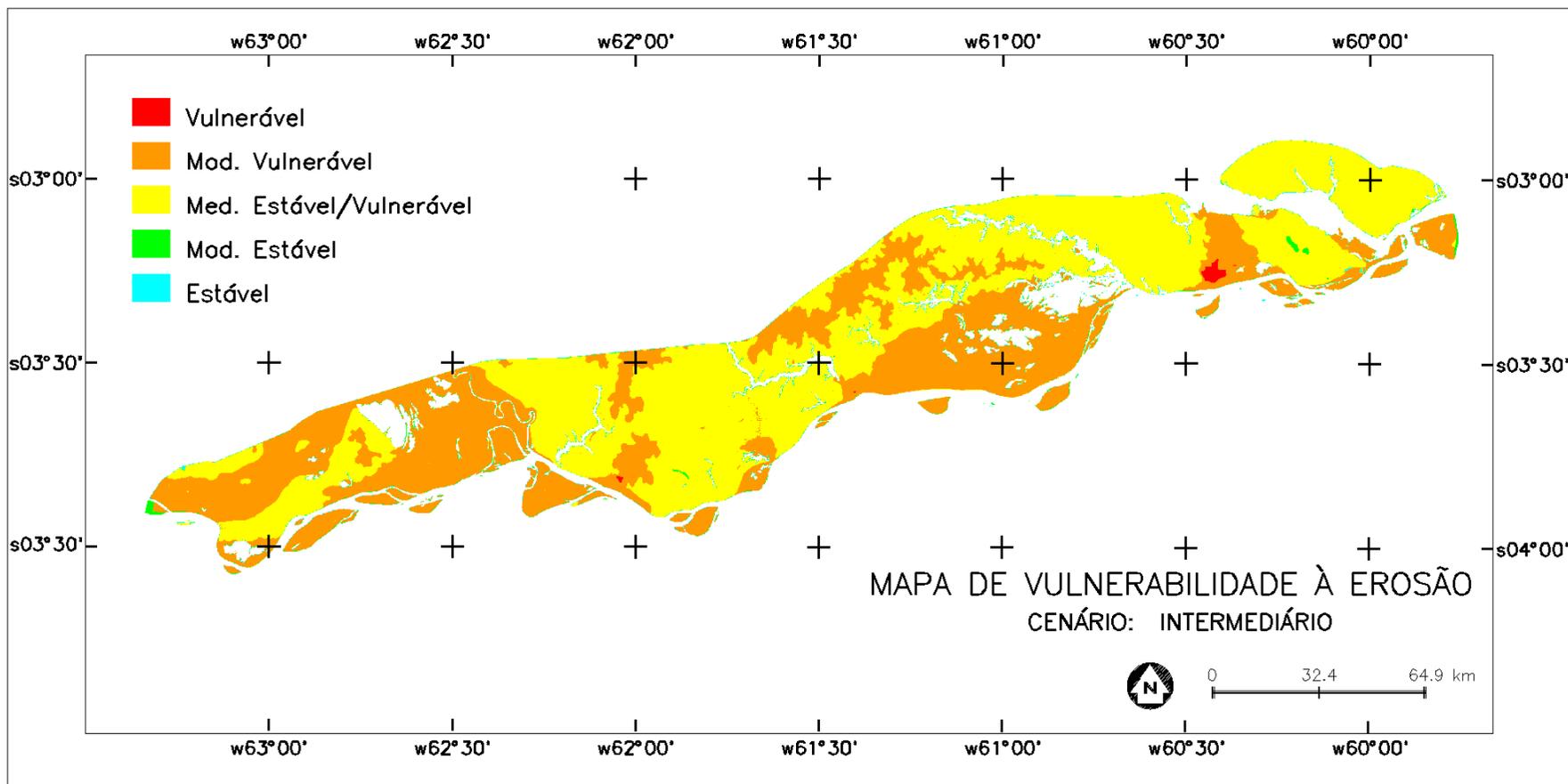


Figura 4.4 - Mapa de vulnerabilidade à erosão – cenário intermediário.

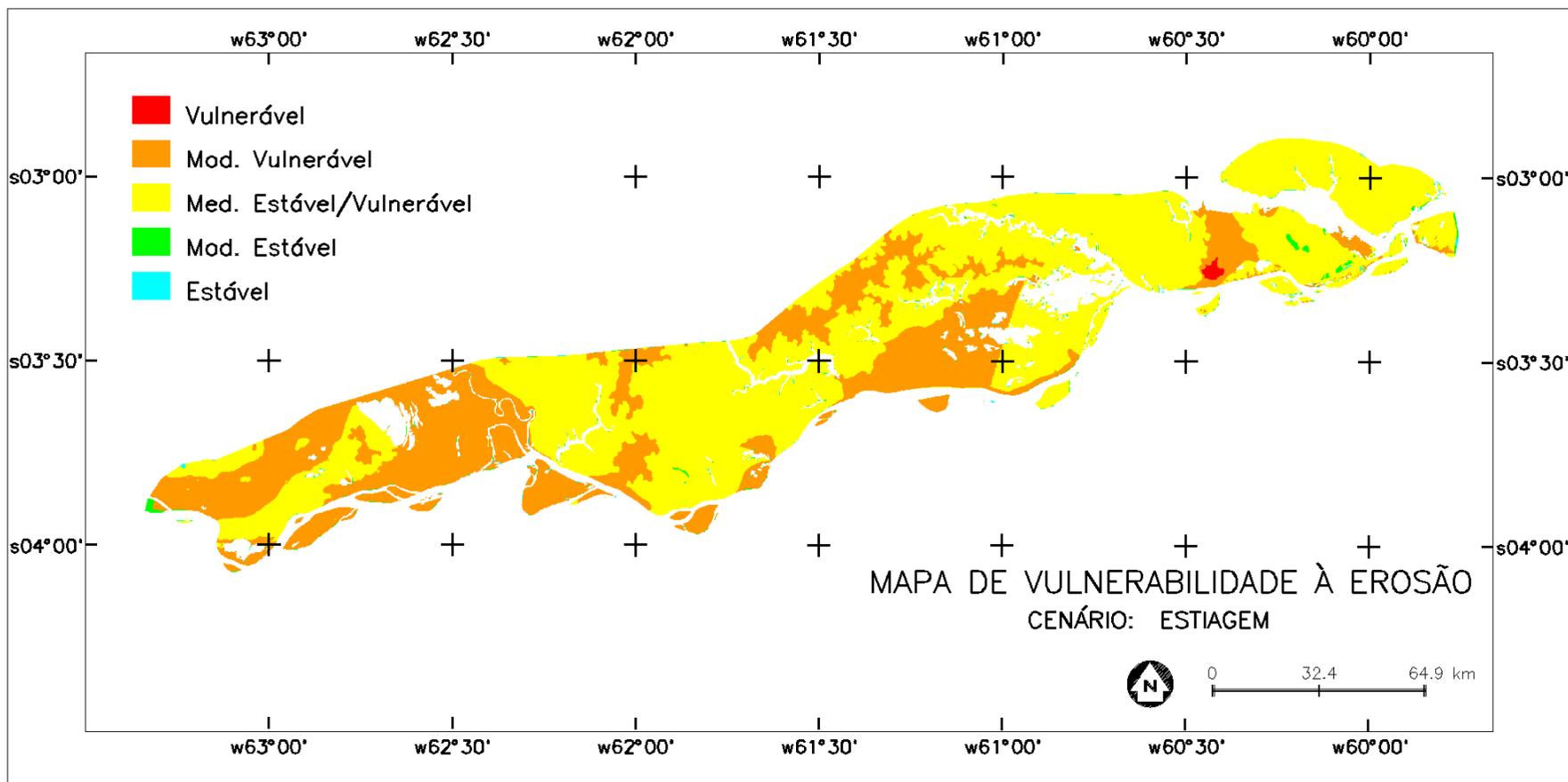
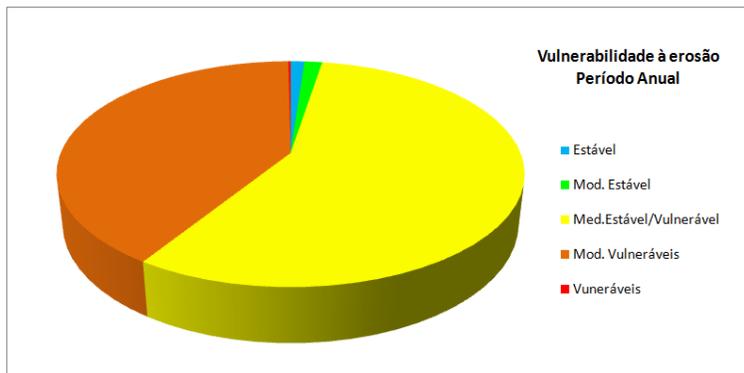
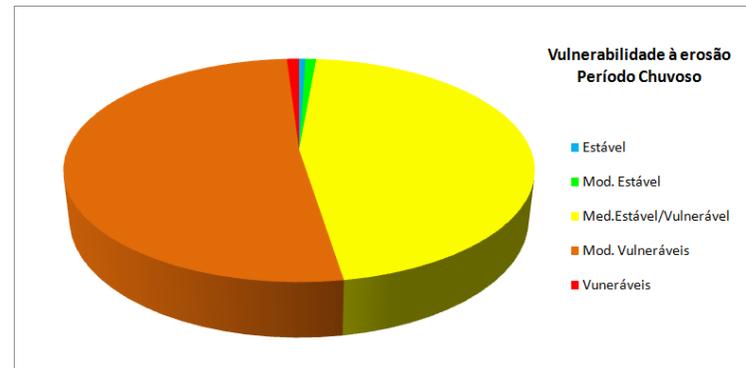


