

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Daniel Macêdo Gonçalves

Cenários Futuros de Mudanças de Uso da Terra e Degradação
Ambiental no Semi-Árido do Nordeste Brasileiro

Trabalho de Graduação
2007

Civil

Daniel Macêdo Gonçalves

**Cenários Futuros de Mudanças de Uso da Terra e Degradação
Ambiental no Semi-Árido do Nordeste Brasileiro**

Orientadores

Prof. Dr^a. Íria Fernandes Vendrame (ITA)

Pesq. Dr. Marcos Daisuke Oyama (IAE)

Divisão de Engenharia Civil

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

COMANDO-GERAL DE TECNOLOGIA AEROESPACIAL

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2007

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**Divisão Biblioteca Central do ITA/CTA**

Gonçalves, Daniel Macêdo
Cenários Futuros de Mudanças de Uso da Terra e Degradação Ambiental no Semi-Árido do Nordeste Brasileiro / Daniel Macêdo Gonçalves.
São José dos Campos, 2007.
152f.

Trabalho de Graduação – Divisão de Engenharia Civil –
Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2007. Orientadores: Prof. Dr^a. Íria Fernandes Vendrame (ITA),
Pesq. Dr. Marcos Daisuke Oyama (IAE).

1. Degradação Ambiental. 2. Mudança de uso da terra. 3. Nordeste brasileiro. I. Comando-Geral de
Tecnologia Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Civil. II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GONÇALVES, Daniel Macêdo. **Cenários Futuros de Mudanças de Uso da Terra e Degradação Ambiental no Semi-Árido do Nordeste Brasileiro**. 2007. 152f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Daniel Macêdo Gonçalves

TÍTULO DO TRABALHO: Cenários Futuros de Mudanças de Uso da Terra e Degradação Ambiental no Semi-Árido do Nordeste Brasileiro

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2007

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

Daniel Macêdo Gonçalves

H-8 B Apto 231 – CTA – Vl. Acácias

12228-461 – São José dos Campos – SP

macedo.ita@gmail.com

**CENÁRIOS FUTUROS DE MUDANÇAS DE USO DA TERRA E DEGRADAÇÃO
AMBIENTAL NO SEMI-ÁRIDO DO NORDESTE BRASILEIRO**

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



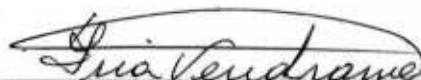
Daniel Macêdo Gonçalves
Autor



Prof. Dr. Marcos Daisuke Oyama (IAE)
Orientador



Prof. Dr.ª Íria Fernandes Vendrame (ITA)
Orientadora



Prof. Dr.ª Íria Fernandes Vendrame
Coordenadora do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 09 de novembro de 2007.

Dedicatória

Logo que fui aprovado no vestibular do ITA no ano de 2002, ainda no calor das comemorações, um veterano do quinto ano me falou de forma arrogante:

- Bixo! Você por acaso está achando que a parte mais difícil foi passar no vestibular? Se prepara, porque a parte difícil aqui é sair, e essa vai começar agora!

Difícil imaginar que aquela ingênua frase, saída da boca de um cara um pouco embriagado, e que eu mal conhecia, pudesse ser verdade. Até então seria impossível imaginar que houvesse qualquer desafio na face da Terra com grau de dificuldade maior que o tão temido vestibular do ITA. Contudo, não mais que dois meses foram suficientes para perceber que aquele veterano estava coberto de razão em cada palavra que havia dito.

Quão longos e tortuosos foram os caminhos traçados nos últimos cinco anos. Fernando Pessoa diria que “*tudo vale a pena quando a alma não é pequena*”. Mas para mim não tem negócio de alma não, nem pequena nem grande. Tudo isso valeu a pena porque o aprendizado não foi pequeno. Porque nada é mais recompensador que entrar numa batalha sem a certeza de sair vivo e ver que ao final dela saiu, além de vivo, muito mais fortalecido. É assim que o ITA funciona. É assim que o ITA ensina. E, ao final dessa batalha, não poderia eu deixar de dedicar todo esse esforço e agradecer àqueles que a tornaram, constituindo nessa história personagens não menos principais que aquele que propriamente a viveu de perto.

Em primeiro lugar, dedico e agradeço tudo à **minha mãe**, por sempre ter me ensinado o que é realmente fundamental e por nunca haver medido esforços de qualquer espécie para me educar e me fazer uma pessoa melhor. Mesmo estando longe, sempre conseguiu estar mais perto do que qualquer um possa imaginar. Se a excelência é definida como fazer sempre mais que o possível mesmo à custa de infindáveis sacrifícios, eis aí uma mulher que constitui um exemplo vivo dessa virtude;

À **minha avó** Risalva e à **minha irmã** Lucila, por suas conversas e conselhos reconfortantes, que certamente abrandaram a violência do caminho;

A todos os **meus familiares**, que confiaram e torceram por mim, sempre comemorando ao meu lado cada passo trilhado, cada sucesso alcançado;

Ao **meu conselheiro** Prof. Akio Baba, por todas as conversas informais em sua sala, regadas a baforadas de Carlton;

Ao **meu professor e grande amigo** Severo Filho (Cabeção - T.92'), pela ajuda e incentivos na época do vestibular;

Dedicatórias também àqueles que estiveram comigo o tempo todo, sofrendo e compartilhando as mesmas dificuldades: **meus companheiros de apartamento** – Sagat, carioca tranquilo que sempre tinha uma boa solução para consertar tudo que eventualmente quebrassem no apartamento; Guerra, carioca daqueles bem marrentos, que, durante cinco anos, teve a paciência de me acordar todas as manhãs para ir às aulas; Yuri, companheiro e irmão de longa data, passamos por tudo isso juntos desde os tempos do colégio Farias Brito; Saraiva e Macapá, os dois nortistas companheiros de todas as horas, mas principalmente daquelas em que as garrafas terminavam a noite vazias sobre a mesa, e os risos e histórias (ou “estórias”) tomavam conta do etílico ambiente; e Tadashi, meio paulista meio japonês, no começo um cara calado e viciado em joguinhos eletrônicos, mas que, aos poucos, conseguimos “educar” na mais pura ética nordestina (apenas não sei se a mãe dele apreciou o resultado).

Menções merecidas aos **meus companheiros e amigos de turma**: Anselmo, Crato, Quito, Suvela, Pit, XT, Suguinha, João, Liana, Macharoto, Tobias, Yuri (já citado), Torete, Manga e Fulgêncio, tendo sido os últimos três meus parceiros inseparáveis nos trabalhos em grupo.

E, por fim, uma dedicatória mais que especial ao meu amor, **minha namorada e companheira** de quase cinco anos, Carla, pelos cuidados, pelo amor, pelo carinho, pela compreensão nas horas difíceis, nos momentos que não pude estar ao seu lado por obrigações profissionais e que você soube entender, por todos os momentos felizes que passamos e todos os que ainda estão por vir. Você foi parte essencial em tudo isso que vivi, ou melhor, que vivemos, pois sempre esteve ao meu lado me encorajando e me dando forças para enfrentar tudo que veio pela frente. Essa vitória é nossa! Amo-te muito! E assim sempre será...

Agradecimentos

Ao fim de oito meses de árduo trabalho dedicados à elaboração dessa pesquisa, gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos:

Aos meus orientadores Prof^a. Dr^a. Íria Fernandes Vendrame (ITA) e Pesq. Dr. Marcos Daisuke Oyama (IAE) pela confiança, ensinamentos, orientações e fundamentais contribuições ao trabalho ora apresentado;

À Rita Márcia (INPE), bem como a toda a equipe da Dr^a. Regina Alvalá (INPE) pela ajuda e orientação no uso do *software* SPRING;

Ao relator do trabalho, Prof. Dr. Wilson Cabral de Sousa Júnior (ITA), pelas críticas sempre construtivas;

Ao pessoal do CPTEC/INPE de Cachoeira Paulista-SP, pela concessão dos dados físicos necessários ao trabalho;

Ao pessoal da Divisão de Ciências Atmosféricas do IAE, que de bom grado me recebeu e comigo conviveu durante todos esses meses de trabalho;

À minha namorada, Carla Augusto Gonçalves (USP), pelas valiosas orientações e dicas relacionadas ao tratamento e diagramação das figuras contidas no texto;

Por fim, meus agradecimentos a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram e ajudaram na realização do presente trabalho.

“Não é porque certas coisas são difíceis que nós não ousamos. É justamente porque não ousamos que tais coisas são difíceis!”

SÊNECA

Resumo

A região Nordeste do Brasil vem passando por um profundo processo de degradação ambiental devido ao uso inadequado do solo. As áreas mais susceptíveis à degradação encontram-se no Semi-Árido Nordestino (SAN). Dentro desse contexto, o presente trabalho buscou gerar cenários futuros da extensão de mudanças de uso da terra e degradação ambiental no SAN até o ano de 2050. Para tal, o SAN foi dividido em mesorregiões e, com base em dados georreferenciados relativos à precipitação, temperatura, topografia, pedologia e vegetação, juntamente com dados sócio-econômicos, elaboraram-se modelos simples que relacionam população (*POP*) ou Produto Interno Bruto (*PIB*) à porcentagem de área antropizada (*V*) e grau de degradação ambiental (*IDA*). Considerando projeções futuras de *POP* e *PIB*, obtiveram-se cenários de *V* e *IDA*. Os cenários mostram que, em 2050, as mesorregiões nordestinas terão, em média, entre 78% e 98% de suas áreas ocupadas pelo desenvolvimento de atividades antrópicas. Ainda, no mesmo ano, do total de 28 mesorregiões estudadas, de 17 a 25 delas apresentarão grau de degradação considerado “muito grave”. Espera-se que os cenários futuros obtidos neste trabalho possam subsidiar um planejamento regional sustentável para a região do SAN.

Abstract

The Northeast Brazil has been passing by a heavily environmental degradation process related to unsuitable land use. The more susceptible degradation areas are located in the semi-arid portion of the Brazilian Northeastern region (SAN). In this sense, this work intended to produce forecast scenarios to evaluate the land use changes and environmental degradation in the semi-arid portion of Northeast Brazil during the period 2000-2050. For this, SAN was divided in mesoregions. Then, based on the use of georefered data regarding precipitation, temperature, topography, dominance of soil types and vegetation, together with socio-economic data, simple mathematical models were created, which relate population (*POP*) or gross domestic product (*PIB*) to anthropic percentage area (*V*) and environmental degradation degree (*IDA*). Taking the forecasted values of *POP* and *PIB*, panoramas to *V* and *IDA* were obtained. For 2050, these panoramas show that the medium values of mesoregional *IDA* will be between 78% and 98%. Moreover, in the same year, out of 28 studied mesoregions, an amount between 17 and 25 will be concerned in “very high” environmental degradation degree. It is expected that the created forecast panoramas could be used to support the development of sustainable regional planning policies to SAN, as well as the adoption of initiatives to prevent the development of the degradation process.

Lista de Figuras

Figura 1 - Mapa Geopolítico do Nordeste	1
Figura 2 - Sub-regiões geográficas naturais do NEB.	4
Figura 3 - Relevo nordestino em corte transversal, por Jurandyr Ross.	6
Figura 4 - Caatinga Hiperxerófila.....	9
Figura 5 - Caatinga Hipoxerófila.....	9
Figura 6 - Nova Delimitação do SAN.	10
Figura 7 - Principais rotas do processo de ocupação do SAN.....	15
Figura 8 - Fluxograma do Mecanismo de Degradação provocado por Atividades Agrícolas inadequadas.	20
Figura 9 - Fluxograma do Mecanismo de Degradação causado por Extração indiscriminada de Recursos Florestais.....	21
Figura 10 - Fluxograma do Mecanismo de Degradação causado por Pecuária Extensiva com Sobrepastoreio.	21
Figura 11 - Legenda dos mapas de cobertura vegetal e uso da terra.	23
Figura 12 - Mapas de cobertura vegetal e uso da terra (série histórica 1750 – 1990).....	23
Figura 13 - Mapa Corrigido de cobertura vegetal e uso da terra (ano 1750).	24
Figura 14 - Mapa Corrigido de cobertura vegetal e uso da terra (ano 1850).	24
Figura 15 - Mapa Corrigido de cobertura vegetal e uso da terra (ano 1950).	25
Figura 16 - Mapa Corrigido de cobertura vegetal e uso da terra (ano 1990).	25
Figura 17 - Legenda dos Mapas de Cultivo Agrícola (em porcentagem de área cultivada). ...	26
Figura 18 - Mapas de cultivo agrícola (série histórica 1750 - 1990).....	26
Figura 19 - Mapa Corrigido de cultivo agrícola (1750).	27
Figura 20 - Mapa Corrigido de cultivo agrícola (1850).	27
Figura 21 - Mapa Corrigido de cultivo agrícola (1950).	28
Figura 22 - Mapa Corrigido de cultivo agrícola (1990).	28
Figura 23 - Mapa temático gerado a partir do Projeto PROVEG com sua respectiva legenda.	29
Figura 24 - Mapa temático de áreas antrópicas (gerado a partir do PROVEG).	30
Figura 25 - Mapa das Mesorregiões nordestinas.	33
Figura 26 - Níveis de precipitação média anual para o NEB, com valores em milímetros de chuva.....	36

Figura 27 - Níveis de temperatura média anual para o NEB, com valores em graus Celsius. .	37
Figura 28 - Vista em planta do relevo nordestino, com valores em metros acima do nível do mar.	37
Figura 29 - Vista em corte transversal do relevo nordestino, com valores em metros acima do nível do mar.	38
Figura 30 - Mapeamento pedológico do Nordeste citado por Lepsch (2002) – IBGE/EMBRAPA.	42
Figura 31 - Mapa das classes pedológicas predominantes em nível mesorregional.	42
Figura 32 - Exemplo de dados temáticos (mapa pedológico fictício).	53
Figura 33 - Exemplo de dados cadastrais (atributos PIB e População de países da América do Sul).	53
Figura 34 - Exemplo de Elementos de Rede.	54
Figura 35 - Exemplo de MNT (isolinhas de topografia).	54
Figura 36 - Exemplo de Imagem (composição colorida TM/LANDSAT para a região de Manaus/AM).	55
Figura 37 - Telas iniciais do banco de dados “ATLAS_BR” mostrando os diversos níveis geográficos em que se encontra dividido.	58
Figura 38 - Tabela de atributos do PI “precipitacao_media_mensal”.	60
Figura 39 - Tabela de atributos do PI “temperatura”.	61
Figura 40 - Tabela de atributos do PI “topografia”.	61
Figura 41 - Tabela de atributos dos PI’s “ProVeg” e “Cropland_cover”.	62
Figura 42 - Mapa temático de pedologia gerado no SPRING, com a sua respectiva legenda.	64
Figura 43 - Tabela de atributos do PI “Populacao”.	65
Figura 44 - Tabela de atributos do PI “IDH”.	66
Figura 45 - Tabela de atributos do PI “PIB”.	67
Figura 46 - Fluxograma representativo da estrutura do banco de dados criado.	68
Figura 47 - Gráfico de Dispersão (ilustrativo).	70
Figura 48 - Reta de Regressão e Desvio Aleatório (ilustrativo).	71
Figura 49 - Utilização do modelo probabilístico para explicar a variação de y (ilustrativo).	73
Figura 50 - Gráficos de dados para diferentes valores de R^2 (ilustrativo).	74
Figura 51 - Gráfico da Função Exponencial Multiplicativa “intrinsecamente linear” (ilustrativo).	75
Figura 52 - Gráfico mostrando valores futuros previstos pelo IBGE para a taxa de crescimento populacional anual do Brasil.	84

Figura 53 - Gráfico mostrando os desvios de IDH mesorregional em relação à média, para o ano 2000.	85
Figura 54 - Gráfico de valores futuros da taxa de crescimento anual do PIB brasileiro.	89
Figura 55 - Gráficos comparativos entre os valores de V nos cenários 1 e 2, para a mesorregião “Centro-Norte Piauiense”.	94
Figura 56 - Mapeamento do GDA para o SAN.	97
Figura 57 - Mapeamento do GDA mesorregional gerado em SPRING.	98
Figura 58 – Área Antropizada mesorregional média.	119
Figura 59 – Quantidades de Mesorregiões por classes de variação de V	120
Figura 60 – Quantidades de mesorregiões por classes de IDA.	120
Figura 61 - Mapeamento da área antropizada para o cenário atual (ano 2000).	124
Figura 62 - Mapeamento da área antropizada para o cenário 1 (ano 2050).	125
Figura 63 - Mapeamento da área antropizada para o cenário 2 (ano 2050).	126
Figura 64 - Mapeamento da degradação ambiental para o cenário atual (ano 2000).	127
Figura 65 - Mapeamento da degradação ambiental para o cenário 1 (ano 2050).	128
Figura 66 - Mapeamento da degradação ambiental para o cenário 2 (ano 2050).	129

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Resumo das atividades econômicas atualmente desenvolvidas nos estados do NEB.	19
Tabela 2 - Estados inseridos no SAN e suas respectivas mesorregiões.	32
Tabela 3 - Dados de áreas de cultivo agrícola do projeto ISLSCP2 em diversos anos.	35
Tabela 4 - Dados de cobertura vegetal do PROVEG para suas diversas classes com ocorrência no SAN.	35
Tabela 5 - Dados de precipitação média mensal nas mesorregiões do SAN entre os anos 1961 e 1990.	39
Tabela 6 - Dados de temperatura média mensal nas mesorregiões do SAN entre os anos 1961 e 1990.	40
Tabela 7 - Dados topográficos das mesorregiões inseridas no SAN.	41
Tabela 8: Características e formas de utilização dos principais solos que compõem as diversas mesorregiões nordestinas.	43
Tabela 9 - População Residente Total, em 1000 x habitantes, das mesorregiões inseridas no SAN.	49
Tabela 10 - Índice de Desenvolvimento Humano das mesorregiões inseridas no SAN.	50
Tabela 11 - Produto Interno Bruto, em milhões de R\$ de 2000, das mesorregiões inseridas no SAN.	51
Tabela 12 - Localização e características dos dados de precipitação mensal no SPRING.	60
Tabela 13 - Localização e características dos dados de temperatura no SPRING.	60
Tabela 14 - Localização e características dos dados de topografia no SPRING.	61
Tabela 15 - Localização e características dos dados de vegetação no SPRING.	62
Tabela 16 - Classes pedológicas com ocorrência predominante nas mesorregiões do Nordeste.	63
Tabela 17 - Localização e características dos dados pedológicos no SPRING.	64
Tabela 18 - Localização e características dos dados demográficos no SPRING.	65
Tabela 19 - Localização e características dos dados de IDH no SPRING.	66
Tabela 20 - Localização e características dos dados de PIB no SPRING.	66
Tabela 21 - Características e especificações do banco de dados gerado.	67
Tabela 22 - Valores de área antropizada mesorregional (<i>V</i>) compatibilizados (ou corrigidos).	77

Tabela 23 - Valores dos Parâmetros Mesorregionais para o modelo matemático do Cenário 1.	79
Tabela 24 - Valores dos Parâmetros Mesorregionais para o modelo matemático do Cenário 2.	81
Tabela 25 - Quadro-Resumo do Modelamento Matemático da Área Antropizada (<i>V</i>).	82
Tabela 26 - Taxas de crescimento populacional anual para o Brasil.....	83
Tabela 27 - Valores de IDH mesorregionais para o ano 2000, e seus respectivos desvios em relação à média.	86
Tabela 28 - Taxa de crescimento populacional mesorregional corrigida pelo desvio do IDH.	87
Tabela 29 - Valores futuros de População Residente Total mesorregional, em habitantes.	88
Tabela 30 - Valores Futuros da taxa de crescimento anual do PIB brasileiro, em %.....	90
Tabela 31 - Valores futuros de Produto Interno Bruto mesorregional, em MM de R\$ de 2000.	91
Tabela 32 - Valores Futuros de Área Antropizada (<i>V</i>) mesorregional, em %, para o cenário 1.	92
Tabela 33 - Valores Futuros de Área Antropizada (<i>V</i>) mesorregional, em %, para o cenário 2.	93
Tabela 34 - Áreas territoriais das mesorregiões trabalhadas.	96
Tabela 35 - Grau de Desertificação Atual (GDA) mesorregional.	97
Tabela 36 - Valores do fator erodibilidade (<i>K</i>) para as associações de solos presentes nas mesorregiões nordestinas.....	102
Tabela 37 - Parâmetros e Variáveis mesorregionais para o cálculo de <i>IDA</i>	109
Tabela 38 - Valores futuros de <i>DP</i> mesorregionais para o cenário 1.....	110
Tabela 39 - Valores futuros de <i>IDA</i> _{absoluto} mesorregionais para o cenário 1.....	111
Tabela 40 - Valores futuros de <i>IDA</i> mesorregionais para o cenário 1.....	112
Tabela 41 - Valores futuros de <i>DP</i> mesorregionais para o cenário 2.....	113
Tabela 42 - Valores futuros de <i>IDA</i> _{absoluto} mesorregionais para o cenário 2.....	114
Tabela 43 - Valores futuros de <i>IDA</i> mesorregionais para o cenário 2.....	115
Tabela 44- Classes de Degradação Ambiental futura para o cenário 1.....	116
Tabela 45 - Classes de Degradação Ambiental futura para o cenário 2.....	117
Tabela 46 – <i>Ranking</i> de amplitudes de variação de classes de degradação ambiental.....	122
Tabela 47- <i>Ranking</i> de gravidade de degradação ambiental.	123

Lista de Abreviaturas e Siglas

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do INPE.

DI – Deflator Implícito.

DMA – Divisão de Meio Ambiente do INPE.

DP – Densidade Populacional.

DPI – Divisão de Processamento de Imagens do INPE.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

ETP – Evapotranspiração Potencial.

GDA – Grau de Desertificação Atual.

IA – Índice de Aridez.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IC – Intervalo de Confiança.

IDA – Índice de Degradação Ambiental.

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

IPEA – Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas.

ISLSCP2 – *International Satellite Land-Surface Climatology Project Initiative II.*

LEGAL – Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico.

MIN – Ministério da Integração Nacional.

MSR – Mesorregião.

NASA – *National Aeronautics and Space Administration (USA).*

NEB – Nordeste Brasileiro.

ONU – Organização das Nações Unidas.

PI – Plano de Informação

PIB – Produto Interno Bruto.

PNDR – Política Nacional de Desenvolvimento Regional.

PNE – Potencial Natural à Erosão.

PROVEG – Projeto de Atualização da Vegetação.

PRT – População Residente Total.

RE – Risco de Erosão.

SAN – Semi-Árido Nordestino.

SIG – Sistema de Informações Geográficas.

SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas.

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste.

T – Erosão Tolerável.

UF – Unidade Federativa.

UNCED – Conferência Internacional das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento.

UNEP – *United Nations Environment Programme*.

USLE – *Universal Soil Loss Equation*.

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical.

Sumário

1	Introdução	1
2	O Semi-Árido Nordestino: caracterização do espaço físico.....	3
2.1	Aspectos gerais das principais características ambientais do Nordeste brasileiro.....	4
2.1.1	Clima	4
2.1.2	Relevo.....	6
2.1.3	Vegetação	7
2.2	Delimitação do SAN	10
3	Degradação ambiental e uso da terra no SAN.....	11
3.1	Introdução.....	11
3.2	Histórico do uso da terra e desenvolvimento econômico do NEB.....	12
3.2.1	O Cultivo da Cana-de-Açúcar.....	12
3.2.2	A Pecuária extensiva e a ocupação do espaço Semi-Árido.....	13
3.2.3	A Cultura do Algodão.....	16
3.3	Uso da terra e desenvolvimento econômico do NEB nos dias atuais	17
3.4	Principais processos e mecanismos causadores de Degradação Ambiental e seus principais efeitos no SAN nos dias atuais.....	19
4	Análise de Mapas.....	22
4.1	Mapas Utilizados	22
4.2	Análise crítica dos mapas.....	22
4.2.1	Projeto ISLSCP2/NASA.....	23
4.2.2	Projeto PROVEG.....	29
5	Aquisição de Dados.....	31
5.1	Mesorregiões dos estados nordestinos inseridos no SAN.....	31
5.2	Dados Ambientais.....	34
5.2.1	Vegetação	34
5.2.2	Precipitação, Temperatura e Topografia.....	36
5.2.3	Pedologia	41
5.3	Dados Sócio-Econômicos.....	45
5.3.1	População Residente Total - PRT	46
5.3.2	Índice de Desenvolvimento Humano - IDH	46

5.3.3	Produto Interno Bruto - PIB.....	48
5.3.4	Séries Históricas Compiladas	48
6	Implementação de um Banco de Dados Georreferenciado.....	52
6.1	Introdução e Conceitos	52
6.2	Tipos de dados em Geoprocessamento	53
6.3	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING).....	55
6.3.1	Descrição conceitual	56
6.4	Inserção dos Dados	57
6.4.1	Banco de dados de partida	57
6.4.2	Inserção de dados ambientais	59
6.4.3	Inserção de dados sócio-econômicos	64
6.5	Características, especificações e estrutura do banco de dados.....	67
7	Modelamento Matemático da Área Antropizada (V)	69
7.1	Introdução e Conceitos	69
7.2	Compatibilização entre os valores conhecidos de V pelo PROVEG/INPE e ISLSCP2/NASA	76
7.3	Modelamento Matemático da variável V.....	77
7.3.1	Cenário 1	78
7.3.2	Cenário 2	80
7.3.3	Resumo do Modelamento Matemático de V.....	82
8	Previsão de Área Antropizada (V)	83
8.1	Introdução.....	83
8.2	Previsão de Dados Populacionais	83
8.3	Previsão de Dados Econômicos	89
8.4	Valores Futuros da variável V.....	91
8.4.1	Cenário 1	92
8.4.2	Cenário 2	93
9	Modelamento Matemático do Índice de Degradação Ambiental (IDA).....	95
9.1	Introdução e Conceitos	95
9.2	Variáveis de Influência	95
9.2.1	Densidade Populacional (DP).....	95
9.2.2	Grau de Desertificação Atual (GDA)	96

9.2.3 Índice de Aridez (IA).....	99
9.2.4 Risco de Erosão (RE).....	100
9.3 Modelo Matemático do IDA_{absoluto}	104
9.3.1 Cálculo dos Parâmetros a e b	106
9.3.2 Modelo Proposto.....	106
9.4 Modelo Matemático do IDA	107
10 Valores Futuros do Índice de Degradação Ambiental (IDA)	108
10.1 Valores de IA , RE , $DP_{\text{mín}}$ e GDA_i	108
10.2 Cenário 1	109
10.3 Cenário 2	112
10.4 Classes de Degradação Ambiental	115
11 Resultados Adicionais e Discussão	118
12 Conclusões	130
Referências Bibliográficas	131

1 Introdução

O Nordeste brasileiro (NEB), região com área total de 1.558.196 km², localizada entre os paralelos 2°S a 18°S e os meridianos 35°W a 50°W, é composto por nove estados da Federação: Maranhão (MA), Piauí (PI), Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA). No NEB, encontra-se, segundo dados relativos ao ano de 2002 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, uma população de 49.833.207 habitantes (BRASIL, 2003), o que confere à região uma densidade demográfica aproximada de 32,0 habitantes/km². Grande parte do território nordestino é coberto pela caatinga, bioma que representa, em toda a sua extensão, segundo Bernardes (1985), aproximadamente uma décima parte do território nacional.

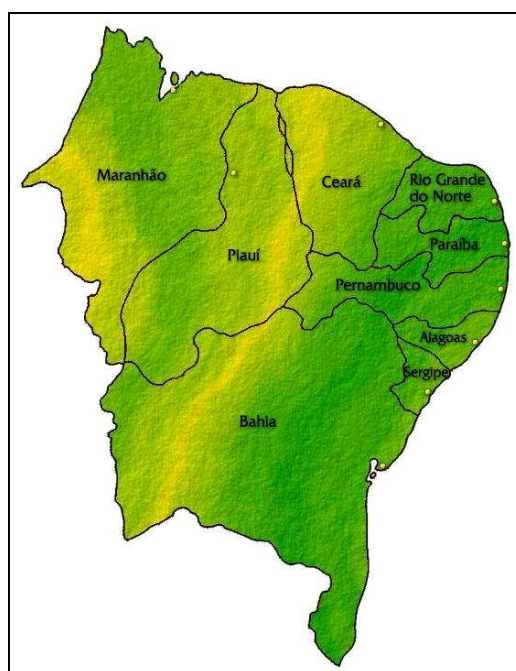


Figura 1 - Mapa Geopolítico do Nordeste ¹

Nas últimas décadas, acompanhando o acentuado ritmo de desenvolvimento do país, a região Nordeste do Brasil vem passando por profundos processos de transformação motivados pelo substancial aumento de sua população e pelo intenso desenvolvimento de atividades econômicas. Tais transformações afetam sobremaneira o uso da terra e a degradação ambiental. Constituindo o solo um dos recursos naturais mais utilizados pelo homem para as mais diversas atividades (CABRAL, 2005), em especial as de natureza agropecuária, mostra-

¹ Créditos: Adaptado de *Rede Brasileira*. Disponível em <www.redebrasileira.com/mapas/regioes/nordeste.asp> Acesso em: 25 mai. 2007.

se extremamente necessário o estudo das características e dos mecanismos de degradação do mesmo, a fim de se estabelecer um eficiente planejamento espacial de ocupação e uso do solo visando minimizar a sua degradação.

Nesse sentido, buscou o presente trabalho estabelecer cenários futuros de uso da terra e degradação ambiental para o SAN. Para tal, inicialmente, informações espacializadas e georreferenciadas relativas ao SAN foram integradas em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Com base nessas informações e em projeções futuras de população e Produto Interno Bruto (PIB), por meio de modelos matemáticos simples, elaboraram-se os cenários futuros. Espera-se que o presente trabalho assista o planejamento regional para a região, complementando as previsões de impactos nos biomas devido às mudanças climáticas globais (SALAZAR et al., 2007).

2 O Semi-Árido Nordestino: caracterização do espaço físico

O complexo regional do Nordeste compreende quatro grandes sub-regiões geográficas naturais definidas em função das diferentes características de clima e vegetação:

Meio-Norte

O Meio-Norte compreende todo o estado do Maranhão e parte do Piauí, constituindo uma região de transição entre o Sertão e a Amazônia. Dessa forma, em sua porção ocidental, possui clima bastante chuvoso, mais semelhante ao clima equatorial, que predomina na região amazônica. Já em sua porção oriental, o índice de precipitação anual cai, tornando o clima mais semelhante ao da região sertaneja. Essa diferença de precipitação entre as porções ocidental e oriental gera um elevado gradiente zonal de precipitação. A vegetação característica do Meio-Norte é a “Mata dos Cocais”, com a predominância das palmeiras babaçu², em sua porção mais úmida, e carnaúba³, em sua porção mais seca.

Sertão

O Sertão é a sub-região de maior extensão territorial e compreende parte de todos os Estados do NEB, com exceção do Maranhão, constituindo, do ponto de vista físico e sócio-econômico, a sub-região que apresenta os maiores desafios do Nordeste brasileiro. Seu clima predominante é o semi-árido, caracterizado pela irregularidade e escassez de chuvas, bem como por períodos de longas estiagens. Sua vegetação preponderante é a caatinga⁴, cujas espécies (xerófilas) são adaptadas à aridez da região.

Agreste

Assim como o Meio-Norte, o Agreste constitui uma região de transição entre o Sertão e a Zona da Mata. Localizado no alto do Planalto da Borborema – obstáculo natural para que a umidade oceânica, trazida pelos ventos alísios, adentre o Sertão –, estende-se do sul da Bahia até o Rio Grande do Norte. Dessa forma, em sua porção ocidental, o clima é mais seco, dada a sua interface com o Sertão. Já na parte oriental, possui um clima mais úmido, em face à proximidade com a Zona da Mata. Da mesma forma que o Meio-Norte, trata-se de uma região de elevado gradiente zonal de precipitação. Sua vegetação compreende várias fisionomias,

² Nomenclatura binomial: *Orbignya phalerata*.

³ Nomenclatura binomial: *Copernicia prunifera*.

⁴ Etimologia: na língua indígena, mato (*caa*) branco (*tinga*). CUNHA, A. G. da. Dicionário Etimológico da Língua Portuguesa. 2 ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.

indo desde a caatinga, típica do Sertão, a resquícios de Mata Atlântica nas serras mais altas do planalto.

Zona da Mata

Tal zona foi a primeira sub-região a ser ocupada durante o período de colonização do Brasil. Localizada entre o Planalto da Borborema e o litoral, estendendo-se, assim como o Agreste, desde o sul da Bahia até o Rio Grande do Norte, essa região tinha como vegetação inicial a Mata Atlântica, que foi sendo gradualmente substituída pelas plantações de cana-de-açúcar e cacau. Constitui a região mais rica do Nordeste, concentrando em sua área seis capitais estaduais do NEB, incluindo Salvador, Recife e Natal.



Figura 2 - Sub-regiões geográficas naturais do NEB.⁵

2.1 Aspectos gerais das principais características ambientais do Nordeste brasileiro

2.1.1 Clima

O NEB é considerado uma região atípica em relação a outras regiões tropicais dentro da mesma faixa latitudinal, pois, usualmente, a faixa tropical é caracterizada por precipitações elevadas que favorecem o predomínio de cobertura arbórea. No NEB, predomina, em sua

⁵ Adaptado de Wikipédia. Original disponível em < http://pt.wikipedia.org/wiki/Região_Nordeste_do_Brasil >. Acesso em: 15 abr. 2007.

maior parte, o clima semi-árido, o que condiciona sobremaneira as atividades sócio-econômicas da região (ARAÚJO et al, [ca. 2004]).

Relativamente ao ciclo anual de temperatura, a variação sazonal chega somente a poucos graus (Celsius), i.e., a temperatura média mensal pode ser considerada aproximadamente constante ao longo de todo o ano. Relativamente ao ciclo anual de precipitação, o NEB apresenta dois períodos bem definidos, classificados como “período seco” e “período chuvoso” (ALVES, 1997), aos quais os sertanejos chamam, respectivamente, “verão” e “inverno”.

De uma forma geral, conforme Ferreira (2002), o NEB possui três tipos distintos de clima: Semi-árido, Litorâneo úmido e Tropical. O clima semi-árido, por compreender a maior parte do NEB, será descrito mais detalhadamente a seguir.

Clima Semi-árido

O clima semi-árido, caracterizado por precipitações médias anuais abaixo de 800 mm e estação chuvosa concentrada em poucos meses, domina toda a sub-região geográfica natural do Sertão, podendo atingir, em períodos de estiagem, áreas contíguas do Agreste e do Meio-Norte. Nessa região, o período chuvoso predominante vai de fevereiro a maio, causado principalmente pelo posicionamento mais austral da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Segundo Alves (1997), em grande parte dessa região, a precipitação nesse período é superior a 60% do total anual, podendo, segundo Santos (2004), inclusive, ultrapassar a marca de 80% do total anual. Além disso, os totais pluviométricos diminuem à medida que se adentra a região sertaneja. Segundo Castro (1965), “desta irregularidade de chuvas resultam desde o empobrecimento progressivo do solo pela erosão até as crises calamitosas de fome na região”. Ainda nesse sentido, temos:

O solo arenoso, pouco espesso, quase sempre pobre em elementos nutritivos e ricos em seixos rolados, é um produto dos extremos climáticos, dos largos períodos de exagerada insolação e dos aguaceiros intempestivos, desagregando as rochas areníticas e acelerando todos os processos de demolição que nelas se realizam. [...] Em certos pontos, principalmente nas depressões e nos baixios, surgem manchas bem mais férteis de solos argilosos, mais ou menos vermelhos, ou mesmo de barro escuro, formando os tabuleiros aluvionais e as várzeas de tabuleiros. Nestes pontos, não só a composição mas as qualidades físico-químicas do solo são bem diferentes, tornando-os umíferos e férteis. São, porém, pequenas manchas limitadas. (CASTRO, 1965).

Clima Litorâneo úmido

Ocorre predominantemente no litoral leste, sendo caracterizado por totais pluviométricos elevados, com uma grande incidência de chuvas orográficas.

Clima Tropical

É caracterizado pela existência de duas estações bem definidas, verões chuvosos e invernos secos, tendo sua maior abrangência no Meio-Norte.

2.1.2 Relevo

Em relação ao estudo do relevo brasileiro, temos que a classificação mais moderna, e aceita pela maior parte do meio científico, é a estabelecida em 1995 por Jurandyr Ross. Em sua elaboração, o pesquisador utilizou trabalhos anteriores de classificação de relevo, principalmente os elaborados pelo professor Aziz Ab'Saber, em 1958, bem como em mapas e fotos de radar, obtidos por aerofotogrametria, oriundas do Projeto RadamBrasil (1970 – 1985), identificando 28 unidades de relevo em todo o território nacional.

Para a região nordestina, em termos gerais, temos dois planaltos (da Bacia do Parnaíba e da Borborema) que circundam a Depressão Sertaneja⁶. A figura a seguir representa um corte de 1.500 km de extensão, que vai do interior do Maranhão ao litoral pernambucano.



Figura 3 - Relevo nordestino em corte transversal, por Jurandyr Ross.

Fonte: Coelho e Terra, 2003.

Considerando a porção semi-árida do NEB, temos que a mesma se estende, em sua maior parte, por depressões interplanálticas (superfície entre 100 e 500 metros de altitude⁷), ou seja, localizada entre planaltos, e às vezes de alguma forma embutidos entre maciços antigos e chapadas, como a Diamantina e a do Araripe.

⁶ Depressão Sertaneja é o que, em classificações antigas, erroneamente, era designada por Planalto Nordestino.

⁷ Conceito introduzido por J. Ross, em 1995.

2.1.3 Vegetação

A vegetação do NEB é bastante rica e diversificada. Conforme afirma Bernardes (1985), “de tal modo é variada a paisagem vegetal característica do NEB, que seria preferível referir-se a ela no plural.”.

As quatro sub-regiões geográficas naturais em que o Nordeste subdivide-se apresentam aspectos de vegetação, em regra, distintos, uma em caráter predominante, e outras em caráter secundários. Uma vez que o estudo realizado foca-se na região específica de clima semi-árido, restringindo-o à sub-região sertaneja, apenas a vegetação típica desta foi analisada de forma pormenorizada. Em relação às demais, seguem os aspectos da vegetação predominante.

Mata Atlântica

Originalmente, no NEB, ocupava toda a faixa litorânea entre o Rio Grande do Norte e a Bahia, área correspondente à sub-região da Zona da Mata. Em virtude da ação antrópica iniciada no século XVI, com o início do processo de colonização, e continuada hoje com a exploração agrícola e industrial, além da ocupação desordenada do solo, apenas uma pequena parte persiste, localizada em espaços exíguos ao longo da costa leste nordestina.

Mata dos Cocais

Constitui uma vegetação de transição entre os climas semi-árido e equatorial, característico da região Norte do país. No NEB, abrange os estados do Maranhão e Piauí, na sub-região Meio-Norte, e, de forma atípica, pequenas partes dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte. Suas espécies predominantes são o babaçu e a carnaúba.

Cerrado

Vegetação típica da região central do Brasil, o cerrado, no NEB, tem pouca predominância, abrangendo somente pequenas áreas do sul do Maranhão e do oeste da Bahia.

Vegetação litorânea

No NEB, abrange a região litorânea em praticamente toda a sua extensão, variando sua predominância conforme a região. É caracterizada pelos mangues, que se desenvolvem em áreas costeiras, em solos argilosos e barrentos, alagados pelas altas das marés.

Caatinga

A caatinga constitui um bioma brasileiro que cobre, em toda a sua extensão, segundo Bernardes (1985), aproximadamente uma décima parte do território nacional. Na região sertaneja, onde notoriamente impera o clima semi-árido, abrange uma área de vai desde a faixa litorânea de parte do Piauí e Rio Grande do Norte e todo o Ceará, até o sul da Bahia, englobando boa parte também dos estados da Paraíba, Pernambuco e Alagoas, além de uma porção bastante exígua do estado de Sergipe. Fora do NEB, é predominante ainda na região norte do estado de Minas Gerais. Variadas espécies vegetais compõem a caatinga, indo desde a predominância de árvores, constituindo a “caatinga arbórea” nas regiões sertanejas com maiores índices pluviométricos (caatinga hipoxerófila), a arbustos, constituindo a “caatinga arbustiva” em regiões mais secas do sertão (caatinga hiperxerófila).

A vegetação comum é pobre, formada de pastos naturais ralos e secos e de arbustos enfezados que exprimem em seus troncos e ramos tortuosos, em seu enfolhamento maciço e duro, a pobreza das terras e a irregularidade do regime de chuvas. [...] Nas caatingas, a vegetação alcança já uma plena adaptação à secura do clima, [...] organizada para condensar a umidade atmosférica das madrugadas frescas e para conservar nas folhas fibrosas e nos tubérculos as águas da estação chuvosa. (RIBEIRO, 1995).

Ao contrário do que muito se pensa, não é a caatinga um bioma inteiramente seco, desprovido do verde exuberante que contempla grande parte do território brasileiro. No período chuvoso do ano, o verde predomina na paisagem. Contudo, tão logo cessa o período de chuvas, as árvores e arbustos, que ainda conseguem manter seu vigor com a pouca água que resta no solo, por questão de sobrevivência, perdem suas folhas, formando a imagem típica dos sertões semi-áridos nordestinos, um emaranhado de galhos secos retorcidos, onde a vida já parece há muito haver sucumbido.



Figura 4 - Caatinga Hiperxerófila.
Fonte: Embrapa Solos UEP Recife, 2006.⁸



Figura 5 - Caatinga Hipoxerófila.
Fonte: Embrapa Solos UEP Recife, 2006.

⁸ Home Page: www.uep.cnps.embrapa.br

2.2 Delimitação do SAN

Conforme Brasil ([ca. 2005]), a antiga delimitação do SAN, com redação dada pela Lei nº 7.827, de 27 de dezembro de 1989, era baseada na área de atuação da já extinta Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), em conjunto com o critério de precipitação pluviométrica igual ou inferior a 800 mm. Com a extinção do órgão supracitado em 2001, o Ministério da Integração Nacional assumiu a incumbência de revisar a inclusão dos municípios pertinentes à área do SAN, os quais são beneficiados com tratamento diferenciado das políticas de créditos e benefícios fiscais. Assim, para a nova delimitação do SAN, foram adotados os seguintes critérios técnicos:

- Precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm;
- Índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; e
- Risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

A partir da aplicação de tais critérios, a equipe de estudos do Ministério da Integração Nacional chegou à seguinte configuração para a delimitação do SAN:

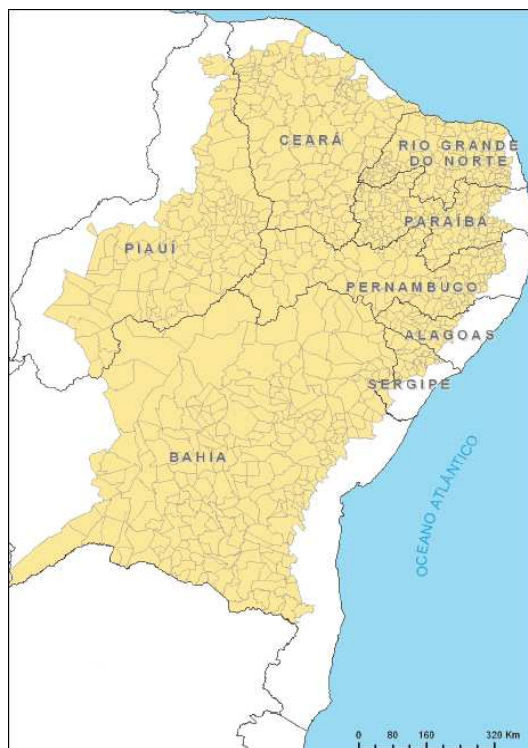


Figura 6 - Nova Delimitação do SAN.

Fonte: Brasil ([ca.2005]).

3 Degradação ambiental e uso da terra no SAN

3.1 Introdução

Um dos maiores problemas enfrentados pelas regiões semi-áridas, não apenas no Brasil, mas em todo o mundo, é o crescente processo de Desertificação que, apesar de depender diretamente de fatores do meio natural, vem sendo acelerado por ações antrópicas, principalmente quando desenvolvidas em áreas de grande susceptibilidade à degradação. O processo de Desertificação vem sendo amplamente discutido em todo o planeta, dado que, segundo Williams e Balling Jr. (1995 apud OLIVEIRA-GALVÃO, 2001), dados de 2002 do *United Nations Environment Programme* (UNEP) revelam que cerca de 70% de todas as terras secas destinadas à agricultura no mundo sofrem com alguma forma de degradação, o que leva a considerar a Desertificação como uma ameaça direta a mais de 250 milhões de pessoas, afetando ainda, indiretamente, outros 750 milhões.

Em 1992, a cidade do Rio de Janeiro sediou a Conferência Internacional das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), que também ficou conhecida como ECO-92, onde, em um de seus documentos finais, a “Agenda 21”, a Desertificação foi definida como:

A degradação das terras nas zonas áridas, semi-áridas e subúmidas secas, considerando-se aí, inseridas na definição de “terras”, os aspectos relativos aos solos e aos recursos hídricos. Resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas, a Desertificação compreende o processo de maior degradação ambiental (abrangendo aspectos naturais, sociais e econômicos) que atingem as áreas afetadas pelas secas. (OLIVEIRA-GALVÃO, 2001).

Da definição acima se pode afirmar que a ocorrência da desertificação não se vincula unicamente aos aspectos relativos à aridez, semi-aridez ou à subumidade dos ambientes. O agente determinante no desenvolvimento dos processos de degradação que compõem a Desertificação é o uso da terra inadequado, refletido especialmente nas atividades de sobrepastoreio, desmatamento ou uso agrícola inadequado à capacidade de suporte do meio, aplicado aos sistemas naturalmente secos (FERREIRA et al., 1994). Assim, a desertificação caracteriza-se por um processo essencialmente dinâmico, resultante da interação de fatores naturais e antrópicos, ocasionando redução da biodiversidade, perda de produtividade das terras agrícolas, instabilidade econômica e política, e, muitas vezes, é considerada como contribuinte das mudanças climáticas no planeta (SAITO et al, 2003).

Diante de tal problemática, e, ainda, considerando a alta correlação existente entre o **mau uso do solo** e a ocorrência de processos de **degradação ambiental**, há no Brasil uma necessidade urgente de estudos detalhados sobre as regiões potencialmente sujeitas ao processo de Desertificação, como o SAN, bem como a adoção de medidas no sentido de prevenir, e, se necessário, coibir o mau uso do solo em tais áreas, além do estabelecimento de políticas públicas de ação corretiva visando reduzir processos de degradação ambiental em áreas já atingidas, mas não ainda totalmente degradadas, conforme recomendações do Plano Nacional de Combate à Desertificação.

3.2 Histórico do uso da terra e desenvolvimento econômico do NEB

A economia colonial do NEB deu-se, basicamente, pelo desenvolvimento de três vertentes: o cultivo da cana-de-açúcar, a pecuária extensiva, e a cotonicultura. A primeira foi a única a se desenvolver em região geográfica privativa, coexistindo, temporalmente, com a pecuária extensiva, que, por sua vez, dividiu espaço com a cotonicultura, quando a atividade canavieira de exportação já havia entrado em pleno declínio.

Conforme será explanado a seguir, cada uma dessas atividades teve papel preponderante para a economia e o desenvolvimento do NEB como um todo.

3.2.1 O Cultivo da Cana-de-Açúcar

Historicamente, a ocupação do território nordestino, ainda no Período Colonial, deu-se, no século XVI, a partir da Zona da Mata, pelo cultivo da cana-de-açúcar, quando, conforme Fausto (2006), “nas décadas de 1530 e 1540 sua produção se estabeleceu no Brasil com bases sólidas”. Uma comunhão de fatores substancialmente favoráveis tornou possível o sucesso de tal empreitada: desde a experiência adquirida por Portugal ao longo de décadas de cultivo da cana nas ilhas do Atlântico, ao fundamental apoio comercial e financeiro galgado em cooperação com os holandeses, fazendo com que, já no final do século XVI e até meados do século XVII, o Brasil se transformasse no maior produtor e exportador mundial de açúcar.

Os portugueses haviam já iniciado [...] a produção, em escala relativamente grande, [...] de uma das especiarias mais apreciadas no mercado europeu: o açúcar. Essa experiência resultou ser de enorme importância, pois, demais de permitir a solução dos problemas técnicos relacionados com a produção do açúcar, fomentou o desenvolvimento em Portugal da indústria de equipamentos para

os engenhos açucareiros. [...] A contribuição dos flamengos – principalmente os holandeses – para a grande expansão do mercado do açúcar constitui um fator fundamental do êxito da colonização do Brasil. [...] E não somente com sua experiência comercial contribuíram os holandeses. Parte substancial dos capitais requeridos pela empresa açucareira viera dos Países-Baixos. Tudo indica que capitais flamengos participaram do financiamento das instalações produtivas no Brasil bem como no da importação da mão-de-obra escrava. (FURTADO, 2007).

Fatores favoráveis também foram encontrados pelos portugueses no Brasil. Conforme Castro (1965), uma estreita faixa de terrenos com largura média de 80 km, que se estendia ao longo de todo o litoral nordestino, constituía zona de solo rico e profundo, contando ainda com uma relativa abundância de chuvas, sendo recoberta inicialmente por uma floresta do tipo tropical, não tão densa e fechada como a floresta úmida amazônica, sendo, por isso, muito mais susceptível à penetração dos colonizadores, e, conseqüentemente, à exploração. O solo dessa região, em sua maior parte do tipo massapê⁹, é de uma magnífica fertilidade, com condições físico-químicas privilegiadas ao cultivo da cana-de-açúcar.

O açúcar brasileiro, desde a sua implantação, havia realmente atingido momentos de glória. Contudo, com a expulsão dos holandeses do Brasil, em 1654, os mesmos dirigiram-se para as Antilhas, na América Central, região largamente propícia ao cultivo da cana-de-açúcar. Segundo Pilette (1999), isso trouxe duas graves conseqüências ao Brasil: os holandeses, que até então eram os responsáveis pela comercialização da produção brasileira para todo o mercado europeu, passaram a produzir seu próprio açúcar, rompendo tal cooperação comercial com Portugal. Além disso, a produção holandesa nas Antilhas, que se dava em alta escala, provocou queda do preço do produto no mercado internacional. Com isso, Portugal já não conseguia gerar as mesmas divisas de outrora, sendo obrigado a procurar outro ramo tão lucrativo como a cana-de-açúcar um dia havia sido. Assim, inicia-se no Brasil a busca por metais preciosos, que ficou conhecida como “a corrida ao ouro”, iniciada em 1695.

3.2.2 A Pecuária extensiva e a ocupação do espaço Semi-Árido

A região Semi-árida, não havendo sido ocupada de início, foi desprezada pela Coroa Portuguesa por um longo período, até que se iniciou em tal área o desenvolvimento da

⁹ Solo do tipo *massapê*: “terra escura, gorda e pegajosa, que recobre os xistos argilosos e os calcários do Cretáceo, com uma grande riqueza de humo e sais minerais.” (CASTRO, 1965).

pecuária extensiva, que, no quadro econômico colonial, surgiu e se ampliou como uma função complementar, destinada a atender as necessidades da área litorânea, constituindo, portanto, uma atividade subsidiária da atividade açucareira, passando o Sertão nordestino a dar suporte à mesma, através do fornecimento de animais de tração para os engenhos, e alimento para a população. Dado seu caráter extensivo, a criação de gado teve papel preponderante e decisivo no processo de ocupação do SAN.

Dessa forma, a partir do crescimento da produção de cana-de-açúcar, foi o SAN, de forma paralela, sofrendo processo de ocupação de mesma intensidade, através da implantação de imensos latifúndios, pela própria necessidade do gado de ocupação de grandes áreas para o seu desenvolvimento.

O povoamento do SAN difundiu-se em diversas épocas, partindo de locais diferentes, e sempre com a preocupação de separar a área destinada ao cultivo da área destinada à criação, dado que a primeira atividade era a principal, uma vez que era destinada à exportação, gerando vultosas divisas, não podendo em nada ser atrapalhada pela segunda, que devia apenas prover suporte à primeira.

Assim, conforme Souza (1989), foram sendo estabelecidas “**vias de penetração**” no Sertão, das quais duas se destacaram. A primeira, e principal delas, partia de Salvador para o noroeste, no início do século XVII, margeando o Rio São Francisco, atingindo os vales de seus afluentes, ocupando os sertões de Pernambuco e Piauí, chegando aos rios que correm para o Atlântico: o Piranhas-Açu, o Apodi-Mossoró, o Jaguaribe e os afluentes da margem direita do Paraíba, chegando inclusive a atingir a região de Pastos Bons, ao sul do Maranhão. Uma segunda trilha, de menor expressão que a primeira, partia de Olinda, tomando os rumos sul e norte, chegando, em alguns pontos, a encontrar-se com a primeira. Tal migração rumo à ocupação do SAN seria intensificada ainda na primeira metade do século XVII com a invasão holandesa em Pernambuco. Tomando rumo norte, tal trilha foi responsável pela ocupação do interior da Paraíba, do Rio Grande do Norte, do Ceará (na época, administrado por Pernambuco) e o norte do Piauí e Maranhão, a partir do litoral, adentrando o interior dos estados citados (na época, ainda capitanias). Em comum, essas trilhas tinham o fato de sua difusão, preferencialmente, margearem os rios, com o estabelecimento de fazendas. A via de penetração desenvolvida pelos baianos atingiria o São Francisco na metade do século XVII, subindo o rio, sendo responsável por toda a ocupação do interior baiano, e difundindo-se pela

margem esquerda do rio supracitado. No final do mesmo século, cruzaria o São Francisco e atingiria, inicialmente, o sul do Piauí, onde as fazendas de gado ficaram conhecidas como as mais importantes da região, em virtude da fertilidade do solo para pastagens. Seguindo a trilha, continuou a difusão pelos rios Moxotó, Pageú, Terra Nova, Riacho da Brígida, atingindo a região do Cariri e do Jaguaribe, estabelecendo-se por todo o Piauí e atingindo o Maranhão, através do Rio Itapirucu.

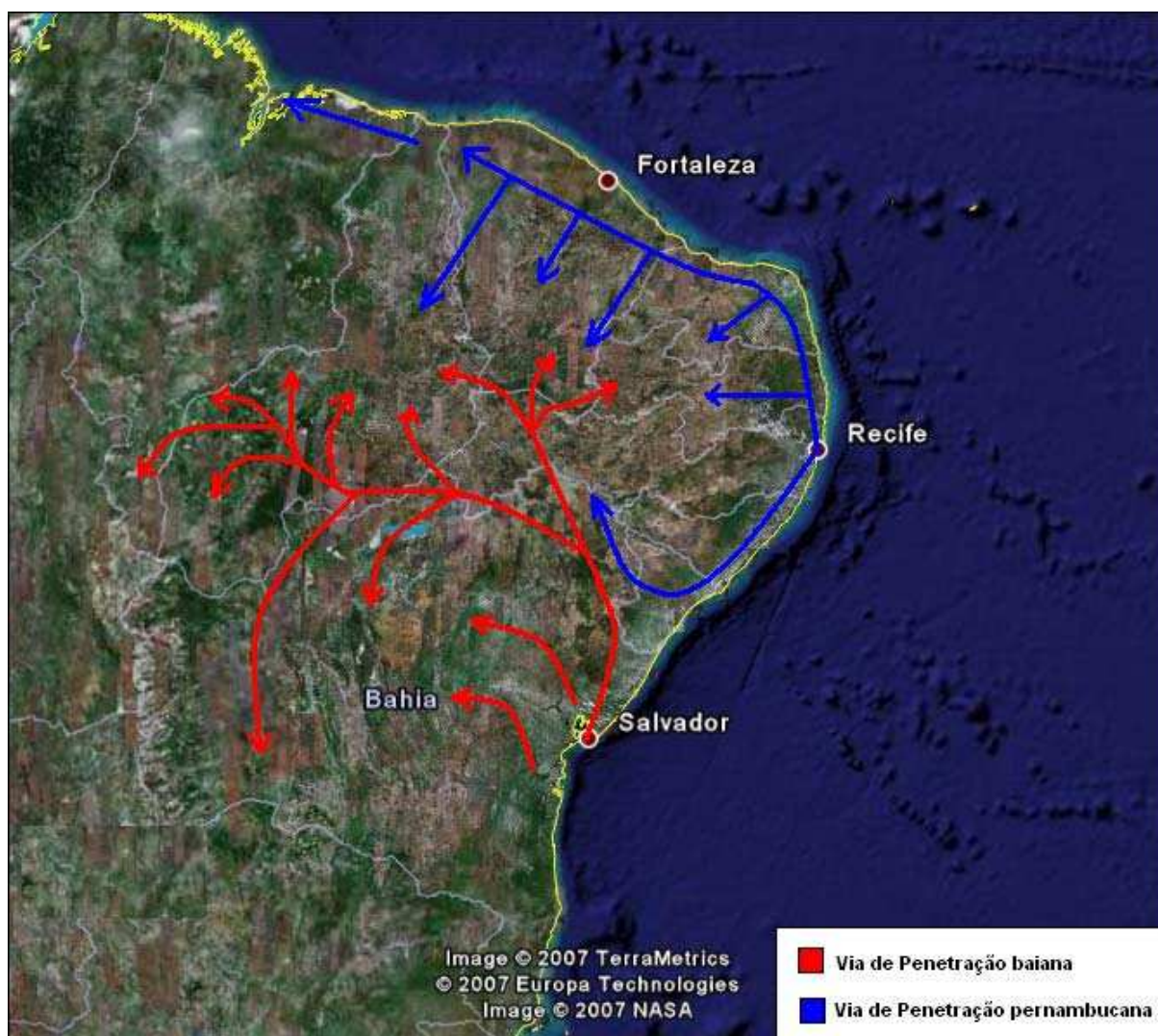


Figura 7 - Principais rotas do processo de ocupação do SAN¹⁰.
Fonte: Adaptada de GoogleEarth®.

A pecuária extensiva no sertão nordestino atingiu seu ápice a partir da primeira metade do século XVIII, sendo responsável pelo surgimento de várias vilas, hoje cidades imponentes, no interior nordestino. Contudo, na última década do referido século, uma feroz seca, com duração de quatro anos, que ficou conhecida como “Seca Grande”, criou um enorme entrave à

¹⁰ Traçadas pelo autor com base em registros históricos citados no texto.

expansão dessa atividade, dizimando em número substancial os rebanhos existentes. A partir daí, a técnica do “charque” passou para as mãos dos Gaúchos, que detinham melhores condições de criação nos Pampas sulinos. Apesar do declínio da pecuária no SAN, a mesma continuou importante até o século XIX, embora já sendo complementada pela cultura do algodão.

3.2.3 A Cultura do Algodão

Após a crise agrícola do nordeste, dois fatores contribuíram para sua recuperação nas duas últimas décadas do século XVIII e no início do século XIX: a mineração, iniciada com a decadência do açúcar, havia entrado em crise; e a Inglaterra desenvolvia sua Revolução Industrial, o que elevou o preço no mercado internacional de um produto que há algum tempo já vinha sendo plantado no SAN como complemento alimentar para o gado: o algodão. Assim, o algodão passou a ser cultivado para fins de exportação, gerando uma substancial alteração na economia da região nordestina, que passou a ser baseada no binômio gado-algodão.

Conforme Souza (1989), o capital estrangeiro controlaria a intensa comercialização desenvolvida no SAN, embora sem exercer interferência direta no âmbito da produção, que ficava inteiramente nas mãos dos Coronéis, que viriam, mais tarde, a exercer o poder político na região. Assim, os “senhores de engenho” foram substituídos pelos “coronéis do sertão” no exercício do poder político e econômico regional, cenário esse que perdurou até meados do século XX. A cotonicultura, que, ao contrário da cana-de-açúcar, se desenvolvia não só em latifúndios, mas também em propriedades médias e pequenas, favoreceu a fixação da população nordestina, que podia trabalhar, agora, em sua própria lavoura.

Durante todo o período de desenvolvimento do algodão voltado à exportação, a Inglaterra, pioneira no processo de industrialização de têxteis, ditava o preço do produto, ficando os produtores brasileiros à mercê de seu desenvolvimento. Com o declínio dessa potência, declinou também a cotonicultura. Assim, com o declínio da cotonicultura no Sertão nordestino, no século XX, segundo Araújo e Oliveira (1994 apud OLIVEIRA-GALVÃO, 2001), a tendência da economia regional voltou-se basicamente para a homogeneização do sistema de produção com a generalização de um sistema baseado na integração da pecuária

com a produção de alimentos, onde dominam dois tipos de unidades de produção: os latifúndios, centrados na pecuária extensiva e produzindo, de forma secundária, alimentos; e os minifúndios, centrados na produção de lavouras “brancas”, onde a presença da pecuária é, consideravelmente, de menor importância. Dessa forma, constituem todas essas terras áreas marginais aos sistemas produtivos de importância econômica nacional.

3.3 Uso da terra e desenvolvimento econômico do NEB nos dias atuais

Acerca do desenvolvimento econômico do NEB nos dias atuais, existem diversos estudos, dentre os quais foram utilizados como base para a presente seção os elaborados por Andrade (1987) e BRASIL (2006).

A economia do NEB, apesar de ainda ser bastante pautada na agroindústria do açúcar e de outros gêneros agrícolas, sofreu um substancial processo de industrialização e modernização de cadeias produtivas ao longo da segunda metade do século XX.

Em tempos mais recentes teve início, e hoje apresenta relativo sucesso, o desenvolvimento de lavouras de fruticultura irrigada, para exportação, na área do Vale do Rio São Francisco, conseguindo-se, inclusive, a produção de vinhos de excelente qualidade em plena região semi-árida dos estados da Bahia e Pernambuco, concentrando-se nas cidades de Petrolina - PE e Juazeiro - BA.

A exploração de petróleo no NEB ocorre tanto em plataformas continentais como no litoral, apresentando-se como uma realidade para muitos estados, além de outros, como Sergipe, que ainda não o fazem, mas apresentam enorme potencial para o desenvolvimento dessa atividade. O petróleo extraído é processado na refinaria Landolfo Alves, na cidade baiana de Candeias, e no Pólo Petroquímico de Camaçari, no mesmo estado.

O setor de Turismo, desenvolvido principalmente na região litorânea, tem demonstrado grande potencial de desenvolvimento na região e vem crescendo e evoluindo bastante nos últimos anos, apresentando perspectivas promissoras para o futuro, inclusive com processos, principalmente no Ceará, de interiorização da atividade, expandindo-se para grandes áreas do SAN.

O processo de industrialização trouxe para o Nordeste inúmeras possibilidades de desenvolvimento, com o estabelecimento, através de incentivos fiscais, de indústrias têxteis, de calçados, de couro, alimentícias, de mineração, metalúrgicas, químicas e petroquímicas, originárias de outras regiões do país, principalmente do eixo Sul-Sudeste. Essas indústrias, em decorrência das políticas governamentais adotadas, instalam-se, em sua maioria, em cidades pólos do interior dos estados, em regiões, na maioria das vezes, de clima semi-árido, devido à maior necessidade de emprego da população, e a fim de reduzir o êxodo para as capitais. Essas cidades pólos, localizadas em regiões interioranas e, em geral, a distâncias relativamente grandes das capitais, são cidades que concentram em si a pujança econômica, social e política de uma região, exercendo área de influência sobre cidades menores, que, por sua vez, em muitos aspectos, são mais dependentes das cidades pólos que das próprias capitais estaduais. Assim, as cidades pólos funcionam como “capitais” regionais, dentro dos próprios estados.

Contudo, mesmo com esse processo de desenvolvimento econômico, as regiões mais secas ainda dependem sobremaneira da agricultura de subsistência, com o cultivo de gêneros básicos, como milho, mandioca e feijão; da pecuária extensiva e da cotonicultura, desenvolvidos em latifúndios, com baixa produtividade.

A Tabela 1 sumaria, através de uma perspectiva individual para cada Estado, as atividades econômicas desenvolvidas no NEB.

Tabela 1 - Resumo das atividades econômicas atualmente desenvolvidas nos estados do NEB.

Estado	Atividades Econômicas	
	Principais	Complementares
MA	Extração de babaçu	Agropecuária Indústria de transformação Indústria Alimentícia Indústria Madeireira
PI	Extração de babaçu	Agropecuária de subsistência Rizicultura irrigada
CE	Turismo Indústria Têxtil e de Calçados Produção de Castanha-de-Cajú	Indústria Alimentícia Indústrias de Mineração e Metalurgia Produção de cana-de-açúcar e mandioca.
RN	Produção de sal marinho Fruticultura irrigada	Extração de Petróleo
PB	Indústria de Couro e de Calçados	Turismo Agropecuária
PE	Produção de cana-de-açúcar Indústria álcool/açucareira Turismo Fruticultura irrigada	Serviços Comerciais e Financeiros Indústria têxtil e alimentícia Indústria Química e de Material elétrico
AL	Extração de Petróleo Agropecuária	Produção de açúcar e álcool Pequenas Indústrias
SE	Produção de cana-de-açúcar	Plantios de mandioca e laranja
BA	Indústria Química/Petroquímica Mineração Turismo	Pecuária Bovina e Caprina Fruticultura irrigada Produção de feijão Indústria Metalúrgica e Alimentícia

3.4 Principais processos e mecanismos causadores de Degradação Ambiental e seus principais efeitos no SAN nos dias atuais

Sendo o processo de degradação ambiental caracterizado pelo seu dinamismo, resultante da integração de efeitos provocados pelos meios natural e antrópico, convém analisarmos, nesse ponto, quais os principais processos e mecanismos envolvidos. Com base no estudo de Oliveira-Galvão (2001) e Ferreira et al. (1994), temos como principais desencadeadores do processo de degradação ambiental:

- Pecuária extensiva, com prática de sobrepastoreio;
- Agricultura inadequada, inclusive fazendo uso de desmatamento e posterior queimada;
- Irrigação realizada de forma inadequada, não dispondo de sistema de drenagem apropriado;
- Uso agrícola inadequado à capacidade de suporte do meio;
- Desmatamento indiscriminado, inclusive para fins energéticos (carvão vegetal).

Como principais efeitos dessa degradação, temos:

- Redução da precipitação atmosférica;
- Mudanças climáticas;
- Salinização dos solos e dos recursos hídricos;
- Compactação e impermeabilização dos solos;
- Atividade e aceleração de processos de erosão hídrica e eólica;
- Redução da biodiversidade;
- Perda de produtividade agrícola;
- Abandono de terras e êxodo rural;

Nas figuras 9, 10 e 11 são mostrados fluxogramas explicativos dos principais mecanismos de degradação ambiental que ocorrem na atualidade no SAN.

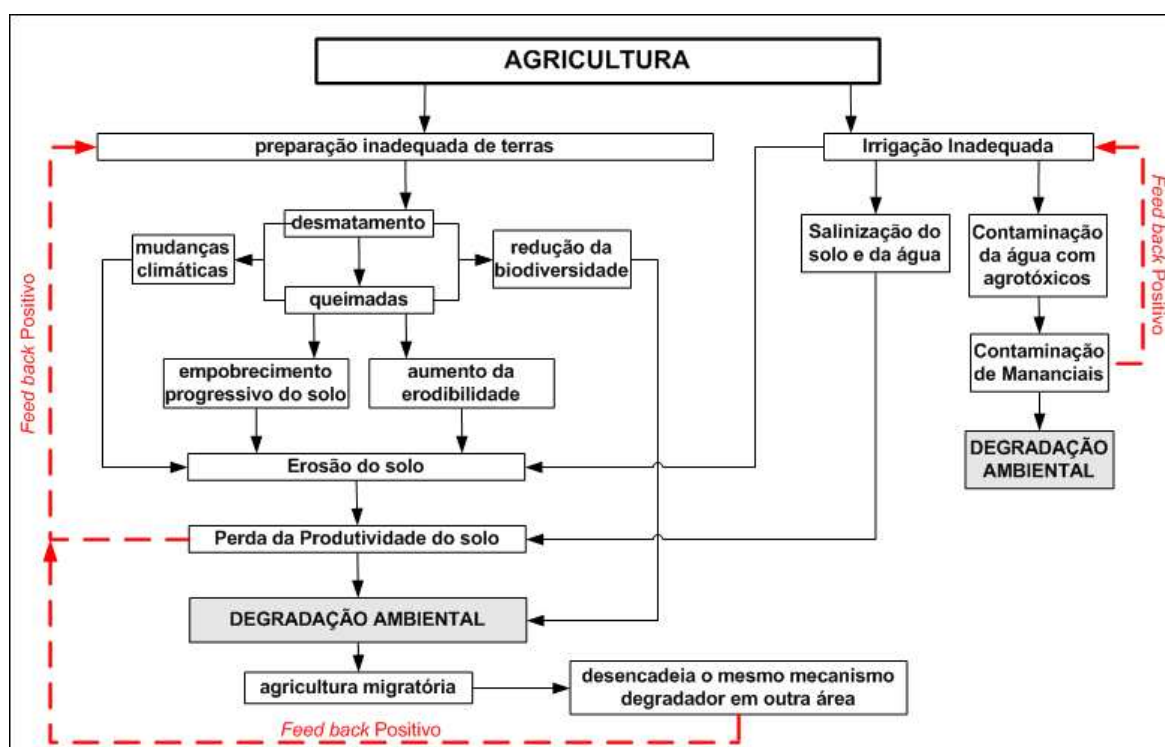


Figura 8 - Fluxograma do Mecanismo de Degradação provocado por Atividades Agrícolas inadequadas.

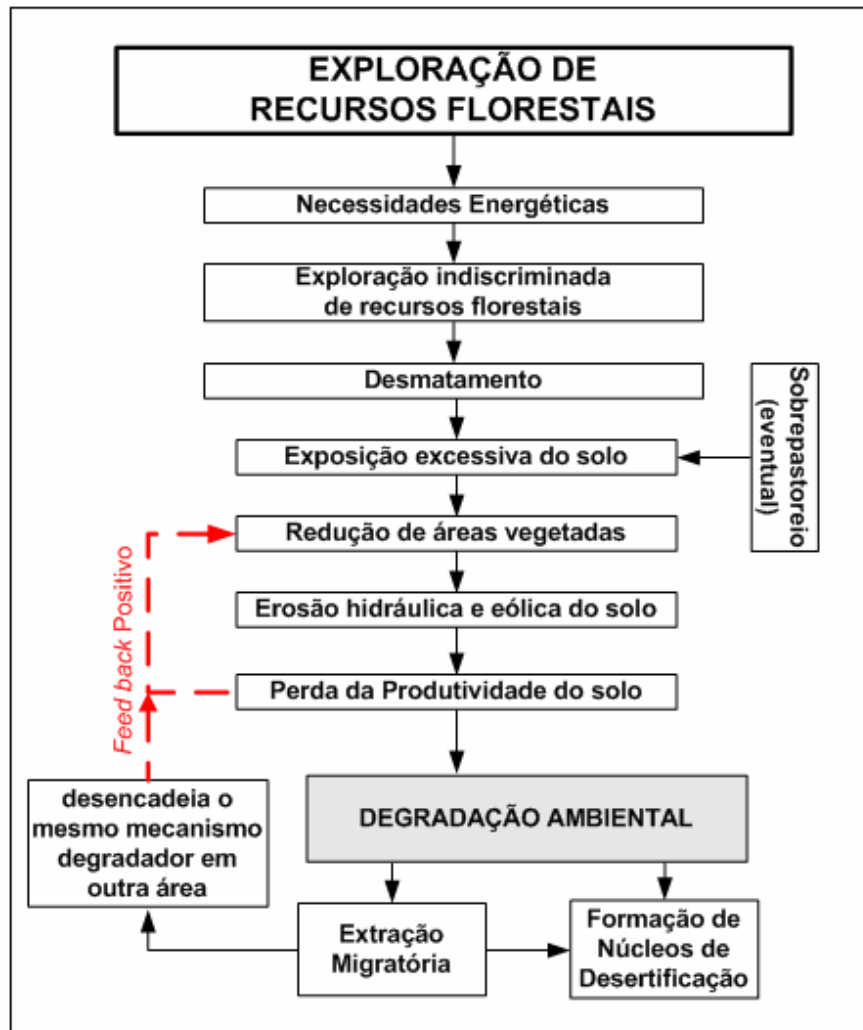


Figura 9 - Fluxograma do Mecanismo de Degradação causado por Extração indiscriminada de Recursos Florestais.

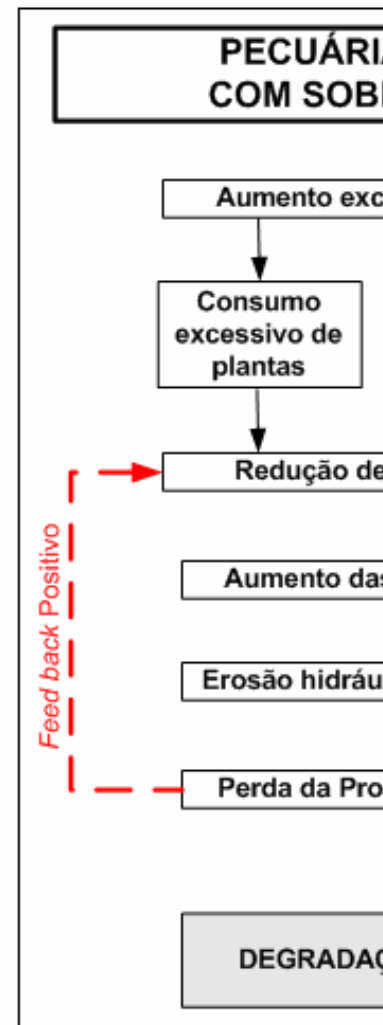


Figura 10 - Fluxograma do Mecanismo de Degradação causado por Pecuária Extensiva.

4 Análise de Mapas

Na presente seção, foi realizada uma análise visual qualitativa de mapas temáticos de grande influência no uso e degradação do solo no NEB, com o objetivo de confrontá-los com a base de dados históricos, avaliando-se, assim, a sua coerência.

4.1 Mapas Utilizados

Para a realização da análise supracitada, foram utilizadas séries históricas de mapas do projeto ISLSCP2/NASA e PROVEG/INPE.

O projeto ISLSCP2/NASA¹¹, com o apoio de diversas instituições e organizações de todo o mundo, gerou uma série de mapas globais para apoiar estudos climáticos, dentre as quais as duas utilizadas nesse trabalho. Vale ressaltar que pelo fato de o mapeamento haver sido realizado em escala global, e, portanto, com poucas informações específicas de cada área do planeta, erros são esperados nos mapas. Contudo, tais erros serão levantados com base em dados históricos do NEB.

O projeto PROVEG/INPE¹², ainda em andamento para o NEB, consiste na atualização da representação da vegetação para uso em modelos numéricos, através da criação de banco de dados georreferenciados, para todo o território nacional, atualizando, inclusive, dados de ação antrópica, como atividades agropecuárias, e permitindo, assim, uma representação mais realista da variabilidade espacial da vegetação do NEB (VIEIRA et al., 2005).

Os mapas históricos de uso da terra do ISLSCP2/NASA (HALL, 2005) abrangem o período entre 1750 e 1990, com intervalos de 50 anos, para dois parâmetros: (i) cobertura vegetal e uso da terra (*Land Cover and Land Use*) e (ii) áreas de cultivo agrícola (*Cropland Cover*).

4.2 Análise crítica dos mapas

Em cada um dos mapas, através de análise visual espaço-temporal, foi efetuado estudo de consistência em confronto com os dados históricos abordados no capítulo 2.

¹¹ Home Page: < http://islscp2.sesda.com/ISLSCP2_1/html_pages/islscp2_home.html > Acesso em: 04 mai 2007.

¹² Home Page: < www.cptec.inpe.br/proveg/ >. Acesso em: 04 mai 2007.

4.2.1 Projeto ISLSCP2/NASA

Historical Land Cover and Land Use

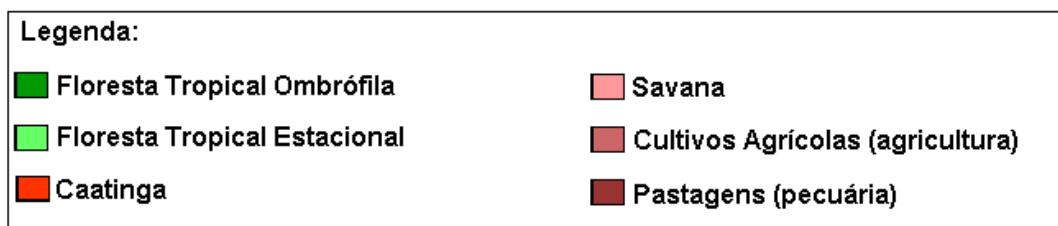


Figura 11 - Legenda dos mapas de cobertura vegetal e uso da terra.

- **Mapas Originais:**

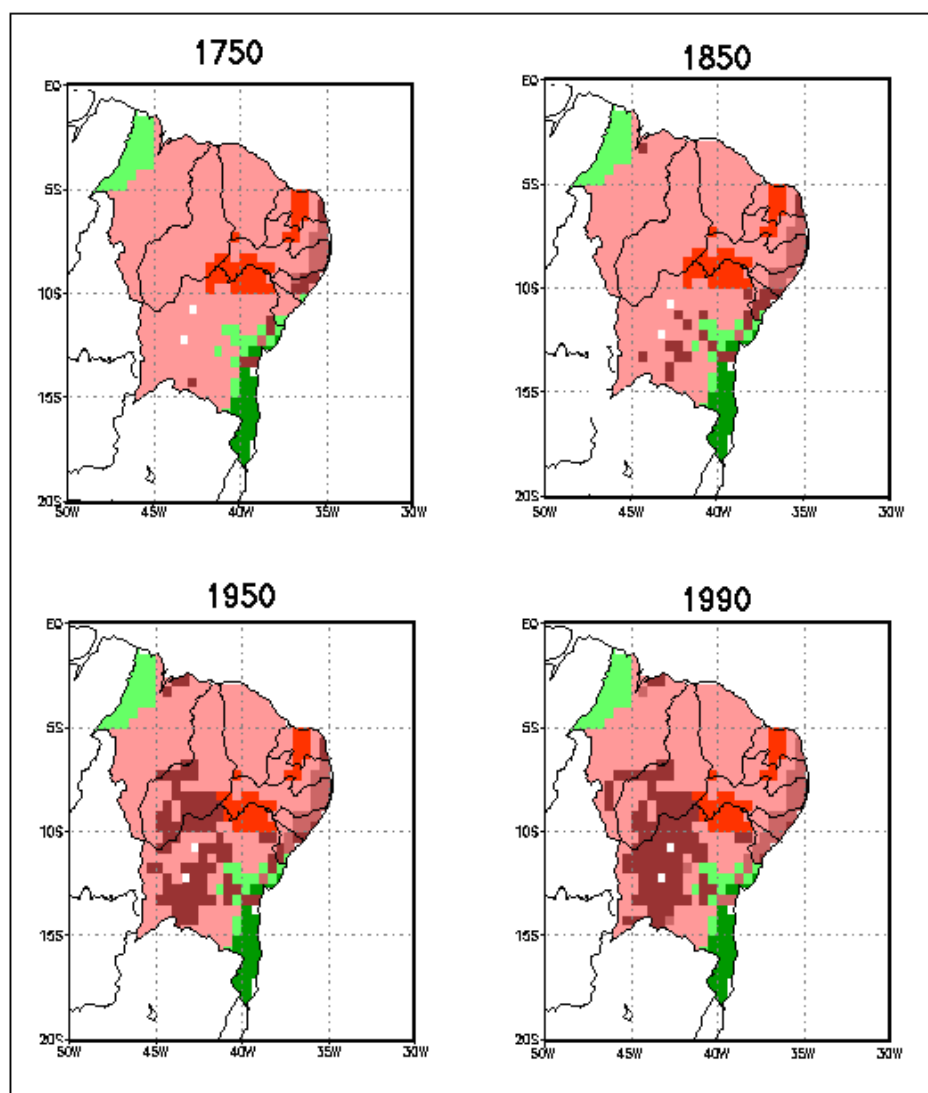


Figura 12 - Mapas de cobertura vegetal e uso da terra (série histórica 1750 – 1990).

• **Mapas Comentados:**

Através da análise visual dos mapas, em confronto com dados históricos, alguns aspectos foram analisados e comentados.

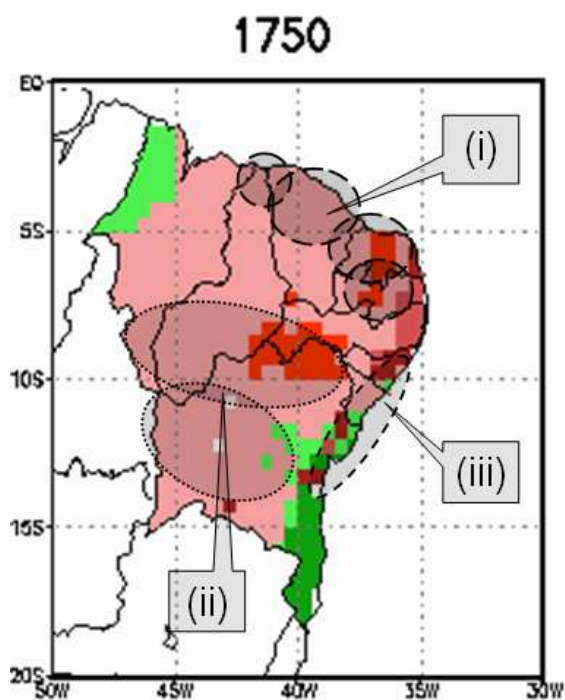


Figura 13 - Mapa Corrigido de cobertura vegetal e uso da terra (ano 1750).

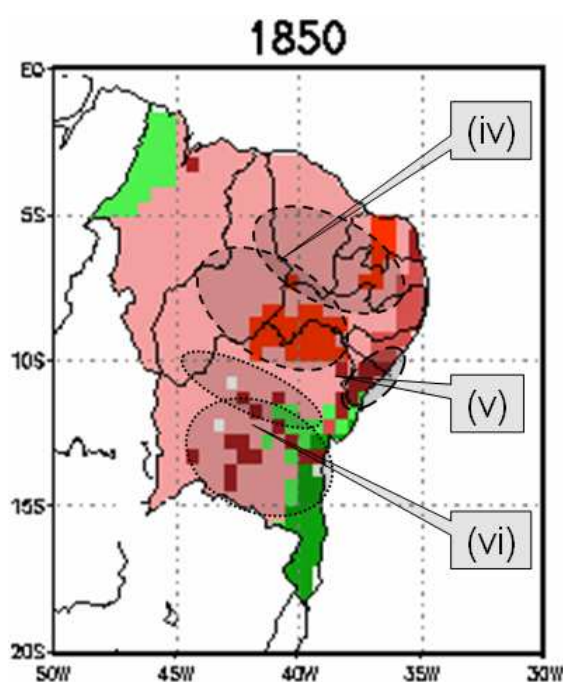


Figura 14 - Mapa Corrigido de cobertura vegetal e uso da terra (ano 1850).

(i) Conforme dados históricos, a pecuária extensiva já estava sendo desenvolvida nessa área pela “via de penetração” pernambucana.

(ii) Da mesma forma que em (i), a atividade já estava sendo desenvolvida nessa área pela “via de penetração” baiana.

(iii) Ao contrário do que mostra o mapa, nessa região a plantação de cana-de-açúcar ainda se desenvolvia fortemente.

(iv) Conforme dados históricos, a cotonicultura, em conjunto com a pecuária extensiva se desenvolvia nessa área.

(v) O uso da terra para pecuária nessa região não se justifica do ponto de vista histórico, quando leis portuguesas já haviam proibido a pecuária em região próxima do litoral.

(vi) O mapa mostra, de forma correta, o aumento da pecuária extensiva no sul da Bahia, para abastecer a região de extração de minérios, principalmente ouro.

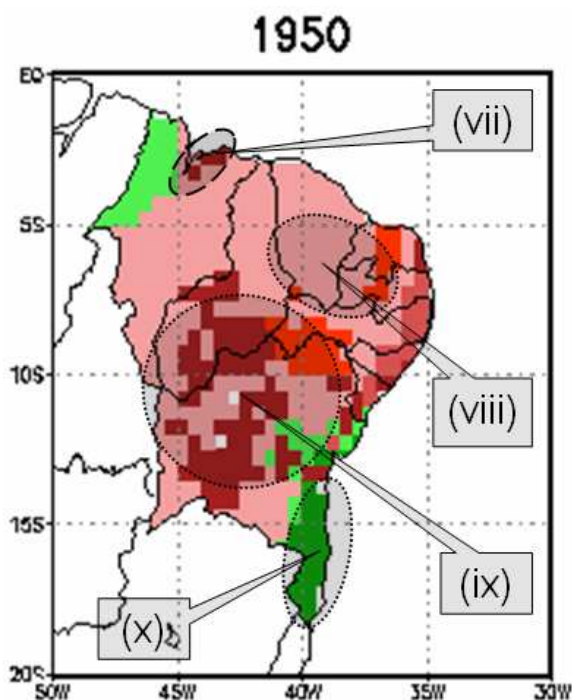


Figura 15 - Mapa Corrigido de cobertura vegetal e uso da terra (ano 1950).

(vii) Uso da terra para pecuária não é justificado por dados históricos.

(viii) Conforme bases históricas, a cotonicultura e a pecuária extensiva eram desenvolvidas em latifúndios nessa área.

(ix) Apesar de o mapa apenas indicar o uso da terra para a pecuária, nessa área também era desenvolvida agricultura de subsistência, com a plantação de gêneros como feijão, milho e mandioca.

(x) Ocorrência de desmatamento nessa área não mostrado pelo mapa.

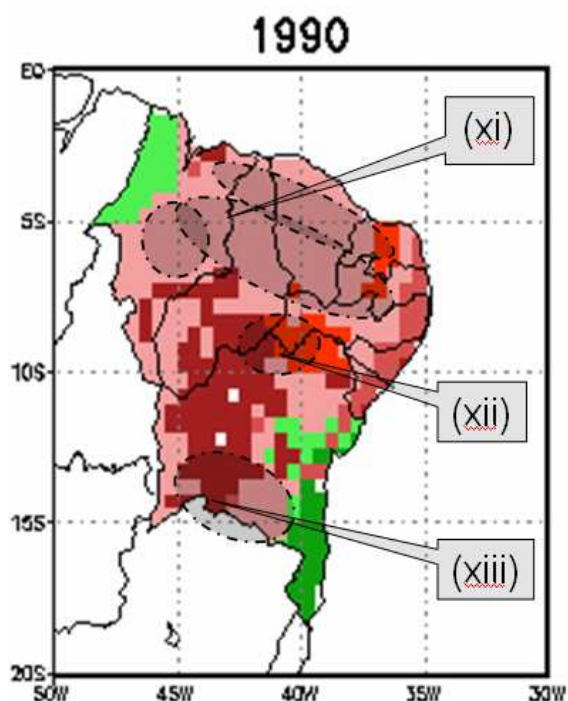


Figura 16 - Mapa Corrigido de cobertura vegetal e uso da terra (ano 1990).

(xi) Em tal área, ao contrário do que é exposto pelo mapa, desenvolvia-se agricultura de subsistência, e, mesmo com baixa produtividade, cotonicultura e pecuária extensiva.

(xii) Desenvolvimento de fruticultura irrigada para exportação no Vale do São Francisco não captada pelo mapeamento.

(xiii) Desenvolvimento de atividades de mineração nessa região não captada pelo mapeamento.

Historical Cropland Cover

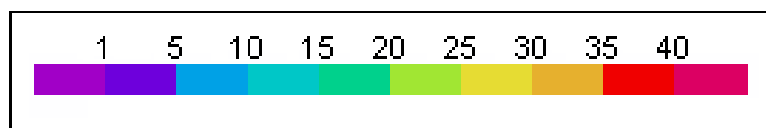


Figura 17 - Legenda dos Mapas de Cultivo Agrícola (em porcentagem de área cultivada).

- **Mapas Originais:**

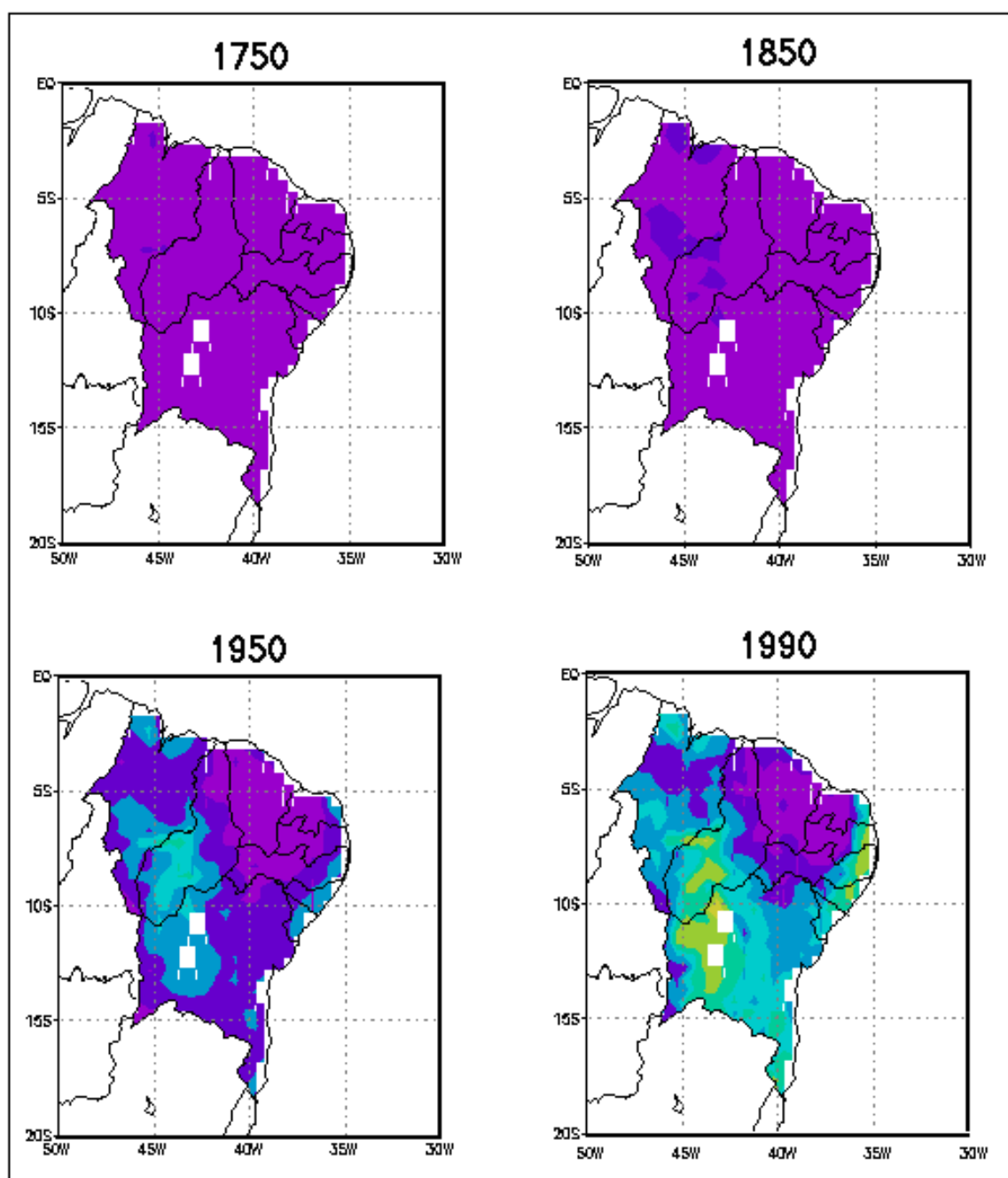


Figura 18 - Mapas de cultivo agrícola (série histórica 1750 - 1990).

- **Mapas Comentados:**

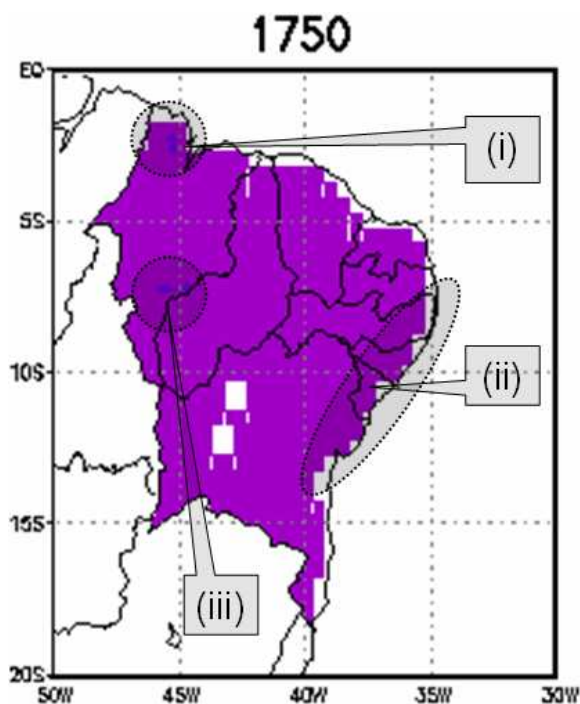


Figura 19 - Mapa Corrigido de cultivo agrícola (1750).