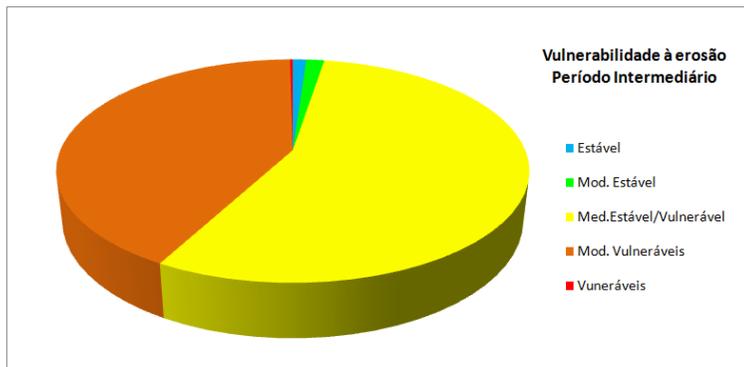
Figura 4.5 - Mapa de vulnerabilidade à erosão – cenário de estiagem.



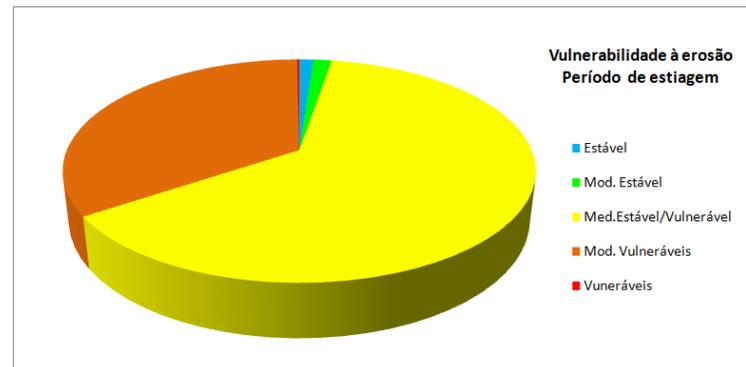
*Figura 4.6 - Distribuição proporcional da área ocupada pelas classes de vulnerabilidade à erosão – cenário anual.*



*Figura 4.7 - Distribuição proporcional da área ocupada pelas classes de vulnerabilidade à erosão – cenário chuvoso.*



*Figura 4.8 - Distribuição proporcional da área ocupada pelas classes de vulnerabilidade à erosão – cenário intermediário.*



*Figura 4.9: Distribuição proporcional da área ocupada pelas classes de vulnerabilidade à erosão – cenário de estiagem.*

## CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A abordagem de análise utilizando a variação sazonal da intensidade pluviométrica para a detecção das áreas vulneráveis à erosão no trecho do gasoduto Coari-Manaus demonstrou agregar valor à metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001).

Medidas quantitativas 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 a Metodologia de Crepani *et al.*, 2001), chuvoso, intermediário e estiagem.

Os valores nos períodos considerados para a sazonalidade da pluviosidade foram obtidos através de uma média histórica de 5 anos (1995 – 2000), assim estabelecida: estiagem (junho – Outubro), Intermediário (Março, Junho, Outubro, Novembro e Dezembro) e chuvoso (parte de Dezembro, janeiro – Maio). Foram utilizadas amostras de trinta e seis (36) estações pluviométricas disponibilizadas pela ANA, cuja interpolação foi utilizada com sucesso a ferramenta de krigagem ordinária.

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.

O período intermediário foi o que mais se aproximou do cenário anual. No entanto, para o período de estiagem, as classes Medianamente Estável/Vulnerável

ocuparam, respectivamente, 6,72% a mais e 6,56% a menos d cenário anual. Tal resultado implica em que a vulnerabilidade à erosão é superestimada no cenário anual, se confrontada com o período de estiagem, pois a classe Moderadamente Vulnerável apresenta, na verdade, mesma distribuição espacial no período de menor intensidade pluviométrica.

No período chuvoso, as classes Medianamente Estável/Vulnerável ocupam respectivamente, 10,41% a menos e 10,80% a mais que no cenário anual. Estes números indicam que, em comparação com o período chuvoso, a vulnerabilidade à erosão e subestimada no cenário anual, pois a classe Moderadamente vulnerável apresenta, na verdade, maior distribuição espacial no período de maior intensidade pluviométrica.