(i) Cultivo agrícola não justificado por base de dados histórica.

(ii) Enorme produção de cana-de-açúcar na região não captada pelo mapeamento.

(iii) O mapa aponta corretamente o desenvolvimento de agricultura de subsistência no sul do estado do Maranhão.

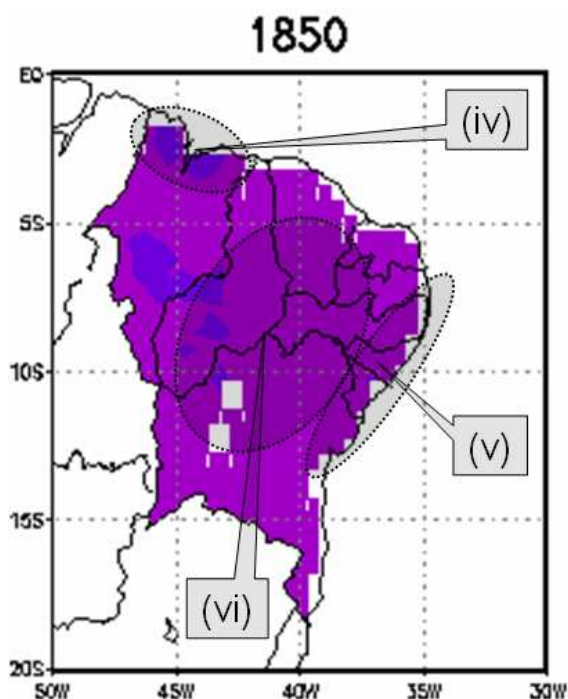


Figura 20 - Mapa Corrigido de cultivo agrícola (1850).

(iv) Cultivo agrícola não justificado por base de dados histórica.

(v) Plantio de cana-de-açúcar na Zona da Mata e parte do Agreste não captado pelo mapeamento.

(vi) Desenvolvimento da cotonicultura no SAN não captado pelo mapeamento.

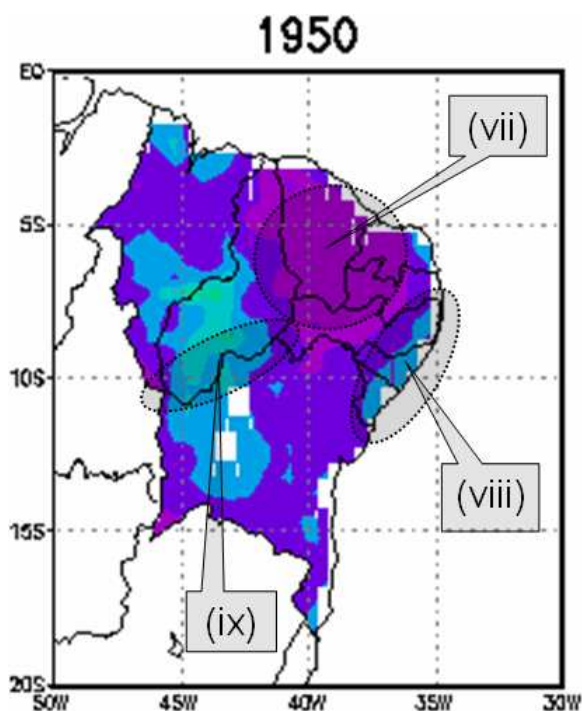


Figura 21 - Mapa Corrigido de cultivo agrícola (1950).

(vii) Grandes plantações de algodão no Semi-Árido do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco não captado pelo mapeamento.

(viii) O mapa aponta corretamente a força da cana-de-açúcar no litoral leste do NEB.

(ix) De forma correta, o mapeamento aponta o grande desenvolvimento agrícola ocorrido nas proximidades do Rio São Francisco.

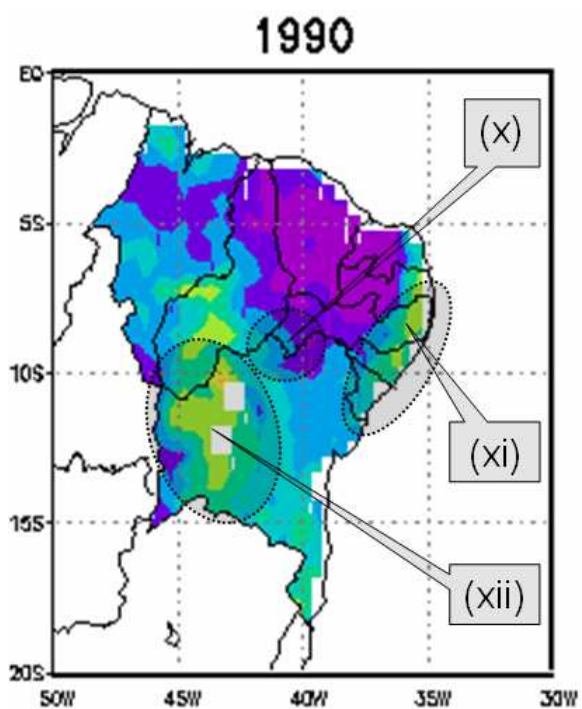


Figura 22 - Mapa Corrigido de cultivo agrícola (1990).

(x) O mapa não traduz de forma fidedigna a intensidade da agricultura irrigada no Vale do São Francisco, principalmente na fronteira entre Bahia e Pernambuco.

(xi) O mapa indica corretamente o incremento da produção de cana-de-açúcar após o programa Pro – Alcool, principalmente no estado de Pernambuco.

(xii) Acentuado cultivo de gêneros alimentícios voltados ao mercado interno, como o feijão, no interior baiano, indicado corretamente pelo mapa.

4.2.2 Projeto PROVEG

Apesar de o PROVEG fornecer informações acerca de vegetação e localização de áreas antrópicas em nove mapas, obtidos no biênio 1999-2000, cada um dos quais possuindo o mesmo tema e sendo referente a cada um dos estados nordestinos, através de *software* apropriado, tais mapas foram agrupados em um só, representando os mesmos temas, para o Nordeste inteiro. O objetivo da análise desse mapeamento foi o conhecimento espaço-temporal das áreas de desenvolvimento da agropecuária (áreas antrópicas), distinguindo-as das áreas que ainda conservam sua cobertura vegetal original.

Contudo, na determinação das áreas de desenvolvimento de atividades agropecuárias (áreas antrópicas), conforme Vieira et al. (2005), discorrendo acerca do trabalho de mapeamento, parte das áreas agrícolas podem corresponder a áreas já em processo de desertificação, não mais cultivada, as quais foram classificadas como de agropecuária. Ainda, muitas áreas de caatinga podem ter pastos extensivos, que poderiam, portanto, ser incluídos na classe “agropecuária”, mas foram associados à vegetação nativa (no caso do SAN, a caatinga), por dificuldades de identificação na interpretação visual das imagens.

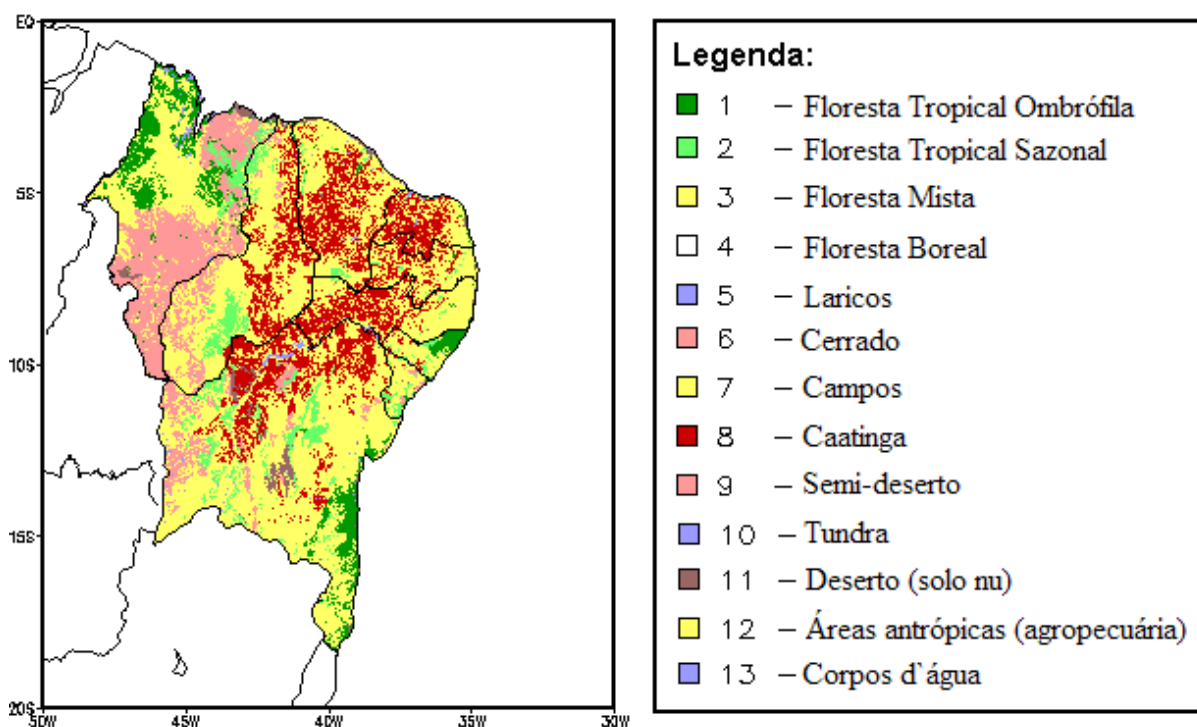


Figura 23 - Mapa temático gerado a partir do Projeto PROVEG com sua respectiva legenda.

- **Análise de Áreas Antrópicas (Agropecuária)**

Trabalhando o mapa gerado pelo PROVEG para o NEB, a fim de isolarmos as áreas antrópicas, através de *software* adequado, foi obtido um mapa considerando apenas as áreas objetivadas (legenda 12 - áreas antrópicas; Figura 23).

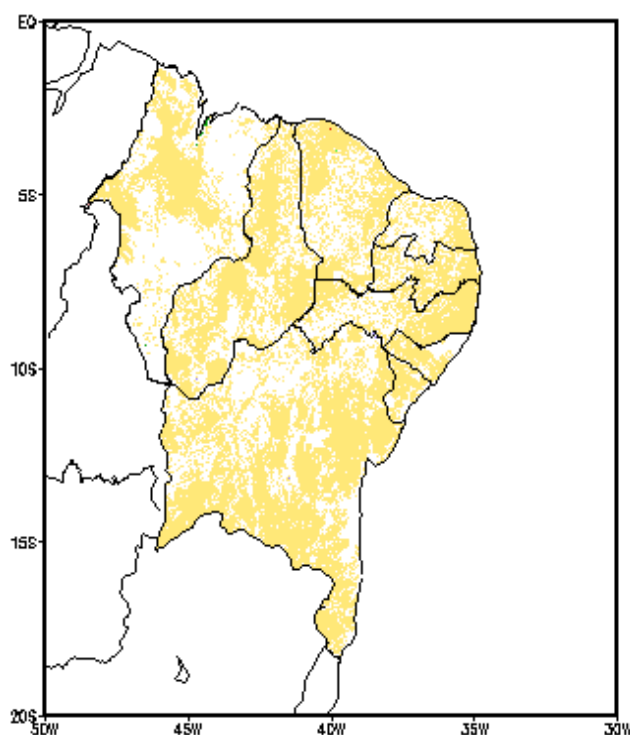


Figura 24 - Mapa temático de áreas antrópicas (gerado a partir do PROVEG).

Dessa forma, pode-se concluir que uma vasta área do NEB encontra-se sob atividades agropecuárias, restando pouco de sua cobertura vegetal original, o que é plenamente condizente com o processo de ocupação sofrido por essa região, através da pecuária extensiva em latifúndios, que ocupam enormes porções de terra, e culturas agrícolas, tanto de exportação como de subsistência, inclusive com o uso de irrigação em algumas áreas mais abastadas.

5 Aquisição de Dados

A fim de se buscar uma caracterização quantitativa da região trabalhada, inicialmente, o NEB foi dividido em setores que pudessem encerrar de forma aproximadamente homogênea as informações e dados pertinentes. Em seguida, foram buscadas, junto a instituições e organizações competentes, informações ambientais e sócio-econômicas relativas a cada uma das divisões adotadas (mesorregiões). Assim, obtiveram-se séries históricas de dados sociais: População Residente Total (PRT) e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH); de dados econômicos: Produto Interno Bruto (PIB); e de dados ambientais: vegetação, precipitação, temperatura, pedologia e topografia, todos relativos às mesorregiões dos estados inseridos no SAN, sendo os dois últimos (pedologia e topografia) obtidos apenas para datas recentes, uma vez que não se faz necessário sua caracterização histórica.

5.1 Mesorregiões dos estados nordestinos inseridos no SAN

Para a caracterização quantitativa do NEB, a região foi setorizada em mesorregiões, que constituem subdivisões dos estados da federação brasileira, às quais congregam diversos municípios de uma dada área geográfica que guardam entre si estreitas relações sócio-econômicas e ambientais.

Conforme Bandeira (2004), em documento do Ministério da Integração Nacional intitulado “Política Nacional de Desenvolvimento Regional – Proposta para Discussão”, as mesorregiões deverão ser privilegiadas como a escala preferencial de intervenção através de ações da Administração Federal relacionadas ao desenvolvimento regional. Ainda,

Já há algum tempo, autores importantes vinham destacando a crescente heterogeneidade estrutural das macrorregiões, que as tornava cada vez menos adequadas para servirem como referência exclusiva das ações de desenvolvimento regional. Da mesma forma, no âmbito da administração federal, já em 1995 um documento produzido pela Secretaria Especial de Políticas Regionais, do Ministério do Planejamento e Orçamento, afirmava que, nas políticas regionais que viessem a ser adotadas no país, deveria ser considerada “... a incorporação ao processo de planejamento de uma pesquisa aprofundada de esquemas de regionalização, em função da qual as atuais macrorregiões do país – cuja grande extensão geográfica e conseqüente heterogeneidade de características físicas e econômicas não permitem uma intervenção mais apropriada do Governo – seriam divididas em sub-regiões, áreas-programa e áreas de desenvolvimento local, para as quais pudessem ser definidos programas governamentais mais adequados às especificidades de cada segmento do espaço regional” (BANDEIRA, 2004).

Dessa forma, foram adotadas as mesorregiões como subdivisões estaduais representativas de homogeneidade econômica, social e ambiental. A Tabela 2 relaciona todas as mesorregiões nas quais cada um dos estados inseridos no SAN¹³ subdivide-se. A fim de melhor expor os dados obtidos nas seções posteriores, associamos uma sigla a cada mesorregião (MSR). A localização das MSR encontra-se na Figura 25.

Tabela 2 - Estados inseridos no SAN e suas respectivas mesorregiões.

UF	Sigla	Mesorregião	UF	Sigla	Mesorregião
PI	pi_1	Centro-Norte Piauiense	PE	pe_1	Agreste Pernambucano
	pi_2	Norte Piauiense		pe_2	Mata Pernambucana
	pi_3	Sudeste Piauiense		pe_3	Metropolitana de Recife
	pi_4	Sudoeste Piauiense		pe_4	São Francisco Pernambucano
CE	ce_1	Centro-Sul Cearense		pe_5	Sertão Pernambucano
	ce_2	Jaguaribe	AL	al_1	Agreste Alagoano
	ce_3	Metropolitana de Fortaleza		al_2	Leste Alagoano
	ce_4	Noroeste Cearense		al_3	Sertão Alagoano
	ce_5	Norte Cearense	SE	se_1	Agreste Sergipano
	ce_6	Sertões Cearenses		se_2	Leste Sergipano
	ce_7	Sul Cearense		se_3	Sertão Sergipano
RN	rn_1	Agreste Potiguar	BA	ba_1	Centro-Norte Baiano
	rn_2	Central Potiguar		ba_2	Centro-Sul Baiano
	rn_3	Leste Potiguar		ba_3	Extremo Oeste Baiano
	rn_4	Oeste Potiguar		ba_4	Metropolitana de Salvador
PB	pb_1	Agreste Paraibano		ba_5	Nordeste Baiano
	pb_2	Borborema		ba_6	Sul Baiano
	pb_3	Sertão Paraibano		ba_7	Vale São-Franciscano da Bahia
	pb_4	Zona da Mata Paraibana			

Fonte: IBGE

¹³ Note que o estado do Maranhão não se insere no SAN (vide 2.2).

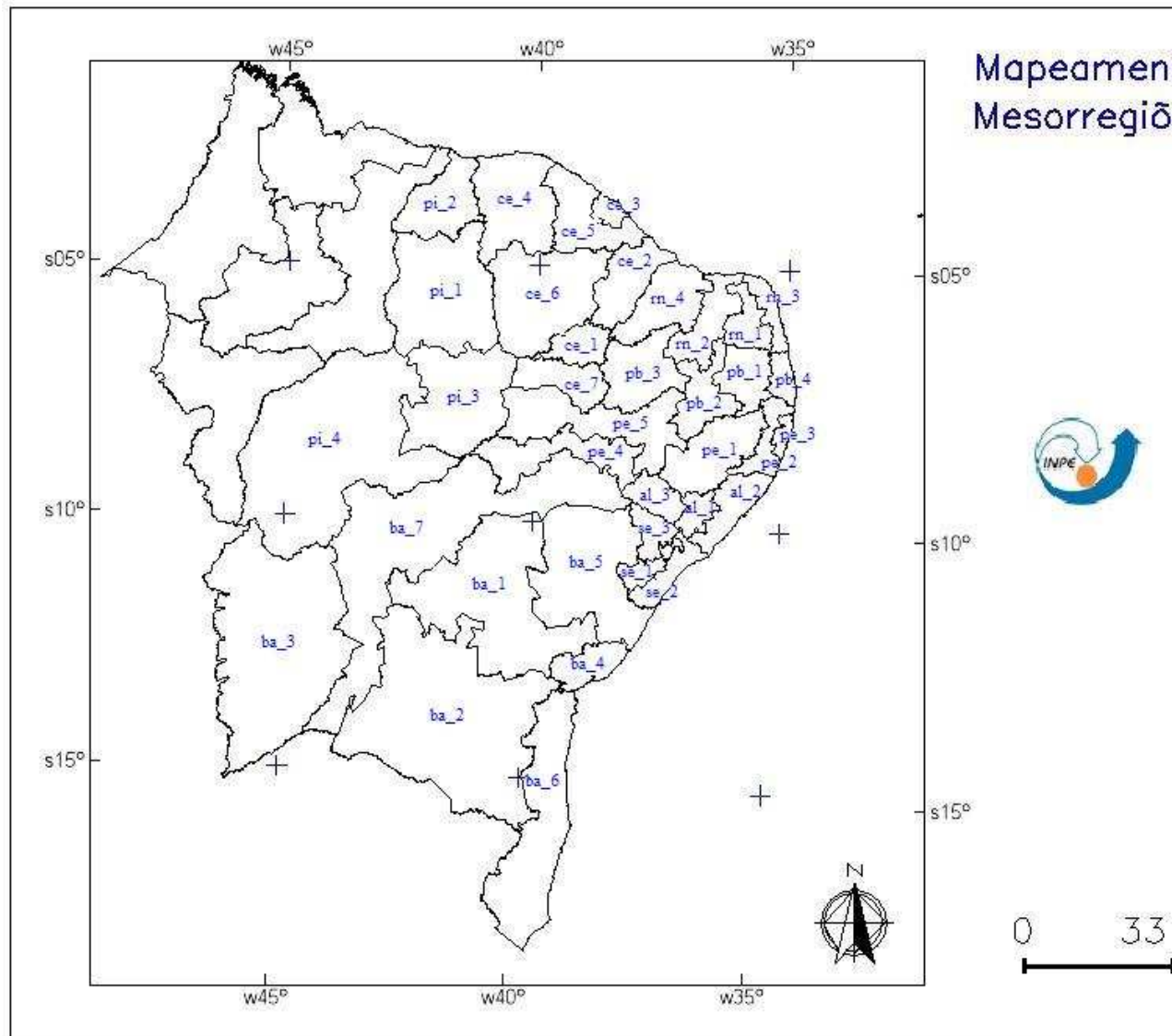


Figura 25 - Mapa das Mesorregiões nordestinas.

5.2 Dados Ambientais

Como informações ambientais características do espaço Semi-Árido nordestino, foram tomadas as cinco classes citadas a seguir:

- Vegetação;
- Precipitação;
- Temperatura;
- Topografia;
- Pedologia.

5.2.1 Vegetação

A fim de conhecermos a situação atual da cobertura vegetal da região Nordeste, foi adquirido, junto à Divisão de Meio Ambiente do INPE (DMA/INPE), o mais recente estudo de mapeamento da vegetação do NEB, realizado pelo PROVEG, o qual fornece informações espaciais acerca de vegetação e localização de áreas antrópicas em nove mapas, obtidos a partir de imagens no biênio 1999-2000, cada um dos quais possuindo os mesmos temas e sendo referentes a cada um dos estados nordestinos.

Dessa forma, trabalhou-se com as classes de vegetação utilizadas pelo PROVEG. Quais sejam:

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Floresta Tropical Ombrófila; | 8. Caatinga; |
| 2. Floresta Tropical Sazonal; | 9. Semi-deserto; |
| 3. Floresta Mista; | 10. Tundra; |
| 4. Floresta Boreal; | 11. Deserto (solo nu); |
| 5. Laricos; | 12. Áreas antrópicas (agropecuária); |
| 6. Cerrado; | 13. Corpos d'água. |
| 7. Campos; | |

Ainda trabalhando sobre o tema vegetação, foram tomados os dados de área cultivada referentes ao projeto ISLSCP2 da NASA. Os dados referentes à vegetação produzidos pelo projeto supracitado possuem as limitações mostradas em 4.2.1.

Tabela 4 - Dados de cobertura vegetal do PROVEG para suas diversas classes com ocorrência no SAN.

	Projeto PROVEG (1999/2000) ¹⁴						
	Área ocupada por cada classe, em %						
MSR	1	2	6	8	11	12	13
pi_1	0,06	0,19	2,45	36,51	0,09	60,64	0,06
pi_2	0,37	11,86	2,06	25,45	0,60	59,30	0,37
pi_3	0,00	0,00	0,00	33,53	0,00	66,41	0,05
pi_4	0,00	11,77	20,43	9,88	0,10	57,78	0,03
ce_1	0,00	1,92	0,00	46,07	0,63	50,52	0,86
ce_2	0,00	0,03	0,00	41,98	1,14	55,38	1,47
ce_3	0,00	0,00	0,00	16,80	2,33	79,19	1,68
ce_4	1,46	3,36	0,00	22,99	0,41	71,40	0,38
ce_5	1,62	2,27	0,00	32,67	3,84	58,11	1,48
ce_6	0,00	0,01	0,00	57,27	0,16	42,03	0,53
ce_7	0,00	6,71	0,00	24,24	0,19	68,84	0,02
rn_1	2,25	3,42	0,00	10,05	0,12	83,85	0,30
rn_2	0,32	0,00	0,00	51,01	1,21	47,05	0,42
rn_3	10,82	0,00	0,00	3,49	9,79	74,99	0,92
rn_4	0,72	0,00	0,00	65,01	0,58	31,43	2,26
pb_1	1,65	5,21	0,00	9,89	0,51	82,74	0,00
pb_2	0,00	2,38	0,00	23,45	0,02	73,96	0,20
pb_3	0,00	1,92	0,00	47,41	1,15	49,05	0,47
pb_4	ND ¹⁵	ND	ND	ND	ND	ND	ND
pe_1	7,80	8,51	0,00	3,60	0,22	79,85	0,00
pe_2	22,51	0,00	0,00	0,00	0,29	76,80	0,41
pe_3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
pe_4	0,00	0,07	0,00	53,12	0,25	41,80	4,76
pe_5	0,00	0,00	0,23	45,87	0,05	53,74	0,11
al_1	10,32	13,65	3,54	8,10	0,25	63,02	1,13
al_2	63,04	2,13	0,00	0,00	1,32	30,24	3,27
al_3	0,00	7,01	0,39	18,18	0,16	73,40	0,87
se_1	6,31	21,68	4,26	0,88	2,51	63,71	0,66
se_2	26,19	13,56	17,01	0,00	2,87	37,45	2,92
se_3	0,00	9,06	2,47	4,25	0,67	83,50	0,04
ba_1	1,35	12,69	0,66	18,00	0,80	66,30	0,19
ba_2	2,23	7,18	3,85	8,17	5,83	72,54	0,22
ba_3	0,00	4,77	25,11	2,33	0,02	66,81	0,96
ba_4	27,87	0,57	1,20	0,00	2,30	63,09	4,97
ba_5	2,38	0,46	2,90	18,82	0,07	75,30	0,07
ba_6	34,32	2,17	0,00	0,01	1,32	61,64	0,53
ba_7	0,00	9,52	4,96	38,28	3,10	41,47	2,67

Tabela 3 - Dados de áreas de cultivo agrícola do projeto ISLSCP2 em diversos anos.

	Projeto ISLSCP2 (1750-1990)			
	Área cultivada no ano, em %			
MSR	1750	1850	1950	1990
pi_1	0,09	0,16	2,12	3,12
pi_2	0,03	0,06	0,77	1,20
pi_3	0,11	0,20	2,73	4,68
pi_4	0,41	0,74	9,38	14,52
ce_1	0,00	0,00	0,00	0,03
ce_2	0,00	0,00	0,15	0,27
ce_3	0,00	0,00	0,50	1,10
ce_4	0,01	0,03	0,50	1,13
ce_5	0,03	0,06	0,91	2,06
ce_6	0,00	0,01	0,09	0,22
ce_7	0,00	0,04	0,32	0,98
rn_1	0,13	0,30	3,87	13,96
rn_2	0,01	0,03	2,26	3,45
rn_3	0,10	0,10	9,00	15,10
rn_4	0,00	0,00	0,08	0,12
pb_1	0,38	0,65	3,67	20,85
pb_2	0,08	0,13	1,13	5,90
pb_3	0,00	0,00	0,04	0,25
pb_4	ND	ND	ND	ND
pe_1	0,23	0,41	4,61	17,60
pe_2	0,20	0,30	4,40	16,30
pe_3	ND	ND	ND	ND
pe_4	0,04	0,08	1,09	3,30
pe_5	0,01	0,04	0,54	1,94
al_1	0,33	0,63	6,13	18,33
al_2	0,27	0,47	5,00	16,77
al_3	0,15	0,27	2,57	7,37
se_1	0,40	0,70	5,35	11,05
se_2	0,30	0,55	4,60	10,00
se_3	0,43	0,77	6,10	13,30
ba_1	0,20	0,36	3,55	9,72
ba_2	0,25	0,44	4,42	14,25
ba_3	0,22	0,38	3,90	10,88
ba_4	0,15	0,35	3,35	9,20
ba_5	0,17	0,29	2,88	7,66
ba_6	0,21	0,36	3,80	13,53
ba_7	0,30	0,53	5,37	14,16

¹⁴ A numeração das classes de vegetação do PROVEG segue a mesma sequência da legenda da figura 23.¹⁵ ND: no data.

5.2.2 Precipitação, Temperatura e Topografia

A fim de conhecermos as condições climáticas e de relevo da região Nordeste, foi obtido, junto ao CPTEC/INPE, sediado em Cachoeira Paulista – SP, dados relativos à precipitação média mensal mesorregional (mm) e temperatura média mensal mesorregional (°C) calculada com base no período de 1961 a 1990, bem como dados topográficos atuais. Os dados supracitados encontram-se nas tabelas a seguir. As figuras abaixo, obtidas a partir dos dados adquiridos, mostram os traços gerais de precipitação, temperatura e relevo da região Nordeste.

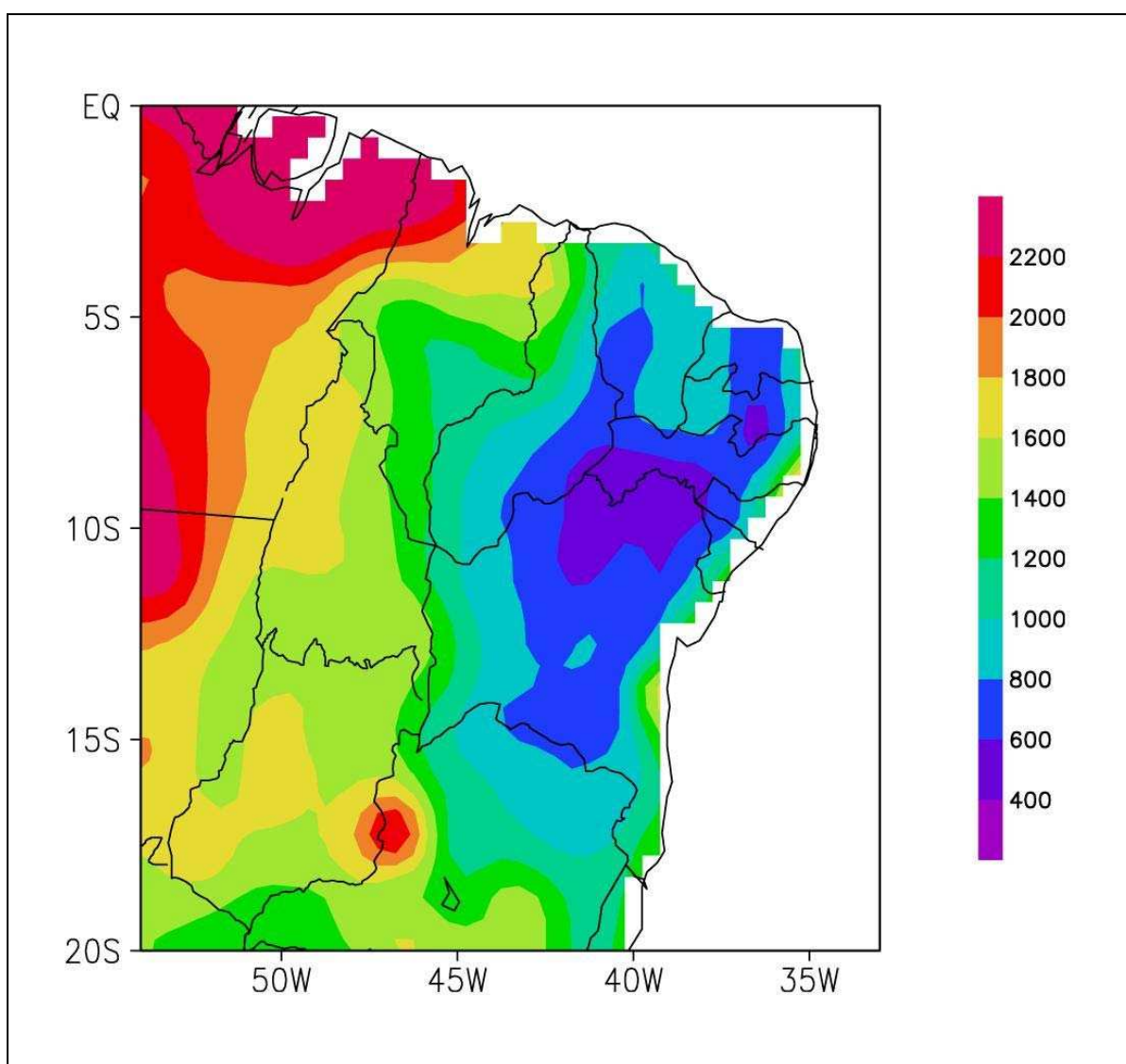


Figura 26 - Níveis de precipitação média anual para o NEB, com valores em milímetros de chuva.

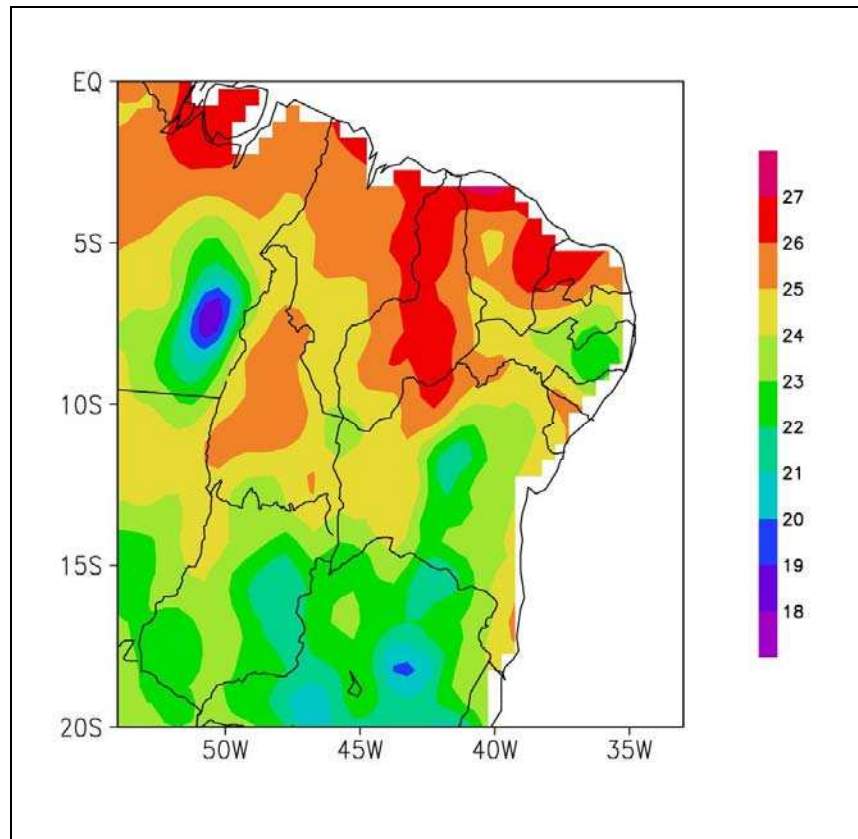


Figura 27 - Níveis de temperatura média anual para o NEB, com valores em graus Celsius.

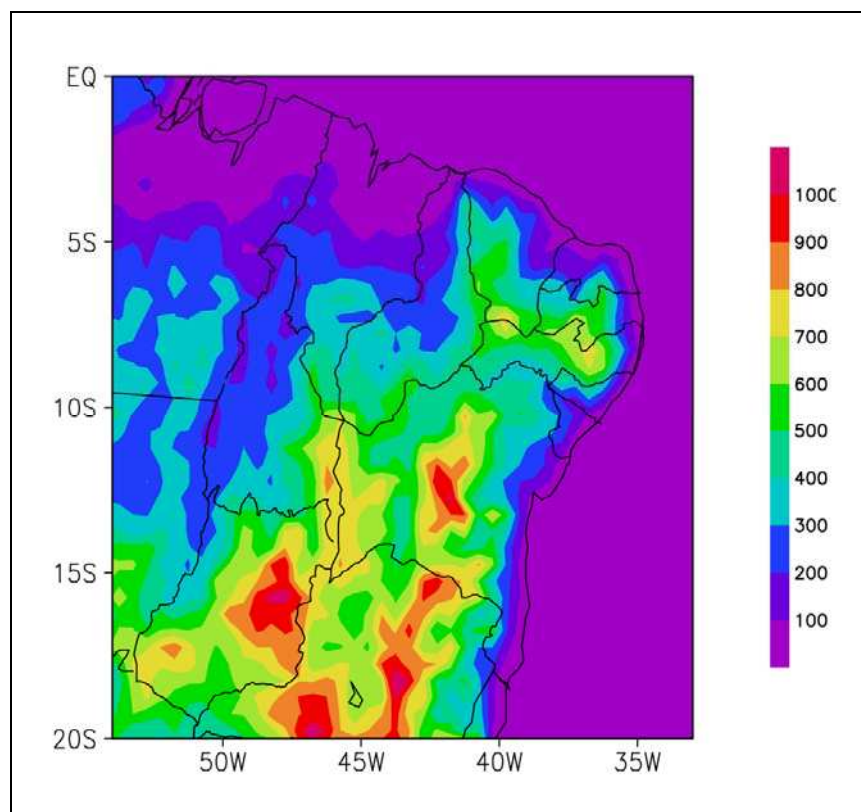


Figura 28 - Vista em planta do relevo nordestino, com valores em metros acima do nível do mar.

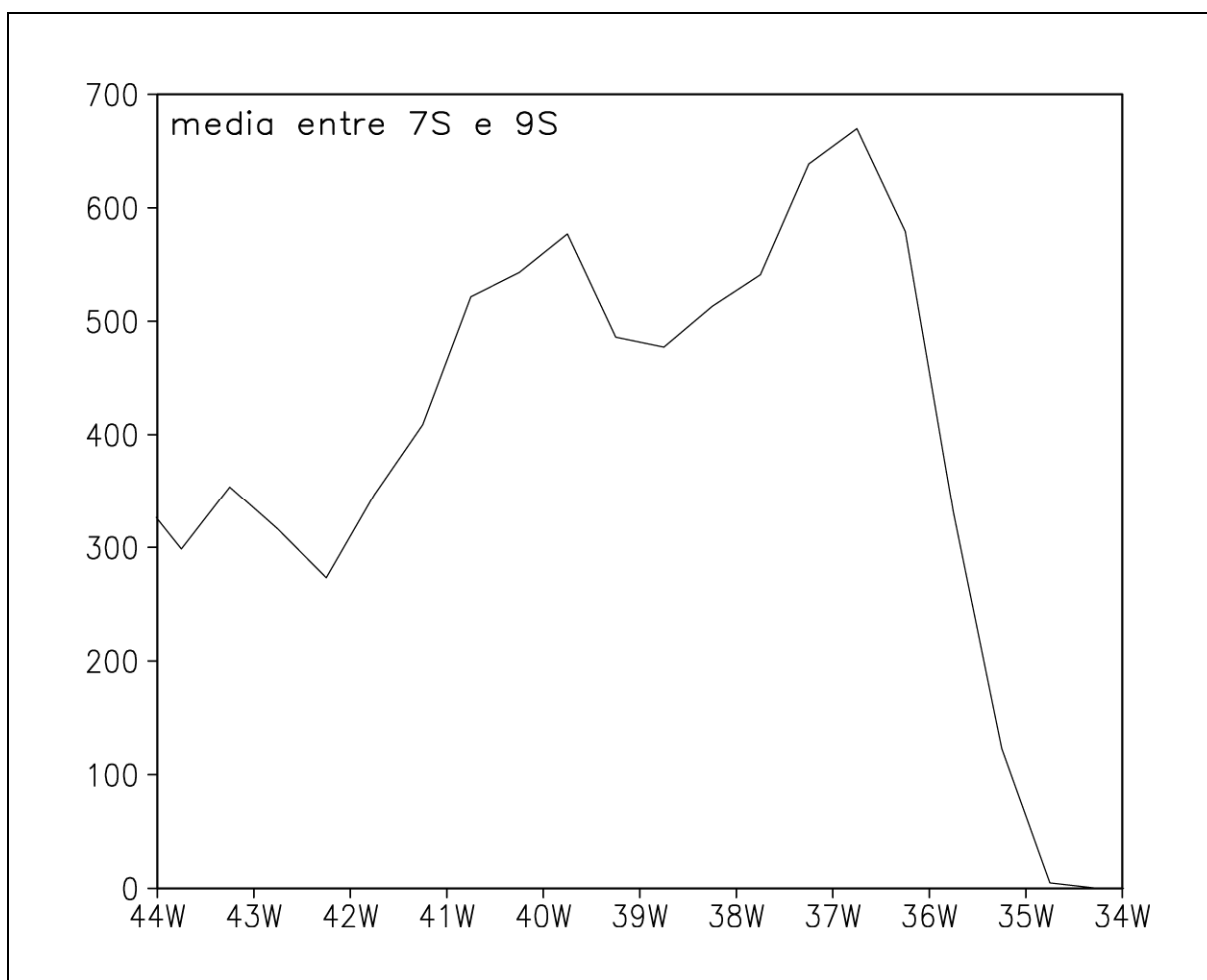


Figura 29 - Vista em corte transversal do relevo nordestino, com valores em metros acima do nível do mar.

Como podemos ver na Figura 29, o corte transversal obtido a partir dos dados topográficos adquiridos mostra fidedigna relação com o corte transversal do relevo nordestino obtido por Jurandyr Ross através do Projeto RadamBrasil apresentado na figura 3 do presente trabalho.

Tabela 5 - Dados de precipitação média mensal nas mesorregiões do SAN entre os anos 1961 e 1990.

	Precipitação média mensal (1961-1990), mm											
MSR	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
pi_1	149,4	175,5	250,5	202,9	64,5	14,9	8,1	3,2	7,9	24,8	45,3	96,3
pi_2	156,9	216,4	315,4	286,4	166,5	48,2	25,2	8,5	10,2	12,2	21,2	70,5
pi_3	110,2	119,3	153,0	94,2	16,1	4,6	2,6	0,6	5,2	21,3	52,9	94,9
pi_4	152,1	150,9	161,6	111,4	20,6	4,7	1,7	1,7	11,9	59,0	116,7	145,5
ce_1	109,3	155,6	222,8	177,6	75,9	33,1	19,0	4,5	7,5	14,4	14,1	46,3
ce_2	65,4	115,4	211,0	198,7	111,9	53,9	35,7	7,6	3,7	3,2	3,9	24,6
ce_3	92,4	152,7	262,2	244,6	152,7	80,6	35,2	8,2	8,9	8,7	8,3	37,2
ce_4	86,2	145,5	246,6	230,2	129,0	41,2	21,7	3,5	2,3	2,4	4,6	28,7
ce_5	82,4	143,0	241,9	232,3	142,9	74,5	42,1	8,5	6,1	4,9	5,7	26,2
ce_6	75,0	109,5	188,9	173,4	89,8	39,2	22,2	6,8	6,1	6,0	9,2	34,0
ce_7	129,9	163,7	208,7	170,7	48,2	22,7	12,5	4,2	6,6	16,2	33,7	65,0
rn_1	48,7	69,8	128,6	157,7	128,7	128,0	126,1	64,4	35,7	12,8	17,0	21,7
rn_2	38,2	77,4	135,5	148,8	74,4	51,0	49,6	18,0	9,9	4,1	4,0	16,2
rn_3	66,7	112,4	196,7	251,6	230,7	238,2	222,6	109,2	59,5	16,0	19,4	29,2
rn_4	56,5	113,2	198,6	193,4	94,0	42,5	35,1	8,4	5,3	4,4	6,0	24,8
pb_1	50,2	67,3	126,7	147,8	127,2	124,3	143,2	66,9	42,2	17,8	18,8	26,8
pb_2	36,5	62,2	111,2	111,6	58,4	52,6	54,9	20,9	12,1	6,5	6,6	20,8
pb_3	92,8	152,6	232,2	206,9	79,9	41,3	24,0	7,3	5,2	6,8	13,5	37,8
pb_4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
pe_1	47,6	62,9	114,3	132,5	127,7	140,6	148,2	73,0	49,5	26,8	21,7	39,0
pe_2	105,5	129,4	228,3	290,9	328,6	333,7	372,5	203,6	131,7	69,3	57,2	84,5
pe_3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
pe_4	68,2	72,7	114,4	76,8	23,4	15,7	14,4	4,8	5,0	9,8	31,2	60,5
pe_5	77,5	94,0	145,4	112,7	42,0	27,0	22,5	7,3	7,3	12,1	24,9	59,9
al_1	31,3	45,8	83,5	137,3	168,1	166,1	153,4	82,2	65,7	34,7	22,4	34,5
al_2	63,9	89,2	147,2	239,5	265,9	249,7	304,7	144,9	114,6	64,0	28,5	57,6
al_3	39,5	48,0	71,3	81,2	88,0	90,5	92,9	39,4	27,7	13,2	17,1	40,8
se_1	38,9	63,6	95,8	150,9	196,6	178,9	166,1	109,3	80,7	52,5	44,2	47,0
se_2	55,7	85,0	118,7	196,6	253,7	215,0	191,3	132,6	92,2	69,0	62,1	62,8
se_3	37,3	47,1	73,2	101,8	126,7	120,1	115,9	69,1	49,4	29,7	31,4	36,1
ba_1	83,2	73,7	88,2	65,7	42,4	41,2	32,9	23,1	18,5	33,8	74,7	99,7
ba_2	114,2	84,5	87,2	57,6	18,7	17,3	14,3	10,4	16,5	57,7	120,6	143,0
ba_3	203,5	167,8	159,4	87,6	13,8	2,4	1,1	2,7	18,5	96,6	186,9	230,8
ba_4	86,1	98,1	120,8	167,7	183,1	158,1	140,9	94,8	79,8	85,9	93,7	107,7
ba_5	52,2	61,8	80,0	80,3	82,8	73,6	61,0	42,4	28,4	30,6	48,2	65,1
ba_6	116,4	101,3	115,8	114,4	94,1	95,9	102,6	75,2	81,3	116,5	143,1	146,3
ba_7	106,3	99,2	107,9	68,6	12,5	5,9	3,9	2,3	6,9	35,0	91,5	114,5

Tabela 6 - Dados de temperatura média mensal nas mesorregiões do SAN entre os anos 1961 e 1990.

MSR	Temperatura média mensal (1961-1990), °C											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
pi_1	25,5	25,0	24,7	24,8	25,0	24,8	25,0	26,1	27,3	27,4	27,1	26,4
pi_2	26,7	25,9	25,4	25,5	25,8	25,7	25,8	26,8	27,6	27,9	27,9	27,5
pi_3	26,0	25,7	25,6	25,4	25,3	24,6	24,6	25,6	27,0	27,4	27,3	26,6
pi_4	25,2	25,2	25,1	25,2	25,0	24,1	24,2	25,2	26,9	27,2	26,5	25,6
ce_1	27,3	26,3	25,5	25,3	25,1	24,6	24,7	25,9	27,0	27,7	28,0	27,9
ce_2	27,3	27,1	26,7	26,5	26,2	25,6	25,2	25,7	26,3	26,9	27,3	27,4
ce_3	27,0	26,7	26,4	26,3	26,3	25,8	25,6	26,0	26,4	26,8	27,1	27,2
ce_4	26,5	25,8	25,1	25,2	25,3	25,2	25,3	26,1	26,5	26,9	27,1	27,0
ce_5	26,8	26,5	26,1	26,1	26,1	25,6	25,4	25,9	26,3	26,6	26,9	27,0
ce_6	26,5	25,6	24,9	24,7	24,6	24,2	24,3	25,5	26,3	26,9	27,1	27,1
ce_7	25,1	24,2	23,5	23,2	22,8	22,2	22,2	23,2	24,6	25,4	25,9	25,7
rn_1	26,6	26,6	26,3	25,9	25,2	24,3	23,5	23,8	24,6	25,4	26,1	26,4
rn_2	26,3	26,3	26,0	25,9	25,3	24,5	23,8	24,1	24,8	25,5	26,1	26,2
rn_3	27,0	27,0	26,9	26,6	25,9	25,2	24,4	24,6	25,3	25,9	26,5	26,8
rn_4	27,2	27,2	26,9	26,7	26,2	25,4	24,7	25,0	25,7	26,4	26,9	27,0
pb_1	25,4	25,3	25,2	24,8	23,9	22,9	22,1	22,3	23,2	24,1	24,8	25,1
pb_2	24,4	24,1	24,0	23,4	22,5	21,3	20,5	20,9	22,1	23,2	23,9	24,1
pb_3	26,0	25,7	25,3	24,8	24,2	23,3	22,7	23,2	24,3	25,3	25,9	26,0
pb_4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
pe_1	23,7	23,4	23,3	22,8	21,8	20,8	19,9	20,1	21,1	22,3	23,2	23,5
pe_2	24,5	24,4	24,2	24,0	23,3	22,8	22,3	22,1	22,3	23,1	23,7	24,2
pe_3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
pe_4	26,5	26,3	26,1	25,5	24,5	23,2	22,4	23,1	24,7	26,0	27,0	26,8
pe_5	25,3	24,9	24,6	24,0	23,0	22,0	21,3	22,1	23,6	24,8	25,6	25,6
al_1	26,4	26,5	26,3	25,5	24,4	23,4	22,5	22,5	23,5	24,9	25,8	26,3
al_2	25,3	25,1	25,2	24,7	24,1	23,2	22,7	22,7	23,2	24,2	24,7	25,1
al_3	27,0	26,9	26,7	26,0	24,4	23,1	22,1	22,5	24,1	25,6	26,6	26,9
se_1	26,2	26,4	26,1	25,4	24,4	23,5	22,7	22,8	23,6	24,8	25,5	26,0
se_2	26,9	27,0	26,8	26,2	25,0	24,1	23,3	23,4	24,2	25,5	26,2	26,8
se_3	26,3	26,4	26,1	25,4	24,1	22,9	22,0	22,2	23,4	24,9	25,7	26,3
ba_1	24,5	24,7	24,4	23,7	22,4	21,1	20,5	21,1	22,5	24,2	24,3	24,3
ba_2	23,9	24,2	23,8	23,4	22,1	21,0	20,5	21,5	22,9	24,1	23,6	23,8
ba_3	23,8	23,9	23,8	24,0	23,4	22,3	22,3	23,6	25,3	25,7	24,7	23,8
ba_4	26,3	26,5	26,3	25,6	24,5	23,5	22,8	23,0	23,8	24,9	25,5	26,0
ba_5	25,7	25,7	25,4	24,8	23,3	21,9	21,0	21,3	22,6	24,5	25,2	25,7
ba_6	25,9	26,2	25,9	25,2	24,1	22,8	22,2	22,5	23,4	24,4	24,9	25,9
ba_7	25,7	25,8	25,5	25,3	24,6	23,3	23,1	24,0	25,6	26,8	26,5	25,7

Tabela 7 - Dados topográficos das mesorregiões inseridas no SAN.

MSR	aspect (deg from N)	CTI	elevação média (m)	elevação máxima (m)	elevação mínima (m)	slope (deg)
pi_1	196,3	6,61	324,9	546,6	188,5	0,571
pi_2	197,9	6,89	206,9	523,6	57,3	0,655
pi_3	195,4	6,66	387,9	582,4	265,0	0,511
pi_4	179,2	6,50	396,4	595,9	266,7	0,604
ce_1	174,2	6,30	364,4	732,7	170,7	0,844
ce_2	150,6	6,65	143,1	353,1	60,5	0,360
ce_3	102,7	6,22	55,5	247,0	0,0	0,326
ce_4	168,8	6,42	281,8	807,1	112,3	0,957
ce_5	123,1	5,59	134,5	515,9	44,6	0,591
ce_6	157,6	6,70	405,0	712,3	227,3	0,592
ce_7	166,9	6,55	626,9	907,2	410,8	0,635
rn_1	113,2	6,66	115,3	351,4	28,0	0,416
rn_2	150,1	6,46	289,6	523,8	116,6	0,469
rn_3	46,8	4,97	16,8	74,0	0,0	0,067
rn_4	177,7	6,60	195,3	566,0	73,0	0,692
pb_1	124,9	6,74	210,5	573,0	74,0	0,521
pb_2	155,5	6,46	545,9	938,3	343,0	0,808
pb_3	178,0	6,37	484,8	911,4	282,8	0,870
pb_4	ND	ND	ND	ND	ND	ND
pe_1	157,0	5,93	483,0	851,6	226,2	1,036
pe_2	102,3	5,51	67,5	299,0	0,0	0,396
pe_3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
pe_4	168,8	6,61	385,4	681,1	242,5	0,645
pe_5	179,7	6,31	558,1	870,4	393,1	0,764
al_1	155,9	6,70	190,3	484,1	23,3	0,508
al_2	61,2	2,97	44,2	224,7	0,0	0,209
al_3	170,1	6,90	272,4	540,8	139,8	0,575
se_1	143,0	6,62	132,7	473,0	10,5	0,518
se_2	71,7	4,55	26,7	143,0	0,0	0,150
se_3	147,6	6,53	243,8	451,6	138,0	0,598
ba_1	169,3	6,14	524,0	901,4	340,4	0,962
ba_2	173,8	5,58	675,3	1111,5	404,9	1,457
ba_3	166,3	6,60	684,7	861,6	526,9	0,596
ba_4	115,4	5,82	108,8	357,2	19,8	0,424
ba_5	154,2	6,24	311,9	542,3	191,2	0,648
ba_6	130,2	5,93	172,7	454,4	50,5	0,710
ba_7	165,6	6,93	483,4	757,1	385,4	0,576

5.2.3 Pedologia

Necessitando estabelecer conhecimentos acerca da estrutura pedológica do solo nordestino, buscou-se na literatura especializada carta pedológica da região. Com base em trabalho desenvolvido pelo IBGE, em 2001, e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

(EMBRAPA) em 1981, mostrado em Lepsch (2002), foi obtido, a partir do mapeamento original, o seguinte mapa temático, com as classes pedológicas predominantes em nível mesorregional.

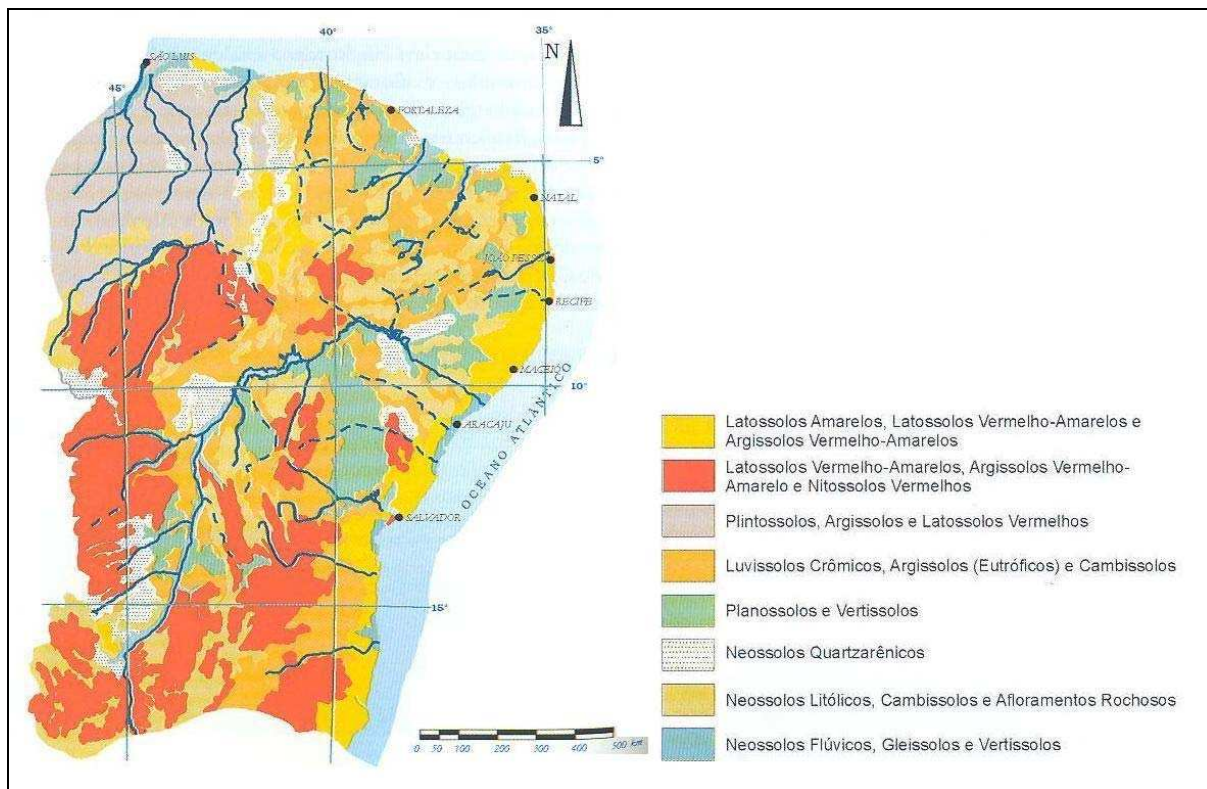


Figura 30 - Mapeamento pedológico do Nordeste citado por Lepsch (2002) – IBGE/EMBRAPA.

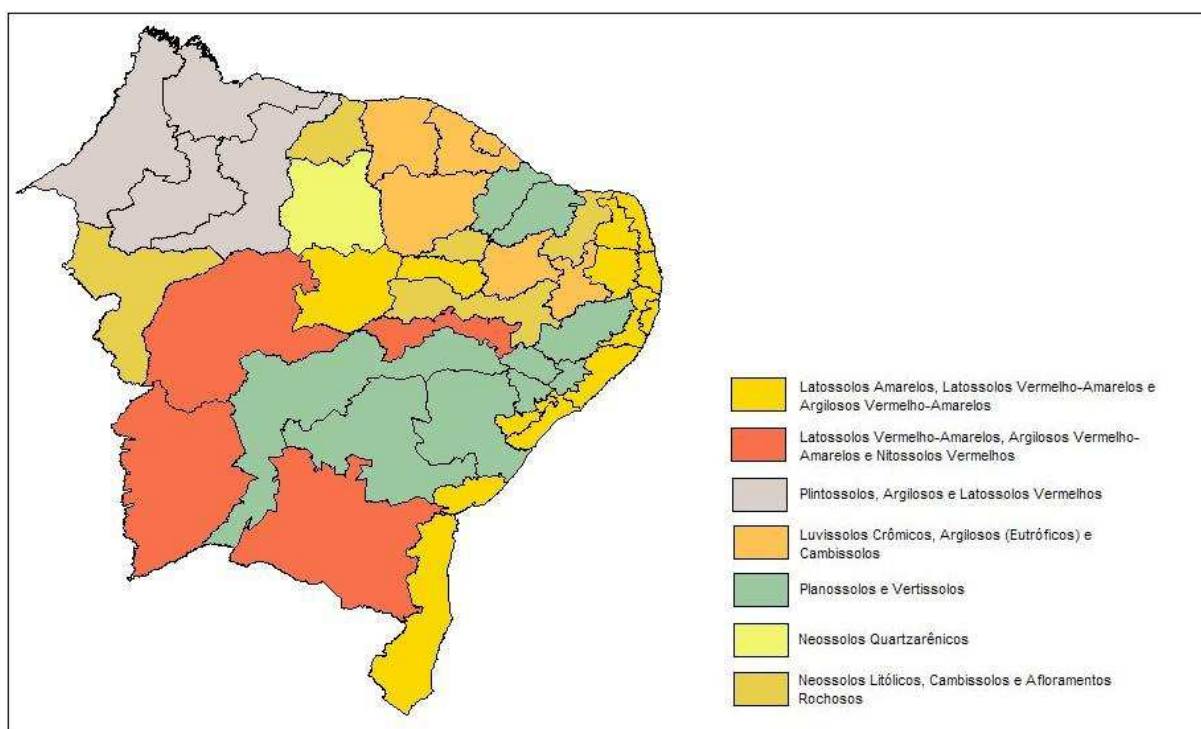


Figura 31 - Mapa das classes pedológicas predominantes em nível mesorregional.

Em termos de caracterização das classes pedológicas presentes nas mesorregiões nordestinas, foi tomado por base o trabalho de Gomes (2005), o qual realiza uma avaliação da vulnerabilidade à perda de solo em região semi-árida fazendo uso de sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados a uma área piloto. O resultado compõe a tabela 8.

Tabela 8: Características e formas de utilização dos principais solos que compõem as diversas mesorregiões nordestinas.

Tipo de Solo	Principais Características	Utilização
Latossolos	Possuem alto grau de intemperismo, indicando se tratar de solos bem desenvolvidos; profundidade efetiva individualizada pela diferença de cor entre os horizontes A e B; boa permeabilidade e porosidade, facilitando a drenagem interna. A drenagem satisfatória, bem como o baixo gradiente textural, são propriedades que restringem a ação dos processos erosivos nestes solos e, aliado à permeabilidade, favorecem o desenvolvimento dos vegetais. Esse tipo de solo ocorre, geralmente, em superfícies de topografia plana e suave ondulada.	A maioria dos latossolos possui baixa fertilidade devido aos reduzidos teores de bases trocáveis, micronutrientes e fósforo. Porém, as boas condições topográficas e as favoráveis características físicas dos solos, fazem com que no semi-árido estes solos possuam potencial elevado para a utilização agrícola, tornando-os viáveis para irrigação.
Argilossolos	Caracterizados pela existência do horizonte B textural. Este horizonte geralmente contém filmes de argila envolvendo superfícies das unidades estruturais chamados de “cerosidade”. Além dessa característica, o horizonte B é argiloso e sua estrutura é moderadamente desenvolvida. O horizonte A possui uma textura arenosa e/ou média e estrutura fraca a moderadamente desenvolvida. Essa diferença textural entre os dois horizontes ocasiona riscos maiores à susceptibilidade à erosão que pode ser intensificada em áreas com a topografia mais acidentada. Porém, esses solos são característicos de área com relevo suave ondulado e ondulado.	Devido à diversidade de características, variam quanto à fertilidade. Na região semi-árida, ocorrem solos eutróficos em maior proporção que os distróficos. Estes últimos, contudo, podem responder satisfatoriamente à aplicação de corretivos e fertilizantes. Outra limitação bastante comum, encontrada na região é a alta pedregosidade natural, o que dificulta o emprego de máquinas agrícolas para cultivo ou para a própria correção destes solos. Os argilossolos têm sido utilizados para diferentes cultivos, destacando-se os de subsistência - milho e feijão. No entanto, a exploração menos intensiva dos argilossolos está relacionada às condições climáticas.

Tipo de Solo	Principais Características	Utilização
Cambissolos	São solos pouco evoluídos, cujos processos genéticos não se aprofundaram suficientemente para produzir um horizonte B com estrutura, cor e outras propriedades que o diferencie de outras classes de solos. Possuem textura geralmente argilosa e são considerados solos profundos a medianamente profundos. Geralmente possuem altas concentrações de minerais primários e no Nordeste são predominantemente eutróficos com alto potencial para utilização agrícola. Parte deles, porém, possui uma faixa concrecionária e/ou pedregosa o que dificulta a implantação de cultivos, principalmente se utilizadas máquinas. Distribuem-se em áreas com topografia plana e suave ondulada. De uma maneira geral, os cambissolos distribuem-se pelo Nordeste, em associação com outros solos em áreas movimentadas, condicionadas pelo relevo local, pelo material de origem e pelo clima.	Pelo fato de comprometer muito pouco o ecossistema da caatinga, estes solos possuem grande vocação para culturas nobres e, devido à sua grande expressão, poderiam transformar o Nordeste num produtor de alimentos ao invés da posição atual de importador.
Luvissolos	Possuem uma ocorrência significativa no semi-árido e, por isso, são conhecidos como “Vermelhos do Sertão” e estão, geralmente associados aos solos litólicos, solonetz solodizado e planossolos. Apresentam horizonte A fraco ou moderado, pouco espesso em textura predominantemente média, com estrutura maciça ou em blocos. O horizonte B é textural, não hidromórfico, com argila de atividade alta. São considerados solos rasos a pouco profundos. Caracterizam-se por forte susceptibilidade à erosão, encontrando-se, na maioria das vezes, com boa parte do horizonte A já removida, deixando exposta uma cobertura de pedras, constituída por calhaus e matacões de quartzo rolados, desarestados ou semidesarestados, espalhados pela superfície dos solos, denominada “pavimento desértico” que é uma característica comum destes solos.	Sua utilização é restrita devido ao clima, à pedregosidade e à pouca profundidade. Os principais usos encontrados no semi-árido são algodão mocó, pecuária extensiva e culturas de subsistência.
Planossolos	São solos que apresentam uma transição abrupta do horizonte A para o B, que é textural. Possuem profundidade variável e são mal drenados internamente. O horizonte A é geralmente fraco e de textura arenosa enquanto o horizonte B textural possui estrutura do tipo prismática, moderada a fortemente desenvolvida, sendo pouco permeável e causando encharcamentos superficiais nas épocas chuvosas. Em épocas secas, o solo tende a se tornar ressecado e pode apresentar fendas entre os elementos texturais. Ocorrem em relevos plano e suave ondulado, formados a partir de diferentes tipos de material de origem (gnaisses, xistos, migmatitos e granitos, por exemplo). Devido ao seu alto teor de sódio trocável e outras propriedades deficientes, os planossolos não devem ser irrigados sem um estudo de viabilidade muito profundo e nunca sem drenagem.	Localizado comumente ao longo de rios e açudes, estes solos tendem à salinização devido à alta evaporação no clima semi-árido. Contudo, têm sido aproveitados com pecuária extensiva e, em menos escala, com lavouras de milho, feijão, sisal, palma forrageira e outras.

Tipo de Solo	Principais Características	Utilização
Vertissolos	Conhecidos como "massapê", os vertissolos são solos minerais, não hidromórficos e caracterizados pela presença de argilas do grupo das esmectitas, com a propriedade de se expandirem quando úmidas e se contraírem, quando secas. São encontrados em relevo predominantemente plano e suave ondulado. O teor relativamente alto de argila e sua grande atividade conferem ao material desses solos elevada plasticidade e pegajosidade, quando molhados, e consistência extremamente dura, quando seco, fato que possui sérias implicações com relação à sua utilização. Ou seja, apesar de possuir elevado potencial agrícola relacionado ao alto potencial nutritivo derivado da argila, estes solos possuem uma permeabilidade lenta, o que exige uma tração muito grande para o seu preparo. A rotação de culturas e a redução da mecanização, neste caso, são bastante indicadas.	No semi-árido têm sido utilizados para culturas de algodão com pecuária extensiva em meio à vegetação natural, feijão, milho e arroz.
Neossolos	São desenvolvidos apenas nas planícies aluvionais, em depósitos recentes de origem fluvial ou lacustre com a peculiaridade da ausência de horizonte diagnóstico de subsuperfície. Constituem solos jovens e pouco desenvolvidos.	Possuem grande potencialidade agrícola pela proximidade às áreas de várzea. Na região semi-árida do nordeste este tipo de solo oferece melhor condição de umidade e são os mais importantes para a região para o cultivo de culturas irrigadas ou de sequeiro.

Fonte: Adaptado de Projeto RADAMBRASIL (1983); Cavedon (1986); Oliveira et al (1992). Apud. Gomes (2005).

5.3 Dados Sócio-Econômicos

A fim de caracterizarmos sócio-economicamente o NEB, foram adquiridos, junto ao Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA), séries históricas contendo os valores dos três indicadores sócio-econômicos considerados no presente trabalho. A saber:

- População Residente Total (PRT);
- Índice de Desenvolvimento Humano (IDH);
- Produto Interno Bruto (PIB).

Os indicadores supracitados foram obtidos a partir do banco de dados *IPEAData*¹⁶, o qual forneceu séries históricas de todos os municípios do Nordeste brasileiro. Com a finalidade de caracterizarmos a distribuição espacial-temporal desses índices, a partir dos dados municipais, conhecendo-se a relação dos municípios pertencentes a cada mesorregião, e fazendo uso das

¹⁶ Disponível em <<http://www.ipeadata.gov.br/>> Acesso em 28 jun. 2007.

formulações matemáticas apresentadas nos itens procedentes, os dados foram agregados em nível mesorregional.

5.3.1 População Residente Total - PRT

Em geral, os dados populacionais são obtidos por meio dos chamados Censos Demográficos, realizados no Brasil pelo IBGE de forma irregular a partir de 1872 e, desde 1940, realizados de 10 em 10 anos, com exceção do realizado em 1991, e não em 1990, como era previsto.

No intuito de quantificarmos as características demográficas atuais e passadas do NEB, podendo-se proceder com uma análise temporal do crescimento populacional das diversas mesorregiões nordestinas, que, segundo Gremaud et al. (2002), é um evento provocado pela combinação de três fatores básicos, qual sejam, a mortalidade, a natalidade e o saldo migratório (diferença entre as pessoas que saem e entram definitivamente em uma mesorregião). Foi tomada série histórica de PRT entre os anos de 1920 e 2005, contendo os valores do indicador demográfico, em habitantes, relativos aos municípios nordestinos.

Através da soma, em cada ano, da PRT referente aos municípios pertencentes a cada mesorregião, foi obtida série histórica do indicador agregada em nível mesorregional. A equação 1 evidencia a operação matemática realizada para obtenção das PRT's mesorregionais que, em cada ano, foram dadas pelo somatório das PRT's dos municípios pertencentes à mesorregião em questão. Os dados obtidos encontram-se expostos na Tabela 9.

$$PRT_m(t) = \sum_n prt_{mn}(t) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

$PRT_m(t)$: população residente total da mesorregião m , em habitantes, no ano t ;

$prt_{mn}(t)$: população residente total do município n , pertencente à mesorregião m , em habitantes, no ano t .

5.3.2 Índice de Desenvolvimento Humano - IDH

Conforme Gremaud et al.(2002), é um índice criado pela Organização das Nações Unidas (ONU) como uma medida que retrata o desenvolvimento social de países e regiões, bem como

o bem-estar de sua população, sendo originado da união do conceito de produto *per capita* com indicadores sociais.

O IDH é adimensional e pode variar entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo da unidade mais socialmente desenvolvida é considerada a região. Ele é uma média aritmética de três indicadores:

1. IDH-R: indicador de renda, traduzido pelo produto interno bruto *per capita*;
2. IDH-L: indicador que procura captar a saúde da população, através da indicação de sua expectativa de vida ao nascer (longevidade);
3. IDH-E: indicador que retrata as condições de educação da população, constituído pela média ponderada de dois outros indicadores, qual sejam, a taxa de alfabetização de adultos (com peso dois terços) e a taxa combinada de matrícula nos ensinos fundamental, médio e superior (com peso um terço)

Seguindo as considerações da ONU, a partir dos valores de IDH, pode-se criar um *ranking* no qual as mesorregiões seriam divididas em critérios de alto ($IDH > 0,8$), médio ($0,5 \leq IDH \leq 0,8$) e baixo desenvolvimento ($IDH < 0,5$).

Havendo sido obtidos os valores de IDH municipais para o NEB referentes aos anos 1970, 1980, 1991 e 2000, foi realizada a operação matemática explicitada pela equação 2, na qual foram obtidos os IDH's mesorregionais, que foram dados, em cada ano, pela média ponderada dos IDH's dos municípios pertencentes à mesorregião em questão, sendo utilizado como fator de ponderação as PRT's dos respectivos municípios. Os dados obtidos foram compilados na Tabela 10.

$$IDH_m(t) = \frac{\sum_n prt_{mn}(t) \cdot idh_{mn}(t)}{\sum_n prt_{mn}(t)} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$IDH_m(t)$: índice de desenvolvimento humano da mesorregião m , no ano t ;

$idh_{mn}(t)$: índice de desenvolvimento humano do município n , pertencente à mesorregião m , no ano t .

5.3.3 Produto Interno Bruto - PIB

Em definição dada por Gremaud et al. (2002), o PIB é a soma de tudo que foi produzido por uma dado país ou região em um dado período de tempo, em geral, um ano. Através desse indicador econômico pode-se proceder a análise do crescimento econômico de uma região, que, em determinado período, é definido como o aumento do produto naquele período, ou seja, a elevação na produção de bens e serviços que satisfazem as necessidades humanas.

No presente trabalho, foram tomados os valores municipais do PIB em milhares de reais de 2000 (R\$ de 2000) deflacionados pelo Deflator Implícito (DI) do PIB nacional, o que significa que dos valores apresentados já foram descontados os efeitos da inflação oficial referente ao período.

Uma vez que foram obtidos junto ao IPEA série histórica de PIB municipal compreendendo os anos entre 1939 e 2004, através da operação matemática mostrada pela equação 3, foram obtidos os valores de PIB mesorregional, onde o seu valor, em cada ano, foi dado pelo somatório dos PIB's dos municípios pertencentes a cada mesorregião. Os dados obtidos encontram-se explicitados na Tabela 11.

$$PIB_m(t) = \sum_n pib_{mn}(t) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

$PIB_m(t)$: produto interno bruto da mesorregião m , no ano t ;

$pib_{mn}(t)$: produto interno bruto do município n , pertencente à mesorregião m , no ano t .

5.3.4 Séries Históricas Compiladas

Após a aplicação das relações apresentadas nas equações de 1 a 3, foram obtidos os seguintes dados, agregados em nível mesorregional:

Tabela 9 - População Residente Total, em 1000 x habitantes, das mesorregiões inseridas no SAN.

MSR	População Residente Total (1000 x habitante)													
	1920	1940	1950	1960	1970	1980	1991	1996	2000	2001	2002	2003	2004	2005
pi_1	232	306	383	502	677	906	1.168	1.230	1.318	1.332	1.346	1.361	1.391	1.408
pi_2	142	205	269	296	380	460	528	550	576	582	587	592	602	607
pi_3	119	158	212	262	316	392	448	450	480	483	486	489	493	497
pi_4	116	149	181	231	307	381	438	443	469	473	476	479	485	489
ce_1	105	162	192	232	284	306	337	336	357	360	362	364	368	370
ce_2	125	178	237	269	339	388	429	453	485	491	497	502	513	520
ce_3	162	304	413	679	1.070	1.627	2.357	2.645	2.930	2.991	3.051	3.107	3.225	3.290
ce_4	320	449	573	648	800	903	1.029	1.085	1.178	1.196	1.210	1.224	1.255	1.272
ce_5	218	342	435	524	611	673	750	792	876	891	903	915	941	955
ce-6	175	347	452	538	710	773	777	775	814	818	822	826	833	838
ce_7	200	309	394	444	544	619	687	722	789	801	811	821	842	853
rn_1	63	133	182	237	291	318	353	373	388	389	392	396	403	407
rn_2	145	197	210	217	282	300	342	340	361	363	364	366	370	372
rn_3	193	232	305	376	514	713	1.032	1.135	1.286	1.313	1.340	1.364	1.416	1.445
rn_4	137	206	270	337	463	568	689	710	742	747	753	758	769	775
pb_1	443	589	707	808	895	997	1.111	1.132	1.151	1.155	1.160	1.164	1.172	1.176
pb_2	113	157	181	195	235	264	268	268	277	278	279	280	282	283
pb_3	206	380	462	550	675	764	803	801	819	821	822	824	827	829
pb_4	199	296	362	465	578	745	1.019	1.105	1.197	1.215	1.234	1.251	1.288	1.308
pe_1	847	1.088	1.287	1.391	1.529	1.657	1.821	1.876	1.993	2.011	2.029	2.046	2.082	2.101
pe_2	581	631	719	845	939	1.036	1.133	1.150	1.207	1.215	1.223	1.230	1.246	1.254
pe_3	416	528	786	1.197	1.752	2.288	2.808	2.968	3.210	3.256	3.292	3.330	3.410	3.455
pe_4	73	73	96	123	195	272	381	420	466	476	483	492	509	519
pe_5	238	370	508	581	746	891	985	985	1.042	1.049	1.057	1.063	1.077	1.085
al_1	136	168	196	251	375	454	537	548	581	586	590	594	603	608
al_2	727	666	712	810	957	1.213	1.604	1.702	1.831	1.844	1.866	1.888	1.934	1.960
al_3	116	117	185	207	255	316	373	383	411	414	419	423	431	435
se_1	158	176	212	239	259	295	349	375	405	411	416	422	433	439
se_2	282	318	363	439	523	693	975	1.076	1.184	1.207	1.227	1.248	1.290	1.314
se_3	38	49	69	82	118	152	168	173	196	200	202	205	211	214
ba_1	531	669	837	954	1.274	1.590	2.018	2.092	2.080	2.087	2.095	2.101	2.113	2.120
ba_2	902	1.075	1.267	1.469	1.674	1.902	2.264	2.459	2.472	2.504	2.514	2.529	2.572	2.592
ba_3	131	151	179	213	279	346	450	473	496	481	486	489	498	502
ba_4	781	799	914	1.248	1.665	2.362	3.135	3.375	3.716	3.783	3.839	3.895	4.015	4.081
ba_5	405	453	615	731	906	1.090	1.373	1.382	1.462	1.459	1.468	1.476	1.494	1.504
ba_6	339	546	721	1.042	1.235	1.534	1.858	1.931	1.967	1.980	1.990	2.001	2.023	2.036
ba_7	243	224	300	334	460	632	770	829	877	889	900	911	933	946

Tabela 10 - Índice de Desenvolvimento Humano das mesorregiões inseridas no SAN.

MSR	Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) Mesorregional			
	1970	1980	1991	2000
pi_1	0,292	0,446	0,545	0,692
pi_2	0,249	0,340	0,388	0,592
pi_3	0,243	0,327	0,390	0,601
pi_4	0,265	0,367	0,426	0,631
ce_1	0,236	0,342	0,400	0,635
ce_2	0,246	0,357	0,440	0,670
ce_3	0,425	0,628	0,696	0,765
ce_4	0,253	0,337	0,387	0,628
ce_5	0,258	0,342	0,402	0,637
ce_6	0,262	0,345	0,397	0,628
ce_7	0,249	0,368	0,440	0,661
rn_1	0,200	0,313	0,384	0,622
rn_2	0,271	0,402	0,470	0,685
rn_3	0,345	0,552	0,640	0,735
rn_4	0,254	0,383	0,466	0,670
pb_1	0,252	0,372	0,450	0,629
pb_2	0,268	0,335	0,399	0,613
pb_3	0,275	0,354	0,414	0,620
pb_4	0,325	0,504	0,584	0,701
pe_1	0,232	0,349	0,432	0,626
pe_2	0,264	0,390	0,430	0,639
pe_3	0,488	0,662	0,724	0,778
pe_4	0,488	0,662	0,724	0,778
pe_5	0,488	0,662	0,724	0,778
al_1	0,237	0,331	0,389	0,603
al_2	0,322	0,466	0,528	0,663
al_3	0,228	0,311	0,351	0,575
se_1	0,255	0,381	0,429	0,624
se_2	0,336	0,522	0,578	0,704
se_3	0,230	0,329	0,369	0,590
ba_1	0,298	0,442	0,462	0,649
ba_2	0,289	0,425	0,443	0,643
ba_3	0,289	0,399	0,460	0,655
ba_4	0,289	0,399	0,460	0,655
ba_5	0,289	0,399	0,460	0,655
ba_6	0,309	0,486	0,470	0,663
ba_7	0,309	0,486	0,470	0,663

Tabela 11 - Produto Interno Bruto, em milhões de R\$ de 2000, das mesorregiões inseridas no SAN.

MSR	Produto Interno Bruto (PIB) Mesorregional - milhão de R\$ de 2000													
	1939	1949	1959	1970	1975	1980	1985	1996	1999	2000	2001	2002	2003	2004
pi_1	113	188	251	540	977	1.481	1.960	3.687	3.073	3.200	3.117	3.208	3.317	3.447
pi_2	91	93	120	195	267	419	459	570	759	775	745	716	711	820
pi_3	43	64	114	169	276	433	517	492	644	670	669	669	698	803
pi_4	56	64	132	143	228	319	368	467	653	685	657	616	656	779
ce_1	43	132	165	194	324	440	469	343	616	587	571	625	613	503
ce_2	64	84	123	166	250	442	705	614	1.018	980	1.021	1.060	1.007	1.141
ce_3	165	433	827	2.397	3.615	6.809	8.395	13.173	13.100	13.012	12.276	12.138	12.938	14.430
ce_4	144	147	220	429	573	784	1.087	1.240	2.120	2.080	2.122	2.404	2.254	2.430
ce_5	68	113	166	268	450	685	1.010	737	1.606	1.518	1.537	1.603	1.524	1.605
ce-6	78	190	231	314	566	875	1.076	787	1.200	1.180	1.155	1.189	1.183	1.120
ce_7	63	213	416	332	515	845	928	859	1.481	1.442	1.406	1.431	1.367	1.360
rn_1	25	65	134	147	283	334	336	318	570	654	635	680	672	665
rn_2	60	138	181	241	484	514	932	560	988	1.195	1.153	1.318	1.307	1.443
rn_3	85	306	328	829	1.400	2.694	3.996	5.124	4.633	5.007	5.006	5.148	5.381	5.899
rn_4	83	199	325	310	686	936	1.579	1.229	2.096	2.438	2.356	2.679	2.700	2.793
pb_1	127	328	556	715	1.148	1.436	1.429	2.015	2.670	2.850	2.819	2.890	2.687	2.861
pb_2	24	87	61	116	206	217	333	286	400	437	451	460	448	491
pb_3	100	314	329	351	665	712	935	871	1.523	1.439	1.442	1.468	1.480	1.513
pb_4	127	271	444	846	1.364	2.255	2.768	5.053	4.007	4.512	4.849	5.011	5.459	5.230
pe_1	288	604	777	1.077	1.634	2.173	2.441	2.627	3.772	4.039	4.063	4.239	4.291	4.520
pe_2	378	586	831	1.002	1.635	2.294	2.839	2.138	3.078	3.219	3.290	3.458	3.334	3.527
pe_3	541	1.502	2.840	5.571	8.431	11.688	11.639	17.543	16.370	16.603	16.611	17.172	17.327	18.098
pe_4	21	40	70	162	294	500	636	849	1.704	1.646	1.774	1.984	1.939	2.077
pe_5	89	249	411	478	1.130	1.239	1.409	1.583	3.272	3.619	3.789	3.993	4.160	4.173
al_1	27	81	154	262	433	615	704	672	993	1.056	1.057	1.098	907	844
al_2	276	522	762	1.454	2.333	3.774	4.593	5.997	5.324	5.295	5.312	5.613	6.129	6.474
al_3	24	74	94	219	291	289	398	373	650	672	675	697	552	530
se_1	33	115	162	205	290	435	565	543	800	782	793	821	802	855
se_2	163	306	459	939	1.528	2.137	4.453	4.651	4.727	4.783	5.468	5.737	6.273	6.502
se_3	11	31	41	86	126	177	267	311	362	356	1.375	1.465	1.524	1.555
ba_1	181	413	603	1.227	1.647	2.707	3.022	2.795	3.801	4.106	4.041	4.313	4.310	4.597
ba_2	271	456	944	1.485	1.860	2.800	4.150	2.956	4.207	4.489	4.499	4.811	4.568	4.952
ba_3	39	56	90	128	197	324	383	980	1.716	1.971	2.010	2.295	2.553	2.751
ba_4	527	1.102	2.529	5.564	10.097	18.340	23.474	23.376	25.669	27.238	27.707	28.956	30.717	34.186
ba_5	116	214	367	503	1.030	1.308	1.842	1.563	2.464	2.551	2.631	2.878	2.764	3.071
ba_6	352	401	1.206	1.642	2.707	4.282	6.942	3.628	5.420	5.370	5.608	6.430	6.257	6.581
ba_7	61	117	194	282	497	829	1.096	1.093	2.277	2.472	2.135	2.786	2.591	2.871

6 Implementação de um Banco de Dados Georreferenciado

6.1 Introdução e Conceitos

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de diversas grandezas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel, o que impedia uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento, na segunda metade deste século, da tecnologia de informática, tornou-se possível armazenar e representar essas informações em ambiente computacional, permitindo a execução de análises integradas de mapas e informações através do geoprocessamento. (CÂMARA e DAVIS, 1998).

A seguir, são estabelecidos alguns conceitos importantes para o entendimento de todo o processo envolvido no estabelecimento de um banco de dados georreferenciado.

- **Geoprocessamento:** disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informação geográfica. Trabalhar com geoinformação, conforme Câmara e Monteiro (2000), significa, antes de mais nada, utilizar computadores como instrumentos de representação de dados espacialmente referenciados. Assim, o problema fundamental da ciência da geoinformação é o estudo de diferentes formas de representação computacional do espaço geográfico;
- **Banco de dados georreferenciado:** banco de dados que integra diversas classes de informações acerca de seus entes, relacionando-os a referenciais estabelecidos no espaço, como, por exemplo, associação de dados municipais ao mapa desse município, que, por sua vez, pode estar contido em um mapa estadual ou nacional.
- **Sistema de Informações Geográficas (SIG):** ferramenta computacional que permite realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados (CÂMARA e DAVIS, 1998);

6.2 Tipos de dados em Geoprocessamento

Em Geoprocessamento, de acordo com a grandeza ou classe que pretendemos representar em um SIG, é feita a definição do tipo de dado de trabalho. Com base no estudo de Câmara e Monteiro (2000), segue uma breve descrição dos tipos de dados a serem utilizados em Geoprocessamento:

- **Dados Temáticos:** descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, expressa de forma qualitativa, como, por exemplo, o mapa pedológico de uma dada região, exemplificado na Figura 32.

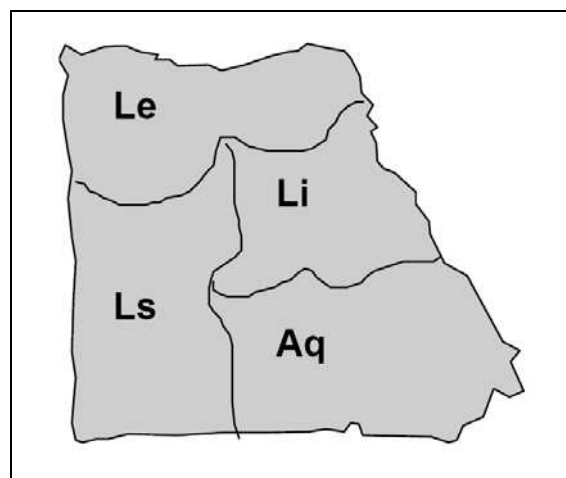


Figura 32 - Exemplo de dados temáticos (mapa pedológico fictício).

Fonte: Câmara e Monteiro (2000).

- **Dados Cadastrais:** distingue-se de um dado temático pelo fato de que cada um de seus elementos é um “objeto geográfico”, que possui atributos e pode estar associado a diversas representações gráficas. A Figura 33 exemplifica sua utilização.

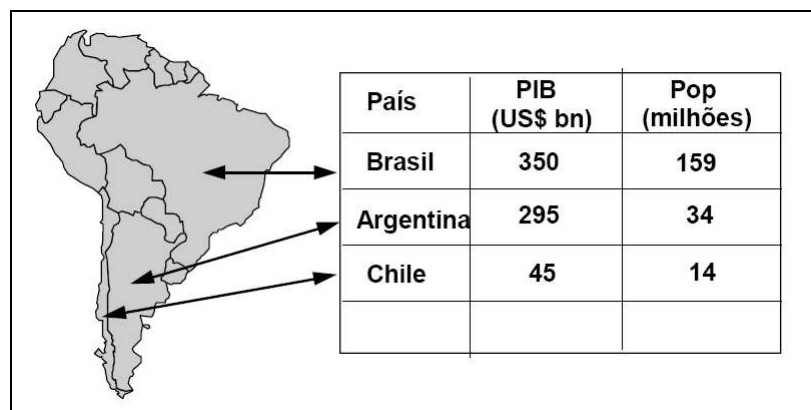


Figura 33 - Exemplo de dados cadastrais (atributos PIB e População de países da América do Sul).

Fonte: Câmara e Monteiro (2000).

- **Redes:** em geoprocessamento, o conceito de “rede” denota as informações associadas a redes de drenagem, rodovias etc. Cada objeto geográfico possui uma localização geográfica exata e está sempre associado a atributos descritivos presentes no banco de dados, armazenadas em coordenadas vetoriais;

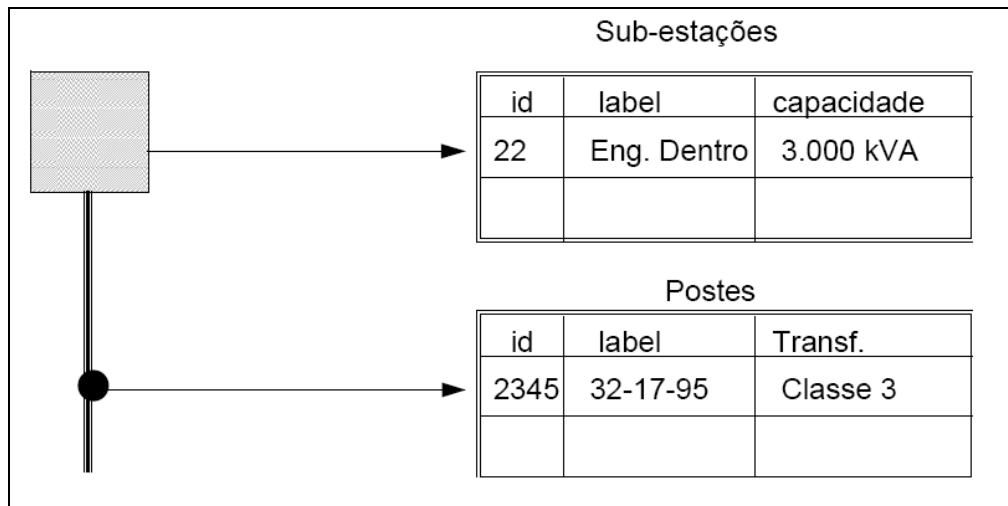


Figura 34 - Exemplo de Elementos de Rede.

Fonte: Câmara e Monteiro (2000).

- **Modelo Numérico de Terreno (MNT):** é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associados a altimetria, também podem ser utilizados para modelar unidades geológicas, como teor de minerais, ou propriedades do solo e subsolo, como aeromagnetismo;

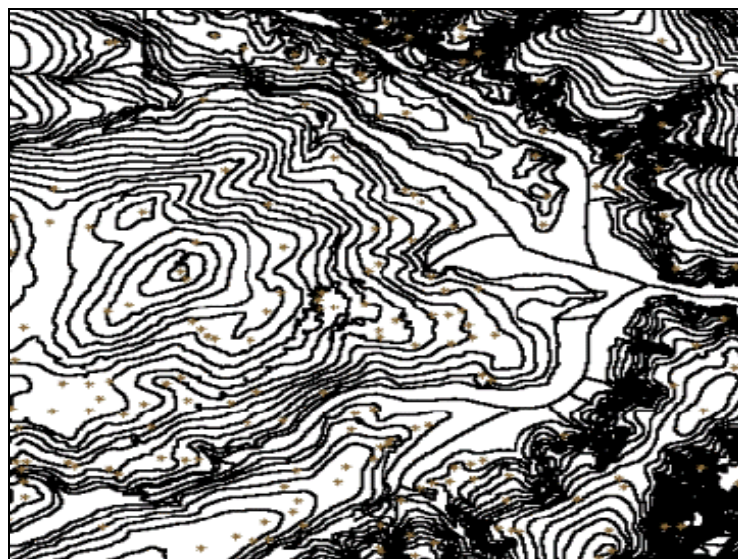


Figura 35 - Exemplo de MNT (isolinhas de topografia).

Fonte: Câmara e Monteiro (2000).

- **Imagens:** obtidas por satélites, fotografias aéreas ou *scanners* aerotransportados, as imagens representam formas de captura indireta de informação espacial. Armazenadas como matrizes, cada elemento de imagem (denominado *pixel*) tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área de superfície terrestre correspondente.

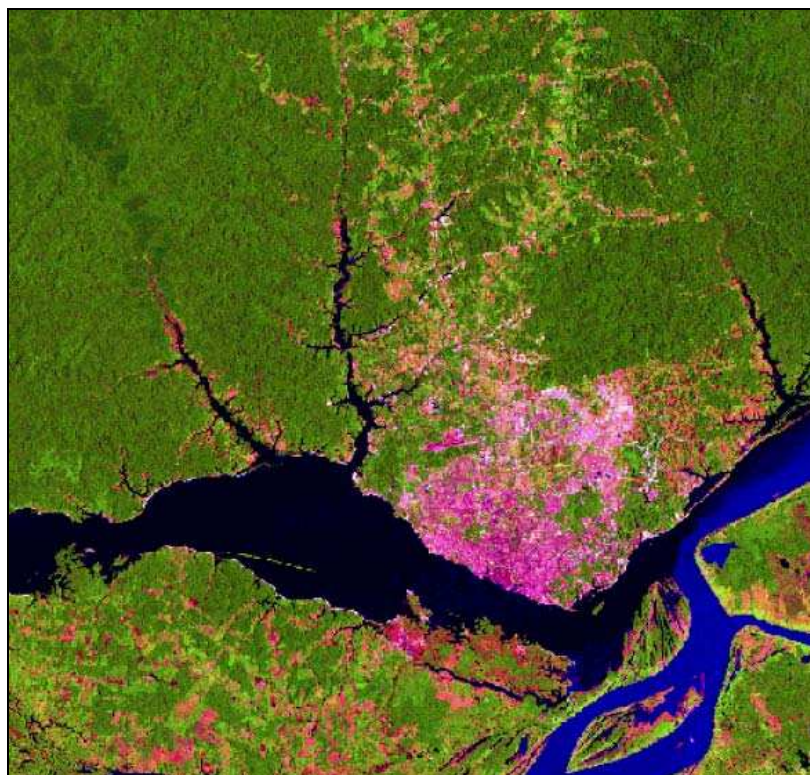


Figura 36 - Exemplo de Imagem (composição colorida TM/LANDSAT para a região de Manaus/AM).

Fonte: Câmara e Monteiro (2000).