Alem disso, no trecho do gasoduto Coari-Manaus, as duas classes de vulnerabilidade à erosão apresentam baixa distribuição espacial, nos cenário anual chuvoso, intermediário e de estiagem, como segue: 1,14%, 0,52%, 1,10% e 1,15% para a classe Moderadamente estável; 0,18%, 1,00%, 0,23% e 0,18 para a extensão em área mais restrita para as classes Estável 90,52%) e Moderadamente estável (0,89). Entretanto, a para classe vulnerável, a superfície ocupada no cenário chuvoso (1,00%) foi aproximadamente cinco vezes maior que nos demais cenários (0,18% no anual, 0,23 no intermediário e 0,18% no de estiagem).

As incertezas sobre as zonas de fronteira estabeleceram uma região de suave transição entre as classes. Esta abordagem foi tratada como mapas capazes de representar a variação espacial de forma contínua. Dando suporte a análise subjetiva sobre a variação e intensidade do fenômeno.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acesso em: 20 Maio 2006.
- Barbosa, C., 1997, Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento. Dissertação de M.S.c. INPE, São José dos Campos, SP, Brasil.
- Bonham-Carter. (1994). *Geographic information systems for geoscientists: Modeling with GIS*. New York:Elsevier. p.398.
- Borrough P.A. e McDonnell R.A. *Principles of geographical information systems*. Oxford: Oxford University Press.1998.
- Câmara G., Monteiro A.M., Fucks S.D., Carvalho M.S., "Análise Espacial e Geoprocessamento". In: Suzana Druck, Marília Sá Carvalho, Gilberto Câmara et. al. (eds). in: *Análise Espacial de Dados Geográficos*, 1ª ed., capítulo 1, Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2004.
- Câmara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996. <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>, consultado em: 22/6/2007.
- Câmara, G., Souza, R.C.M., Freitas, U.M., Paiva, J.A.C., "SPRING: Concepção, Evolução e Perspectivas". In: VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, 1993, Anais, v. 1. pp. 308-317, São José dos Campos, INPE, 1993.

- Camargo, E. C. G., 2003. *Geoestatística, Fundamentos de Geoprocessamento: Análise Espacial*, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, SP, 105 p.
- Camargo E.C.G. Análise Espacial de Superfícies por Geoestatística. Capítulo 3. In: <[www.dpi.inpe.br/cursos/livro](http://www.dpi.inpe.br/cursos/livro)>. Consultado em: 22 jul, 2007.
- Caram, R.O., “Reconstrução de séries e análise geoestatística da precipitação no Estado de Minas Gerais” Viçosa, MG UFV, 2007, 107p.
- Chistofolletti A., (1999): *Modelagem de Sistemas Ambientais*. São Paulo, Edgard Blücher. 215p.
- Crepani E., Medeiros J.S., Azevedo L. G., Hernandez P., Florezano T. G., Duarte V. Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico. São José dos Campos. INPE.1996.
- Crepani E., Medeiros J.S., Azevedo L. G., Hernandez P., Florezano T. G., Duarte V., Barbosa C. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zonemamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. São José dos Campos. INPE. 2001.
- Crepani E., Medeiros J.S., e Palmeira A.F. Intensidade pluviométrica: Uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade à perda de solo. São José dos Campos. INPE. 2004.
- Davis, C., Borges, K., "Modelagem de Dados Geográficos". In: Gilberto Câmara et. al. (eds). in: *Introdução à Ciência de Geoinformação*, 1ª ed., capítulo 4, São José dos Campos. DPI/INPE. 2001.
- Felgueiras, C.A., 1999 “Modelagem Ambiental com Tratamento de Incertezas em Sistemas de Informações Geográfica: O Paradigma Geoestatístico por Indicação. Tese de D.S.c., INPE, São José dos Campos, SP, Brasil.

- Guerra, A.T. e Cunha, S.B. da, (2003): Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 7ª ed. 472p.
- Guerra, A.T., (1993): Dicionário Geológico-Geomorfológico. Rio de Janeiro, IBGE. 446p.
- INPE, Home Page do SPRING, [online]. <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>.2000. Consultado em: Mar. 2007.
- Meireles M.S., Moreira, F.R., e Câmara, G., "Técnicas De Inferência Espacial". In: Margareth Simões Penello Meireles, Gilberto Câmara et. al. (eds). in: Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais, 1ª ed., capítulo 3, Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2007.
- Moreira. F.R., 2002, Uso da Avaliação de Técnicas de Integração e Análise Espacial de Dados em Pesquisa Mineral Aplicadas ao Planalto de Poços de Caldas. Tese de D.S.c., INPE, São José dos Campos, SP, Brasil.
- Pedrosa, B.M., Câmara, G., "Modelagem Dinâmica e Sistemas de Informações Geográficas". In: Margareth Simões Penello Meireles, Gilberto Câmara et. al. (eds). in: *Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais*, 1ª ed., capítulo 5, Brasília, Brasil, Embrapa Informação Tecnológica, 2007.
- Palmeira A.F., 2004, Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicadas à Gestão do Território do Município de Paragominas (Estado do Pará). Dissertação de M.S.c. INPE, São José dos Campos, SP, Brasil.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energias. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL - Levantamento de recursos naturais. Folhas NB.20, NA.19-21, SA.19-21, SB.18-21, SC.19-21: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Divisão de Departamento, 1977, 420 p. 13 v.

Saraiva, B.A., Rivas, A., Estudo Prévio de Impacto Ambiental para a Construção do Gasoduto Coarí-Manaus. Manaus, Amazonas, 2003.

Silva, C.R.O. da e Fernandes, L. Filho. Avaliação da Vulnerabilidade à Erosão no Trecho do Gasoduto Coarí-Manaus. In: I Congresso internacional do PIATAM, 2005, Manaus. Anais do 1 Congresso Internacional PIATAM: homem, gás, petróleo e meio ambiente. Manaus : Universidade Federal do Amazonas, 2005. v. 1.

Tricart, J., Ecodinâmica. Rio de Janeiro. IBGE-SUPREN, 1997.

ANEXO I – PESOS DE VULNERABILIDADE À EROSÃO

Tabela A I. 1 - Escala de Vulnerabilidade à Denudação das Rochas Mais Comuns.

Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns					
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Riólito, Granito, Dacito	1,1	Piroxenito, Anfibolito Kimberlito, Dunito	1,8	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9	Grauvacas, Arcózios	2,6
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Estauroлита xisto, Xistos granatíferos	2,0	Siltitos, Argilitos	2,7
Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4	Filito, Metassilito	2,1	Folhelhos	2,8
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Ardósia, Metargilito	2,2	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Mármore	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Crepani *et al.* 2001 p.74.

Tabela A I. 2 - Classes de Declividade Com os Respective 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

Crepani *et al.* 2001 p.80.