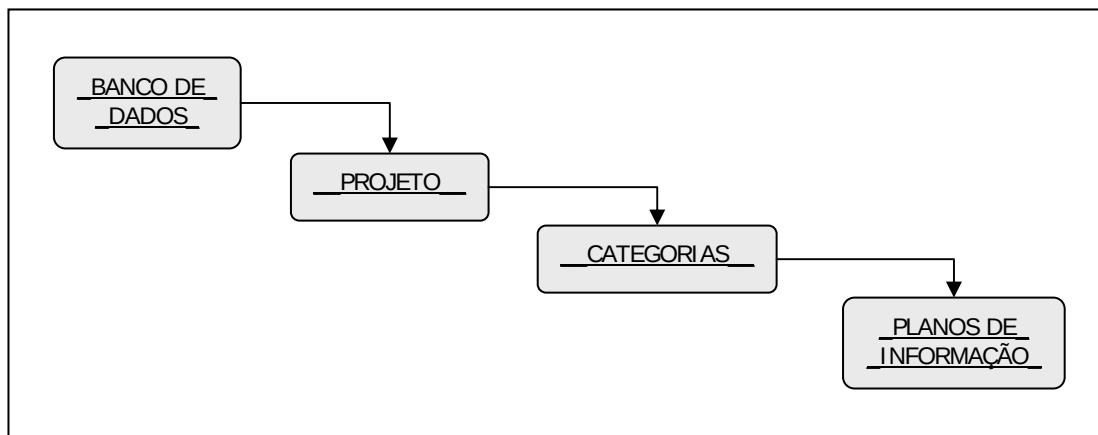
6.3 Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING)

O SPRING é um banco de dados geográfico para ambientes UNIX e Windows, que foi desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens do INPE (DPI/INPE), com as funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais (CÂMARA et al, 1996). Foi um projeto concebido para uso em ambientes cliente-servidor, acoplado a gerenciadores de bancos de dados georrelacionais, integrando um ambiente de dados não-geográficos ao sistema, com pacotes adicionais para processamento de imagens. A integração é realizada dentro de um banco de dados e as manipulações podem estar relacionadas com linguagens de programação

específicas, como a linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) (GOMES, 2005).

6.3.1 Descrição conceitual

• Estruturação do SPRING



• **Banco de dados:** conforme explanação realizada em 6.1, o banco de dados georreferenciado integra diversas classes de informações acerca de seus entes, relacionando-os a referenciais estabelecidos no espaço. Ainda, nessa etapa do trabalho, conforme Câmara e Monteiro (2000), o usuário define inicialmente o esquema conceitual associado às entidades do banco de dados geográficos, indicando para cada tipo de dados seus atributos não-espaciais e as representações geométricas associadas. Assim, a definição da estrutura do banco precede a entrada dos dados. O SPRING é exemplo de sistema organizado como bancos de dados geográficos;

• **Projeto:** Um banco de dados geográfico pode ser dividido em projetos de forma a facilitar o trabalho dos usuários que operam o banco. Contudo, as definições do esquema conceitual valem para todos os projetos do banco, mesmo que não haja continuidade espacial entre os mesmos. Ainda, nessa fase, define-se projeção cartográfica com a qual se deseja trabalhar, bem como o tipo de coordenadas (planas ou geográficas) e o “retângulo envolvente” que representa a área, em coordenadas que engloba a região alvo;

• **Categoria e Modelo de dados (tipo de dados):** Já havendo sido definido o banco de dados e o projeto de trabalho inserido dentro desse banco, a próxima fase consiste em definir “categorias”, ou seja, subdivisões geográficas ou não, da região do projeto ativado, e, ainda,

definir o modelo de dados dentro de cada uma dessas categorias. Cada categoria definida pode trabalhar com apenas um modelo de dados;

- **Plano de Informação (PI):** representam níveis ou camadas dentro de um projeto. Podem variar em número, tipos de formatos e de temas, conforme as necessidades da tarefa ou estudo. Como parte fundamental de sua função, podem ser cruzados entre si, fazendo com que essa organização da informação espacial seja bastante conveniente para permitir que diferentes variáveis sejam integradas ao banco de dados e que diferentes tipos de estudo possam ser realizados, combinando tão somente os fenômenos de interesse.

6.4 Inserção dos Dados

No intuito de executar a implementação de um banco de dados com as informações ambientais e sócio-econômicas descritas, foi buscado um banco de dados georreferenciado já existente e, a partir do mesmo, foram efetuadas as alterações necessárias às especificidades do trabalho.

6.4.1 Banco de dados de partida

Ao trabalharmos com técnicas relacionadas a SIG, podemos nos valer de diversos bancos de dados criados e disponibilizados por instituições com setores especializados nesses estudos. O IBGE e o INPE são exemplos de instituições que disponibilizam ao público em geral bancos de dados georreferenciados em níveis municipal, microrregional, mesorregional, estadual, regional, nacional e até mesmo internacional.

Dessa forma, ao decidirmos pela utilização de SIG, na maioria das vezes, não se faz necessário o dispêndio do hercúleo esforço de criar, a partir do ponto mais básico, um banco de dados georreferenciado. Assim, toma-se um banco de dados preexistente e, preferencialmente, de domínio público, na escala espacial apropriada, e, a partir do mesmo, através da execução de modificações e inserções, chega-se ao banco de dados específico requerido para o trabalho que se deseja realizar.

Seguindo a metodologia supracitada, foi tomado por ponto de partida o banco de dados georreferenciado “**ATLAS_BRASIL**”, de domínio público, criado e disponibilizado pela

DPI/INPE¹⁷, o qual encerra em seu conteúdo informações e cartas em nível municipal, micro e mesorregional, estadual, regional e nacional.



Figura 37 - Telas iniciais do banco de dados "ATLAS_BR" mostrando os diversos níveis geográficos em que se encontra dividido.

¹⁷ Disponível em (www.dpi.inpe.br/spring/portugues/dados.html). Acesso em: 07 jul. 2007.

6.4.2 Inserção de dados ambientais

Uma vez obtidas as informações ambientais e o banco de dados de partida, procedeu-se a inserção das mesmas nesse banco, de forma georreferenciada. Para tanto, a solução variou de acordo com a forma em que os dados encontravam-se apresentados.

• **Dados em formato “raster” (ponto de grade) – Precipitação, temperatura, topografia e vegetação:** uma vez que essas informações encontravam-se em formato “raster”, inicialmente, foi criada uma máscara das mesorregiões nordestinas em formato ASCII, representando as mesmas em uma matriz 62x62, onde cada mesorregião passou a ser representada por um conjunto de células da supracitada matriz. A máscara criada foi então inserida no *software* GRADS®, juntamente com as informações em formato “raster”, e, através de operações adequadas, obteve-se os dados de vegetação, temperatura, precipitação e topografia, em valores médios para as mesorregiões.

Os dados supracitados, para cada tema, foram inseridos no banco de dados do SPRING de acordo com o seguinte procedimento:

1. Definição do **projeto** e da **categoria** adequada ao tratamento do tipo de dado, no caso desses dados, uma categoria *cadastral*. Em relação à categoria, pode-se usar uma já existente no banco de dados base, se a mesma fosse adequada ao tipo de dados, ou, em caso contrário, criar-se uma nova em acordo com as necessidades do trabalho;
2. Criação – ou duplicação de um já existente – de um ou mais **Planos de Informação** contendo os entes necessários a cada um dos temas em trabalho. No caso de duplicação de um **PI** já existente no banco de dados base, após a duplicação, deve-se proceder com a associação das entidades espaciais e não-espaciais do PI de origem ao PI gerado por duplicação, a fim de que o mesmo passe a ter as mesmas propriedades do original;
3. Exportação da **tabela de atributos** do PI ativo em formato *shapefile* (.shp) para um diretório do computador;
4. Edição da **tabela de atributos**, em formato *databasefile IV* (.dbf), quando adicionou-se à tabela preexistente as colunas referentes aos temas em questão. Após a edição, o arquivo

(.dbf) deve ser salvo com o mesmo formato (.dbf), substituindo o arquivo antigo no mesmo diretório e com o mesmo nome;

5. Importação da **tabela de atributos**, em formato *shapefile* (.shp) e associação desta ao **PI** ativo;

Após a execução do procedimento acima para cada uma das classes de dados, obteve-se por resultado:

➤ **Precipitação Média Mensal Mesorregional (mm)**

Tabela 12 - Localização e características dos dados de precipitação mensal no SPRING.

PROJETO	Regiao_NE
CATEGORIA	Cad_Mesorregioes
MODELO DE DADOS	Cadastral
PLANO DE INFORMAÇÃO	Precipitacao_media_mensal
ENTIDADES	Pontos / Linhas / Objetos / Texto

Tabela: Precipitacao_media_mensal_pol_0												
Arquivo Mostrar Ajuda												
NOME	PREC_JAN	PREC_FEV	PREC_MAR	PREC_ABR	PREC_MAI	PREC_JUN	PREC_JUL	PREC_AGO	PREC_SET	PREC_OUT	PREC_NOV	PREC_DEZ
76 SUDESTE PIAUIENSE	110.200000	119.300000	153.000000	94.200000	16.100000	4.600000	2.600000	0.600000	5.200000	21.300000	52.900000	94.900000
77 CENTRO-NORTE PIAUIENSE	149.400000	175.500000	250.500000	202.900000	64.500000	14.900000	8.100000	3.200000	7.900000	24.800000	45.300000	96.300000
78 SUDOESTE PIAUIENSE	152.100000	150.900000	161.600000	111.400000	20.600000	4.700000	1.700000	1.700000	11.900000	59.000000	116.700000	145.500000
79 NORTE PIAUIENSE	156.900000	216.400000	315.400000	286.400000	166.500000	48.200000	25.200000	8.500000	10.200000	12.200000	21.200000	70.500000
80 SUL CEARENSE	129.900000	163.700000	208.700000	170.700000	48.200000	22.700000	12.500000	4.200000	6.600000	16.200000	33.700000	65.000000
81 NORTE CEARENSE	82.400000	143.000000	241.900000	232.300000	142.900000	74.500000	42.100000	8.500000	6.100000	4.900000	5.700000	26.200000
82 NOROESTE CEARENSE	86.200000	145.500000	246.600000	230.200000	129.000000	41.200000	21.700000	3.500000	2.300000	2.400000	4.600000	28.700000
83 SERTÕES CEARENSES	75.000000	109.500000	188.900000	173.400000	89.800000	39.200000	22.200000	6.800000	6.100000	6.000000	9.200000	34.000000
84 JAGUARIBE	65.400000	115.400000	211.000000	198.700000	111.900000	53.900000	35.700000	7.600000	3.700000	3.200000	3.900000	24.600000
85 CENTRO-SUL CEARENSE	109.300000	155.600000	222.800000	177.600000	75.900000	33.100000	19.000000	4.500000	7.500000	14.400000	14.100000	46.300000
86 METROPOLITANA DE FORTALEZA	92.400000	152.700000	262.200000	244.600000	152.700000	80.600000	35.200000	8.200000	8.900000	8.700000	8.300000	37.200000
87 CENTRAL POTIGUAR	38.200000	77.400000	135.500000	148.800000	74.400000	51.000000	49.600000	18.000000	9.900000	4.100000	4.000000	16.200000
88 OESTE POTIGUAR	56.500000	113.200000	198.600000	193.400000	94.000000	42.500000	35.100000	8.400000	5.300000	4.400000	6.000000	24.800000
89 LESTE POTIGUAR	66.700000	112.400000	196.700000	251.600000	230.700000	238.200000	222.600000	109.200000	59.500000	16.000000	19.400000	29.200000
90 AGRESTE POTIGUAR	48.700000	69.800000	128.600000	157.700000	128.700000	128.000000	126.100000	64.400000	35.700000	12.800000	17.000000	21.700000

Figura 38 - Tabela de atributos do PI “precipitacao_media_mensal”.

➤ **Temperatura Média Mensal Mesorregional (°C)**

Tabela 13 - Localização e características dos dados de temperatura no SPRING.

PROJETO	Regiao_NE
CATEGORIA	Cad_Mesorregioes
MODELO DE DADOS	Cadastral
PLANO DE INFORMAÇÃO	Temperatura
ENTIDADES	Pontos / Linhas / Objetos / Texto

	NOME	TEMP_JAN	TEMP_FEV	TEMP_MAR	TEMP_ABR	TEMP_MAI	TEMP_JUN	TEMP_JUL	TEMP_AGO	TEMP_SET	TEMP_OUT	TEMP_NOV	TEMP_DEZ
76	SUDESTE PIAUIENSE	25.980000	25.690000	25.560000	25.430000	25.260000	24.580000	24.580000	25.580000	27.000000	27.380000	27.270000	26.560000
77	CENTRO-NORTE PIAUIENSE	25.530000	24.980000	24.710000	24.800000	24.990000	24.760000	24.970000	26.110000	27.340000	27.410000	27.090000	26.440000
78	SUDOESTE PIAUIENSE	25.180000	25.180000	25.140000	25.230000	24.960000	24.120000	24.170000	25.180000	26.880000	27.230000	26.470000	25.560000
79	NORTE PIAUIENSE	26.670000	25.940000	25.370000	25.530000	25.810000	25.670000	25.840000	26.790000	27.590000	27.870000	27.880000	27.530000
80	SUL CEARENSE	25.110000	24.230000	23.530000	23.190000	22.810000	22.200000	22.190000	23.250000	24.560000	25.440000	25.870000	25.690000
81	NORTE CEARENSE	26.760000	26.470000	26.110000	26.080000	26.060000	25.600000	25.390000	25.860000	26.250000	26.640000	26.910000	26.970000
82	NORDESTE CEARENSE	26.540000	25.800000	25.120000	25.160000	25.320000	25.210000	25.330000	26.120000	26.530000	26.880000	27.080000	27.020000
83	SERTOES CEARENSES	26.490000	25.630000	24.930000	24.720000	24.620000	24.170000	24.330000	25.480000	26.330000	26.880000	27.120000	27.090000
84	JAGUARIBE	27.340000	27.130000	26.730000	26.530000	26.210000	25.640000	25.190000	25.720000	26.320000	26.920000	27.310000	27.420000
85	CENTRO-SUL CEARENSE	27.260000	26.310000	25.510000	25.270000	25.100000	24.630000	24.730000	25.870000	26.980000	27.710000	28.030000	27.930000
86	METROPOLITANA DE FORTALEZA	26.960000	26.670000	26.400000	26.330000	26.280000	25.820000	25.580000	25.970000	26.410000	26.790000	27.120000	27.220000
87	CENTRAL POTIGUAR	26.310000	26.300000	25.980000	25.910000	25.260000	24.460000	23.820000	24.080000	24.830000	25.460000	26.150000	26.220000
88	OESTE POTIGUAR	27.240000	27.240000	26.910000	26.730000	26.200000	25.420000	24.720000	25.010000	25.680000	26.390000	26.890000	27.030000
89	LESTE POTIGUAR	26.970000	27.010000	26.910000	26.600000	25.900000	25.170000	24.420000	24.550000	25.330000	25.910000	26.540000	26.770000
90	AGRESTE POTIGUAR	26.590000	26.560000	26.250000	25.940000	25.190000	24.300000	23.500000	23.800000	24.620000	25.440000	26.090000	26.360000
91	SERTAO PARAIBANO	25.990000	25.670000	25.250000	24.820000	24.160000	23.250000	22.670000	23.220000	24.340000	25.320000	25.900000	26.010000
92	AGRESTE PARAIBANO	25.400000	25.320000	25.190000	24.750000	23.880000	22.860000	22.080000	22.270000	23.150000	24.070000	24.780000	25.070000
93	BORBOREMA	24.390000	24.140000	23.990000	23.400000	22.480000	21.320000	20.510000	20.910000	22.090000	23.200000	23.890000	24.110000
94	MATA PARAIBANA	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
95	METROPOLITANA DE RECIFE	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
96	SERTAO PERNAMBUCANO	25.310000	24.930000	24.560000	23.990000	23.050000	21.950000	21.340000	22.080000	23.580000	24.810000	25.630000	25.550000
97	SAO FRANCISCO PERNAMBUCANO	26.540000	26.350000	26.140000	25.540000	24.460000	23.160000	22.440000	23.150000	24.730000	26.040000	27.040000	26.800000
98	AGRESTE PERNAMBUCANO	23.660000	23.350000	23.340000	22.770000	21.840000	20.830000	19.930000	20.060000	21.130000	22.300000	23.150000	23.480000
99	MATA PERNAMBUCANA	24.520000	24.410000	24.180000	23.960000	23.340000	22.820000	22.280000	22.060000	22.350000	23.120000	23.690000	24.190000
100	METROPOLITANA DE RECIFE	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Figura 39 - Tabela de atributos do PI “temperatura”.

➤ Dados topográficos

Tabela 14 - Localização e características dos dados de topografia no SPRING.

PROJETO	Regiao_NE
CATEGORIA	Cad_Mesorregioes
MODELO DE DADOS	Cadastral
PLANO DE INFORMAÇÃO	Topografia
ENTIDADES	Pontos / Linhas / Objetos / Texto

Tabela: Topografia_pol_0							
Arquivo Mostrar Ajuda							
	NOME	ASPECT_DEG	CTI	ELEV_MED_M	ELEV_MAX	ELEV_MIN	SLOPE_DEG
76	SUDESTE PIAUIENSE	195.400000	6.660000	387.900000	582.400000	265.000000	0.511000
77	CENTRO-NORTE PIAUIENSE	196.300000	6.610000	324.900000	546.600000	188.500000	0.571000
78	SUDOESTE PIAUIENSE	179.200000	6.500000	396.400000	595.900000	266.700000	0.604000
79	NORTE PIAUIENSE	197.900000	6.890000	206.900000	523.600000	57.300000	0.655000
80	SUL CEARENSE	166.900000	6.550000	626.900000	907.200000	410.800000	0.635000
81	NORTE CEARENSE	123.100000	5.590000	134.500000	515.900000	44.600000	0.591000
82	NORDESTE CEARENSE	168.800000	6.420000	281.800000	807.100000	112.300000	0.957000
83	SERTOES CEARENSES	157.600000	6.700000	405.000000	712.300000	227.300000	0.592000
84	JAGUARIBE	150.600000	6.650000	143.100000	353.100000	60.500000	0.360000
85	CENTRO-SUL CEARENSE	174.200000	6.300000	364.400000	732.700000	170.700000	0.844000
86	METROPOLITANA DE FORTALEZA	102.700000	6.220000	55.500000	247.000000	0.000000	0.326000
87	CENTRAL POTIGUAR	150.100000	6.460000	289.600000	523.800000	116.500000	0.469000
88	OESTE POTIGUAR	177.700000	6.600000	195.300000	566.000000	73.000000	0.692000
89	LESTE POTIGUAR	46.800000	4.970000	16.800000	74.000000	0.000000	0.067000
90	AGRESTE POTIGUAR	113.200000	6.660000	115.300000	351.400000	28.000000	0.416000

Figura 40 - Tabela de atributos do PI “topografia”.

➤ Vegetação

Tabela 15 - Localização e características dos dados de vegetação no SPRING.

PROJETO	Regiao_NE
CATEGORIA	Cad_Mesorregioes
MODELO DE DADOS	Cadastral
PLANO DE INFORMAÇÃO 1	ProVeg
PLANO DE INFORMAÇÃO 2	Cropland_cover
ENTIDADES	Pontos / Linhas / Objetos / Texto

Tabela: Crop_land_cover_pol_0

Tabela: ProVeg_pol_0

ArquivoMostrarAjuda

	NOME	CLC_1750	CLC_1850	CLC_1950	CLC_1990	FLOR_TROP_	FLOR_TROP1	CERRADO	CAATINGA	SOLO_NU	USO_ANTROP	CORPOS_DAG
76	SUDESTE PIAUIENSE	0.110000	0.200000	2.730000	4.680000	0.000000	0.000000	0.000000	33.530000	0.000000	66.410000	0.050000
77	CENTRO-NORTE PIAUIENSE	0.090000	0.160000	2.120000	3.120000	0.060000	0.000000	2.450000	36.510000	0.090000	60.640000	0.060000
78	SUDOESTE PIAUIENSE	0.410000	0.740000	9.380000	14.520000	0.000000	0.000000	20.430000	9.880000	0.100000	57.780000	0.030000
79	NORTE PIAUIENSE	0.030000	0.060000	0.770000	1.200000	0.370000	0.000000	2.060000	25.450000	0.600000	59.300000	0.370000
80	SUL CEARENSE	0.000000	0.040000	0.320000	0.980000	0.000000	0.000000	0.000000	24.240000	0.190000	68.840000	0.020000
81	NORTE CEARENSE	0.030000	0.060000	0.910000	2.060000	1.620000	0.000000	0.000000	32.670000	3.840000	58.110000	1.480000
82	NOROESTE CEARENSE	0.010000	0.030000	0.500000	1.130000	1.460000	0.000000	0.000000	22.990000	0.410000	71.400000	0.380000
83	SERTÕES CEARENSES	0.000000	0.010000	0.090000	0.220000	0.000000	0.000000	0.000000	57.270000	0.160000	42.030000	0.530000
84	JAGUARIBE	0.000000	0.000000	0.150000	0.270000	0.000000	0.000000	0.000000	41.980000	1.140000	55.380000	1.470000
85	CENTRO-SUL CEARENSE	0.000000	0.000000	0.000000	0.030000	0.000000	0.000000	0.000000	46.070000	0.630000	50.520000	0.860000
86	METROPOLITANA DE FORTALEZA	0.000000	0.000000	0.500000	1.100000	0.000000	0.000000	0.000000	16.800000	2.330000	79.190000	1.680000
87	CENTRAL POTIGUAR	0.010000	0.030000	2.260000	3.450000	0.320000	0.000000	0.000000	51.010000	1.210000	47.050000	0.420000
88	OESTE POTIGUAR	0.000000	0.000000	0.080000	0.120000	0.720000	0.000000	0.000000	65.010000	0.580000	31.430000	2.260000
89	LESTE POTIGUAR	0.100000	0.100000	9.000000	15.100000	10.820000	0.000000	0.000000	3.490000	9.790000	74.990000	0.920000
90	AGRESTE POTIGUAR	0.130000	0.300000	3.870000	13.960000	2.250000	0.000000	0.000000	10.050000	0.120000	83.850000	0.300000

Figura 41 - Tabela de atributos dos PI's "ProVeg" e "Cropland_cover".

• **Dados qualitativos - Pedologia:** para as classes pedológicas com ocorrência na região nordestina, foi utilizada a legenda recomendada pela nova versão do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) desenvolvido pela EMBRAPA em 2005 (JACOMINE, 2005), assim como a convenção de cores para mapas/cartas de solos (EMBRAPA, 2005). Com base nisso, tivemos as seguintes ocorrências pedológicas predominantes nas mesorregiões nordestinas.

Tabela 16 - Classes pedológicas com ocorrência predominante nas mesorregiões do Nordeste.

SOLO	LEGENDA	CORES PADRÃO		
		R	G	B
Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Argilosos Vermelho-Amarelos	LA_LVA_PVA	254	243	175
Latossolos Vermelho-Amarelos, Argilosos Vermelho-Amarelos e Nitossolos Vermelhos	LVA_PVA_NV	247	209	166
Plintossolos, Argilosos e Latossolos Vermelhos	F_P_LV	227	179	205
Luvissolos Crômicos, Argilosos Eutróficos e Cambissolos	TC_P_C	212	150	22
Planossolos e Vertissolos	S_V	137	202	199
Neossolos Quartzênicos	RQ	255	254	227
Neossolos Litólicos, Cambissolos e Afloramentos Rochosos	RL_C	150	149	149

Uma vez que foi realizada a descrição da distribuição espacial de uma grandeza geográfica (classes pedológicas), expressa de forma qualitativa, foi utilizado um modelo de dados *temático*. Dessa forma, foi utilizado o seguinte procedimento para associar as classes de solos predominantes a cada uma das mesorregiões:

1. O trabalho deve ser realizado no **projeto** “Regiao_NE”, dentro do banco de dados “Atlas_BR”;
2. Criação de uma **categoria** do tipo *temática*;
3. Definição das **classes temáticas** (no caso em questão, essas classes são correspondentes às classes pedológicas predominantes nas mesorregiões nordestinas);
4. Criação de um ou mais **Planos de Informação** contendo os entes necessários a cada um dos temas em trabalho. Para representação dos aspectos pedológicos, foi criado o PI “Solos”;
5. Definição das características gráficas das **classes temáticas**, como cores;
6. Execução de **edição vetorial**, dentro do menu *temático*, através da qual as diversas **classes temáticas** serão associadas aos **objetos geográficos** (mesorregiões).

Após o referido procedimento, os dados receberam a seguinte localização no SPRING:

Tabela 17 - Localização e características dos dados pedológicos no SPRING.

PROJETO	Regiao_NE
CATEGORIA	Pedologia_Mesorregioes
MODELO DE DADOS	Temático
CLASSES TEMÁTICAS	1.LA_LVA_PVA; 2. LVA_PVA_NV; 3. F_P_LV; 4. TC_P_C; 5. S_V; 6. RQ; 7. RL_C
PLANO DE INFORMAÇÃO	Solos
ENTIDADES	Pontos / Linhas / Objetos

Ainda, como resultado da implementação desses dados, foi obtido o seguinte resultado:

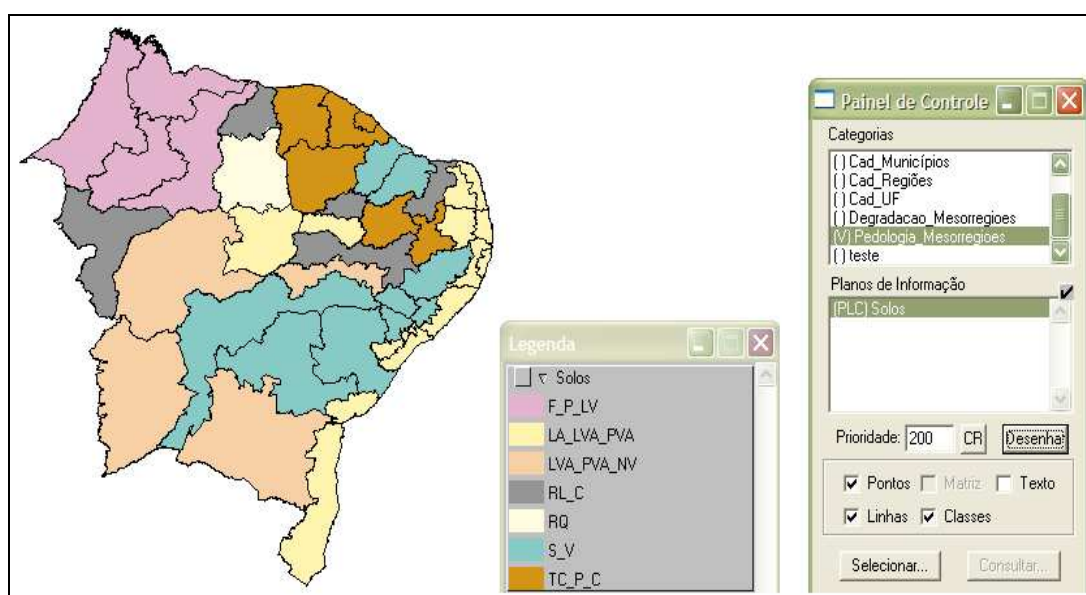


Figura 42 - Mapa temático de pedologia gerado no SPRING, com a sua respectiva legenda.

6.4.3 Inserção de dados sócio-econômicos

Para a inserção dos dados sócio-econômicos relacionados e descritos em 5.3, foi utilizado, para todas as classes de dados, o procedimento descrito a seguir:

- 1.O trabalho foi realizado sobre o **projeto** "Regiao_NE", já utilizado anteriormente para a inserção dos dados ambientais; e sobre a **categoria cadastral** "Cad_Mesorregioes";
- 2.Duplicação do **PI** "2me2500g", cuja cópia passou pelo processo de associação das entidades espaciais e não espaciais do PI original ao PI gerado por duplicação ("Populacao", "PIB" e "IDH")

3. Exportação das **tabelas de atributos** dos PI's gerados em formato (.shp) para um diretório do computador;

4. Edição das **tabelas de atributos** do PI's, quando foram adicionadas a essas tabelas as colunas referentes aos valores anuais dos dados trabalhados;

5. Importação das **tabelas de atributos** modificadas e associação das mesmas aos PI's gerados, que tiveram suas antigas tabelas de atributos substituídas pelas tabelas importadas.

Com a aplicação do procedimento supracitado, foram obtidos os seguintes resultados:

➤ População Residente Total (PRT)

Tabela 18 - Localização e características dos dados demográficos no SPRING.

PROJETO	Regiao_NE
CATEGORIA	Cad_Mesorregioes
MODELO DE DADOS	Cadastral
PLANO DE INFORMAÇÃO	Populacao
ENTIDADES	Pontos / Linhas / Objetos / Texto

Tabela: Populacao_pol_0														
Arquivo Mostrar Ajuda														
NOME	POP1920	POP1940	POP1950	POP1960	POP1970	POP1980	POP1991	POP1996	POP2000	POP2001	POP2002	POP2003	POP2004	POP2005
76 SUDESTE PIAUIENSE	119098.000	157784.000	212214.000	261733.000	316012.000	391802.000	448106.000	449639.000	479731.000	483033.000	486239.000	489257.000	493039.000	496517.000
77 CENTRO-NORTE PIAUIENSE	232415.000	306003.000	382671.000	502007.000	677053.000	906084.000	1167577.000	1229526.000	1317986.000	1331814.000	1346342.000	1360898.000	1391436.000	1408342.000
78 SUDESTE PIAUIENSE	115550.000	148902.000	181483.000	231032.000	307246.000	380967.000	438427.000	443437.000	463218.000	472892.000	475782.000	478826.000	485226.000	488765.000
79 NORTE PIAUIENSE	141940.000	204912.000	269328.000	296049.000	380262.000	460343.000	528027.000	550483.000	576343.000	582241.000	586801.000	591654.000	601843.000	607480.000
80 SUL CEARENSE	199588.000	309175.000	393672.000	444219.000	543785.000	619057.000	687191.000	721682.000	789262.000	800888.000	810738.000	820707.000	841631.000	853213.000
81 NORTE CEARENSE	217565.000	341868.000	434935.000	523880.000	611100.000	672581.000	750397.000	792235.000	876403.000	891187.000	902914.000	915220.000	941050.000	955347.000
82 NOROESTE CEARENSE	320341.000	449070.000	572935.000	647565.000	800298.000	902503.000	1029159.000	1085004.000	1178307.000	1195869.000	1209688.000	1224254.000	1254829.000	1271750.000
83 SERTÕES CEARENSES	174758.000	346679.000	451871.000	538090.000	709606.000	773234.000	776629.000	775228.000	814125.000	817803.000	822054.000	825719.000	833403.000	837657.000
84 JAGUARIBE	124626.000	178164.000	237213.000	269224.000	338800.000	387827.000	428889.000	453382.000	484830.000	491437.000	496559.000	502024.000	513488.000	519834.000
85 CENTRO-SUL CEARENSE	105395.000	162102.000	191716.000	232003.000	283757.000	306177.000	337282.000	336481.000	357360.000	359688.000	361585.000	363545.000	367660.000	369939.000
86 METROPOLITANA DE FORTALE	161554.000	303974.000	413108.000	678788.000	1070114.000	1627050.000	2357100.000	2645278.000	2930374.000	2990748.000	3050897.000	3106972.000	3224502.000	3289536.000
87 CENTRAL POTIGUAR	145081.000	197473.000	210403.000	217406.000	282297.000	293749.000	341854.000	340337.000	360547.000	362580.000	364481.000	366305.000	370137.000	372259.000
88 OESTE POTIGUAR	136525.000	206170.000	269851.000	337412.000	462860.000	568272.000	688776.000	710312.000	742054.000	746975.000	753259.000	758469.000	769387.000	775431.000
89 LESTE POTIGUAR	192679.000	231558.000	305360.000	376194.000	514320.000	713199.000	1031802.000	1135082.000	1286037.000	1313471.000	1339533.000	1364356.000	1416479.000	1445321.000
90 AGRESTE POTIGUAR	62850.000	132817.000	182307.000	236625.000	290707.000	317615.000	353135.000	372929.000	388144.000	389000.000	392302.000	395730.000	402929.000	406915.000
91 SERTÃO PARAIBANO	205774.000	380399.000	462478.000	549525.000	674988.000	764450.000	802825.000	801151.000	819040.000	820518.000	822450.000	824035.000	827356.000	829195.000
92 AGRESTE PARAIBANO	442621.000	588682.000	707417.000	808261.000	894895.000	966924.000	1110953.000	1132091.000	1151075.000	1155226.000	1159560.000	1163501.000	1171765.000	1176337.000
93 BORBOREMA	113450.000	157315.000	181104.000	194996.000	234880.000	263526.000	268336.000	267843.000	277116.000	277996.000	278961.000	279823.000	281623.000	282620.000
94 MATA PARAIBANA	199261.000	295886.000	362260.000	485241.000	577710.000	745446.000	1019400.000	1104531.000	1196594.000	1214854.000	1233922.000	1251236.000	1287606.000	1307734.000
95 METROPOLITANA DE RECIFE	415736.000	527568.000	785852.000	1197045.000	1752374.000	2288098.000	2808382.000	2968401.000	3210063.000	3256497.000	3292192.000	3330321.000	3410334.000	3454616.000
96 SERTÃO PERNAMBUCANO	238067.000	369734.000	507685.000	581222.000	746438.000	891361.000	985396.000	984716.000	1042256.000	1049362.000	1056602.000	1063261.000	1077242.000	1084979.000
97 SÃO FRANCISCO PERNAMBUCANO	73160.000	72515.000	95955.000	122805.000	195361.000	271873.000	380991.000	419937.000	465672.000	475584.000	483489.000	491759.000	509118.000	518727.000
98 AGRESTE PERNAMBUCANO	846757.000	1087742.000	1286821.000	1390551.000	1528569.000	1656643.000	1820542.000	1875567.000	1993079.000	2011381.000	2029399.000	2046250.000	2081640.000	2101225.000
99 MATA PERNAMBUCANA	581115.000	630681.000	719453.000	845277.000	939124.000	1035528.000	1132544.000	1150450.000	1207274.000	1215383.000	1222985.000	1230271.000	1245577.000	1254046.000
100 METROPOLITANA DE RECIFE	415736.000	527568.000	785852.000	1197045.000	1752374.000	2288098.000	2808382.000	2968401.000	3210063.000	3256497.000	3292192.000	3330321.000	3410334.000	3454616.000
101 SERTÃO ALAGOANO	115516.000	116956.000	184696.000	207271.000	255448.000	315923.000	372901.000	382988.000	411272.000	414497.000	419345.000	423094.000	430958.000	435310.000
102 LESTE ALAGOANO	726812.000	866176.000	712386.000	809960.000	957402.000	1213483.000	1604020.000	1702265.000	1830806.000	1843614.000	1865636.000	1887771.000	1934243.000	1959963.000
103 AGRESTE ALAGOANO	136420.000	168168.000	196055.000	251058.000	375218.000	453509.000	537179.000	547998.000	580543.000	585664.000	599667.000	593902.000	602793.000	607713.000
104 AGRESTE SERGIPIANO	157686.000	175643.000	211783.000	238979.000	259201.000	290995.000	348879.000	374578.000	404548.000	410950.000	416258.000	421699.000	433112.000	439426.000
105 LESTE SERGIPIANO	281542.000	317870.000	363343.000	438911.000	523152.000	630378.000	975048.000	1076038.000	1183531.000	1206556.000	1227400.000	1247753.000	1290491.000	1314146.000
106 SERTÃO SERGIPIANO	37836.000	48813.000	69235.000	82383.000	118326.000	152206.000	167949.000	173344.000	196396.000	199795.000	202381.000	205161.000	210993.000	214219.000
107 CENTRO SUL BAIANO	902206.000	1075470.000	1267390.000	1469022.000	1674032.000	1901887.000	2264255.000	2459178.000	2472375.000	2503910.000	2513897.000	2529148.000	2571694.000	2592092.000
108 VALE SÃO-FRANCISCANO DA	243330.000	223780.000	300342.000	333822.000	459785.000	631596.000	789693.000	829486.000	877034.000	888958.000	900091.000	910792.000	933253.000	945686.000
109 NORDESTE BAIANO	405217.000	453206.000	615423.000	730955.000	905945.000	1089708.000	1372965.000	1382233.000	1461615.000	1458994.000	1467885.000	1476442.000	1494401.000	1504338.000

Figura 43 - Tabela de atributos do PI “Populacao”.

➤ **Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)**

Tabela 19 - Localização e características dos dados de IDH no SPRING.

PROJETO	Regiao_NE
CATEGORIA	Cad_Mesorregioes
MODELO DE DADOS	Cadastral
PLANO DE INFORMAÇÃO	IDH
ENTIDADES	Pontos / Linhas / Objetos / Texto



	NOME	IDH1970	IDH1980	IDH1991	IDH2000
76	SUDESTE PIAUIENSE	0.243000	0.327000	0.390000	0.601000
77	CENTRO-NORTE PIAUIENSE	0.292000	0.446000	0.545000	0.692000
78	SUDDESTE PIAUIENSE	0.265000	0.367000	0.426000	0.631000
79	NORTE PIAUIENSE	0.249000	0.340000	0.388000	0.592000
80	SUL CEARENSE	0.249000	0.368000	0.440000	0.661000
81	NORTE CEARENSE	0.258000	0.342000	0.402000	0.637000
82	NORDESTE CEARENSE	0.253000	0.337000	0.387000	0.628000
83	SERTOES CEARENSES	0.262000	0.345000	0.397000	0.628000
84	JAGUARIBE	0.246000	0.357000	0.440000	0.670000
85	CENTRO-SUL CEARENSE	0.236000	0.342000	0.400000	0.635000
86	METROPOLITANA DE FORTALEZA	0.425000	0.628000	0.696000	0.765000
87	CENTRAL POTIGUAR	0.271000	0.402000	0.470000	0.685000
88	DESTE POTIGUAR	0.254000	0.383000	0.466000	0.670000
89	LESTE POTIGUAR	0.345000	0.552000	0.640000	0.735000
90	AGRESTE POTIGUAR	0.200000	0.313000	0.384000	0.622000
91	SERTAO PARAIBANO	0.275000	0.354000	0.414000	0.620000
92	AGRESTE PARAIBANO	0.252000	0.372000	0.450000	0.629000
93	BORBOREMA	0.268000	0.335000	0.399000	0.613000
94	MATA PARAIBANA	0.325000	0.504000	0.584000	0.701000
95	METROPOLITANA DE RECIFE	0.488000	0.662000	0.724000	0.778000
96	SERTAO PERNAMBUCANO	0.488000	0.662000	0.724000	0.778000
97	SAO FRANCISCO PERNAMBUCANO	0.488000	0.662000	0.724000	0.778000
98	AGRESTE PERNAMBUCANO	0.232000	0.349000	0.432000	0.626000
99	MATA PERNAMBUCANA	0.264000	0.390000	0.430000	0.639000
100	METROPOLITANA DE RECIFE	0.488000	0.662000	0.724000	0.778000
101	SERTAO ALAGOANO	0.228000	0.311000	0.351000	0.575000
102	LESTE ALAGOANO	0.322000	0.466000	0.528000	0.663000
103	AGRESTE ALAGOANO	0.237000	0.331000	0.389000	0.603000

Figura 44 - Tabela de atributos do PI "IDH".

➤ **Produto Interno Bruto (PIB)**

Tabela 20 - Localização e características dos dados de PIB no SPRING.

PROJETO	Regiao_NE
CATEGORIA	Cad_Mesorregioes
MODELO DE DADOS	Cadastral
PLANO DE INFORMAÇÃO	PIB
ENTIDADES	Pontos / Linhas / Objetos / Texto

Tabela: PIB_pol_0															
Arquivo Mostrar Ajuda															
	NOME	PIB1939	PIB1949	PIB1959	PIB1970	PIB1975	PIB1980	PIB1985	PIB1996	PIB1999	PIB2000	PIB2001	PIB2002	PIB2003	PIB2004
76	SUDESTE PIAUIENSE	43253.000	64142.000	114449.000	168736.000	275736.000	432723.000	516656.000	492358.000	644001.000	669607.000	669098.000	669318.000	698407.000	803111.000
77	CENTRO-NORTE PIAUIENSE	112983.000	188305.000	250920.000	540281.000	976972.000	1480541.000	1959964.000	3686930.000	3073170.000	3199621.000	3117393.000	3208406.000	3316831.000	3446643.000
78	SUDOESTE PIAUIENSE	56015.000	63629.000	131878.000	142942.000	227825.000	318957.000	367548.000	467038.000	653281.000	685448.000	656882.000	615910.000	655674.000	779105.000
79	NORTE PIAUIENSE	90626.000	92593.000	120493.000	194661.000	266993.000	419328.000	459300.000	570243.000	759007.000	774862.000	745169.000	715665.000	711246.000	819845.000
80	SUL CEARENSE	62863.000	212694.000	416049.000	332170.000	514535.000	845055.000	927903.000	859375.000	1481131.000	1441902.000	1405672.000	1430815.000	1366564.000	1360177.000
81	NORTE CEARENSE	68114.000	113101.000	165658.000	268137.000	449968.000	684982.000	1010454.000	737391.000	1606074.000	1517667.000	1536649.000	1602524.000	1524496.000	1605224.000
82	NOROESTE CEARENSE	143565.000	146733.000	219552.000	429097.000	573324.000	784330.000	1087488.000	1240303.000	2120270.000	2079914.000	2122140.000	2404135.000	2253897.000	2429660.000
83	SERTÕES CEARENSES	78092.000	190256.000	231122.000	313907.000	566169.000	875470.000	1076387.000	787336.000	1199783.000	1179920.000	1154566.000	1189474.000	1183216.000	1120412.000
84	JAGUARIBE	64455.000	84298.000	122947.000	165681.000	250139.000	442367.000	704509.000	614362.000	1018160.000	980370.000	1020636.000	1059573.000	1006508.000	1141316.000
85	CENTRO-SUL CEARENSE	42623.000	132181.000	164817.000	193888.000	323733.000	439973.000	468605.000	343173.000	616002.000	587425.000	570589.000	624674.000	612831.000	502935.000
86	METROPOLITANA DE FORTALEZA	164558.000	433388.000	827123.000	2396825.000	3614594.000	6808672.000	8395161.000	3173360.000	3100192.000	3012353.000	2276154.000	2137650.000	2938006.000	4430259.000
87	CENTRAL POTIGUAR	60127.000	138342.000	181466.000	240640.000	484060.000	514396.000	932025.000	559769.000	987639.000	1194899.000	1152506.000	1317827.000	1306636.000	1442557.000
88	OESTE POTIGUAR	83012.000	198740.000	325267.000	309599.000	686340.000	935783.000	1578688.000	1229397.000	2096369.000	2438028.000	2355728.000	2678903.000	2700086.000	2792995.000
89	LESTE POTIGUAR	85476.000	305808.000	328063.000	828836.000	1399515.000	2694468.000	3995879.000	5123795.000	4633106.000	5006822.000	5006300.000	5147852.000	5380771.000	5899175.000
90	AGRESTE POTIGUAR	24842.000	65103.000	134187.000	147471.000	283017.000	333553.000	336206.000	317637.000	569865.000	653577.000	635010.000	679611.000	671531.000	665096.000

Figura 45 - Tabela de atributos do PI “PIB”.

6.5 Características, especificações e estrutura do banco de dados

Tabela 21 - Características e especificações do banco de dados gerado.

Nome	Atlas_BR
Tipo	Georreferenciado
SIG	SPRING 4.2
Tipos de Informações	Ambientais / Sócio-econômicas
Gerenciador	Access
Projeto	Regiao_NE
Projeção	POLYCONIC/SAD69
Origem	Lat n 00 00 00 / Long o 54 00 00
Coordenadas	Geográficas
Retângulo Envolvente	Long1 o 48 45 20 / Long2 o 32 23 26 Lat1 s 18 21 03 / Lat2 s 01 02 38
Categorias	Cad_Mesorregioes / Pedologia_Mesorregioes
Modelos de Dados	Cadastral / Temático
Classes Temáticas	1.LA_LVA_PVA / 2. LVA_PVA_NV / 3. F_P_LV 4. TC_P_C / 5. S_V / 6. RQ / 7. RL_C
Planos de Informação (PI's)	1. precipitacao_media_mensal / 2. temperatura / 3. topografia 4. proveg / 5. cropland_cover / 6. populacao / 7. PIB / 8. IDH 9. solos
Entidades	Pontos / Linhas / Objetos / Texto

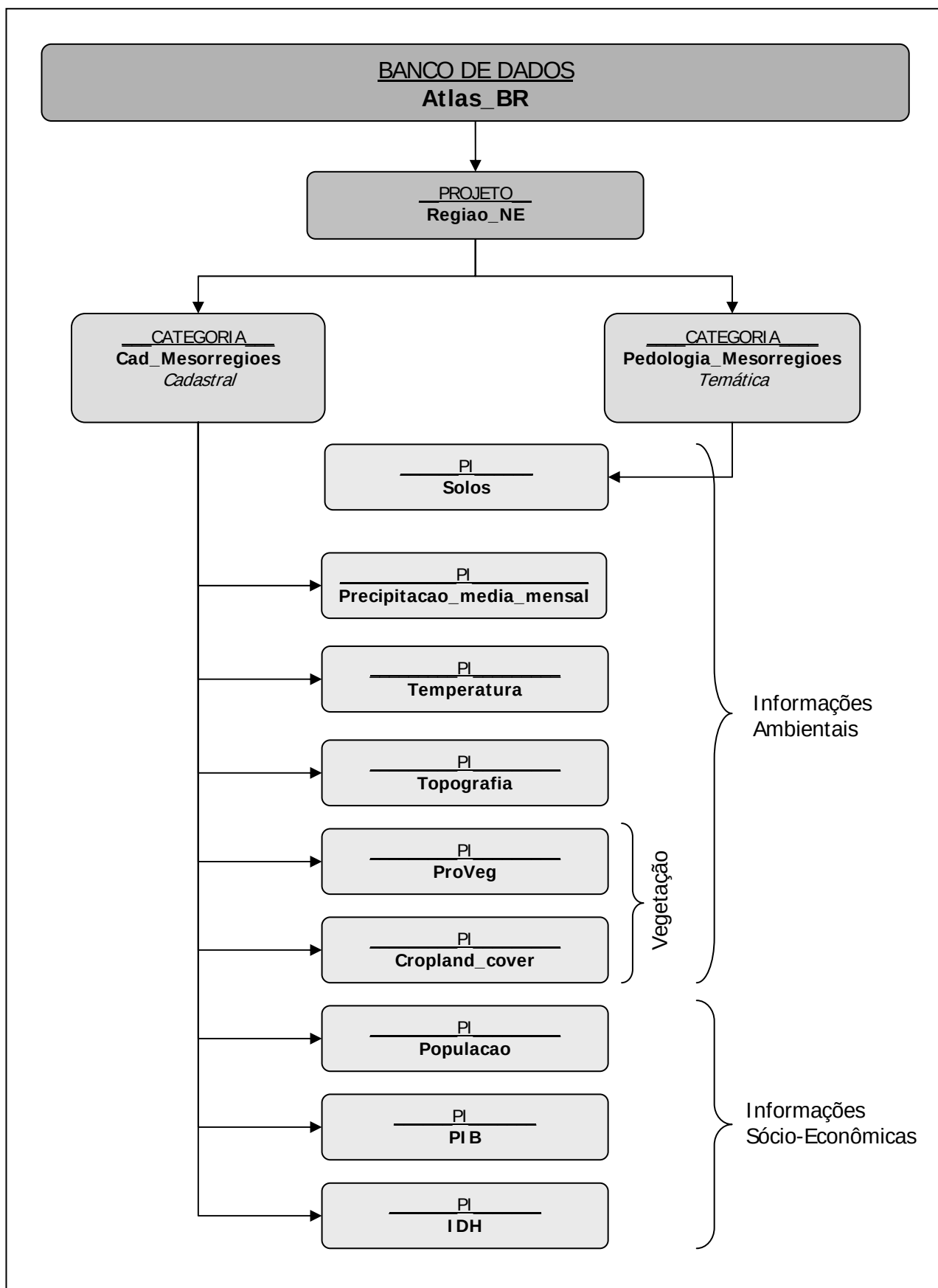


Figura 46 - Fluxograma representativo da estrutura do banco de dados criado.

7 Modelamento Matemático da Área Antropizada (V)

7.1 Introdução e Conceitos

Como parte inicial do tratamento matemático e estatístico das variáveis fundamentais ao estabelecimento de cenários futuros de uso do solo e degradação ambiental no SAN, foi executado o modelamento matemático da *área antropizada (V)* para as mesorregiões nordestinas inseridas no SAN. A modelagem foi feita com base nos dados da variável V de 1920 a 1990 obtidos pelo projeto ISLSCP2/NASA e nos valores mesorregionais referentes ao ano 2000 obtidos pelo PROVEG.

Inicialmente, foi realizado procedimento de compatibilização entre os valores da variável fornecidos pelos dois projetos supracitados, e, a partir daí, foi executada a modelagem matemática com variável dependente V , em dois cenários, o primeiro considerando a variável $PRT(t)$ como independente, e o segundo tomando a variável $PIB(t)$ como independente.

Ainda, cabe nessa parte do trabalho estabelecer alguns conceitos matemáticos e estatísticos concernentes à modelagem realizada, o que foi feito com base em Devore (2006).

• Relações Determinísticas e Proabilísticas entre Variáveis:

Duas variáveis, x e y , apresentam relação determinística quando o conhecimento de um dado valor de x ($x = x^*$, por exemplo), implica o conhecimento exato do valor correspondente de y . Quando as variáveis relacionam-se de forma determinística linear, a reta representa graficamente a determinação exata dos valores de y para cada valor de x tomado.

Já quando duas variáveis, x e y , relacionam-se de forma probabilística, ao contrário do que ocorre quando de um relacionamento determinístico, os valores de y não podem ser determinados de forma exata a partir apenas do conhecimento dos valores de x . Ao invés do valor exato da variável dependente, é obtido, através de modelamento matemático, um valor esperado para a mesma, em conjunto com alguma medida – como o *coeficiente de correlação* (R) – que traduz em números o quanto as duas variáveis estão relacionadas. Assim, ao invés de uma reta relacionando as variáveis x e y , como no parágrafo anterior, tem-se um gráfico de dispersão bidimensional, representando graficamente os pares ordenados (x_i, y_i) observados (Figura 47). Esse é o tipo de relacionamento existente na grande maioria dos casos práticos.

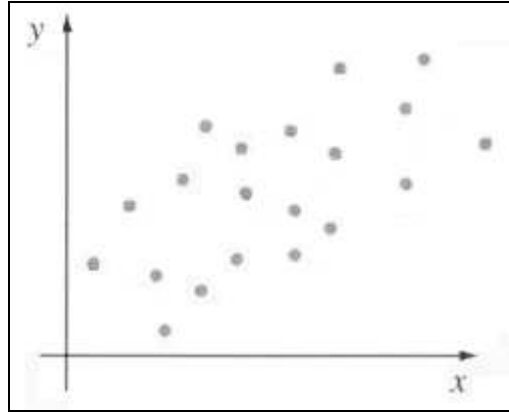


Figura 47 - Gráfico de Dispersão (ilustrativo).

Fonte: Adaptada de Devore (2006).

• Regressão Linear Simples:

A *análise de regressão* é a parte da estatística que investiga variáveis relacionadas de maneira não-determinística, com o objetivo de explorar a relação entre as mesmas, de modo que seja possível a obtenção de informações sobre um delas, por meio dos valores conhecidos da outra.

• Modelo Probabilístico Linear:

Caso houvesse duas variáveis, x e y , com relacionamento determinístico linear, poderia-se trabalhar com o modelo $y = \delta_0 + \delta_1 \cdot x$, onde o valor real de y seria uma função linear de x . A generalização apropriada dessa característica para um modelo probabilístico pressupõe que o *valor esperado de y* é uma função linear de x , mas que, para um x fixo, a variável y difere de seu valor esperado em uma quantidade aleatória. Assim, para o “modelo probabilístico linear”, existem parâmetros δ_0 , δ_1 e σ^2 , tais que, para qualquer valor fixo da variável independente x , a variável dependente está relacionada a ela por meio da equação

$$y = \delta_0 + \delta_1 \cdot x + \varepsilon, \quad (\text{Equação 4})$$

na qual a quantidade ε , normalmente chamada *desvio aleatório*, ou *erro aleatório*, é uma variável aleatória considerada normalmente distribuída com *valor esperado* $E(\varepsilon) = 0$ e *variância* $V(\varepsilon) = \sigma^2$, sendo σ o *desvio-padrão* da amostra. A quantidade ε é mostrada graficamente na Figura 48.

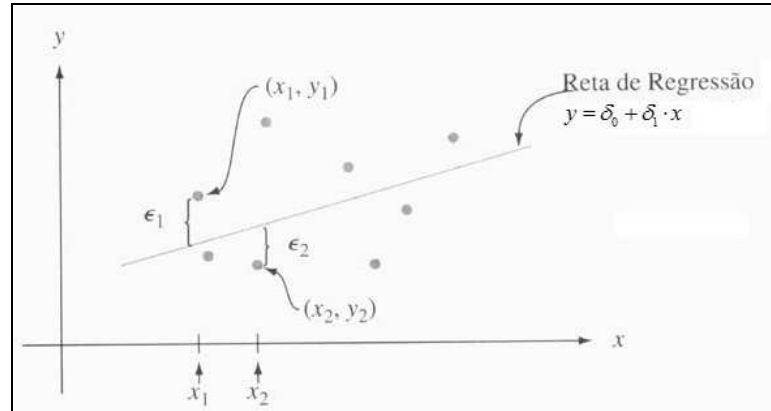


Figura 48 - Reta de Regressão e Desvio Aleatório (ilustrativo).

Fonte: Adaptada de Devore (2006).

O “modelo probabilístico linear” deve ser utilizado quando, aparentemente, o valor de y pode ser previsto com base no valor de x , encontrando-se uma reta razoavelmente próxima dos pontos do gráfico de dispersão, havendo, assim, uma evidência de relacionamento linear considerável (embora não perfeito) entre as duas variáveis.

• Método dos Mínimos Quadrados

Após a tomada do modelo supracitado para execução de regressão linear simples entre duas variáveis, procede-se com a determinação dos parâmetros δ_0 e δ_1 da reta. Uma das formas mais tradicionais para sua determinação, a qual está embutida na maioria dos *softwares* matemáticos modernos, é o *Método dos Mínimos Quadrados*, que busca determinar os parâmetros que minimizem a soma dos quadrados dos *desvios aleatórios* ϵ_i . Com efeito, quanto menor o valor dessa soma, mais próximos os valores esperados da variável dependente estarão dos valores observados para a mesma. O desvio vertical do ponto (x_i, y_i) em relação à reta $y = \delta_0 + \delta_1 \cdot x$ é dado por:

$$\text{Altura do ponto} - \text{Altura da reta} = y_i - (\delta_0 + \delta_1 \cdot x_i) \quad (\text{Equação 5})$$

A soma dos desvios quadrados verticais dos pontos (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , ..., (x_i, y_i) , ..., (x_n, y_n) à reta é, portanto,

$$f(\delta_0, \delta_1) = \sum_{i=1}^n [y_i - (\delta_0 + \delta_1 \cdot x_i)]^2 \quad (\text{Equação 6})$$

As estimativas pontuais de δ_0 e δ_1 , representadas por $\hat{\delta}_0$ e $\hat{\delta}_1$ e denominadas *estimativas dos mínimos quadrados*, são aqueles valores que minimizam $f(\delta_0, \delta_1)$. Ou seja, $\hat{\delta}_0$ e $\hat{\delta}_1$ são tais que $f(\hat{\delta}_0, \hat{\delta}_1) \leq f(\delta_0, \delta_1)$ para quaisquer δ_0 e δ_1 .

O valores de $\hat{\delta}_0$ e $\hat{\delta}_1$ são identificados tomando-se as derivadas parciais de $f(\delta_0, \delta_1)$ em relação a δ_0 e δ_1 , igualando-as a zero e resolvendo as equações:

$$\frac{\partial f(\delta_0, \delta_1)}{\partial \delta_0} = \sum 2 \cdot (y_i - \delta_0 - \delta_1 \cdot x_i) \cdot (-1) = 0 \quad (\text{Equação 7})$$

$$\frac{\partial f(\delta_0, \delta_1)}{\partial \delta_1} = \sum 2 \cdot (y_i - \delta_0 - \delta_1 \cdot x_i) \cdot (-x_i) = 0 \quad (\text{Equação 8})$$

Trabalhando-se as equações acima, é obtido o sistema a seguir, com as denominadas *equações normais*, que são lineares nas duas incógnitas δ_0 e δ_1 .

$$\begin{cases} n \cdot \delta_0 + \left(\sum x_i \right) \cdot \delta_1 = \sum y_i \\ \left(\sum x_i \right) \cdot \delta_0 + \left(\sum x_i^2 \right) \cdot \delta_1 = \sum x_i \cdot y_i \end{cases} \quad (\text{Equação 9})$$

Assim, contanto que pelo menos dois dos x_i 's sejam diferentes, as *estimativas dos mínimos quadrados* são a única solução para esse sistema, de onde é obtido:

$$\delta_1 = \hat{\delta}_1 = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Equação 10})$$

$$\delta_0 = \hat{\delta}_0 = \frac{\sum y_i - \hat{\delta}_1 \cdot \sum x_i}{n} = \bar{y} - \hat{\delta}_1 \cdot \bar{x} \quad (\text{Equação 11})$$

Dessa forma, a *reta de regressão estimada*, ou *reta dos mínimos quadrados*, é, portanto, representada pela equação:

$$y = \hat{\delta}_0 + \hat{\delta}_1 \cdot x \quad (\text{Equação 12})$$

Vale ressaltar que, antes de se proceder o cálculo dos parâmetros, deve-se analisar o gráfico de dispersão a fim de examinar se o estabelecimento de um modelo probabilístico linear é

plausível. Caso os pontos não tendam a se agrupar ao redor de uma reta com aproximadamente o mesmo grau de dispersão para todo x , devem ser investigados outros modelos que possam se adequar de forma mais satisfatória ao caso em questão.

Ainda, no presente trabalho, quando houve a necessidade de determinação de retas por regressão linear a partir de série histórica de dados, foram utilizados *softwares* específicos que trazem embutidos, como já citado, o método acima descrito.

• Coeficiente de Determinação (R^2)

Quando se trabalha com duas variáveis que guardam entre si relação determinística linear, é correto afirmar que 100% das variações observadas na variável dependente y são explicadas pelo fato de serem x e y relacionadas linearmente. Contudo, quando se trata com variáveis que não possuem relação determinística, devido ao fator de erro aleatório (ε), nem toda variação em y pode ser atribuída ao relacionamento linear entre essas variáveis, dado que esse relacionamento não é perfeito. A Figura 49, (a) mostra dados para os quais toda a variação é justificada; (b) dados para os quais grande parte da variação é justificada e (c) um conjunto de dados para os quais pouca variação é justificada.

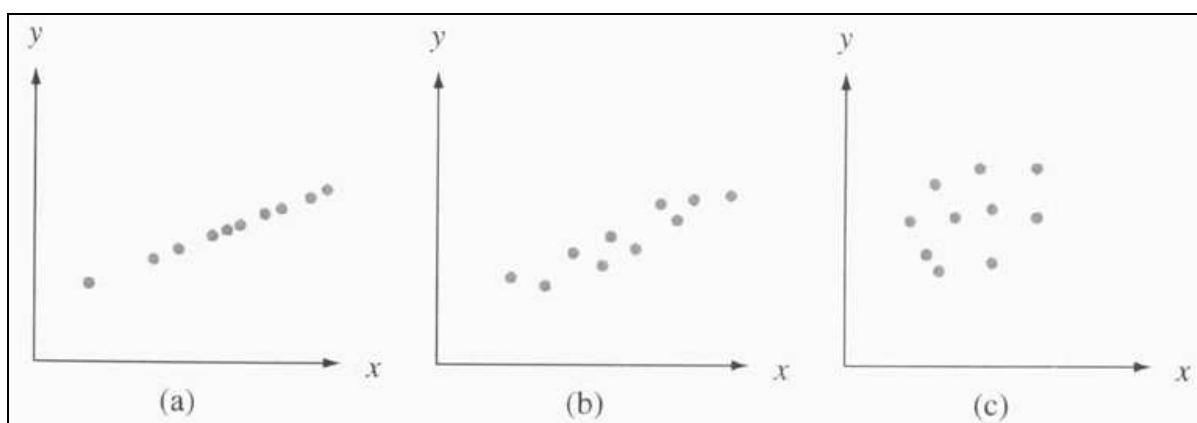


Figura 49 - Utilização do modelo probabilístico para explicar a variação de y (ilustrativo).

Fonte: Adaptada de Devore (2006).

Dessa forma, quando da elaboração de um modelo de regressão linear, é fundamental o conhecimento da porcentagem, ou fração, de variações da variável dependente que é explicada pela relação linear com a variável independente, ou seja, que pode ser explicada pelo modelo de regressão linear simples. Essa “fração” é denominada *coeficiente de determinação* (R^2), sendo dada por:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum [y_i - (\hat{\delta}_0 + \hat{\delta}_1 \cdot x_i)]^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}, \text{ com } 0 \leq R^2 \leq 1 \text{ ou } 0 \leq R^2(\%) \leq 100. \quad (\text{Equação 13})$$

Quanto mais próximo de 1 for o valor de R^2 , maior a evidência de relação linear entre as variáveis. Contudo, um valor de R^2 próximo a zero não significa, necessariamente, a inexistência de relacionamento de qualquer espécie entre as variáveis, indicando apenas a não existência de relação linear. A Figura 50 mostra em (a) um conjunto de dados com forte evidência de relacionamento linear entre as variáveis; em (b), o conjunto de dados apresenta valor de R^2 próximo de zero, não havendo evidência de qualquer espécie de relacionamento; já em (c), ao contrário de (b), apesar de o valor de R^2 também ser próximo de zero, evidenciando ausência de relacionamento linear entre as variáveis, o gráfico de dispersão indica fortes indícios de relacionamento polinomial de segundo grau entre as mesmas.

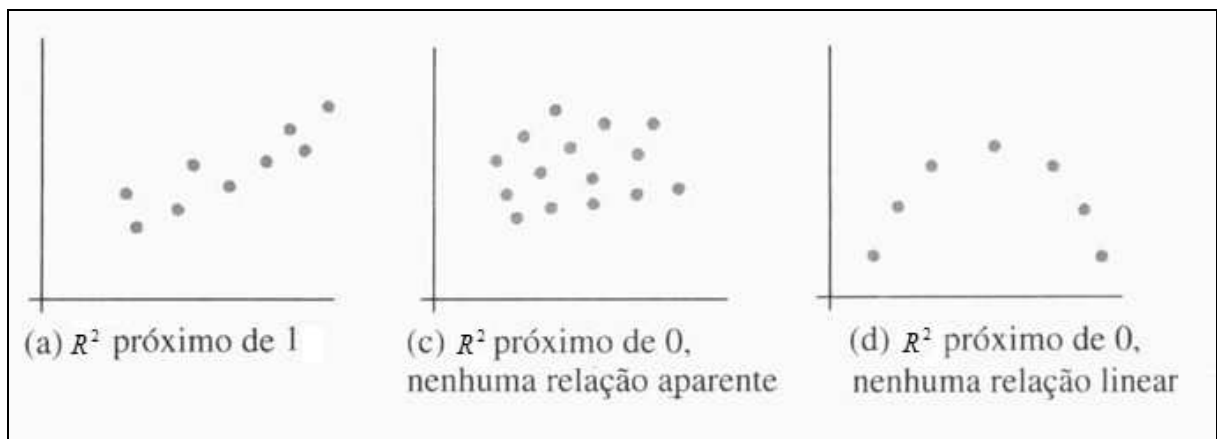


Figura 50 - Gráficos de dados para diferentes valores de R^2 (ilustrativo).
 Fonte: Adaptada de Devore (2006).

Em casos práticos, interessa saber quão forte é o relacionamento linear entre as duas variáveis em termos dos valores de R^2 . Para isso, bastante utilizada é a regra prática razoável citada por Devore (2006), segundo a qual o relacionamento linear pode ser classificado em:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,00 \leq R^2 \leq 0,25 : \text{ correlação FRACA;} \\ 0,25 < R^2 < 0,64 : \text{ correlação MODERADA;} \\ 0,64 \leq R^2 \leq 1,00 : \text{ correlação FORTE.} \end{array} \right.$$

Novamente, vale ressaltar que, em casos práticos, bem como no presente trabalho, os valores do *coeficiente de determinação* foram calculados com uso de *softwares* apropriados, como o *Microsoft Excel*[®].

• Funções “Intrinsecamente Lineares”

Por vezes, através de exame de gráficos de dispersão e/ou através de análise de regressão linear, é notada a necessidade de um modelo alternativo ao modelo probabilístico linear frente à impossibilidade de relacionamento linear entre as variáveis trabalhadas. Ainda assim, é sempre desejável estabelecer um modelo cujos parâmetros possam ser facilmente determinados. Uma classe importante de modelos desse tipo é especificada por meio de *funções intrinsecamente lineares*.

Uma dada função que relaciona x e y é intrinsecamente linear se, por meio de uma transformação em x e/ou y , essa função puder ser expressa como $y' = \delta_0 + \delta_1 \cdot x'$, onde x' é a variável independente transformada e y' é a variável dependente transformada. Na grande maioria dos casos onde essa operação é possível, a transformação apropriada é do tipo logarítmica, como no caso de uma função exponencial multiplicativa:

Função	Transformação	Forma Linearizada
$y = \varphi \cdot e^{\delta \cdot x}$	$y' = \ln(y)$	$y' = \ln(\varphi) + \delta \cdot x$

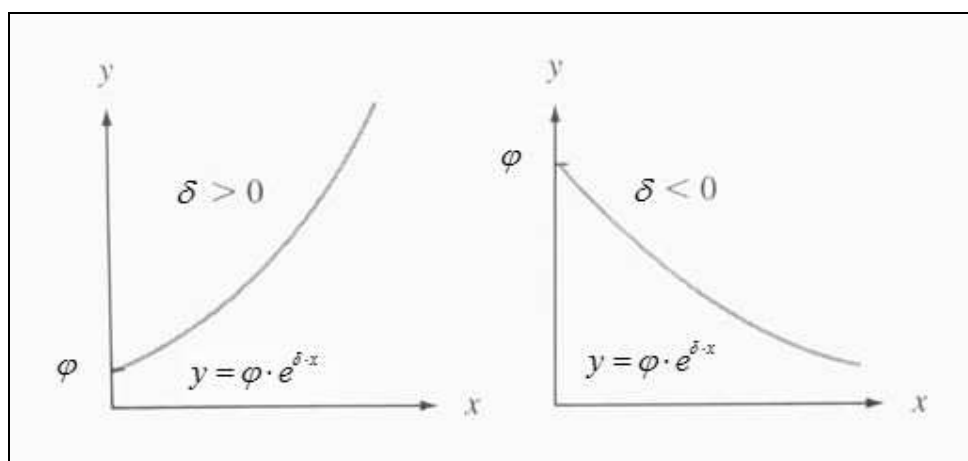


Figura 51 - Gráfico da Função Exponencial Multiplicativa “intrinsecamente linear” (ilustrativo).

Fonte: Adaptada de Devore (2006).

A partir da obtenção da forma linearizada, pode-se então estabelecer um modelo probabilístico linear, e determinar os parâmetros pertinentes a partir da análise de regressão linear na forma já mostrada nos itens precedentes.

7.2 Compatibilização entre os valores conhecidos de V pelo PROVEG/INPE e ISLSCP2/NASA

O projeto ISLSCP2 da NASA forneceu os valores de V para o período 1920-1990. Já o PROVEG do INPE, nos forneceu os valores da mesma variável para o ano 2000. Havendo diferença de escala entre as classes de valores, foi realizada compatibilização (ou correção) a fim de trazer os valores provenientes do ISLSCP2 à escala dos valores mesorregionais do PROVEG, pois se considera que as informações do PROVEG são mais realistas que as do ISLSCP2. Dessa forma:

$$V(t)_{\text{compatibilizado}} = V(t)_{\text{original(ISLSCP2)}} \cdot fm \quad (\text{Equação 14})$$

Onde,

$V(t)_{\text{compatibilizado}}$: valores de V compatibilizados (ou corrigidos), com $1920 \leq t \leq 1990$;

$V(t)_{\text{original(ISLSCP2)}}$: valores originais de V do projeto ISLSCP2, com $1920 \leq t \leq 1990$;

fm : fator multiplicativo.

Por sua vez, o fator multiplicativo (fm) foi obtido da seguinte forma:

$$fm = \frac{V(2000)_{\text{PROVEG}}}{V(2000)_{\text{previsto(ISLSCP2)}}} \quad (\text{Equação 15})$$

Onde,

$V(2000)_{\text{PROVEG}}$: valor de V obtido pelo PROVEG para o ano 2000;

$V(2000)_{\text{previsto(ISLSCP2)}}$: valor de V previsto (ou extrapolado) para o ano 2000 a partir de regressão linear simples aplicada aos valores de V obtidos pelo projeto ISLSCP2 entre os anos 1920 e 1990.

Dessa forma, foram obtidos os valores mesorregionais de *área antropizada* (V), em porcentagem, referentes ao período 1920-2000. A Tabela 22 compila os valores compatibilizados (ou corrigidos):

Tabela 22 - Valores de área antropizada mesorregional (V) compatibilizados (ou corrigidos).

	Área Antropizada (V), %								
MSR	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000
pi_1	7,65	17,05	26,45	30,27	41,68	44,01	54,70	44,53	60,64
pi_2	7,17	17,40	26,10	27,64	38,90	44,02	54,77	43,00	59,30
pi_3	6,72	16,45	26,49	28,91	43,33	47,25	59,48	49,44	66,41
pi_4	6,89	15,46	24,06	27,91	39,10	41,17	51,47	43,23	57,78
ce_1	0,00	0,00	38,23	0,00	38,23	38,23	38,23	38,23	50,52
ce_2	0,00	11,01	15,42	19,82	30,84	39,64	55,06	35,24	55,38
ce_3	4,46	22,31	35,69	22,31	44,61	66,92	80,31	49,08	79,19
ce_4	4,76	19,05	32,65	20,41	38,77	58,84	72,10	45,91	71,40
ce_5	3,38	14,92	26,66	16,32	31,24	48,15	58,89	36,81	58,11
ce_6	1,90	10,47	19,04	11,43	21,90	34,28	42,85	26,66	42,03
ce_7	4,02	16,06	29,11	16,06	35,14	50,20	68,27	49,19	68,84
rn_1	5,04	23,40	40,86	20,88	33,13	40,69	84,43	75,42	83,85
rn_2	0,50	7,34	14,06	19,66	26,62	33,22	46,03	29,98	47,05
rn_3	1,32	12,50	24,02	29,61	41,13	51,00	74,03	49,68	74,99
rn_4	0,00	5,37	8,05	13,42	18,78	21,46	32,20	18,78	31,43
pb_1	8,03	25,57	43,30	14,57	28,04	36,06	82,14	82,64	82,74
pb_2	5,61	18,95	32,48	13,15	28,03	37,31	72,31	68,44	73,96
pb_3	4,88	12,20	26,84	7,32	14,63	21,95	48,79	48,79	49,05
pb_4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
pe_1	4,60	14,57	24,39	17,51	34,55	48,26	74,69	66,81	79,85
pe_2	3,83	13,02	21,82	16,84	34,07	48,24	71,59	62,40	76,80
pe_3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
pe_4	2,85	8,46	13,75	11,53	21,36	26,86	36,80	34,89	41,80
pe_5	2,71	10,10	17,68	11,73	25,62	35,54	50,69	42,03	53,74
al_1	6,52	11,44	16,79	19,67	27,48	35,40	53,58	58,82	63,02
al_2	2,47	5,05	7,58	8,24	12,47	16,81	26,53	27,62	30,24
al_3	7,47	14,71	21,95	23,30	34,16	43,67	62,45	66,75	73,40
se_1	11,33	18,34	25,08	28,85	37,75	41,52	49,88	59,59	63,71
se_2	5,97	10,37	14,58	16,16	21,96	23,72	29,34	35,14	37,45
se_3	13,66	22,44	30,63	35,71	47,22	53,08	66,54	77,86	83,50
ba_1	7,33	15,41	23,63	23,04	35,88	38,26	52,54	63,11	66,30
ba_2	6,82	15,39	23,88	22,06	35,35	39,08	57,69	71,15	72,54
ba_3	6,78	14,48	22,26	22,25	35,08	38,60	54,50	62,15	66,81
ba_4	6,86	14,54	22,55	21,90	33,99	36,44	49,84	60,14	63,09
ba_5	8,91	17,82	27,05	26,89	41,24	44,04	59,74	71,40	75,30
ba_6	5,25	12,53	19,57	17,33	28,13	31,79	49,08	61,64	61,64
ba_7	4,49	9,64	14,84	14,63	22,74	24,44	33,45	38,54	41,47

7.3 Modelamento Matemático da variável V

O modelamento matemático de V , conforme anteriormente citado, foi feito com base em dois cenários distintos.

7.3.1 Cenário 1

No cenário 1, o modelamento foi realizado com base nos valores de PRT (variável independente, ou explicativa), reunidos na Tabela 9, entre os anos de 1920 e 2000. A proposta para a variável dependente (ou variável resposta) V foi um modelo exponencial negativo multiplicativo, nos seguintes termos:

$$V(t) = 100 \cdot \left(1 - e^{-\alpha[PRT(t) - \Phi]}\right), \quad (\text{Equação 16})$$

válida para valores de $PRT(t) > \max(\Phi, 0)$.

Onde,

$V(t)$: valor de área antropizada mesorregional, em %, com t em anos;

$PRT(t)$: valor da População Residente Total mesorregional em um dado ano t , em habitantes;

Φ : parâmetro característico de cada mesorregião, independente de t , possuindo a mesma dimensão da variável $PRT(t)$, ou seja, é dado em habitantes¹⁸;

α : parâmetro característico de cada mesorregião, independente de t e adimensional.

Como pode ser visto, a equação acima depende, além de $PRT(t)$, de dois parâmetros Φ e α , que são característicos de cada mesorregião. Assim, o modelo é válido para todas as mesorregiões trabalhadas, desde que aplicados ao mesmo seus parâmetros específicos.

Constituindo o modelo exponencial negativo multiplicativo proposto uma “função intrinsecamente linear”, para determinação dos parâmetros supracitados, foi executada sobre o mesmo uma transformação logarítmica, passando à seguinte forma linear:

$$\ln \left[1 - \frac{V(t)}{100} \right] = -\alpha \cdot PRT(t) + \alpha \cdot \Phi, \quad (\text{Equação 17})$$

procedendo-se à determinação da reta de ajuste aos pontos na forma:

$$Y = A \cdot X + B \quad (\text{Equação 18})$$

Onde:

$$A = -\alpha \quad (\text{Equação 19})$$

$$B = \alpha \cdot \Phi \quad (\text{Equação 20})$$

¹⁸ Mesmo possuindo dimensão de “População”, o parâmetro Φ pode assumir valores negativos.

Após a determinação da reta de ajuste para os dados referentes a $1920 \leq t \leq 2000$, foram obtidos os valores para os parâmetros mesorregionais, bem como os valores do coeficiente de determinação R^2 . Esses valores foram mostrados na Tabela 23.

Tabela 23 - Valores dos Parâmetros Mesorregionais para o modelo matemático do Cenário 1.

MSR	Coeficientes da Reta de Ajuste e Fator R^2			Parâmetros Mesorregionais	
	A	B	R^2	α	Φ
pi_1	-6,9E-07	-0,06	0,87	6,9E-07	-8,9E+04
pi_2	-1,8E-06	0,12	0,94	1,8E-06	6,7E+04
pi_3	-2,6E-06	0,18	0,97	2,6E-06	7,0E+04
pi_4	-2,0E-06	0,07	0,94	2,0E-06	3,4E+04
ce_1	-2,6E-06	0,24	0,67	2,6E-06	9,4E+04
ce_2	-2,3E-06	0,27	0,92	2,3E-06	1,2E+05
ce_3	-4,9E-07	-0,21	0,67	4,9E-07	-4,3E+05
ce_4	-1,5E-06	0,39	0,83	1,5E-06	2,7E+05
ce_5	-1,3E-06	0,25	0,84	1,3E-06	1,8E+05
ce_6	-7,9E-07	0,13	0,90	7,9E-07	1,7E+05
ce_7	-2,0E-06	0,39	0,88	2,0E-06	1,9E+05
rn_1	-5,4E-06	0,41	0,70	5,4E-06	7,6E+04
rn_2	-3,1E-06	0,43	0,92	3,1E-06	1,4E+05
rn_3	-1,2E-06	0,00	0,76	1,2E-06	-1,1E+03
rn_4	-5,9E-07	0,04	0,85	5,9E-07	6,2E+04
pb_1	-2,5E-06	1,14	0,64	2,5E-06	4,6E+05
pb_2	-7,8E-06	0,94	0,73	7,8E-06	1,2E+05
pb_3	-1,0E-06	0,20	0,65	1,0E-06	2,0E+05
pb_4	ND	ND	ND	ND	ND
pe_1	-1,5E-06	1,34	0,84	1,5E-06	9,2E+05
pe_2	-2,3E-06	1,34	0,92	2,3E-06	5,8E+05
pe_3	ND	ND	ND	ND	ND
pe_4	-1,2E-06	-0,03	0,89	1,2E-06	-2,5E+04
pe_5	-9,4E-07	0,22	0,94	9,4E-07	2,3E+05
al_1	-2,1E-06	0,21	0,95	2,1E-06	9,7E+04
al_2	-3,0E-07	0,13	0,87	3,0E-07	4,2E+05
al_3	-4,2E-06	0,38	0,94	4,2E-06	9,0E+04
se_1	-3,7E-06	0,41	0,91	3,7E-06	1,1E+05
se_2	-4,4E-07	-0,01	0,89	4,4E-07	-2,5E+04
se_3	-9,9E-06	0,20	0,92	9,9E-06	2,0E+04
ba_1	-6,5E-07	0,23	0,96	6,5E-07	3,6E+05
ba_2	-8,3E-07	0,69	0,88	8,3E-07	8,3E+05
ba_3	-2,9E-06	0,24	0,96	2,9E-06	8,2E+04
ba_4	-3,1E-07	0,04	0,93	3,1E-07	1,4E+05
ba_5	-1,2E-06	0,36	0,94	1,2E-06	2,9E+05
ba_6	-5,7E-07	0,17	0,89	5,7E-07	2,9E+05
ba_7	-7,1E-07	0,04	0,91	7,1E-07	6,0E+04

7.3.2 Cenário 2

No cenário 2, o modelamento foi realizado com base nos valores de PIB (variável independente, ou explicativa), reunidos na Tabela 11, entre os anos de 1920 e 2000. A proposta para a variável dependente (ou variável resposta) V foi também um modelo exponencial negativo multiplicativo, nos seguintes termos:

$$V(t) = 100 \cdot \left(1 - e^{-\beta[PIB(t) - \Psi]}\right), \quad (\text{Equação 21})$$

válida para valores de $PIB(t) > \max(\Psi, 0)$.

Onde,

$V(t)$: Valor de área antropizada mesorregional, em %, com t em anos;

$PIB(t)$: valor do Produto Interno Bruto mesorregional em um dado ano t , em milhões de R\$ de 2000;

Ψ : parâmetro característico de cada mesorregião, independente de t , possuindo a mesma dimensão da variável $PIB(t)$, ou seja, é dado em milhões de R\$ de 2000¹⁹;

β : parâmetro característico de cada mesorregião, independente de t e adimensional;

Como pode ser visto, a equação acima depende, além de $PIB(t)$, de dois parâmetros Ψ e β , que são característicos de cada mesorregião. Dessa forma, o modelo é válido para todas as mesorregiões trabalhadas, desde que aplicados ao mesmo seus parâmetros específicos.

Constituindo o modelo exponencial negativo multiplicativo proposto uma “função intrinsecamente linear”, para determinação dos parâmetros supracitados, foi executada sobre o mesmo uma transformação logarítmica, passando à seguinte forma linear:

$$\ln \left[1 - \frac{V(t)}{100} \right] = -\beta \cdot PIB(t) + \beta \cdot \Psi, \quad (\text{Equação 22})$$

procedendo-se à determinação da reta de ajuste aos pontos na mesma forma já executada para o cenário 1, mas, agora, com:

$$A = -\beta \quad (\text{Equação 23})$$

$$B = \beta \cdot \Psi \quad (\text{Equação 24})$$

¹⁹ Mesmo possuindo dimensão de “PIB”, o parâmetro Ψ pode assumir valores negativos.

Após a determinação da reta de ajuste para os dados referentes a $1920 \leq t \leq 2000$, foram obtidos os valores para os parâmetros mesorregionais, bem como os valores do coeficiente de determinação R^2 . Esses valores foram mostrados na Tabela 24.

Tabela 24 - Valores dos Parâmetros Mesorregionais para o modelo matemático do Cenário 2.

MSR	Coeficientes da Reta de Ajuste e Fator R^2			Parâmetros mesorregionais	
	A	B	R^2	β	Ψ
pi_1	-1,3E-04	-0,42	0,61	1,3E-04	-3,1E+03
pi_2	-7,4E-04	-0,33	0,75	7,4E-04	-4,5E+02
pi_3	-1,0E-03	-0,35	0,82	1,0E-03	-3,4E+02
pi_4	-8,0E-04	-0,33	0,79	8,0E-04	-4,1E+02
ce_1	-6,0E-04	-0,27	0,31	6,0E-04	-4,5E+02
ce_2	-5,4E-04	-0,28	0,56	5,4E-04	-5,1E+02
ce_3	-6,8E-05	-0,56	0,43	6,8E-05	-8,2E+03
ce_4	-4,1E-04	-0,44	0,50	4,1E-04	-1,1E+03
ce_5	-3,7E-04	-0,34	0,51	3,7E-04	-9,0E+02
ce_6	-2,9E-04	-0,18	0,58	2,9E-04	-6,3E+02
ce_7	-6,8E-04	-0,25	0,71	6,8E-04	-3,8E+02
rn_1	-2,8E-03	-0,28	0,76	2,8E-03	-9,9E+01
rn_2	-3,5E-04	-0,23	0,59	3,5E-04	-6,7E+02
rn_3	-1,6E-04	-0,44	0,54	1,6E-04	-2,8E+03
rn_4	-9,3E-05	-0,16	0,49	9,3E-05	-1,7E+03
pb_1	-6,7E-04	-0,22	0,73	6,7E-04	-3,3E+02
pb_2	-3,0E-03	-0,19	0,79	3,0E-03	-6,1E+01
pb_3	-4,6E-04	-0,13	0,65	4,6E-04	-2,7E+02
pb_4	ND	ND	ND	ND	ND
pe_1	-4,0E-04	-0,15	0,89	4,0E-04	-3,8E+02
pe_2	-4,4E-04	-0,06	0,92	4,4E-04	-1,5E+02
pe_3	ND	ND	ND	ND	ND
pe_4	-2,3E-04	-0,22	0,74	2,3E-04	-9,2E+02
pe_5	-1,7E-04	-0,26	0,68	1,7E-04	-1,5E+03
al_1	-8,6E-04	-0,19	0,96	8,6E-04	-2,2E+02
al_2	-5,2E-05	-0,08	0,96	5,2E-05	-1,5E+03
al_3	-1,8E-03	-0,24	0,90	1,8E-03	-1,3E+02
se_1	-1,0E-03	-0,28	0,97	1,0E-03	-2,7E+02
se_2	-5,9E-05	-0,19	0,93	5,9E-05	-3,2E+03
se_3	-4,0E-03	-0,37	0,99	4,0E-03	-9,2E+01
ba_1	-2,2E-04	-0,23	0,95	2,2E-04	-1,0E+03
ba_2	-2,7E-04	-0,15	0,98	2,7E-04	-5,6E+02
ba_3	-4,1E-04	-0,42	0,69	4,1E-04	-1,0E+03
ba_4	-2,7E-05	-0,27	0,97	2,7E-05	-1,0E+04
ba_5	-4,7E-04	-0,30	0,96	4,7E-04	-6,4E+02
ba_6	-1,5E-04	-0,14	0,98	1,5E-04	-9,6E+02
ba_7	-1,6E-04	-0,21	0,79	1,6E-04	-1,4E+03

7.3.3 Resumo do Modelamento Matemático de V

Como visto nos itens anteriores, o modelamento matemático da variável dependente *área antropizada (V)*, foi realizado, em ambos os cenários, com uso de um modelo exponencial negativo multiplicativo, contendo uma variável independente e dois parâmetros fixos no tempo característicos de cada mesorregião inserida no SAN, os quais foram determinados a partir de regressões lineares simples aplicadas à série histórica compatibilizada de *V*, em acordo com a linearização dos modelos, obtida a partir de transformações logarítmicas. Em geral, o valor do coeficiente de determinação foi alto, o que indica um bom desempenho do modelamento matemático para os dois cenários.

A Tabela 25 apresenta o resumo do modelamento matemático realizado para os dois cenários trabalhados:

Tabela 25 - Quadro-Resumo do Modelamento Matemático da Área Antropizada (*V*).

	Cenário 1	Cenário 2
Tipo de Modelo	Exponencial Negativo Multiplicativo	Exponencial Negativo Multiplicativo
Expressão Matemática	$V(t) = 100 \cdot \left(1 - e^{-\alpha \cdot [PRT(t) - \Phi]}\right)$	$V(t) = 100 \cdot \left(1 - e^{-\beta \cdot [PIB(t) - \Psi]}\right)$
Variável Dependente	$V(t)$, em %	$V(t)$, em %
Variável Independente	$PRT(t)$, em habitantes	$PIB(t)$, em MM de R\$ de 2000
Parâmetros mesorregionais específicos	α , adimensional Φ , em habitantes	β , adimensional Ψ , em MM de R\$ de 2000

8 Previsão de Área Antropizada (V)

8.1 Introdução

No capítulo anterior, foi realizado o modelamento matemático da área antropizada (V) segundo dois cenários distintos. Com as equações desenvolvidas para os modelos de cada um dos cenários é possível o cálculo dos valores futuros de V , com $2005 \leq t \leq 2050$. Para tanto, se fez necessário o cálculo, para o mesmo intervalo de tempo sobre o qual se pretendeu fazer as previsões, de projeções futuras de população residente total mesorregional (PRT) e de produto interno bruto mesorregional (PIB), para uso no cálculo de V a partir, respectivamente, dos cenários 1 e 2. Para o cálculo das projeções futuras de PRT e PIB mesorregionais, foram assumidas algumas hipóteses – explicitadas nos itens procedentes – e tomados como referências relatórios do IBGE e do Governo Federal, bem como publicações de instituições bancárias de renome.

A partir do conhecimento dos valores projetados de PRT e PIB na escala de tempo apropriada, com uso das expressões modeladas no capítulo anterior, procedeu-se o cálculo dos valores futuros de V , entre 2005 e 2050, em intervalos de 5 anos.

8.2 Previsão de Dados Populacionais

O cálculo dos valores futuros de PRT foi executado em duas etapas. Na primeira, foram tomados os valores projetados pelo IBGE para a taxa de crescimento anual da população do Brasil (BRASIL, 2004), sendo estabelecida a hipótese de que *a taxa de crescimento anual da população de cada mesorregião é igual à taxa de crescimento da população brasileira, para valores de tempo (t) no intervalo [2005,2050]*. Dessa forma, foram obtidos os valores compilados na Tabela 26 e mostrados na Figura 52, que, até então, são válidos para todas as mesorregiões nordestinas inseridas no SAN.

Tabela 26 - Taxas de crescimento populacional anual para o Brasil.

Intervalo de tempo (anos)	Taxa de Crescimento Anual	Intervalo de tempo (anos)	Taxa de Crescimento Anual
2000-2005	7,5%	2026-2030	3,9%
2006-2010	6,9%	2031-2035	3,2%
2011-2015	5,9%	2036-2040	2,5%
2016-2020	5,1%	2041-2045	1,9%
2021-2025	4,5%	2046-2050	1,4%

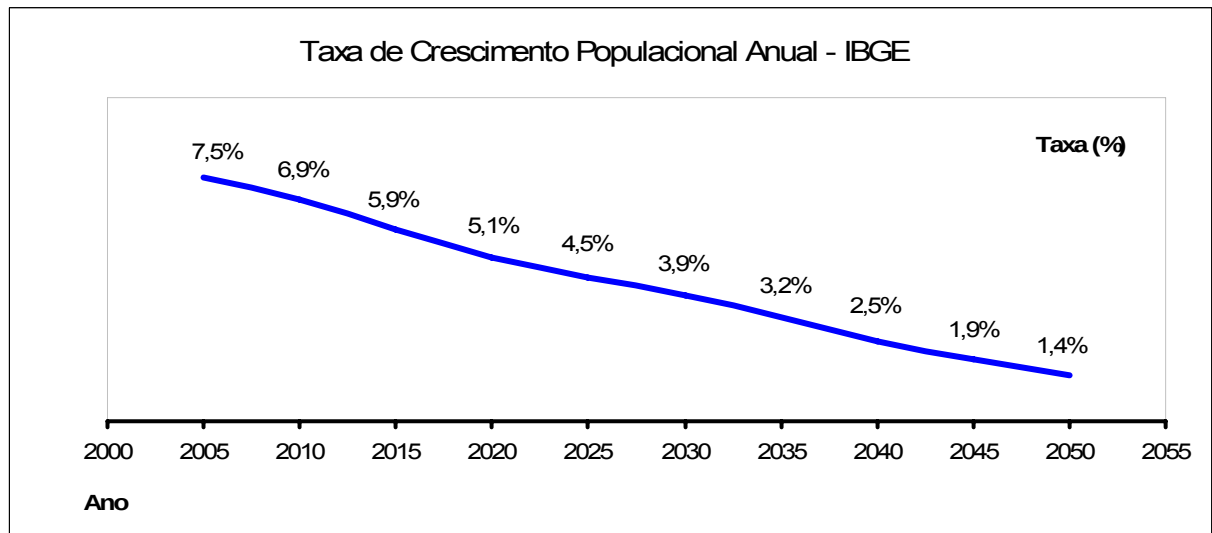


Figura 52 - Gráfico mostrando valores futuros previstos pelo IBGE para a taxa de crescimento populacional anual do Brasil.

Na segunda etapa do cálculo de valores futuros de *PRT* para as mesorregiões, foi introduzido o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) como fator de diferenciação entre as taxas de crescimento populacional anual mesorregional. Com efeito, mesorregiões que apresentam, na atualidade, valores de IDH mais elevados tendem a receber parte da população de outras mesorregiões de IDH mais baixo. Nesse efeito, está sendo considerada apenas a possibilidade de migrações internas entre as mesorregiões trabalhadas, e que esse fluxo migratório é orientado pela diferença de IDH entre as mesmas. Dessa forma, foi feita uma correção nas taxas de crescimento populacional anual das mesorregiões, a partir dos valores compilados na Tabela 26, com interferência dos valores de IDH mesorregionais para o ano 2000.

Considerando a distribuição dos valores de *IDH(2000)* mesorregionais, reunidos na Tabela 10, foram tomados, para $t = 2000$, os valores mínimo, médio e máximo da distribuição. Calculando-se o *desvio em relação ao valor médio* (λ) para cada mesorregião, obteve-se um valor percentual que foi utilizado para indicar crescimento maior ou menor que o previsto a partir dos valores-padrão contidos na Tabela 26, conforme o valor de λ fosse positivo ou negativo. A equação abaixo mostra como se deu o cálculo do fator λ :

$$\lambda_i(\%) = \frac{IDH_i(t) - IDH_{médio}(t)}{IDH_i(t)}, \text{ com } t = 2000, \quad (\text{Equação 25})$$

Onde:

$\lambda_i(\%)$: desvio em relação ao valor médio para a mesorregião i ;

$IDH_i(t)$: índice de desenvolvimento humano da mesorregião i no ano t , tomado como 2000.

$IDH_{médio}(t)$: média aritmética da distribuição de valores de IDH mesorregionais no ano t , tomado como 2000.

Como esperado, a mesorregião de menor IDH no ano 2000, apresentou o maior desvio negativo, enquanto a de maior IDH no mesmo ano apresentou o maior desvio positivo em relação ao valor médio. Os valores de $\lambda_i(\%)$ encontrados para cada mesorregião, com $t = 2000$, foram compilados na Tabela 27, e mostrados na Figura 53, juntamente com sua linha de tendência.

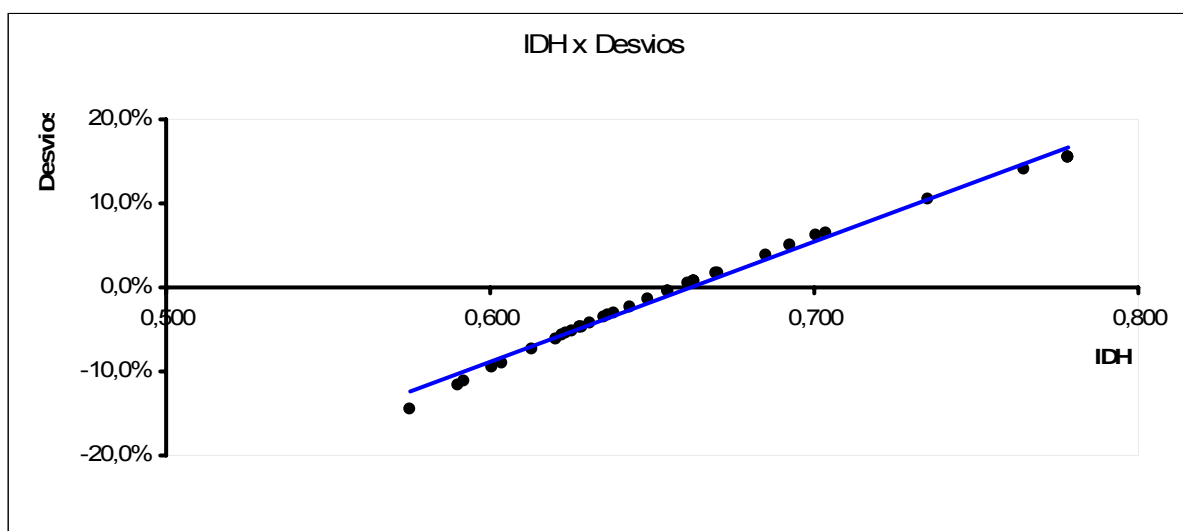


Figura 53 - Gráfico mostrando os desvios de IDH mesorregional em relação à média, para o ano 2000.