*Tabela A I. 3 - Valores de Vulnerabilidade Para a Intensidade de Dissecação do Relevo.*

AMPLITUDE DO INTERFLÚVIO (m)	VULNER./ ESTABILIDADE	AMPLITUDE DO INTERFLÚVIO (m)	VULNER./ ESTABILIDADE	AMPLITUDE DO INTERFLÚVIO (m)	VULNER./ ESTABILIDADE
>5000	1,0	3250 - 3500	1,7	1500 - 1750	2,4
4750 - 5000	1,1	3000 - 3250	1,8	1250 - 1500	2,5
4500 - 4750	1,2	2750 - 3000	1,9	1000 - 1250	2,6
4250 - 4500	1,3	2500 - 2750	2,0	750 - 1000	2,7
4000 - 4250	1,4	2250 - 2500	2,1	500 - 750	2,8
3750 - 4000	1,5	2000 - 2250	2,2	250 - 500	2,9
3500 - 3750	1,6	1750 - 2000	2,3	<250	3,0

Crepani *et al.* 2001 p.80.

*Tabela A I. 4 - Valores de Vulnerabilidade Para a Amplitude Altimétrica.*

AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (m)	VULNER./ ESTABILIDADE	AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (m)	VULNER./ ESTABILIDADE	AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (m)	VULNER./ ESTABILIDADE
<20	1,0	77 - 84,5	1,7	141,5 - 151	2,4
20 - 29,5	1,1	84,5 - 94	1,8	151 - 160,5	2,5
29,5 - 39	1,2	94 - 103,5	1,9	160,5 - 170	2,6
39 - 48,5	1,3	103,5 - 113	2,0	170 - 179,5	2,7
48,5 - 58	1,4	113 - 122,5	2,1	179,5 - 189	2,8
58 - 67,5	1,5	122,5 - 132	2,2	189 - 200	2,9

Crepani *et al.* 2001 p.80.

*Tabela A I. 5 - Valores de Vulnerabilidade Para a Declividade Das Encostas.*

DECLIVIDADE		VULN / ESTAB B.	DECLIVIDADE		VULN./ ESTAB	DECLIVIDADE		VULN./ ESTAB
GRAUS	PORCENT.		GRAUS	PORCENT.		GRAUS	PORCENT.	
<2	<3,5	1,0	9,9 - 11,2	17,4 - 19,8	1,7	19,1 - 20,4	34,6 - 37,2	2,4
2 - 3,3	3,5 - 5,8	1,1	11,2 - 12,5	19,8 - 22,2	1,8	20,4 - 21,7	37,2 - 39,8	2,5
3,3 - 4,6	5,8 - 8,2	1,2	12,5 - 13,8	22,2 - 24,5	1,9	21,7 - 23,0	39,8 - 42,4	2,6
4,6 - 5,9	8,2 - 10,3	1,3	13,8 - 15,2	24,5 - 27,2	2,0	23,0 - 24,4	42,4 - 45,3	2,7
5,9 - 7,3	10,3 - 12,9	1,4	15,2 - 16,5	27,2 - 29,6	2,1	24,4 - 25,7	45,3 - 48,1	2,8
7,3 - 8,6	12,9 - 15,1	1,5	16,5 - 17,8	29,6 - 32,1	2,2	25,7 - 27	48,1 - 50	2,9
8,6 - 9,9	15,1 - 17,4	1,6	17,8 - 19,1	32,1 - 34,6	2,3	>27	>50	3,0

Crepani *et al.* 2001 p.81.

Tabela A I. 6 - Valores de Vulnerabilidade/Estabilidade dos Solos.

CLASSE DE SOLO	LEGENDA	VULN./ ESTAB.
LATOSSOLOS:AMARELO LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO LATOSSOLO ROXO LATOSSOLO BRUNO LATOSSOLO HÚMICO LATOSSOLO BRUNO-HÚMICO	LA LV LE LR LB LH LBH	1,0
PODZÓLICO AMARELO PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO PODZÓLICO VERMELHO-ESCURO TERRA ROXA ESTRUTURADA BRUNO NÃO-CÁLCICO BRUNIZÉM BRUNIZÉM A VERMELHADO PLANOSSOLO	PA PV PE TR NC B BA PL	2,0
CAMBISSOLOS	C	2,5
SOLOS LITÓLICOS SOLOS ALUVIAIS REGOSSOLO AREIA QUARTZOSA VERTISSOLO SOLOS ORGÂNICOS SOLOS HIDROMÓRFICOS GLEI HÚMICO GLEI POUCO HÚMICO PLINTOSSOLO LATERITA HIDROMÓRFICA SOLOS CONCRECIONÁRIOS LATERÍTICOS RENDZINAS AFLORAMENTO ROCHOSO	R A RE A V HO HI HGH HGP PT LH CL RZ AR	3,0

Crepani *et al.* 2001 p.86.

Tabela A I. 7 - Escala de Erosividade da Chuva E Valores de Vulnerabilidade à Perda De Solo.

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

Crepani *et al.* 2001 p.98.

## ANEXO II - PROGRAMAS LEGAL

### *Programa A II - 1 Transforma de Cadastral Para Numérico*

```
{
//Declara os PI's de entrada:
Cadastral    cadG ("CADINT");
Cadastral    cadM ("CADINT");
Cadastral    cadP ("CADINT");
Cadastral    cadU ("CADINT");
Cadastral    cadV ("CADINT");
//Declara os Objetos de entrada:
Objeto       objG ("OBJGEO");
Objeto       objM ("OBJGEM");
Objeto       objP ("OBJPEDO");
Objeto       objU ("OBJUSO");
Objeto       objV ("OBJVEG");
//Declara os PI's de saída:
Numerico     geo  ("NUMINT");
Numerico     ped  ("NUMINT");
Numerico     gem  ("NUMINT");
Numerico     uso  ("NUMINT");
Numerico     veg  ("NUMINT");
//Recupera os PI's de entrada:
cadG = Recupere (Nome="Geologia");
cadM = Recupere (Nome="Geomorfologia");
cadP = Recupere (Nome="Pedologia");
cadU = Recupere (Nome="Usosolos");
cadV= Recupere (Nome="Vegetacao");
//Cria os novos PI's :
geo = Novo (Nome="Geovul", ResX=90, ResY=90, Escala=250000, Min = 1.0, Max =
3.0);
gem = Novo (Nome="Gemvul", ResX=90, ResY=90, Escala=250000, Min = 1.0, Max =
3.0);
ped = Novo (Nome="Pedvul", ResX=90, ResY=90, Escala=250000, Min = 1.0, Max =
3.0);
uso = Novo (Nome="Usovul", ResX=30, ResY=30, Escala=250000, Min = 1.0, Max =
3.0);
veg = Novo (Nome="Vegvul", ResX=30, ResY=30, Escala=250000, Min = 1.0, Max =
3.0);
//Operação de espacialização dos valores de Vulnerabilidade:
geo = Espacialize (objG . "VULNEGEO" OnMap cadG);
gem = Espacialize (objM . "MEDIA" OnMap cadM);
ped = Espacialize (objP . "VULNE" OnMap cadP);
uso = Espacialize (objU . "VULUSO" OnMap cadU);
veg = Espacialize (objV . "VULNEV" OnMap cadV);
// FIM }
```

*Programa A II. 2 - Programa Soma Fitologia com Uso e Cobertura do Solo*

```
{
//Declara as variáveis de entrada e saída:
Numerico veg, uso, veguso,veguson ("NUMINT");

//Recupera as Variáveis:
veg = Recupere( Nome="VEGF");
uso = Recupere ( Nome="USO");

//Cria a variável de saída:
veguso = Novo(Nome="VegUsovul", ResX = 90, ResY = 90, Min = 1, Max = 3);
veguson = Novo(Nome="VegUsovuln", ResX = 90, ResY = 90, Min = 1, Max = 3);

//Operação condicional
veguso = veg +(uso/3.0);
veguson = ( veguso >= 3.0 ? 3.0 : veguso);

//FIM
}
```

*Programa A II. 3 - Programa de Normalização da Intensidade Pluviométrica*

```
{
//Declara as variáveis de entrada e saída:
Numerico mx, mm, mn ("NUMPLU_M");
Numerico fzm, fzmm, fzm ( "NUMPLUFZ");

//Recupera as Variáveis:
mx = Recupere (Nome="IPMAX");
mm = Recupere (Nome="IPMED");
mn = Recupere (Nome="IPMIN");

//Cria a variável de saída:
fzm = Novo (Nome="IPMAXFZ", ResX= 400, ResY= 400, Escala = 250000, Min=0,
Max=1);
fzmm = Novo (Nome="IPMEDFZ", ResX= 400, ResY= 400, Escala = 250000, Min=0,
Max=1);
fzm = Novo (Nome="IPMINFZ", ResX= 400, ResY= 400, Escala = 250000, Min=0,
Max=1);

//Aplica a função de normalização - Sigmóide:

fzm = 1/( 1+ 0.00005* ((mx - 550)^2)); // Período Chuvoso
fzmm = 1/(1+ 0.00005* ((mm - 550)^2)); // Período Intermediário
fzm = 1/(1+ 0.00005* ((mn - 550)^2)); // Período de Estiagem

//FIM
}
```

*Programa A II. 4 - Suavização De Fronteiras – PI Geologia*

```
{
//Declara as variáveis de entrada e saída:
Numerico AB, ABF ("NUMINT");
Numerico DL ("DISTGEO");
Tematico tem ("TEMDISTGEO");
Tabela tab (Ponderacao);
//Recupera as Variáveis:
tem = Recupere (Nome="DSGRUPO2");
AB = Recupere (Nome="GEO");
DL = Recupere (Nome="DL");
// Cria a variável de saída:
ABF = Novo(Nome="GEO", ResX= 90, ResY= 90, Min=0.0, Max=3.0);
// Cria a tabela de Valores de ponderação:
tab = Novo (Categorialni = "TEMDISTGEO",
            "3.0 - 2.7"      :      3.0,
            "2.7 - 3.0"      :      2.7,
            "3.0 - 2.8"      :      3.0,
            "2.8 - 3.0"      :      2.8,
            "2.8 - 2.7"      :      2.8,
            "2.7 - 2.8"      :      2.7 );

//Controle da distância
D = 400 ;
//Operação linear
QHaTOs = (3.0 - 2.8)/(D*2);           //QHa - Quaternário Holocênico Aluvial - 3.0
QHaKTb = (3.0 - 2.7)/(D*2);           //TOs - Formação Solimões - 2.8
TOsKTb = (2.8 - 2.7)/(D*2.0);         //KTb - Formação Alter do Chão - 2.7
//QPt - Quaternário Pleistoceno - 3.0

//Operação condicional
ABF =( tem == "3.0 - 2.7" && DL <= D && AB > 0 ) ? Pondere(tem, tab) + (( - QHaKTb)
* (D - DL)):
( tem == "2.7 - 3.0" && DL <= D && AB > 0 ) ? Pondere(tem, tab) + (( QHaKTb) * (D -
DL)) :
( tem == "3.0 - 2.8" && DL <= D && AB > 0 ) ? Pondere(tem, tab) + (( - QHaTOs) * (D -
DL)) :
( tem == "2.8 - 3.0" && DL <= D && AB > 0 ) ? Pondere(tem, tab) + (QHaTOs) * (D -
DL) :
( tem == "2.8 - 2.7" && DL <= D && AB > 0 ) ? Pondere(tem, tab) + ( - TOsKTb) * (D -
DL) :
( tem == "2.7 - 2.8" && DL <= D && AB > 0 ) ? Pondere(tem, tab) + ( TOsKTb) * (D -
DL) : AB;
// FIM
}
```

*Programa A II. 5 - Suavização de Fronteiras – PI Geomorfologia*

```
{
//Declara as variáveis de entrada e saída:
Numerico AB, ABF, numP ("NUMINT");
Numerico DL ("NUMDIST-LIN");
Tematico tem ("TEMDISTGEM");
Tabela tab (Ponderacao);

//Recupera as Variáveis:
tem = Recuperar (Nome="GEM_DL3");
AB = Recuperar (Nome="GEM");
DL = Recuperar (Nome="GEM_DIST3");

//Cria a variável de saída:
ABF = Novo(Nome="GEMF", ResX= 90, ResY= 90, Min=0.0, Max=3.0);

//Cria a tabela de Valores de ponderação:
tab = Novo ( Categoricalni = "TEMDISTGEM",
            "2.0 - 1.6"      :      2.0,
            "1.6 - 2.0"      :      1.6 );

//Controle da distância
D = 400;

//Operação linear
TErALa = ( 2.0 - 1.6 )/(D*2); //QHa - Quaternário Holocênico Aluvial - 3.0

//Operação condicional
ABF = ( tem == "2.0 - 1.6" && DL <= D && AB > 0 ) ? Pondere (tem, tab) + (( -
TErALa) * (D - DL)) :
( tem == "1.6 - 2.0" && DL <= D && AB > 0 ) ? Pondere (tem, tab) + (( TErALa) * (D -
DL)) : AB;

//FIM
}
```