Tabela 27 - Valores de IDH mesorregionais para o ano 2000, e seus respectivos desvios em relação à média.

MSR	IDH _i (2000)	λ _i (%)	MSR	IDH _i (2000)	λ _i (%)		λ (%)
pi_1	0,692	2,80%	pe_1	0,626	-7,04%	IDH _{máx}	0,778 15,4%
pi_2	0,592	-12,00%	pe_2	0,639	-5,13%	IDH _{méd}	0,658 0,0%
pi_3	0,601	-10,69%	pe_3	0,778	15,42%	IDH _{mín}	0,575 -14,5%
pi_4	0,631	-6,27%	pe_4	0,778	15,42%		
ce_1	0,635	-5,64%	pe_5	0,778	15,42%		
ce_2	0,670	-0,49%	al_1	0,603	-10,29%		
ce_3	0,765	13,47%	al_2	0,663	-1,53%		
ce_4	0,628	-6,67%	al_3	0,575	-14,46%		
ce_5	0,637	-5,42%	se_1	0,624	-7,31%		
ce_6	0,628	-6,68%	se_2	0,704	4,46%		
ce_7	0,661	-1,77%	se_3	0,590	-12,26%		
rn_1	0,622	-7,56%	ba_1	0,649	-3,62%		
rn_2	0,685	1,70%	ba_2	0,643	-4,41%		
rn_3	0,735	9,08%	ba_3	0,655	-2,74%		
rn_4	0,670	-0,56%	ba_4	0,655	-2,74%		
pb_1	0,629	-6,58%	ba_5	0,655	-2,74%		
pb_2	0,613	-8,85%	ba_6	0,663	-1,56%		
pb_3	0,620	-7,80%	ba_7	0,663	-1,56%		
pb_4	0,701	4,04%					

Sendo conhecidos os valores dos desvios de cada mesorregião, procedeu-se com o cálculo das taxas de crescimento populacional anual para cada mesorregião, considerando-se que os valores-padrão da taxa de crescimento populacional anual mesorregional sofreram correção de magnitude igual à do desvio do IDH em relação ao seu valor médio. Assim, o cálculo da taxa corrigida foi realizado com aplicação da equação abaixo. Os valores obtidos foram reunidos na Tabela 28.

$$TC_i(t) = TP_i(t) + \lambda_i, \quad (\text{Equação 26})$$

Onde:

$TC_i(t)$: taxa de crescimento populacional corrigida da mesorregião i , no ano t , em %;

$TP_i(t)$: taxa-padrão de crescimento populacional da mesorregião i , no ano t , em %, conforme valores da Tabela 26.

Tabela 28 - Taxa de crescimento populacional mesorregional corrigida pelo desvio do IDH.

Taxa de Crescimento Populacional mesorregional corrigida pelo desvio do IDH										
MSR	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
pi_1	10,3%	9,7%	8,7%	7,9%	7,3%	6,7%	6,0%	5,3%	4,7%	4,2%
pi_2	-4,5%	-5,1%	-6,1%	-6,9%	-7,5%	-8,1%	-8,8%	-9,5%	-10,1%	-10,6%
pi_3	-3,2%	-3,8%	-4,8%	-5,6%	-6,2%	-6,8%	-7,5%	-8,2%	-8,8%	-9,3%
pi_4	1,3%	0,6%	-0,4%	-1,2%	-1,8%	-2,4%	-3,1%	-3,8%	-4,4%	-4,9%
ce_1	1,9%	1,2%	0,3%	-0,6%	-1,2%	-1,8%	-2,5%	-3,2%	-3,7%	-4,3%
ce_2	7,0%	6,4%	5,4%	4,6%	4,0%	3,4%	2,7%	2,0%	1,4%	0,9%
ce_3	21,0%	20,3%	19,4%	18,6%	17,9%	17,3%	16,7%	16,0%	15,4%	14,9%
ce_4	0,9%	0,2%	-0,8%	-1,6%	-2,2%	-2,8%	-3,5%	-4,2%	-4,8%	-5,3%
ce_5	2,1%	1,5%	0,5%	-0,3%	-0,9%	-1,5%	-2,2%	-2,9%	-3,5%	-4,0%
ce_6	0,9%	0,2%	-0,8%	-1,6%	-2,2%	-2,8%	-3,5%	-4,2%	-4,8%	-5,3%
ce_7	5,8%	5,1%	4,1%	3,3%	2,7%	2,1%	1,4%	0,7%	0,1%	-0,4%
rn_1	0,0%	-0,7%	-1,6%	-2,5%	-3,1%	-3,7%	-4,4%	-5,1%	-5,7%	-6,2%
rn_2	9,2%	8,6%	7,6%	6,8%	6,2%	5,6%	4,9%	4,2%	3,6%	3,1%
rn_3	16,6%	16,0%	15,0%	14,2%	13,6%	13,0%	12,3%	11,6%	11,0%	10,5%
rn_4	7,0%	6,3%	5,4%	4,5%	3,9%	3,3%	2,6%	1,9%	1,3%	0,8%
pb_1	1,0%	0,3%	-0,7%	-1,5%	-2,1%	-2,7%	-3,4%	-4,1%	-4,7%	-5,2%
pb_2	-1,3%	-2,0%	-2,9%	-3,8%	-4,4%	-5,0%	-5,7%	-6,4%	-7,0%	-7,5%
pb_3	-0,3%	-0,9%	-1,9%	-2,7%	-3,3%	-3,9%	-4,6%	-5,3%	-5,9%	-6,4%
pb_4	11,6%	10,9%	10,0%	9,1%	8,5%	7,9%	7,2%	6,5%	5,9%	5,4%
pe_1	0,5%	-0,2%	-1,1%	-2,0%	-2,6%	-3,2%	-3,9%	-4,6%	-5,1%	-5,6%
pe_2	2,4%	1,7%	0,8%	0,0%	-0,7%	-1,3%	-1,9%	-2,6%	-3,2%	-3,7%
pe_3	23,0%	22,3%	21,3%	20,5%	19,9%	19,3%	18,6%	17,9%	17,3%	16,8%
pe_4	23,0%	22,3%	21,3%	20,5%	19,9%	19,3%	18,6%	17,9%	17,3%	16,8%
pe_5	23,0%	22,3%	21,3%	20,5%	19,9%	19,3%	18,6%	17,9%	17,3%	16,8%
al_1	-2,8%	-3,4%	-4,4%	-5,2%	-5,8%	-6,4%	-7,1%	-7,8%	-8,4%	-8,9%
al_2	6,0%	5,3%	4,4%	3,6%	2,9%	2,3%	1,7%	1,0%	0,4%	-0,1%
al_3	-6,9%	-7,6%	-8,6%	-9,4%	-10,0%	-10,6%	-11,3%	-12,0%	-12,6%	-13,1%
se_1	0,2%	-0,4%	-1,4%	-2,2%	-2,8%	-3,4%	-4,1%	-4,8%	-5,4%	-5,9%
se_2	12,0%	11,3%	10,4%	9,5%	8,9%	8,3%	7,6%	6,9%	6,4%	5,9%
se_3	-4,7%	-5,4%	-6,4%	-7,2%	-7,8%	-8,4%	-9,1%	-9,8%	-10,4%	-10,9%
ba_1	3,9%	3,3%	2,3%	1,5%	0,9%	0,3%	-0,4%	-1,1%	-1,7%	-2,2%
ba_2	3,1%	2,5%	1,5%	0,7%	0,1%	-0,5%	-1,2%	-1,9%	-2,5%	-3,0%
ba_3	4,8%	4,1%	3,2%	2,3%	1,7%	1,1%	0,4%	-0,3%	-0,8%	-1,3%
ba_4	4,8%	4,1%	3,2%	2,3%	1,7%	1,1%	0,4%	-0,3%	-0,8%	-1,3%
ba_5	4,8%	4,1%	3,2%	2,3%	1,7%	1,1%	0,4%	-0,3%	-0,8%	-1,3%
ba_6	6,0%	5,3%	4,4%	3,5%	2,9%	2,3%	1,6%	0,9%	0,3%	-0,2%
ba_7	6,0%	5,3%	4,4%	3,5%	2,9%	2,3%	1,6%	0,9%	0,3%	-0,2%

Para o cálculo da população residente total mesorregional no período 2005-2050, utilizou-se a expressão abaixo, com t pertencendo ao conjunto de valores discretos $\{2005, 2010, \dots, 2025, \dots, 2045, 2050\}$.

$$PRT_i(t) = PRT_i(t-5) \cdot [1 + TC_i(t)]^5, \quad (\text{Equação 27})$$

com $PRT_i(t)$ em habitantes, $TC_i(t)$ em valor absoluto e t em anos.

A partir da aplicação da equação acima, foram obtidos os valores futuros de população residente total para cada mesorregião, no período 2005-2050, conforme Tabela 29.

Tabela 29 - Valores futuros de População Residente Total mesorregional, em habitantes.

MSR	Valores Futuros de População Residente Total (habitantes)									
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
pi_1	1.454.204	1.554.325	1.646.574	1.730.723	1.808.389	1.878.708	1.938.988	1.987.523	2.025.621	2.054.135
pi_2	550.599	587.953	621.992	652.995	681.673	707.544	729.489	746.935	760.559	770.647
pi_3	464.593	496.160	524.958	551.191	575.451	597.345	615.937	630.737	642.301	650.874
pi_4	475.135	507.572	537.269	564.335	589.347	611.947	631.204	646.597	658.645	667.608
ce_1	364.111	388.984	411.767	432.533	451.722	469.062	483.845	495.668	504.924	511.812
ce_2	518.993	554.622	587.379	617.250	644.833	669.788	691.137	708.285	721.732	731.776
ce_3	3.545.830	3.791.988	4.020.178	4.228.504	4.420.549	4.594.772	4.744.975	4.866.729	4.962.559	5.034.680
ce_4	1.188.523	1.269.627	1.343.860	1.411.513	1.474.037	1.530.523	1.578.641	1.617.091	1.647.182	1.669.560
ce_5	894.951	956.101	1.012.122	1.063.185	1.110.368	1.153.007	1.189.363	1.218.447	1.241.217	1.258.167
ce_6	821.069	877.098	928.380	975.115	1.018.308	1.057.329	1.090.569	1.117.130	1.137.917	1.153.375
ce_7	834.794	892.035	944.616	992.560	1.036.837	1.076.885	1.111.118	1.138.587	1.160.119	1.176.188
rn_1	388.045	414.501	438.698	460.748	481.129	499.538	515.209	527.722	537.510	544.785
rn_2	393.829	420.918	445.859	468.608	489.608	508.617	524.901	538.002	548.282	555.971
rn_3	1.499.756	1.603.538	1.699.519	1.787.116	1.867.905	1.941.141	2.004.141	2.055.078	2.095.128	2.125.206
rn_4	793.830	848.323	898.421	944.106	986.290	1.024.457	1.057.106	1.083.329	1.103.892	1.119.250
pb_1	1.162.063	1.241.369	1.313.961	1.380.119	1.441.261	1.496.499	1.543.557	1.581.163	1.610.594	1.632.483
pb_2	273.459	292.077	309.088	324.587	338.916	351.854	362.857	371.631	378.492	383.586
pb_3	816.838	872.513	923.425	969.819	1.012.703	1.051.434	1.084.400	1.110.714	1.131.299	1.146.595
pb_4	1.335.106	1.427.123	1.511.972	1.589.378	1.660.810	1.725.501	1.780.997	1.825.719	1.860.836	1.887.138
pe_1	2.002.900	2.139.525	2.264.538	2.378.464	2.483.761	2.578.879	2.659.883	2.724.590	2.775.223	2.812.866
pe_2	1.236.315	1.320.813	1.398.243	1.468.820	1.534.032	1.592.969	1.643.231	1.683.449	1.714.940	1.738.387
pe_3	3.947.054	4.221.436	4.476.044	4.708.519	4.922.782	5.117.226	5.285.014	5.421.170	5.528.381	5.609.138
pe_4	572.585	612.388	649.323	683.047	714.130	742.337	766.677	786.429	801.982	813.697
pe_5	1.281.545	1.370.633	1.453.300	1.528.781	1.598.348	1.661.481	1.715.959	1.760.167	1.794.977	1.821.197
al_1	564.543	602.918	637.939	669.842	699.344	725.972	748.590	766.603	780.680	791.118
al_2	1.940.704	2.073.806	2.196.090	2.307.593	2.410.565	2.503.708	2.583.338	2.647.244	2.697.344	2.734.738
al_3	382.767	408.660	432.201	453.636	473.473	491.354	506.489	518.489	527.851	534.767
se_1	405.444	433.093	458.386	481.436	502.741	521.985	538.370	551.456	561.694	569.304
se_2	1.325.456	1.416.840	1.501.126	1.578.021	1.648.979	1.713.245	1.768.390	1.812.842	1.847.751	1.873.903
se_3	187.106	199.796	211.357	221.886	231.626	240.413	247.864	253.786	258.410	261.833
ba_1	2.161.842	2.309.817	2.445.565	2.569.319	2.683.639	2.786.997	2.875.236	2.945.931	3.001.316	3.042.596
ba_2	2.549.647	2.724.031	2.883.914	3.029.658	3.164.309	3.286.023	3.389.876	3.473.027	3.538.151	3.586.664
ba_3	519.477	555.065	587.732	617.516	645.026	669.903	691.153	708.191	721.543	731.501
ba_4	3.894.415	4.161.206	4.406.107	4.629.388	4.835.624	5.022.121	5.181.433	5.309.163	5.409.259	5.483.909
ba_5	1.531.676	1.636.605	1.732.924	1.820.741	1.901.854	1.975.203	2.037.860	2.088.097	2.127.464	2.156.825
ba_6	2.084.424	2.227.379	2.358.713	2.478.467	2.589.060	2.689.096	2.774.617	2.843.250	2.897.055	2.937.213
ba_7	929.440	993.184	1.051.745	1.105.143	1.154.457	1.199.063	1.237.196	1.267.799	1.291.791	1.309.697

8.3 Previsão de Dados Econômicos

O cálculo dos valores futuros de PIB mesorregionais foi executado com base em duas estimativas de valores futuros para a taxa de crescimento anual do PIB brasileiro. A primeira delas, formulada pelo Governo Federal (BRASIL, 2006), através de sua Política Nacional de Desenvolvimento Regional (PNDR) do Ministério da Integração Nacional (MIN), traz estimativas de taxas de crescimento do PIB brasileiro até o ano de 2025. A segunda estimativa, realizada pelo banco de investimentos americano *Goldman Sachs Bank*, um dos mais tradicionais e respeitados bancos de investimentos do mundo, traz previsões futuras para a taxa de crescimento anual do PIB brasileiro até o ano de 2050 (WILSON, 2003).

Foi decidido levar em consideração ambos os prospectos devido ao fato de que as estimativas governamentais, historicamente, se mostram demasiadamente otimistas quanto ao ritmo de crescimento da economia brasileira. Em contrapartida, as estimativas de instituições respeitadas no mercado financeiro, como o *Goldman Sachs Bank*, tendem a ser mais realistas, e mesmo, em alguns momentos, até pessimistas, dado o fato de servirem como guia para entrada de investimentos no Brasil, que, apesar da euforia econômica pela qual vem passando nos últimos tempos, ainda é considerado um mercado de alto risco, principalmente se comparado à economias de países desenvolvidos. Dessa forma, no período 2005-2025, a taxa de crescimento do PIB brasileiro foi tomada como uma média aritmética entre os valores estimados pelas duas fontes supracitadas. Para o período 2025-2050, por falta de dados oficiais do Governo Federal, os valores da taxa de crescimento do PIB nacional foram considerados os valores estimados pelo banco americano citado. A Figura 54 e a Tabela 30 mostram os valores previstos pelas duas fontes, bem como o valor médio considerado.

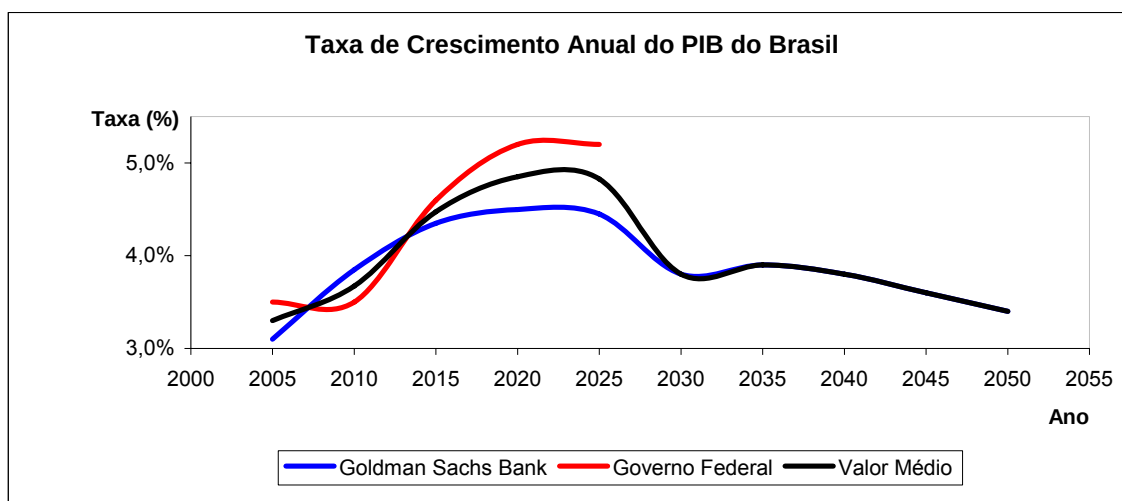


Figura 54 - Gráfico de valores futuros da taxa de crescimento anual do PIB brasileiro.

Tabela 30 - Valores Futuros da taxa de crescimento anual do PIB brasileiro, em %.

Período	Taxa de Crescimento Anual do PIB do Brasil (%)		
	Goldman Sachs Bank	Governo Federal	VALOR MÉDIO
2000-2005	3,1%	3,5%	3,3%
2006-2010	3,9%	3,5%	3,7%
2011-2015	4,4%	4,6%	4,5%
2016-2020	4,5%	5,2%	4,9%
2021-2025	4,5%	5,2%	4,8%
2026-2030	3,8%	ND	3,8%
2031-2035	3,9%	ND	3,9%
2036-2040	3,8%	ND	3,8%
2041-2045	3,6%	ND	3,6%
2046-2050	3,4%	ND	3,4%

Com os dados futuros da taxa de crescimento anual do PIB brasileiro, foi feita a hipótese de que a taxa de crescimento anual do PIB de cada mesorregião é igual à taxa de crescimento do PIB brasileiro, para valores de tempo (t) no intervalo $[2005, 2050]$.

Em acordo com a hipótese supracitada, para o cálculo do produto interno bruto mesorregional no período 2005-2050, utilizou-se a expressão a seguir, com t pertencendo ao conjunto de valores discretos $\{2005, 2010, \dots, 2025, \dots, 2045, 2050\}$.

$$PIB_i(t) = PIB_i(t-5) \cdot [1 + TM(t)]^5, \quad (\text{Equação 28})$$

Onde,

$PIB_i(t)$: produto interno bruto da mesorregião i , em milhões de R\$ de 2000, no ano t ;

$TM(t)$: taxa anual média de crescimento do PIB mesorregional, em valor absoluto.

Dessa forma, a partir da aplicação da expressão precedente, foram obtidos os valores futuros de PIB mesorregional compilados na Tabela 31.

Tabela 31 - Valores futuros de Produto Interno Bruto mesorregional, em MM de R\$ de 2000.

MSR	Valores Futuros de Produto Interno Bruto (MM de R\$ de 2000)									
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
pi_1	3.763,6	4.507,9	5.610,9	7.110,1	8.999,1	10.843,9	13.130,0	15.821,6	18.882,0	22.317,8
pi_2	911,4	1.091,7	1.358,8	1.721,9	2.179,3	2.626,1	3.179,7	3.831,6	4.572,7	5.404,8
pi_3	787,6	943,4	1.174,2	1.488,0	1.883,3	2.269,4	2.747,8	3.311,1	3.951,6	4.670,6
pi_4	806,3	965,7	1.202,0	1.523,2	1.927,9	2.323,1	2.812,8	3.389,4	4.045,1	4.781,1
ce_1	691,0	827,6	1.030,1	1.305,4	1.652,2	1.990,9	2.410,6	2.904,7	3.466,6	4.097,4
ce_2	1.153,2	1.381,2	1.719,2	2.178,5	2.757,3	3.322,6	4.023,0	4.847,8	5.785,5	6.838,2
ce_3	15.305,8	18.332,8	22.818,6	28.915,6	36.597,9	44.100,4	53.397,5	64.343,9	76.790,3	90.763,0
ce_4	2.446,5	2.930,3	3.647,4	4.621,9	5.849,9	7.049,1	8.535,1	10.284,8	12.274,3	14.507,7
ce_5	1.785,2	2.138,2	2.661,4	3.372,5	4.268,5	5.143,6	6.227,9	7.504,6	8.956,3	10.585,9
ce_6	1.387,9	1.662,4	2.069,1	2.622,0	3.318,6	3.998,9	4.841,9	5.834,5	6.963,1	8.230,1
ce_7	1.696,0	2.031,5	2.528,5	3.204,1	4.055,4	4.886,8	5.917,0	7.130,0	8.509,1	10.057,5
rn_1	768,8	920,8	1.146,1	1.452,4	1.838,2	2.215,1	2.682,0	3.231,8	3.857,0	4.558,8
rn_2	1.405,5	1.683,5	2.095,4	2.655,3	3.360,7	4.049,7	4.903,4	5.908,6	7.051,5	8.334,6
rn_3	5.889,3	7.054,0	8.780,0	11.126,0	14.081,9	16.968,7	20.546,0	24.757,9	29.546,9	34.923,3
rn_4	2.867,7	3.434,9	4.275,4	5.417,7	6.857,1	8.262,8	10.004,7	12.055,6	14.387,6	17.005,6
pb_1	3.352,7	4.015,7	4.998,3	6.333,8	8.016,6	9.659,9	11.696,4	14.094,2	16.820,5	19.881,1
pb_2	513,8	615,4	766,0	970,7	1.228,6	1.480,4	1.792,5	2.160,0	2.577,8	3.046,9
pb_3	1.692,3	2.027,0	2.522,9	3.197,0	4.046,4	4.876,0	5.903,9	7.114,2	8.490,3	10.035,2
pb_4	5.307,2	6.356,7	7.912,2	10.026,2	12.690,0	15.291,5	18.515,1	22.310,7	26.626,4	31.471,3
pe_1	4.751,5	5.691,1	7.083,7	8.976,4	11.361,2	13.690,3	16.576,4	19.974,5	23.838,3	28.175,9
pe_2	3.786,5	4.535,3	5.645,1	7.153,4	9.053,9	10.909,9	13.209,9	15.917,9	18.997,0	22.453,7
pe_3	19.529,9	23.392,1	29.116,0	36.895,5	46.697,9	56.271,0	68.133,7	82.101,1	97.982,3	115.811,2
pe_4	1.936,4	2.319,4	2.886,9	3.658,2	4.630,2	5.579,3	6.755,6	8.140,4	9.715,1	11.482,8
pe_5	4.256,3	5.098,1	6.345,5	8.041,0	10.177,3	12.263,7	14.849,1	17.893,1	21.354,2	25.239,9
al_1	1.241,9	1.487,5	1.851,5	2.346,2	2.969,6	3.578,4	4.332,7	5.220,9	6.230,8	7.364,6
al_2	6.228,8	7.460,6	9.286,1	11.767,3	14.893,6	17.946,8	21.730,3	26.185,0	31.250,1	36.936,3
al_3	790,0	946,3	1.177,8	1.492,5	1.889,1	2.276,3	2.756,2	3.321,2	3.963,7	4.684,9
se_1	919,8	1.101,7	1.371,3	1.737,7	2.199,4	2.650,3	3.209,0	3.866,9	4.614,9	5.454,6
se_2	5.625,8	6.738,3	8.387,1	10.628,1	13.451,8	16.209,4	19.626,5	23.650,0	28.224,7	33.360,5
se_3	418,7	501,5	624,2	791,0	1.001,1	1.206,4	1.460,7	1.760,1	2.100,6	2.482,8
ba_1	4.829,5	5.784,6	7.200,0	9.123,8	11.547,8	13.915,1	16.848,6	20.302,5	24.229,8	28.638,6
ba_2	5.280,5	6.324,8	7.872,5	9.975,9	12.626,3	15.214,7	18.422,2	22.198,7	26.492,7	31.313,3
ba_3	2.318,3	2.776,7	3.456,2	4.379,6	5.543,2	6.679,5	8.087,7	9.745,7	11.630,8	13.747,2
ba_4	32.038,5	38.374,5	47.764,4	60.526,7	76.607,5	92.311,9	111.772,6	134.686,0	160.738,9	189.987,0
ba_5	3.001,1	3.594,6	4.474,2	5.669,7	7.176,0	8.647,1	10.470,0	12.616,3	15.056,8	17.796,5
ba_6	6.317,0	7.566,3	9.417,7	11.934,0	15.104,6	18.201,1	22.038,1	26.555,9	31.692,8	37.459,6
ba_7	2.907,3	3.482,2	4.334,3	5.492,3	6.951,5	8.376,6	10.142,5	12.221,7	14.585,8	17.239,9

8.4 Valores Futuros da variável V

Uma vez calculadas as estimativas futuras de *PRT* e *PIB* mesorregionais, procedeu-se o cálculo dos valores futuros da *área antropizada (V)*, segundo o modelamento matemático realizado para os dois cenários trabalhados.

8.4.1 Cenário 1

No cenário 1, conforme já mostrado no capítulo anterior, a variável $V(t)$ foi modelada em forma exponencial negativa multiplicativa, segundo a equação $V(t) = 100 \cdot (1 - e^{-\alpha[PRT(t) - \Phi]})$, com $PRT(t)$ em habitantes e $V(t)$ em porcentagem. Dessa forma, inserindo no modelo, para cada valor de t pertencente ao conjunto de valores discretos $\{2005, 2010, \dots, 2025, \dots, 2045, 2050\}$, os valores futuros de PRT mesorregionais, bem como os valores dos parâmetros específicos de cada mesorregião, foram obtidos os valores futuros, em porcentagem, de área antropizada (V) para o cenário 1, conforme mostra a Tabela 32.

Tabela 32 - Valores Futuros de Área Antropizada (V) mesorregional, em %, para o cenário 1.

MSR	Valores futuros de Área Antropizada (V) mesorregional, em % - CENÁRIO 1									
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
pi_1	65,27	67,58	69,56	71,27	72,76	74,04	75,09	75,91	76,53	76,98
pi_2	58,20	60,92	63,25	65,25	67,00	68,50	69,73	70,66	71,37	71,89
pi_3	64,56	67,38	69,76	71,78	73,52	75,00	76,19	77,10	77,79	78,28
pi_4	58,32	60,91	63,15	65,07	66,76	68,21	69,41	70,32	71,02	71,53
ce_1	50,27	53,37	56,05	58,35	60,37	62,11	63,53	64,63	65,47	66,08
ce_2	60,44	63,55	66,19	68,43	70,37	72,02	73,36	74,39	75,17	75,74
ce_3	85,99	87,59	88,92	90,00	90,91	91,66	92,26	92,71	93,05	93,29
ce_4	74,02	76,93	79,31	81,27	82,91	84,27	85,34	86,14	86,74	87,17
ce_5	61,55	64,58	67,14	69,32	71,21	72,81	74,10	75,10	75,85	76,39
ce_6	40,53	43,12	45,39	47,38	49,16	50,71	51,99	52,99	53,76	54,33
ce_7	72,97	75,95	78,39	80,40	82,10	83,50	84,61	85,45	86,08	86,53
rn_1	81,34	83,82	85,79	87,38	88,69	89,76	90,59	91,20	91,65	91,97
rn_2	53,92	57,58	60,68	63,32	65,60	67,53	69,11	70,32	71,23	71,90
rn_3	82,29	84,28	85,93	87,28	88,41	89,35	90,10	90,66	91,09	91,39
rn_4	34,91	36,96	38,78	40,40	41,86	43,15	44,23	45,08	45,74	46,23
pb_1	82,38	85,52	87,91	89,74	91,18	92,31	93,15	93,76	94,20	94,51
pb_2	69,59	73,70	76,97	79,60	81,75	83,51	84,86	85,87	86,60	87,12
pb_3	45,94	48,87	51,42	53,63	55,58	57,27	58,66	59,74	60,56	61,16
pb_4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
pe_1	79,51	83,22	86,02	88,17	89,85	91,17	92,16	92,87	93,37	93,73
pe_2	78,41	82,26	85,18	87,42	89,18	90,57	91,60	92,35	92,89	93,27
pe_3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
pe_4	52,22	54,51	56,54	58,32	59,89	61,26	62,41	63,31	64,01	64,53
pe_5	62,79	65,78	68,35	70,52	72,39	73,98	75,28	76,29	77,05	77,61
al_1	62,88	65,78	68,23	70,31	72,11	73,64	74,87	75,81	76,53	77,04
al_2	36,64	39,12	41,32	43,25	44,98	46,50	47,77	48,76	49,53	50,09
al_3	70,75	73,76	76,23	78,27	80,01	81,45	82,59	83,45	84,08	84,54
se_1	67,09	70,32	73,01	75,24	77,14	78,73	80,00	80,95	81,67	82,19
se_2	44,90	47,08	49,01	50,72	52,24	53,57	54,69	55,57	56,25	56,75
se_3	80,93	83,18	85,01	86,49	87,74	88,76	89,56	90,16	90,60	90,91
ba_1	68,85	71,69	74,07	76,07	77,77	79,21	80,36	81,24	81,90	82,37
ba_2	75,93	79,18	81,77	83,85	85,56	86,94	88,02	88,82	89,41	89,83
ba_3	71,47	74,24	76,54	78,46	80,10	81,47	82,56	83,40	84,02	84,47
ba_4	68,56	71,04	73,15	74,93	76,48	77,79	78,86	79,67	80,29	80,74
ba_5	77,84	80,50	82,66	84,42	85,89	87,09	88,04	88,75	89,28	89,65
ba_6	64,40	67,21	69,60	71,62	73,37	74,86	76,06	76,99	77,69	78,20
ba_7	46,29	48,68	50,78	52,63	54,27	55,70	56,90	57,83	58,55	59,07

8.4.2 Cenário 2

No cenário 2, conforme já mostrado no capítulo anterior, a variável $V(t)$ foi modelada também em forma exponencial negativa multiplicativa, segundo a equação $V(t) = 100 \cdot (1 - e^{-\beta \{PIB(t) - \Psi\}})$, com $PIB(t)$ em habitantes e $V(t)$ em porcentagem. Dessa forma, inserindo no modelo, para cada valor de t pertencente ao conjunto de valores discretos $\{2005, 2010, \dots, 2025, \dots, 2045, 2050\}$, os valores futuros de PIB mesorregionais, bem como os valores dos parâmetros específicos de cada mesorregião, foram obtidos os valores futuros, em porcentagem, de área antropizada (V) para o cenário 2, conforme mostra a Tabela 33.

Tabela 33 - Valores Futuros de Área Antropizada (V) mesorregional, em %, para o cenário 2.

MSR	Valores futuros de Área Antropizada (V) mesorregional, em % - CENÁRIO 2									
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
pi_1	60,41	64,17	69,09	74,72	80,38	84,68	88,72	92,14	94,79	96,71
pi_2	63,31	67,87	73,60	79,79	85,56	89,61	93,08	95,72	97,52	98,65
pi_3	68,89	73,54	79,18	84,97	90,04	93,33	95,94	97,74	98,84	99,45
pi_4	62,41	66,93	72,64	78,86	84,72	88,88	92,49	95,27	97,21	98,45
ce_1	49,84	53,80	59,11	65,36	71,89	77,08	82,20	86,78	90,58	93,56
ce_2	59,37	64,09	70,10	76,68	82,96	87,45	91,42	94,51	96,70	98,13
ce_3	79,88	83,64	87,95	92,05	95,30	97,18	98,51	99,29	99,70	99,88
ce_4	76,52	80,76	85,68	90,42	94,22	96,47	98,09	99,07	99,59	99,84
ce_5	63,26	67,79	73,50	79,67	85,44	89,50	92,99	95,64	97,46	98,62
ce_6	44,58	48,86	54,59	61,36	68,48	74,16	79,81	84,89	89,14	92,50
ce_7	75,34	80,34	85,95	91,10	94,99	97,14	98,58	99,37	99,75	99,91
rn_1	91,44	94,43	97,06	98,77	99,59	99,86	99,96	99,99	100,00	100,00
rn_2	51,17	55,64	61,52	68,29	75,15	80,41	85,42	89,69	93,06	95,54
rn_3	74,67	78,92	83,95	88,91	93,04	95,59	97,49	98,71	99,39	99,74
rn_4	34,66	38,00	42,64	48,40	54,84	60,35	66,25	72,09	77,51	82,35
pb_1	91,47	94,52	97,16	98,84	99,62	99,87	99,97	99,99	100,00	100,00
pb_2	82,46	87,10	91,82	95,60	97,98	99,06	99,63	99,88	99,97	99,99
pb_3	59,65	65,43	72,51	79,87	86,41	90,73	94,24	96,71	98,26	99,15
pb_4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
pe_1	86,87	90,94	94,78	97,53	99,04	99,62	99,88	99,97	99,99	100,00
pe_2	82,05	87,06	92,03	95,88	98,20	99,20	99,71	99,91	99,98	99,99
pe_3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
pe_4	48,78	53,18	59,01	65,79	72,76	78,19	83,45	88,04	91,73	94,54
pe_5	62,13	67,11	73,32	79,92	85,97	90,11	93,59	96,15	97,85	98,88
al_1	71,49	76,91	83,11	88,96	93,54	96,17	98,00	99,07	99,61	99,85
al_2	33,38	37,54	43,23	50,14	57,67	63,92	70,40	76,55	82,01	86,64
al_3	81,48	86,10	90,92	94,90	97,54	98,79	99,50	99,82	99,95	99,99
se_1	69,92	74,95	80,90	86,78	91,69	94,72	96,99	98,45	99,27	99,69
se_2	40,45	44,22	49,37	55,61	62,40	68,02	73,84	79,35	84,22	88,33
se_3	87,22	90,84	94,41	97,15	98,78	99,46	99,81	99,94	99,99	100,00
ba_1	72,39	77,60	83,57	89,22	93,66	96,23	98,02	99,07	99,61	99,85
ba_2	79,11	84,22	89,58	94,07	97,09	98,55	99,38	99,78	99,93	99,98
ba_3	74,51	78,86	83,97	89,00	93,16	95,69	97,58	98,77	99,43	99,76
ba_4	67,32	72,38	78,47	84,66	89,99	93,40	96,07	97,86	98,93	99,51
ba_5	81,94	86,34	90,97	94,85	97,47	98,73	99,46	99,80	99,94	99,98
ba_6	65,30	71,06	77,90	84,67	90,34	93,84	96,48	98,17	99,13	99,63
ba_7	48,78	53,19	59,05	65,85	72,83	78,27	83,53	88,11	91,79	94,59

À guisa de ilustração, a Figura 55 mostra graficamente, para a mesorregião *pi_1* (Centro-Norte Piauiense), os resultados obtidos para a variável *V* nos dois cenários considerados.

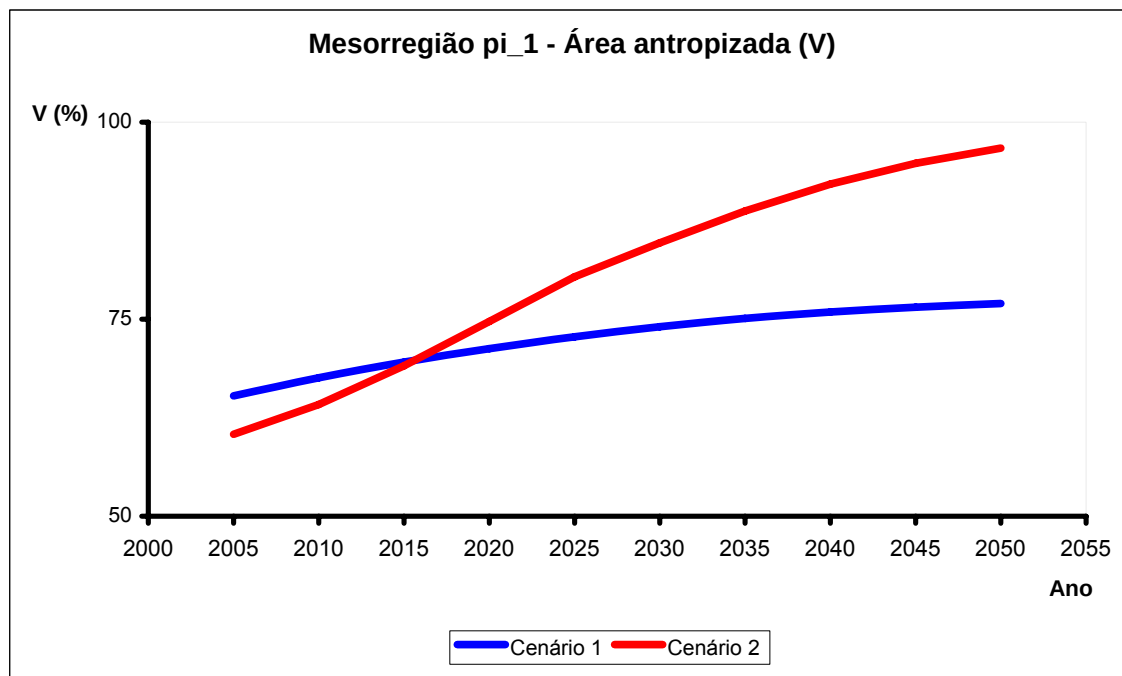


Figura 55 - Gráficos comparativos entre os valores de *V* nos cenários 1 e 2, para a mesorregião “Centro-Norte Piauiense”.

9 Modelamento Matemático do Índice de Degradação Ambiental (IDA)

9.1 Introdução e Conceitos

Com os valores futuros de área antropizada (V) mesorregional calculados no capítulo anterior, foram obtidas a porcentagem da área territorial de cada mesorregião que irá sofrer ação antrópica em períodos futuros. Contudo, interessa saber qual o nível de degradação ambiental que essas áreas antropizadas irão sofrer ao longo desses períodos, em relação aos dias atuais. Para isso, foram criados no presente trabalho dois índices: Índice de Degradação Ambiental Absoluto (IDA_{absoluto}) e Índice de Degradação Ambiental (IDA). Ambos são resultados da influência de diversos fatores – precipitação, evapotranspiração, temperatura, topografia, pedologia e estágio de desertificação atual – sobre as áreas de ação antrópica, com a diferença que o segundo leva em consideração o estado de degradação atual de cada mesorregião, tendo sido o responsável pela quantificação e classificação da degradação ambiental em tempos futuros em cada uma das mesorregiões trabalhadas.

No presente capítulo, o IDA foi modelado matematicamente, incluindo em sua formulação, de forma indireta, todos os fatores de influência citados no parágrafo precedente. Assim, foram considerados, além da variável *densidade populacional* (DP), o *índice de aridez* (IA) mesorregional, o *risco de erosão* (RE) (ARAÚJO, 2006), calculado a partir do Potencial Natural à Erosão (PNE) para cada mesorregião, e o *grau de desertificação atual* (SAITO e OLIVEIRA-GALVÃO, 2003) referente ao ano 2000, que foi utilizado na calibração do modelo matemático do IDA_{absoluto} , e como variável independente no modelamento matemático do IDA.

9.2 Variáveis de Influência

9.2.1 Densidade Populacional (DP)

A densidade populacional (DP), dada em $hab./km^2$, representa, para cada mesorregião, em um dado instante de tempo, o número médio de habitantes residente em cada $1,0 km^2$ dessa mesorregião. Os valores futuros da variável DP foram calculados de formas distintas em cada um dos cenários trabalhados, como será visto no próximo capítulo.

A Tabela 34 reúne os valores de área territorial de cada uma das mesorregiões trabalhadas.

Tabela 34 - Áreas territoriais das mesorregiões trabalhadas.

UF	Mesorregião	Legenda	Área (km ²)
PI	Centro-Norte Piauiense	pi_1	55.273,7
PI	Norte Piauiense	pi_2	22.152,1
PI	Sudeste Piauiense	pi_3	45.910,3
PI	Sudoeste Piauiense	pi_4	128.193,0
CE	Centro-Sul Cearense	ce_1	9.944,0
CE	Jaguaribe	ce_2	18.451,0
CE	Metropolitana de Fortaleza	ce_3	3.759,9
CE	Noroeste Cearense	ce_4	34.560,5
CE	Norte Cearense	ce_5	21.059,2
CE	Sertões Cearenses	ce_6	46.250,7
CE	Sul Cearense	ce_7	14.800,2
RN	Agreste Potiguar	rn_1	9.367,4
RN	Central Potiguar	rn_2	15.810,4
RN	Leste Potiguar	rn_3	6.451,8
RN	Oeste Potiguar	rn_4	21.167,1
PB	Agreste Paraibano	pb_1	12.914,1
PB	Borborema	pb_2	15.572,9
PB	Sertão Paraibano	pb_3	22.720,5
PB	Zona da Mata Paraibana	pb_4	5.232,4
PE	Agreste Pernambucano	pe_1	24.334,9
PE	Mata Pernambucana	pe_2	2.755,0
PE	Metropolitana de Recife	pe_3	24.479,0
PE	São Francisco Pernambucano	pe_4	38.332,0
PE	Sertão Pernambucano	pe_5	8.412,0
AL	Agreste Alagoano	al_1	5.813,9
AL	Leste Alagoano	al_2	13.221,6
AL	Sertão Alagoano	al_3	8.783,4
SE	Agreste Sergipano	se_1	5.902,5
SE	Leste Sergipano	se_2	8.750,6
SE	Sertão Sergipano	se_3	7.309,3
BA	Centro-Norte Baiano	ba_1	81.354,2
BA	Centro-Sul Baiano	ba_2	128.472,7
BA	Extremo Oeste Baiano	ba_3	116.786,9
BA	Metropolitana de Salvador	ba_4	11.241,1
BA	Nordeste Baiano	ba_5	56.335,1
BA	Sul Baiano	ba_6	54.642,4
BA	Vale São-Franciscano da Bahia	ba_7	115.860,3

9.2.2 Grau de Desertificação Atual (GDA)

O estágio atual de degradação ambiental nas mesorregiões do SAN foi estudado por Saito e Oliveira-Galvão (2003), quando foi executado um mapeamento desse fator (Figura 56) segundo as seguintes classes de desertificação: muito grave, grave, moderada e leve.

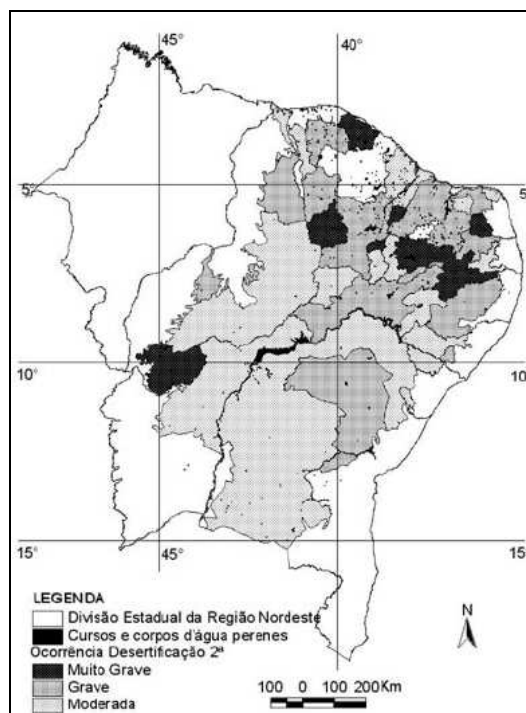


Figura 56 - Mapeamento do GDA para o SAN.

Fonte: Saito e Oliveira-Galvão (2003).

Dessa forma, foi estabelecido, para cada mesorregião, uma classe de desertificação segundo a classe predominante na área mesorregional (Tabela 35) em acordo com o estabelecido por Saito e Oliveira-Galvão (2003). Fazendo uso do *software* SPRING, foi obtido mapa da Figura 57:

Tabela 35 - Grau de Desertificação Atual (GDA) mesorregional.