*Programa A II. 6 - Suavização de Fronteiras – PI Pedologia*

```
{
//Declara as variáveis de entrada e saída:
Numerico AB, ABF ("NUMINT");
Numerico DL ("NUMDIST-LIN");
Tematico tem ("TEMDISTPED");
Tabela tab (Ponderacao);

//Recupera as Variáveis:
tem = Recupere (Nome="Ped400mlin");
AB = Recupere (Nome="PED");
DL = Recupere (Nome="PED_DIST");

//Cria a variável de saída:
ABF = Novo(Nome="PEDF", ResX= 90, ResY= 90, Min=0.0, Max=3.0);

//Cria a tabela de Valores de ponderação:
tab = Novo (Categorialni = "TEMDISTPED",
"1.0 - 2.0" : 1.0,
"2.0 - 1.0" : 2.0,
"3.0 - 2.0" : 3.0,
"2.0 - 3.0" : 2.0,
"3.0 - 1.0" : 3.0,
"1.0 - 3.0" : 1.0 );

//Controle da distância
D = 400 ;

// Operação linear
HLRaPVa = (3.0 - 2.0)/(D*2); //Podzólico Vermelho - Amarelo - PVa - 2.0
HLRaLAa = (3.0 - 1.0)/(D*2); //Gleissolo/ Solos Alviais - HLRa - 3.0
PVaLAa = (2.0 - 1.0)/(D*2.0); // Latossolo Amarelo - LAa - 1.0

//Operação condicional
ABF =
( tem == "3.0 - 2.0" && DL <= D && AB > 0 ) ? Pondere(tem, tab) + (( - HLRaPVa) * (D
- DL)) :
( tem == "2.0 - 3.0" && DL <= D && AB > 0 ) ? Pondere(tem, tab) + (( HLRaPVa) * (D
- DL)) :
( tem == "3.0 - 1.0" && DL <= D && AB > 0 ) ? Pondere(tem, tab) + (( - HLRaLAa) * (D
- DL)) :
( tem == "1.0 - 3.0" && DL <= D && AB > 0 ) ? Pondere(tem, tab) + (( HLRaLAa) * (D -
DL)) :
( tem == "2.0 - 1.0" && DL <= D && AB > 0 ) ? Pondere(tem, tab) + (( - PVaLAa) * (D -
DL)) :
( tem == "1.0 - 2.0" && DL <= D && AB > 0 ) ? Pondere(tem, tab) + (( PVaLAa) * (D -
DL)) : AB;
// FIM
}
```

Programa A II. 7 - Programa Suavização de Fronteiras - PI Vegetação

```
{
//Declara as variáveis de entrada e saída:
Numerico AB, ABF ("NUMINT");
Numerico DL ("NUMDIST-LIN");
Tematico tem ("TEMDISTVEG");
Tabela tab (Ponderacao);

//Recupera as Variáveis:
tem = Recupere (Nome="VEGD2");
AB = Recupere (Nome="VEG");
DL = Recupere (Nome="VEG");

//Cria a variável de saída:
ABF = Novo(Nome="VEG+USOF", ResX= 90, ResY= 90, Min=0.0, Max=3.0);

//Cria a tabela de Valores de ponderação:
tab = Novo (Categorialni = "TEMDISTVEG",
"1.0 - 2.7" : 1.0, "2.7 - 1.0" : 2.7,
"3.0 - 1.0" : 3.0, "1.0 - 3.0" : 1.0,
"2.7 - 3.0" : 2.7, "3.0 - 2.7" : 3.0,
"1.2 - 1.0" : 1.2, "1.0 - 1.2" : 1.0,
"3.0 - 1.2" : 3.0, "1.2 - 3.0" : 1.2,
"3.0 - 1.4" : 3.0, "1.4 - 3.0" : 1.4 ,
"1.0 - 1.4" : 1.0, "1.4 - 1.0" : 1.4);

//Controle da distância
D = 400 ;

// Operação linear
HLRaLAa = (3.0 - 1.0)/(D*2); //Gleissolo/ Solos Alviais - HLRa - 3.0
PVaLAa = (2.0 - 1.0)/(D*2.0); // Latossolo Amarelo - LAa - 1.0
FdbFsl = (2.7 - 1.0)/(D*2); // Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas -
Fdb - 1.0
// Vegetação Secundária - Fsl -2.7
FdbAp = (3.0 - 1.0)/(D*2); //Áreas Antrópicas - Ap - 3.0 //
FdbFaa = (1.2 - 1.0)/(D*2); //Floresta Ombrófila Aberta Aluvial - Faa - 1.2
FdbPap = (1.4 - 1.0)/(D*2); //Formação Pioneira Arbórea Aluvial com Floresta
- Cap -1.4
ApPap = (3.0 - 1.4)/(D*2);
PapCpap = (1.4 - 1.0)/(D*2);

//Operação condicional
ABF =
( tem == "2.7 - 1.0" && DL <= D && AB > 0 ) ? Pondere(tem, tab) + (( - FdbFsl)
* (D - DL)) :
( tem == "1.0 - 2.7" && DL <= D && AB > 0 ) ? Pondere(tem, tab) + (( FdbFsl) *
(D - DL)) :
```

```

        ( tem == "3.0 - 1.0" && DL <= D && AB > 0) ? Pondere(tem, tab) + (( - FdbAp) *
(D - DL)) :
        ( tem == "1.0 - 3.0" && DL <= D && AB > 0) ? Pondere(tem, tab) + (( FdbAp) *
(D - DL)) :
        ( tem == "1.2 - 1.0" && DL <= D && AB > 0) ? Pondere(tem, tab) + (( - FdbFaa)
* (D - DL)) :
        ( tem == "1.0 - 1.2" && DL <= D && AB > 0) ? Pondere(tem, tab) + (( FdbFaa) *
(D - DL)) :
        ( tem == "1.4 - 1.0" && DL <= D && AB > 0) ? Pondere(tem, tab) + (( - FdbPap)
* (D - DL)) :
        ( tem == "1.0 - 1.4" && DL <= D && AB > 0) ? Pondere(tem, tab) + (( FdbPap) *
(D - DL)) :
        ( tem == "3.0 - 1.4" && DL <= D && AB > 0) ? Pondere(tem, tab) + (( - ApPap) *
(D - DL)) :
        ( tem == "1.4 - 3.0" && DL <= D && AB > 0) ? Pondere(tem, tab) + (( ApPap) *
(D - DL)) : AB;
//    FIM
}

```

*Programa A II. 8 - Ponderação das Intensidade Pluviométrica*

```

{
//    Declara as variáveis de entrada e saída:
Numerico mx, mm, mn, an ("NUMPLU_M");
Numerico pdmx, pdmm, pdmn ("NUMPLU_M");

//    Recupera as Variáveis:
mx = Recupere (Nome="IPMAX");
mm = Recupere (Nome="IPMED");
mn = Recupere (Nome="IPMIN");
na = Recupere (Nome="IPANO");
//    Cria a variável de saída:
fzmx = Novo (Nome="IPMAXINT", ResX= 400, ResY= 400, Escala = 250000, Min=0,
Max=1);
fzmm = Novo (Nome="IPMEDINT", ResX= 400, ResY= 400, Escala = 250000, Min=0,
Max=1);
fzmn = Novo (Nome="IPMININT", ResX= 400, ResY= 400, Escala = 250000, Min=0,
Max=1);

//    Aplica a função de normalização ? Sigmóide:

pdmx = (3.0/ 500)* mx;           // Período Chuvoso
pdmm = (3.0/ 500)* mm;           // Período Intermediário
pdmn = (3.0/ 500)* mn;           // Período de Estiagem
pd na= (3.0/ 500)* mn;           // Período Anual
//FIM
}

```

*Programa A II. 9 - Programa de Operação – Média Aritmética*

```
{
/Declara as variáveis de entrada e saída:
Numerico geo, gem, ped, veg, mn, mm, mx ("NUMINTF");
Numerico PMax, PMed, PMin ("NUMEDIA");
//Recupera as Variáveis:
geo = Recuperar (Nome="Geof");
gem = Recuperar (Nome="Gemf");
ped = Recuperar (Nome="Pedf");
veg= Recuperar (Nome="Vegf");
mx = Recuperar (Nome="Max");
mm = Recuperar (Nome="Med");
mn = Recuperar (Nome="Min");

//Cria a variável de saída:
PMax = Novo (Nome="MedMax", ResX= 150, ResY= 150, Escala = 250000, Min= 1.0,
Max= 3.0);
PMed = Novo (Nome="MedMed", ResX= 150, ResY= 150, Escala = 250000, Min= 1.0,
Max= 3.0);
PMin = Novo (Nome="MedMin", ResX= 150, ResY= 150, Escala = 250000, Min= 1.0,
Max= 3.0);

//Aplica operação:
PMax = (geo + gem + ped + veg + mx)/5;
PMed = (geo + gem + ped + veg + mm)/5;
PMin = (geo + gem + ped + veg + mn)/5;

//FIM
}
```

*Programa A II. 10 - Fatiamento*

```
{
//Declara as variáveis de entrada
Numerico mx, mm, mn, mt ("NUMMEDIA");
Tematico fatmx, fatmm, fatmn, fattl ("TEMMEDIA");
Tabela tab (Fatiamento);

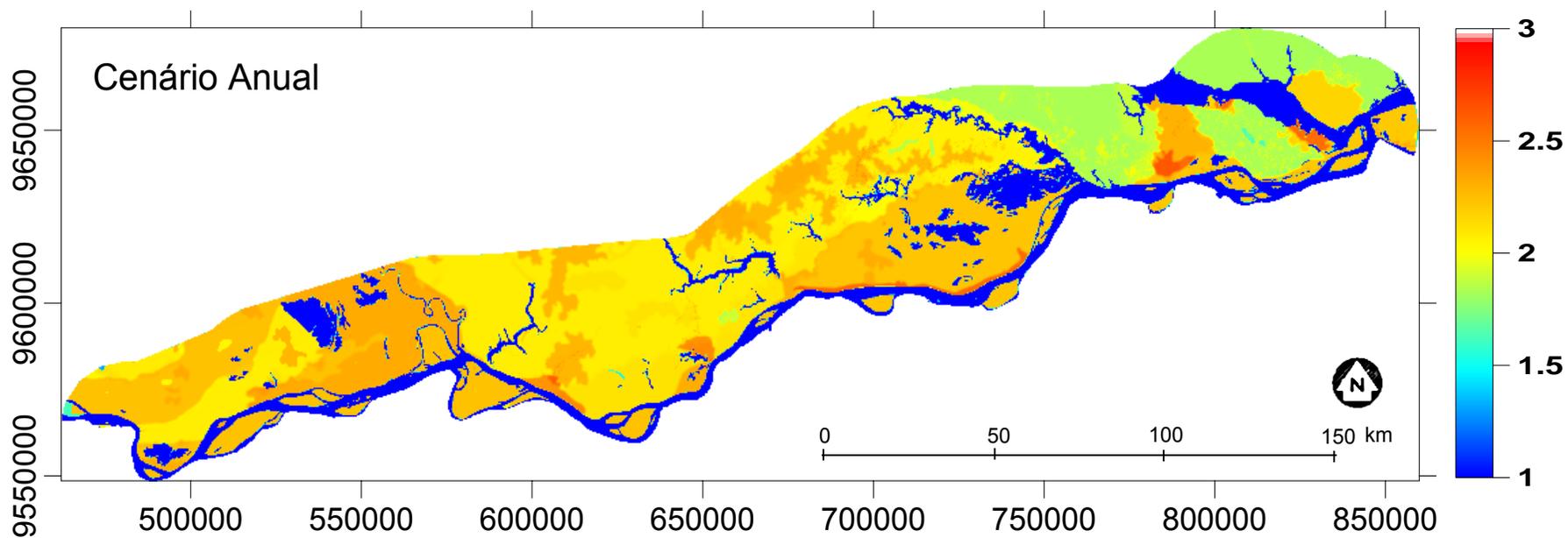
//Recupera a variável do tipo Numerico (Mapa altimetrico).
mx = Recupere (Nome = "MMax");
mm = Recupere (Nome = "MMed");
mn = Recupere (Nome = "MMin");
mt = Recupere (Nome="MediaTL");

//Cria a tabela com os valores acima definidos.
tab = Novo (CategoriaFim = "TEMMEDIA",
           [1.0,1.4] : "Estável",
           [1.4,1.8] : "Mod. Estável",
           [1.8,2.2] : "Med. Estável/Vulnerável",
           [2.2,2.6] : "Mod. Vulnerável",
           [2.6,3.0] : "Vulnerável" );

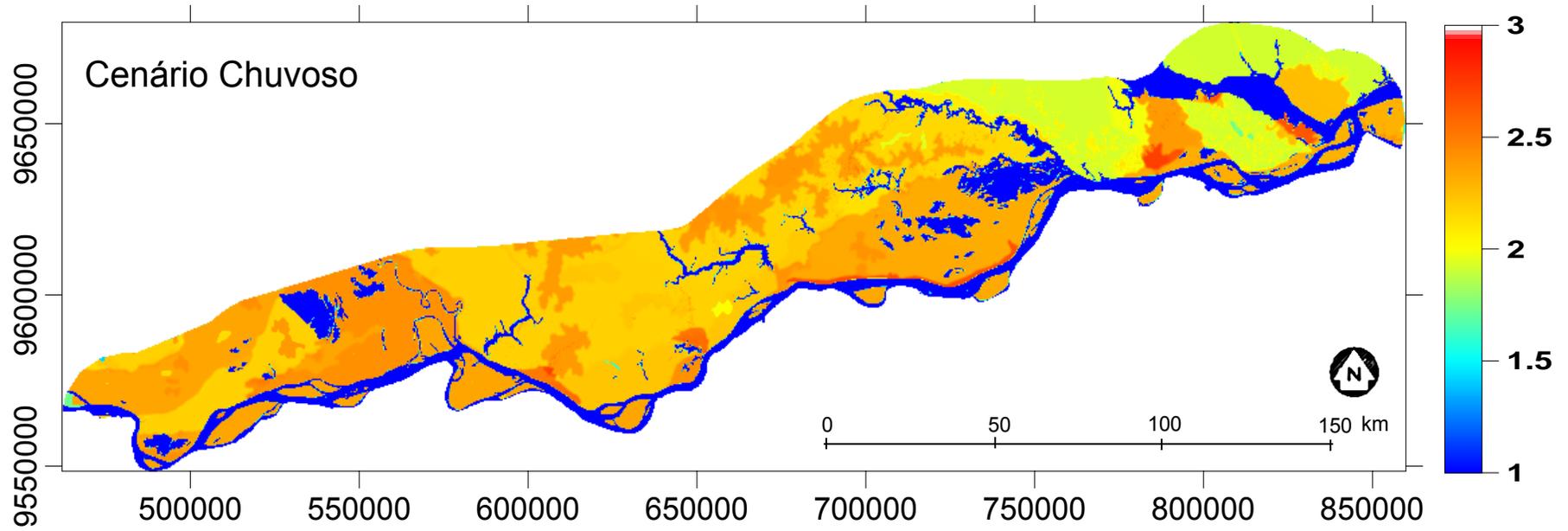
//Cria o PI Tematico de saida.
fatmx = Novo (Nome = "MMax_Fat", ResX=90, ResY=90, Escala=500000);
fatmm = Novo (Nome = "MMed_Fat", ResX=90, ResY=90, Escala=500000);
fatmn = Novo (Nome = "MMin_Fat", ResX=90, ResY=90, Escala=500000);
fattl = Novo (Nome = "MediaTL_Fat", ResX= 90, ResY=90, Escala=500000);

//Executa a operação de Fatiamento (Fatie)
fatmx = Fatie (mx, tab);
fatmm = Fatie (mm, tab);
fatmn = Fatie (mn, tab);
fattl = Fatie (mt, tab);
}
```

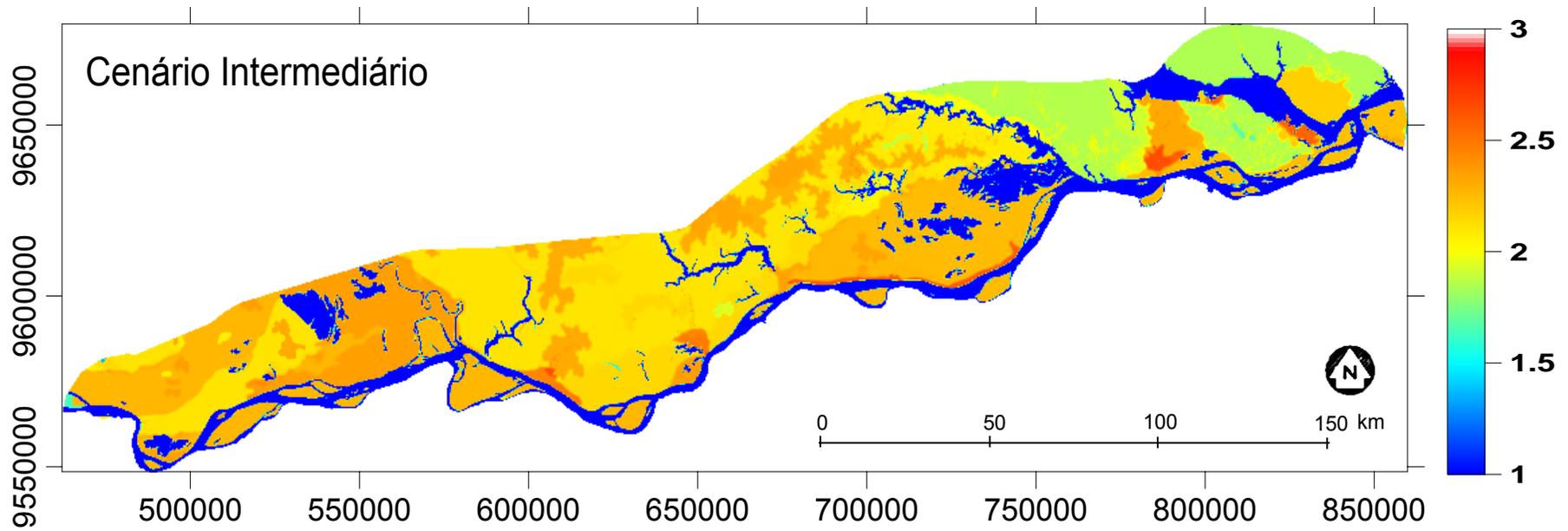
ANEXO III – MAPA DE VULNERABILIDADE À EROSÃO COM ESCALA CONTÍNUA



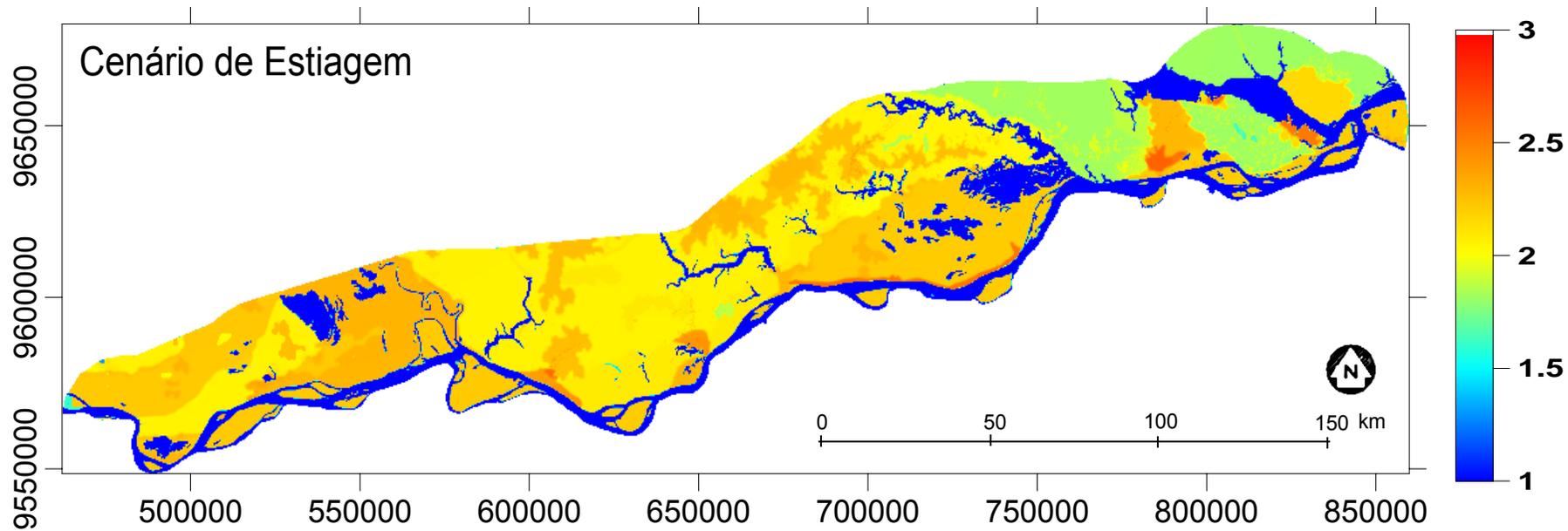
Figura\_A\_III 1 - Mapa de Vulnerabilidade à erosão com escala contínua: cenário anual.



Figura\_A\_III 2 - Mapa de Vulnerabilidade à erosão com escala contínua: cenário chuvoso.



Figura\_A\_III 3 - Mapa de Vulnerabilidade à erosão com escala contínua: cenário intermediário.



Figura\_A\_III 4 - Mapa de Vulnerabilidade à erosão com escala contínua: cenário de estiagem.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)