MSR	Grau de Desertificação Atual	GDA_i
pi_1	Grave	3
pi_2	Leve	1
pi_3	Moderada	2
pi_4	Moderada	2
ce_1	Muito Grave	4
ce_2	Moderada	2
ce_3	Leve	1
ce_4	Grave	3
ce_5	Muito Grave	4
ce_6	Grave	3
ce_7	Grave	3
m_1	Muito Grave	4
m_2	Grave	3
m_3	ND	ND
m_4	Grave	3

MSR	Grau de Desertificação Atual	GDA_i
pb_1	Grave	3
pb_2	Muito Grave	4
pb_3	Muito Grave	4
pb_4	ND	ND
pe_1	Grave	3
pe_2	ND	ND
pe_3	ND	ND
pe_4	Grave	3
pe_5	Grave	3
al_1	Moderada	2
al_2	ND	ND
al_3	Moderada	2

MSR	Grau de Desertificação Atual	GDA_i
se_1	Moderada	2
se_2	ND	ND
se_3	Moderada	2
ba_1	Moderada	2
ba_2	Moderada	2
ba_3	ND	ND
ba_4	ND	ND
ba_5	Grave	3
ba_6	ND	ND
ba_7	Moderada	2

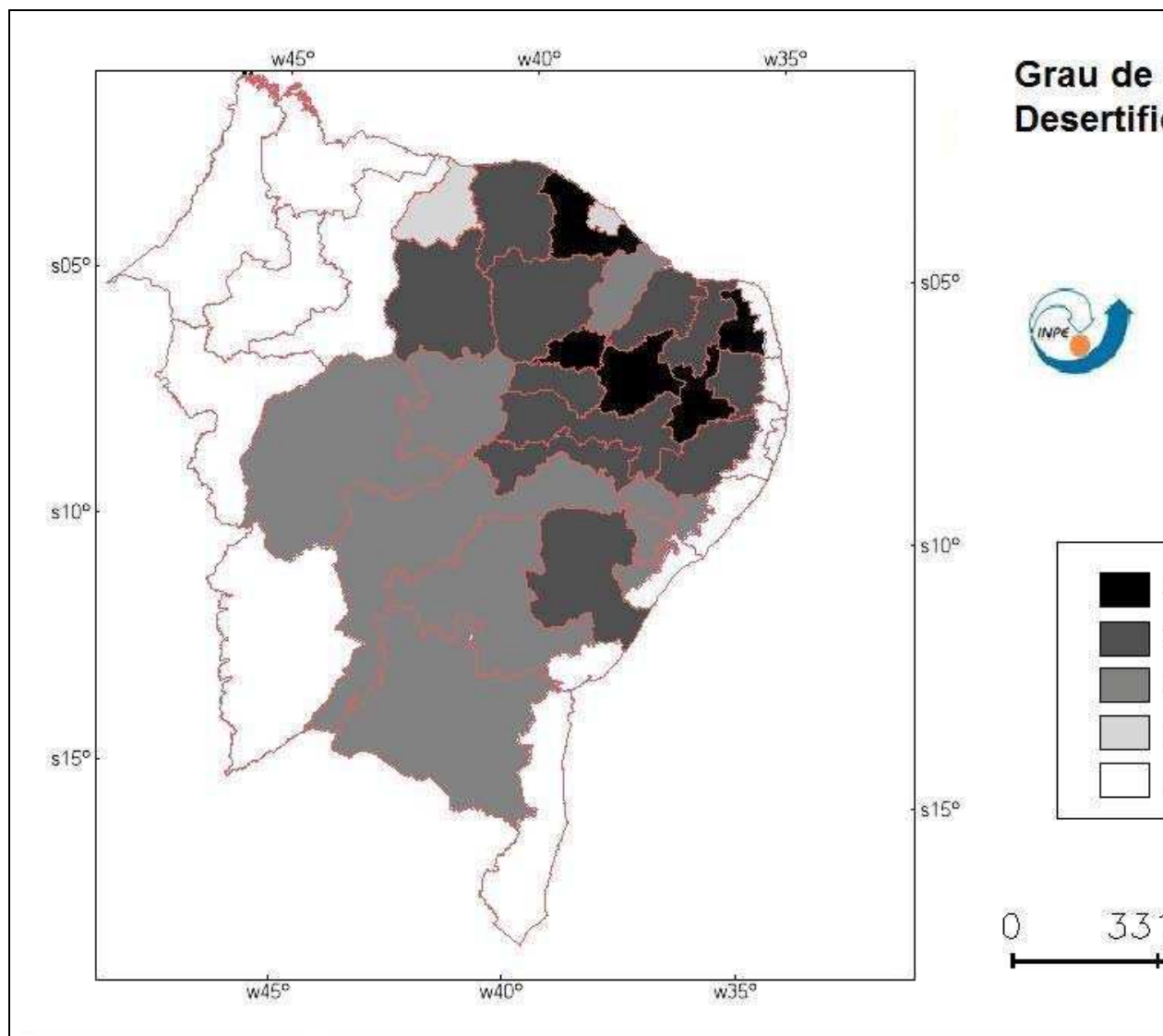


Figura 57 - Mapeamento do GDA mesorregional gerado em SPRING.

9.2.3 Índice de Aridez (IA)

No intuito de definir a propensão de determinadas áreas ao desenvolvimento de processos de desertificação, a ONU passou a classificá-las segundo o seu índice de aridez (IA) – regiões com $IA < 0,65$ apresentam propensão à desertificação - que, conforme Oliveira-Galvão (2001), é representado pela razão entre a precipitação mensal e a evapotranspiração potencial mensal do local, indicando excessos e deficiências de umidade ao longo do ano, sendo calculado pela equação abaixo:

$$IA = \frac{P}{ETP}, \quad (\text{Equação 29})$$

Onde:

P : precipitação média anual (mm);

ETP : evapotranspiração potencial anual (mm).

Por sua vez, conforme Pereira et al. (1997), a evapotranspiração potencial mensal é tida como a “chuva ideal” para que uma região não apresente nem excesso nem deficiência hídrica durante o ano, podendo seu valor ser estimado pelo método proposto por Thornthwaite, em 1948, cujo conjunto de equações foi baseado em balanço hídrico de bacias hidrográficas e em medidas de evaporação realizadas em lisímetros, tendo a temperatura do ar como variável independente. As equações do método, abaixo relacionadas, são válidas para uma condição padrão de 12 horas de brilho solar e mês com 30 dias (PEREIRA et al, 1997). Uma vez que o trabalho é realizado sobre o NEB, não se faz necessária correção do valor obtido, dada a pequena variabilidade anual do número de horas de brilho solar diário.

$$ETP_j = 16 \cdot \left(10 \cdot \frac{T_j}{I} \right)^a \quad (\text{Equação 30})$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239 \quad (\text{Equação 31})$$

$$I = \sum_{j=1}^{12} (0,2 \cdot T_j)^{1,514} \quad (\text{Equação 32})$$

$$ETP = \sum_{j=1}^{12} ETP_j \quad (\text{Equação 33})$$

$$P = \sum_{j=1}^{12} P_j \quad (\text{Equação 34})$$

Onde:

T_j : temperatura média mensal (°C) do mês j ;

I : índice de calor da região, que, assim como T_j , deve ser calculado com valores normais (média climatológica).

Dessa forma, com a aplicação dos valores de temperatura média mensal (Tabela 6) e de precipitação média mensal para cada mesorregião (Tabela 5) nas expressões do Método de Thornthwaite, foram obtidos os valores de IA mesorregionais reunidos na Tabela 37.

9.2.4 Risco de Erosão (RE)

O risco de erosão (RE), conforme Araújo (2006), é a razão entre o valor do potencial natural à erosão (PNE) de cada região e um *benchmark* representado pela erosão tolerável (T), indicando o número de vezes que o PNE representa de T.

9.2.4.1 Universal Soil Loss Equation (USLE)

Considerando os fatores responsáveis pelo desencadeamento do processo de degradação, é sabido, conforme Cabral (2005), que o potencial da chuva para causar erosão pode ser avaliado através de índices de erosividade, baseados nas características físicas das chuvas em cada região trabalhada.

Dessa forma, fazendo uso do modelo para estimativa de perda de solo *Universal Soil Loss Equation* (USLE), proposto por Wischmeier e Smith (1978) foi avaliado o Potencial Natural de Erosão (PNE) em escala mesorregional.

A “equação universal de perda de solo”, conforme Bertoni e Lombardi Neto (1995), constitui o ferramental mais utilizado para exprimir a ação dos principais fatores que exercem influência nas perdas de solo por erosão hídrica laminar. Apesar das restrições a ela e do surgimento de outros modelos de previsão de perdas de solo, a USLE vem sendo utilizada de forma crescente (RENARD et al., 1994 Apud MARQUES et al, 1996).

A USLE estima a perda de solo anual por erosão hídrica através do relacionamento de fatores característicos do meio físico e de fatores relativos à forma de ocupação e uso do solo (ação antrópica) (PEDRO e LORANDI, 2004), quais sejam:

• **Fatores característicos do meio físico:**

R: fator de erosividade (MJ.mm/ha.h.ano);

K: fator de erodibilidade (t.h/MJ.mm);

LS: fator topográfico (adimensional).

• **Fatores relativos à forma de ocupação e uso do solo (ação antrópica):**

C: fator de cultivo e manejo do solo (adimensional);

P: fator de práticas conservacionistas (adimensional).

De posse de todos os fatores mencionados, a *perda média anual de solo (A)*, é calculada a partir da equação a seguir, em *t/ha.ano*.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (\text{Equação 35})$$

9.2.4.2 *Potencial Natural à Erosão*

O PNE representa a interação dos principais fatores naturais do meio físico intervenientes no processo de erosão laminar, correspondente às estimativas de perdas de solo em áreas continuamente destituídas de cobertura vegetal e sem qualquer intervenção antrópica (STEIN et alii, 1987, Apud. ROSA, s.d.).

Assim sendo, a fim de analisar o PNE, foram considerados, a partir da expressão da USLE, apenas os fatores característicos do meio físico (R, K e LS), sendo desprezados os fatores relativos à ocupação e uso do solo (C e P), representativos da ação antrópica desenvolvida nas regiões em estudo.

• **Fator de Erosividade (R)**

O fator de erosividade, segundo Pedro e Lorandi (2004), quantifica a capacidade da chuva em provocar erosão em um determinado tipo de solo ou terreno geológico, e foi calculado, para cada mesorregião, pela equação a seguir:

$$R = \sum EI = \sum \left[67,355 \cdot \left(\frac{p^2}{P} \right)^{0,85} \right] \quad (\text{Equação 36})$$

Onde,

R : erosividade anual da área ($MJ \cdot mm/ha \cdot h \cdot ano$);

EI : índice médio de erosividade mensal ($MJ \cdot mm/ha \cdot h \cdot mês$);

p : precipitação total média mensal (mm);

P : precipitação média total anual (mm).

• Fator de Erodibilidade (K)

O fator de erodibilidade é uma característica própria a cada tipo de solo e reflete a susceptibilidade do mesmo à erosão. A forma ideal para a estimativa do fator K dos solos presentes na região estudada seria o levantamento detalhado dos mesmos, colhendo-se amostras para realização de ensaios laboratoriais a fim de obter-se a estimativa do parâmetro supracitado. Contudo, essa é uma tarefa que faz mister um grande dispêndio de tempo e enormes quantidades de recursos financeiros para sua realização. Assim, no presente trabalho, foram tomados como base os valores de K publicados por Manningel et al (2004) para diversos tipos de solos. Dessa forma, foram realizadas adaptações para associações de solos, sendo obtidos os resultados reunidos na Tabela 36.

Tabela 36 - Valores do fator erodibilidade (K) para as associações de solos presentes nas mesorregiões nordestinas.

Associação de solos	K (t.ha.h/MJ.ha.mm)
Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Argilosos Vermelho-Amarelos	0,029
Latossolos Vermelho-Amarelos, Argilosos Vermelho-Amarelos e Nitossolos Vermelhos	0,027
Plintossolos, Argilosos e Latossolos Vermelhos	0,027
Luvisolos Crômicos, Argilosos (Eutróficos) e Cambissolos	0,085
Planossolos e Vertissolos	0,041
Neossolos Quartzênicos	0,145
Neossolos Litólicos, Cambissolos e Afloramentos Rochosos	0,029

Fonte: Adaptado de Manningel et al. (2004).

• Fator Topográfico (LS)

O comprimento do declive e o seu gradiente afetam a intensidade da erosão pela água. Esses dois efeitos são pesquisados separadamente, sendo representados na USLE, respectivamente, por L e S, embora, para efeitos práticos, seja mais conveniente considerá-los de forma conjunta como “fator topográfico” LS (DOMINGOS, 2006).

O fator LS foi calculado, para cada mesorregião, por metro de largura de rampa, de acordo com a equação proposta por Wischmeier e Smith (1978), qual seja,

$$LS = \left(\frac{\eta}{22,1} \right)^{\xi} \cdot (65,41 \cdot S^2 + 4,565 \cdot S + 0,065), \text{ com } \eta = 1, \quad (\text{Equação 37})$$

Onde:

LS : fator topográfico (adimensional);

η : comprimento de rampa (m);

S : declividade (%).

O expoente ξ também varia com a declividade e é dado por:

$$\xi = 0,6 \cdot (1 - e^{-35,835 \cdot S}) \quad (\text{Equação 38})$$

A Tabela 7 traz os valores de S , para cada mesorregião, em graus. Dessa forma, foi realizada a seguinte transformação para sua obtenção em porcentagem:

$$S(\%) = \tan \left[S(\text{deg}) \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \right] \quad (\text{Equação 39})$$

Após a execução dessa transformação, os valores de LS foram computados para cada mesorregião.

• Cálculo do PNE

Tendo sido obtidos, para cada mesorregião, os valores dos parâmetros R , K e LS , procedeu-se com o cálculo do PNE mesorregional com uso da expressão seguinte:

$$PNE_i = R_i \cdot K_i \cdot LS_i, \quad (\text{Equação 40})$$

onde o índice i representa a mesorregião.

9.2.4.3 Erosão Tolerável

A erosão tolerável constitui um valor de perda de solo que representa a quantidade de solo que pode ser perdida pela erosão acelerada, expressa em unidade de massa por unidade de área no tempo, que mantém os seus níveis iniciais de fertilidade e com a equivalente

produtividade, por longo período de tempo (WISCHMEIER e SMITH, 1965. Apud. MANNINGEL, 2002).

A determinação dos valores de erosão tolerável deve ser realizada de acordo com o tipo de solo com que se trabalha, e, ainda, com a profundidade, horizonte e densidade, dentre outros fatores. Contudo, dada a grande abrangência territorial do presente trabalho (NEB), optou-se por utilizar o valor mais geral e aceito na comunidade científica nacional, qual seja, o de $10,2 \text{ t/ha.ano}$, que constitui ainda um valor bem próximo da média de T para latossolos, que é o tipo predominante nas mesorregiões inseridas no SAN.

9.2.4.4 Cálculo do Risco de Erosão Mesorregional (RE_i)

Com todos os fatores necessários já calculados, procedeu-se o cálculo do RE para cada mesorregião através da equação a seguir (ARAÚJO, 2006), sendo os resultados reunidos na Tabela 37.

$$RE_i = \frac{PNE_i}{T}, \quad (\text{Equação 41})$$

Onde:

RE_i : risco de erosão para cada mesorregião i ;

PNE_i : potencial natural à erosão para cada mesorregião i , em t/ha.ano ;

T : erosão tolerável, considerada $10,2 \text{ t/ha.ano}$ para todas as mesorregiões.

9.3 Modelo Matemático do IDA_{absoluto}

Na elaboração do modelo matemático do *índice de degradação ambiental absoluto* (IDA_{absoluto}), os valores de IA e de RE , para cada mesorregião, foram considerados constantes em relação à variável t . Para fins de calibração do modelo, foram utilizados os valores numéricos de GDA (conforme Tabela 35), que foram então comparados aos valores de IDA_{absoluto} para $t = 2000$.

Ainda, nesse ponto do trabalho, foram excluídas da análise as mesorregiões que não integram a região do SAN (apenas as mesorregiões maranhenses haviam sido excluídas até então) e

também aquelas para as quais houve insuficiência de dados físicos e/ou de grau de desertificação atual, impossibilitando o cálculo do IDA_{absoluto} e do IDA. Assim, foram suprimidas as mesorregiões: rn_3 (Leste Potiguar), pb_4 (Zona da Mata Paraibana), pe_2 (Mata Pernambucana), pe_3 (Metropolitana de Recife), al_2 (Leste Alagoano), se_2 (Leste Sergipano), ba_3 (Extremo Oeste Baiano), ba_4 (Metropolitana de Salvador) e ba_6 (Sul Baiano).

Para o cálculo de valores de IDA_{absoluto} , foi proposto o seguinte modelo, com t pertencendo ao conjunto de valores discretos $\{2005, 2010, \dots, 2025, \dots, 2045, 2050\}$.

$$IDA_{i_absoluto}(t) = a \cdot \left[\frac{DP_i(t) - DP_{i_min}}{100} \right] \cdot [IA_i + b \cdot RE_i], \quad (\text{Equação 42})$$

$$DP_{i_min} = \max \left\{ \frac{\Phi_i}{A_i}, 0 \right\} \quad (\text{Equação 43})$$

Onde,

$IDA_{i_absoluto}(t)$: índice de degradação ambiental absoluto da mesorregião i , no ano t ;

$DP_i(t)$: Densidade Populacional da mesorregião i , no ano t ;

DP_{i_min} : parâmetro característico de cada mesorregião, independente de t , possuindo a mesma dimensão da variável $DP_i(t)$, ou seja, é dado em $hab./km^2$;

IA_i : Índice de Aridez da mesorregião i , adimensional;

RE_i : Risco de Erosão da mesorregião i , adimensional;

A_i : área territorial da mesorregião i , em km^2 ;

a : parâmetro comum a todas as mesorregiões, dado em $(hab./km^2)^{-1}$;

b : parâmetro adimensional, comum a todas as mesorregiões.

Como pode ser visto, o modelo proposto depende, além de $DP_i(t)$ e DP_{i_min} , de dois parâmetros a e b , que possuem valores independentes de t e de i . Dessa forma, o modelo é válido para todas as mesorregiões trabalhadas.

9.3.1 Cálculo dos Parâmetros a e b

Para fins de determinação dos parâmetros a e b , foram calculados os valores de $IDA_{i_absoluto}(t)$, com $t = 2000$, para todas as mesorregiões i , e tomados os valores de GDA_i , que são relativos ao ano 2000. Considerando os valores de GDA_i como *benchmarks*, buscou-se os valores de a e b que minimizassem a função

$$f(a, b) = \sum_i \left[GDA_i - IDA_{i_absoluto}(2000) \right]^2, \quad (\text{Equação 44})$$

Onde,

$IDA_{i_absoluto}(2000)$: $IDA_{absoluto}$ da mesorregião i , calculado para $t = 2000$;

GDA_i : valor observado de $IDA_{i_absoluto}$, para $t = 2000$.

Dessa forma, aplicando o “método dos mínimos quadrados”, com 500 iterações e intervalo de confiança (IC) de 95%, com auxílio de *software* apropriado, foram encontrados, com precisão de 10^{-6} , os valores de a e b que minimizaram a função $f(a, b)$, quais sejam:

$$\begin{cases} a = 1,900000 \left(hab./km^2 \right)^{-1} \\ b = 1,900000 \text{ (adimensional)} \end{cases}$$

9.3.2 Modelo Proposto

Com a determinação dos valores dos parâmetros a e b , foi obtido o modelo matemático para $IDA_{absoluto}$, com t pertencendo ao conjunto de valores discretos $\{2005, 2010, \dots, 2025, \dots, 2045, 2050\}$:

$$IDA_{i_absoluto}(t) = 1,9 \cdot \left[\frac{DP_i(t) - DP_{i_min}}{100} \right] \cdot [IA_i + 1,9 \cdot RE_i], \quad (\text{Equação 45})$$

Com $DP_i(t)$ e DP_{i_min} em $hab./km^2$; e $IDA_{i_absoluto}(t)$, IA_i e RE_i adimensionais.

9.4 Modelo Matemático do IDA

Na elaboração do modelo matemático do *Índice de Degradação Ambiental (IDA)*, foi considerado, além dos valores de IDA_{absoluto} , o grau de degradação atual de cada mesorregião, representado pela grandeza GDA_i . Assim, o $IDA_i(t)$ nos fornece, para valores futuros de t , o grau de degradação de cada mesorregião, considerando-se o estado atual de degradação ambiental. Dessa forma, foi elaborado o seguinte modelo para determinação de valores futuros de IDA :

$$IDA_i(t) = [IDA_{i_absoluto}(t) - IDA_{i_absoluto}(2000)] + GDA_i \quad (\text{Equação 46})$$

Onde:

$IDA_i(t)$: índice de degradação ambiental da mesorregião i , no ano t ;

$IDA_{i_absoluto}(t)$: índice de degradação ambiental absoluto da mesorregião i , no ano t ;

$IDA_{i_absoluto}(2000)$: índice de degradação ambiental absoluto da mesorregião i , para $t = 2000$;

GDA_i : grau de desertificação atual da mesorregião i , constante para $t > 2000$.

A partir do conhecimento dos valores futuros de $DP_i(t)$, bem como das variáveis independentes de t , com uso das expressões matemáticas desenvolvidas, pôde-se encontrar os valores de $IDA_{i_absoluto}(t)$, e, a partir dos mesmos, juntamente com o valor de GDA_i , determinar-se, então, o Índice de Degradação Ambiental (IDA), a partir do qual serão traçados as perspectivas futuras de degradação ambiental no SAN, com base nos dois cenários trabalhados.

10 Valores Futuros do Índice de Degradação Ambiental (IDA)

Havendo sido, no capítulo pretérito, desenvolvido o modelo matemático para o cálculo do IDA mesorregional para o período 2005-2050, foi executado - tomando os valores de densidade populacional, índice de aridez, risco de erosão – o cálculo dos valores futuros de $IDA_i(t)$, para t pertencendo ao conjunto de valores discretos $\{2005, 2010, \dots, 2025, \dots, 2045, 2050\}$, sendo considerados os dois cenários propostos, que se diferenciam apenas em termos da forma de cálculo e dos valores de $DP_i(t)$.

A partir dos valores numéricos encontrados para o IDA, os mesmos foram discriminados em *classes de degradação*, seguindo o processo inverso ao realizado no capítulo precedente quando da determinação dos valores numéricos de GDA em acordo com a classe de degradação atual. Assim, a partir da aplicação dos critérios de classificação mostrados a seguir, foram obtidas as classes de IDA em que as mesorregiões do SAN encontrar-se-ão inseridas no futuro, nos cenários 1 e 2.

$$\left\{ \begin{array}{l} IDA_i(t) \in (-\infty; 1,5) \Leftrightarrow \text{LEVE} \\ IDA_i(t) \in [1,5; 2,5) \Leftrightarrow \text{MODERADA} \\ IDA_i(t) \in [2,5; 3,5) \Leftrightarrow \text{GRAVE} \\ IDA_i(t) \in [3,5; +\infty) \Leftrightarrow \text{MUITO GRAVE} \end{array} \right.$$

10.1 Valores de IA , RE , $DP_{\min}$ e GDA_i

Conforme visto anteriormente, os valores de IA , RE , $DP_{\min}$ e GDA_i , variam com a mesorregião i , mas são constantes na variável tempo (t), possuindo, ainda, os mesmos valores em ambos os cenários considerados, os quais variam apenas em termos de $DP_i(t)$.

A Tabela 37 mostra os valores calculados das grandezas supracitadas, conforme expressões matemáticas estabelecidas no capítulo anterior, além dos valores mesorregionais de $IDA_{i_absoluto}(2000)$, que também é utilizado no cálculo do IDA .

Tabela 37 - Parâmetros e Variáveis mesorregionais para o cálculo de *IDA*.

MSR	IA (adimensional)	RE (adimensional)	DP_{min} (hab./km ²)	GDA_i (adimensional)	IDA_i absoluto(2000) (adimensional)
pi_1	0,72	6,35	0,00	3,0	5,8
pi_2	0,84	1,59	3,01	1,0	1,7
pi_3	0,46	0,87	1,52	2,0	0,4
pi_4	0,67	1,00	0,26	2,0	0,2
ce_1	0,57	1,14	9,49	4,0	1,4
ce_2	0,53	1,54	6,25	2,0	1,3
ce_3	0,70	3,85	0,00	1,0	2,1
ce_4	0,63	3,87	7,79	3,0	4,0
ce_5	0,66	3,71	8,71	4,0	4,8
ce_6	0,53	2,89	3,61	3,0	1,6
ce_7	0,73	1,11	13,06	3,0	2,2
rn_1	0,68	0,94	8,10	4,0	1,6
rn_2	0,45	0,78	8,84	3,0	0,5
rn_4	0,51	1,49	2,95	3,0	2,0
pb_1	0,79	0,94	35,76	3,0	2,6
pb_2	0,51	1,93	7,77	4,0	0,8
pb_3	0,70	3,52	8,95	4,0	3,8
pe_1	0,97	1,37	37,75	3,0	3,0
pe_4	0,36	0,58	0,00	3,0	0,3
pe_5	0,53	0,77	27,54	3,0	3,6
al_1	0,78	1,00	16,71	2,0	4,2
al_3	0,47	0,91	10,20	2,0	1,5
se_1	0,94	1,11	18,43	2,0	2,9
se_3	0,65	1,12	2,75	2,0	1,3
ba_1	0,61	0,95	4,39	2,0	1,0
ba_2	0,69	0,84	6,50	2,0	0,6
ba_5	0,59	0,89	5,23	3,0	0,9
ba_7	0,48	1,12	0,52	2,0	0,4

10.2 Cenário 1

No cenário 1, a *densidade populacional*, em cada ano t , foi calculada com base nos valores previstos de *população residente total*, com uso da expressão a seguir:

$$DP_i(t) = \frac{PRT_i(t)}{A_i}, \quad (\text{Equação 47})$$

Onde,

$DP_i(t)$: densidade populacional da mesorregião i , no ano t ;

A_i : área da mesorregião i , em km².

Tabela 38 - Valores futuros de DP mesorregionais para o cenário 1.

	DP (hab./km²) - cenário 1									
MSR	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
pi_1	26,3	28,1	29,8	31,3	32,7	34,0	35,1	36,0	36,6	37,2
pi_2	24,9	26,5	28,1	29,5	30,8	31,9	32,9	33,7	34,3	34,8
pi_3	10,1	10,8	11,4	12,0	12,5	13,0	13,4	13,7	14,0	14,2
pi_4	3,7	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	4,9	5,0	5,1	5,2
ce_1	36,6	39,1	41,4	43,5	45,4	47,2	48,7	49,8	50,8	51,5
ce_2	28,1	30,1	31,8	33,5	34,9	36,3	37,5	38,4	39,1	39,7
ce_3	943,1	1008,5	1069,2	1124,6	1175,7	1222,0	1262,0	1294,4	1319,9	1339,0
ce_4	34,4	36,7	38,9	40,8	42,7	44,3	45,7	46,8	47,7	48,3
ce_5	42,5	45,4	48,1	50,5	52,7	54,8	56,5	57,9	58,9	59,7
ce_6	17,8	19,0	20,1	21,1	22,0	22,9	23,6	24,2	24,6	24,9
ce_7	56,4	60,3	63,8	67,1	70,1	72,8	75,1	76,9	78,4	79,5
rn_1	41,4	44,2	46,8	49,2	51,4	53,3	55,0	56,3	57,4	58,2
rn_2	24,9	26,6	28,2	29,6	31,0	32,2	33,2	34,0	34,7	35,2
rn_4	37,5	40,1	42,4	44,6	46,6	48,4	49,9	51,2	52,2	52,9
pb_1	90,0	96,1	101,7	106,9	111,6	115,9	119,5	122,4	124,7	126,4
pb_2	17,6	18,8	19,8	20,8	21,8	22,6	23,3	23,9	24,3	24,6
pb_3	36,0	38,4	40,6	42,7	44,6	46,3	47,7	48,9	49,8	50,5
pe_1	82,3	87,9	93,1	97,7	102,1	106,0	109,3	112,0	114,0	115,6
pe_4	14,9	16,0	16,9	17,8	18,6	19,4	20,0	20,5	20,9	21,2
pe_5	152,3	162,9	172,8	181,7	190,0	197,5	204,0	209,2	213,4	216,5
al_1	97,1	103,7	109,7	115,2	120,3	124,9	128,8	131,9	134,3	136,1
al_3	43,6	46,5	49,2	51,6	53,9	55,9	57,7	59,0	60,1	60,9
se_1	68,7	73,4	77,7	81,6	85,2	88,4	91,2	93,4	95,2	96,5
se_3	25,6	27,3	28,9	30,4	31,7	32,9	33,9	34,7	35,4	35,8
ba_1	26,6	28,4	30,1	31,6	33,0	34,3	35,3	36,2	36,9	37,4
ba_2	19,8	21,2	22,4	23,6	24,6	25,6	26,4	27,0	27,5	27,9
ba_5	27,2	29,1	30,8	32,3	33,8	35,1	36,2	37,1	37,8	38,3
ba_7	8,0	8,6	9,1	9,5	10,0	10,3	10,7	10,9	11,1	11,3

Com os valores de $DP_i(t)$, e ainda de posse dos valores contidos na Tabela 37, através da expressão do modelo matemático proposto para valores futuros de IDA_{absoluto} , foi realizado o cálculo de $IDA_{i_absoluto}(t)$ para as mesorregião i , em cada ano t . Os valores obtidos foram compilados na Tabela 39.

Tabela 39 - Valores futuros de IDA_{absoluto} mesorregionais para o cenário 1.

IDA_{absoluto} - cenário 1										
MSR	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
pi_1	6,4	6,8	7,2	7,6	8,0	8,3	8,5	8,7	8,9	9,0
pi_2	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,3
pi_3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
pi_4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
ce_1	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2
ce_2	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0	2,1	2,2	2,2
ce_3	143,7	153,7	162,9	171,3	179,1	186,2	192,3	197,2	201,1	204,0
ce_4	4,0	4,4	4,7	5,0	5,3	5,5	5,8	5,9	6,1	6,2
ce_5	4,9	5,4	5,8	6,1	6,4	6,7	7,0	7,2	7,4	7,5
ce_6	1,6	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,4
ce_7	2,3	2,6	2,7	2,9	3,1	3,2	3,3	3,5	3,5	3,6
rn_1	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,3
rn_2	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0
rn_4	2,2	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2
pb_1	2,7	3,0	3,2	3,5	3,7	3,9	4,1	4,2	4,4	4,4
pb_2	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3
pb_3	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,2	5,4	5,6	5,7	5,8
pe_1	3,0	3,4	3,8	4,1	4,4	4,6	4,9	5,0	5,2	5,3
pe_4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
pe_5	4,7	5,1	5,5	5,8	6,1	6,4	6,7	6,9	7,0	7,1
al_1	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,5	5,7	5,9	6,0	6,1
al_3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1
se_1	2,9	3,2	3,4	3,7	3,9	4,0	4,2	4,3	4,4	4,5
se_3	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7
ba_1	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5
ba_2	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9
ba_5	1,0	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4
ba_7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Com os valores de $IDA_{i_absoluto}(t)$ e de GDA_i em mãos, procedeu-se o cálculo dos valores futuros de $IDA_i(t)$, conforme expressão matemática desenvolvida no capítulo anterior. Os valores obtidos foram reunidos na Tabela 40.

Tabela 40 - Valores futuros de *IDA* mesorregionais para o cenário 1.

IDA - cenário 1										
MSR	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
pi_1	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,5	5,7	5,9	6,1	6,2
pi_2	0,9	1,0	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	1,6
pi_3	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
pi_4	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
ce_1	4,0	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8
ce_2	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9
ce_3	142,6	152,6	161,8	170,2	178,0	185,1	191,2	196,1	200,0	202,9
ce_4	3,0	3,4	3,7	4,0	4,3	4,5	4,8	4,9	5,1	5,2
ce_5	4,1	4,6	4,9	5,3	5,6	5,9	6,2	6,4	6,5	6,7
ce_6	3,0	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,8	3,8
ce_7	3,2	3,4	3,6	3,7	3,9	4,0	4,2	4,3	4,4	4,4
rn_1	4,0	4,1	4,3	4,4	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8
rn_2	3,1	3,1	3,2	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5
rn_4	3,2	3,3	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	4,1
pb_1	3,0	3,3	3,6	3,9	4,1	4,3	4,5	4,6	4,7	4,8
pb_2	4,0	4,1	4,2	4,2	4,3	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5
pb_3	4,0	4,3	4,6	4,9	5,2	5,4	5,6	5,8	5,9	6,0
pe_1	3,0	3,4	3,8	4,1	4,4	4,6	4,9	5,0	5,2	5,3
pe_4	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3
pe_5	4,1	4,5	4,8	5,2	5,5	5,8	6,0	6,2	6,4	6,5
al_1	1,9	2,2	2,5	2,8	3,0	3,3	3,5	3,6	3,8	3,8
al_3	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6
se_1	2,0	2,3	2,5	2,8	3,0	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6
se_3	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5
ba_1	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5
ba_2	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4
ba_5	3,1	3,1	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,5
ba_7	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2

10.3 Cenário 2

No cenário 2, a porcentagem de área antropizada (V) é explicada a partir do crescimento do *PIB* mesorregional. Dessa forma, a *densidade populacional*, em cada ano t , foi calculada com uso da mesma expressão utilizada para o cenário 1, sendo utilizado, ao invés de $PRT_i(t)$, a grandeza $PRT_i^*(t)$, que representa, em um dado ano t , a população residente total que levaria a um valor de $V_i(t)$ previsto pelo cenário 2. Dessa forma, os valores futuros de $PRT_i^*(t)$ foram obtidos a partir da expressão a seguir.

$$PRT_i^*(t) = \Phi_i - \frac{\ln \left[1 - \frac{V_i(t)}{100} \right]}{\alpha_i}, \quad (\text{Equação 48})$$

Onde,

$PRT_i^*(t)$: população residente total da mesorregião i que, no ano t , levaria a um valor de área antropizada previsto pelo cenário 2;

$V_i(t)$: área antropizada, em %, prevista para a mesorregião i , no ano t , pelo cenário 2.

Após o cálculo dos valores futuros de $PRT_i^*(t)$, aplicou-se a expressão a seguir, e foram calculados os valores de *densidade populacional* segundo o cenário 2 (Tabela 41).

$$DP_i(t) = \frac{PRT_i^*(t)}{A_i} \quad (\text{Equação 49})$$

Tabela 41 - Valores futuros de DP mesorregionais para o cenário 2.

DP (hab./km²) - cenário 2										
MSR	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
pi_1	22,8	25,5	29,4	34,7	41,4	47,9	56,0	65,5	76,4	88,5
pi_2	28,1	31,4	36,4	43,0	51,5	59,7	69,9	81,9	95,6	110,9
pi_3	11,2	12,5	14,5	17,2	20,6	24,0	28,1	32,9	38,4	44,6
pi_4	4,1	4,6	5,4	6,4	7,7	8,9	10,5	12,3	14,3	16,7
ce_1	36,3	39,5	44,2	50,7	58,8	66,7	76,5	88,1	101,2	116,0
ce_2	27,5	30,4	34,7	40,6	48,0	55,2	64,2	74,7	86,7	100,2
ce_3	748,5	859,6	1024,3	1248,0	1530,0	1805,4	2146,6	2548,3	3005,2	3518,0
ce_4	36,4	40,3	46,1	54,1	64,0	73,8	85,9	100,1	116,3	134,4
ce_5	44,1	48,8	55,7	65,0	76,8	88,4	102,7	119,5	138,6	160,1
ce_6	19,7	21,9	25,1	29,5	35,0	40,4	47,1	55,0	64,0	74,1
ce_7	59,4	67,0	78,1	93,2	112,2	130,9	153,9	181,1	211,9	246,6
rn_1	56,9	65,4	78,1	95,3	117,0	138,2	164,4	195,4	230,5	270,0
rn_2	23,7	25,7	28,6	32,7	37,7	42,6	48,8	56,0	64,2	73,3
rn_4	37,2	41,4	47,7	56,2	66,9	77,4	90,4	105,6	123,0	142,5
pb_1	112,6	126,5	147,0	174,9	210,0	244,3	286,9	336,9	393,9	457,8
pb_2	22,1	24,6	28,4	33,5	39,9	46,2	53,9	63,1	73,5	85,2
pb_3	48,8	55,6	65,6	79,3	96,6	113,4	134,2	158,8	186,7	218,1
pe_1	94,8	105,3	120,7	141,8	168,2	194,1	226,2	263,9	306,9	355,1
pe_4	13,5	15,4	18,2	22,0	26,8	31,5	37,3	44,2	52,0	60,7
pe_5	150,1	167,9	194,3	230,2	275,5	319,6	374,4	438,8	512,1	594,3
al_1	118,5	135,6	161,0	195,5	238,9	281,4	334,0	395,9	466,3	545,3
al_3	56,0	63,8	75,3	91,0	110,8	130,1	154,0	182,2	214,3	250,2
se_1	72,8	81,0	93,3	109,9	130,9	151,4	176,8	206,8	240,8	279,0
se_3	31,1	35,7	42,5	51,8	63,5	74,9	89,0	105,6	124,5	145,7
ba_1	28,9	32,8	38,7	46,8	56,9	66,7	78,9	93,3	109,7	128,0
ba_2	21,2	23,8	27,7	33,0	39,6	46,1	54,2	63,7	74,5	86,6
ba_5	30,2	34,2	40,3	48,5	58,8	68,9	81,4	96,1	112,8	131,6
ba_7	8,6	9,7	11,3	13,5	16,3	18,9	22,3	26,2	30,7	35,7

Com os valores de $DP_i(t)$, e ainda de posse dos valores contidos na Tabela 37, através da expressão do modelo matemático proposto para valores futuros de IDA_{absoluto} , foi realizado o cálculo de $IDA_{i_absoluto}(t)$ para as mesorregião i , em cada ano t . Os valores obtidos foram compilados na Tabela 42.

Tabela 42 - Valores futuros de IDA_{absoluto} mesorregionais para o cenário 2.

IDA_{absoluto} - cenário 2										
MSR	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
pi_1	5,6	6,2	7,1	8,4	10,1	11,6	13,6	15,9	18,6	21,5
pi_2	1,8	2,1	2,4	2,9	3,6	4,2	4,9	5,8	6,8	7,9
pi_3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7
pi_4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
ce_1	1,4	1,6	1,8	2,1	2,6	3,0	3,5	4,1	4,8	5,5
ce_2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,7	3,2	3,8	4,5	5,3	6,1
ce_3	114,0	131,0	156,1	190,2	233,1	275,1	327,1	388,3	457,9	536,0
ce_4	4,3	4,9	5,8	7,0	8,5	10,0	11,9	14,0	16,5	19,2
ce_5	5,2	5,9	6,9	8,3	10,0	11,7	13,8	16,2	19,0	22,2
ce_6	1,8	2,1	2,5	3,0	3,6	4,2	5,0	5,9	6,9	8,1
ce_7	2,5	2,9	3,5	4,3	5,4	6,4	7,6	9,1	10,7	12,6
rn_1	2,3	2,7	3,3	4,1	5,1	6,1	7,3	8,7	10,4	12,2
rn_2	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,2	1,5	1,7	2,0	2,4
rn_4	2,2	2,4	2,8	3,4	4,1	4,7	5,5	6,5	7,6	8,8
pb_1	3,8	4,4	5,4	6,8	8,5	10,2	12,3	14,7	17,5	20,7
pb_2	1,1	1,3	1,6	2,0	2,5	3,0	3,7	4,4	5,2	6,1
pb_3	5,6	6,5	7,9	9,9	12,3	14,6	17,6	21,0	24,9	29,3
pe_1	3,9	4,6	5,6	7,1	8,9	10,6	12,8	15,4	18,3	21,5
pe_4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,4	1,7
pe_5	4,6	5,3	6,3	7,7	9,4	11,0	13,1	15,5	18,3	21,4
al_1	5,2	6,1	7,4	9,1	11,3	13,5	16,2	19,4	23,0	27,0
al_3	1,9	2,2	2,7	3,4	4,2	5,0	6,0	7,2	8,5	10,0
se_1	3,1	3,6	4,3	5,3	6,5	7,7	9,2	10,9	12,9	15,1
se_3	1,5	1,7	2,1	2,6	3,2	3,8	4,6	5,4	6,4	7,6
ba_1	1,1	1,3	1,6	1,9	2,4	2,9	3,4	4,1	4,8	5,7
ba_2	0,6	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,1	2,5	2,9	3,5
ba_5	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,8	3,3	3,9	4,7	5,5
ba_7	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,8

Com os valores de $IDA_{i_absoluto}(t)$ e de GDA_i em mãos, procedeu-se o cálculo dos valores futuros de $IDA_i(t)$, conforme expressão matemática desenvolvida no capítulo anterior. Os valores obtidos foram reunidos na Tabela 43.

Tabela 43 - Valores futuros de *IDA* mesorregionais para o cenário 2.

IDA - cenário 2										
MSR	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
pi_1	2,8	3,4	4,3	5,6	7,3	8,8	10,8	13,1	15,8	18,7
pi_2	1,2	1,4	1,8	2,3	2,9	3,5	4,2	5,1	6,1	7,2
pi_3	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,7	2,9	3,1	3,4
pi_4	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6
ce_1	4,0	4,2	4,4	4,8	5,2	5,6	6,1	6,7	7,4	8,2
ce_2	2,1	2,3	2,6	2,9	3,4	3,9	4,5	5,2	6,0	6,8
ce_3	112,9	129,9	155,0	189,1	232,0	274,0	326,0	387,2	456,8	534,9
ce_4	3,3	3,9	4,8	6,0	7,5	9,0	10,9	13,0	15,5	18,2
ce_5	4,4	5,0	6,1	7,4	9,2	10,8	12,9	15,4	18,2	21,4
ce_6	3,2	3,5	3,9	4,4	5,0	5,6	6,4	7,3	8,3	9,5
ce_7	3,3	3,7	4,3	5,2	6,2	7,2	8,4	9,9	11,6	13,4
rn_1	4,7	5,1	5,7	6,5	7,5	8,5	9,7	11,2	12,8	14,7
rn_2	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7	4,0	4,2	4,5	4,9
rn_4	3,1	3,4	3,8	4,3	5,0	5,7	6,5	7,5	8,6	9,8
pb_1	4,2	4,8	5,8	7,2	8,9	10,6	12,7	15,1	17,9	21,1
pb_2	4,3	4,5	4,8	5,2	5,8	6,3	6,9	7,6	8,4	9,3
pb_3	5,8	6,7	8,1	10,1	12,5	14,8	17,8	21,2	25,1	29,5
pe_1	3,9	4,6	5,6	7,1	8,9	10,6	12,8	15,4	18,3	21,5
pe_4	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,7	3,9	4,1	4,3
pe_5	4,0	4,7	5,7	7,0	8,7	10,4	12,5	14,9	17,7	20,8
al_1	3,0	3,8	5,1	6,9	9,1	11,3	14,0	17,1	20,7	24,7
al_3	2,4	2,7	3,2	3,8	4,7	5,5	6,5	7,7	9,0	10,5
se_1	2,2	2,7	3,4	4,4	5,6	6,8	8,3	10,0	12,0	14,2
se_3	2,2	2,5	2,8	3,3	3,9	4,5	5,3	6,2	7,2	8,3
ba_1	2,2	2,3	2,6	3,0	3,4	3,9	4,4	5,1	5,9	6,7
ba_2	2,1	2,2	2,4	2,6	2,9	3,2	3,5	3,9	4,4	4,9
ba_5	3,2	3,4	3,6	4,0	4,4	4,9	5,4	6,0	6,8	7,6
ba_7	2,1	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,9	3,2	3,4

10.4 Classes de Degradação Ambiental

Após o cálculo dos valores futuros do *IDA* mesorregional para os cenários 1 e 2, as mesorregiões foram caracterizadas por classes de degradação, conforme os intervalos de $IDA_i(t)$ relacionados no início do presente capítulo. Os resultados obtidos foram compilados nas tabelas Tabela 44 e Tabela 45.

MSR	ATUAL	CENÁRIO 1							
	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	
pi_1	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pi_2	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve	Moderada	
pi_3	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	
pi_4	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	
ce_1	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_2	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Grave	Grave	Grave	
ce_3	Leve	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_4	Grave	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_5	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_6	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_7	Grave	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
rn_1	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
rn_2	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave
rn_4	Grave	Grave	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pb_1	Grave	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pb_2	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pb_3	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pe_1	Grave	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pe_4	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave
pe_5	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
al_1	Moderada	Moderada	Moderada	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	Muito Grave
al_3	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	
se_1	Moderada	Moderada	Moderada	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	
se_3	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	
ba_1	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	
ba_2	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	
ba_5	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	
ba_7	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	

Tabela 44- Classes de Degradação Ambiental futura para o cenário 1.

MSR	ATUAL	CENÁRIO 2							
	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	
pi_1	Grave	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pi_2	Leve	Leve	Leve	Moderada	Moderada	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave
pi_3	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Grave	Grave	Grave
pi_4	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
ce_1	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_2	Moderada	Moderada	Moderada	Grave	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_3	Leve	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_4	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_5	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_6	Grave	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_7	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
rn_1	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
rn_2	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
rn_4	Grave	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pb_1	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pb_2	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pb_3	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pe_1	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pe_4	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pe_5	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
al_1	Moderada	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
al_3	Moderada	Moderada	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
se_1	Moderada	Moderada	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
se_3	Moderada	Moderada	Moderada	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
ba_1	Moderada	Moderada	Moderada	Grave	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
ba_2	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Grave	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave
ba_5	Grave	Grave	Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
ba_7	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Grave	Grave	Grave

Tabela 45 - Classes de Degradação Ambiental futura para o cenário 2.

11 Resultados Adicionais e Discussão

No presente trabalho, foram considerados dois cenários distintos de mudanças de uso do solo e degradação ambiental para o SAN. Os modelos de simulação foram rodados para os dois cenários, em passos anuais, por um intervalo de tempo de cinquenta anos, a partir de 2001. De posse dos valores atuais, referentes ao ano 2000, e com a obtenção de valores futuros da *porcentagem de área antropizada (V)* e do *índice de degradação ambiental (IDA)*, foi possível estabelecer um prognóstico das mudanças que ocorrerão no uso do solo e no grau de degradação ambiental da região, caso políticas públicas e governamentais não venham a ser tomadas no sentido de promover uma ocupação ordenada e racional do solo do semi-árido, bem como na direção de preservar e mitigar os danos já causados ao meio físico.

Construção dos Modelos

Os modelos elaborados focalizaram os possíveis efeitos do crescimento populacional e do desenvolvimento econômico nas mudanças de uso do solo e degradação ambiental no SAN tendo em consideração os cenários “o mesmo de sempre” (*business-as-usual*), haja vista que futuras medidas de “governança” ainda são bastante indeterminadas. Naturalmente, o impacto desses efeitos nas mudanças de uso do solo, na degradação ambiental e no bem-estar das sociedades que vivem nessa região dependerá da efetividade de esforços de conservação e ordenamento territorial a serem implementados no SAN.

Cada mesorregião trabalhada possui parâmetros personalizados a serem utilizados nos modelos. Ainda, a consideração do IDH como fator de correção nas taxas de crescimento populacional tornou o modelo sensível à continuidade espacial da área, fazendo com que a dinâmica de uma região afete as de suas vizinhas.

No cenário 1 foi considerada a *população residente total (PRT)* como principal fator explicativo das mudanças de uso do solo, por meio do desenvolvimento de atividades antrópicas, quantificadas pela variável *V*. Ainda, no estudo de alterações relativas à degradação ambiental, foi considerado como variável explicativa o mesmo fator, sendo utilizado, para tanto, a variável *densidade populacional (DP)*, calculada a partir de valores futuros de *PRT*.

Já no cenário 2, o *produto interno bruto (PIB)* foi tomado como fator explicativo para as mudanças de uso do solo, também em termos de variação da porcentagem de área antropizada. No estudo das alterações no grau de desertificação ambiental, o *PIB* ainda foi considerado, em termos de densidade populacional (*DP*) calculada com base em um valor de PRT^* que levasse a uma porcentagem de área antropizada com mesmo valor que a prevista pelo modelo de V para o cenário 2.

Mudanças Esperadas

Foram calculados os valores de área antropizada mesorregional média para os dois cenários trabalhados através de média ponderada, tendo a área territorial de cada mesorregião como fator de ponderação. O resultado foi apresentado na Figura 58.

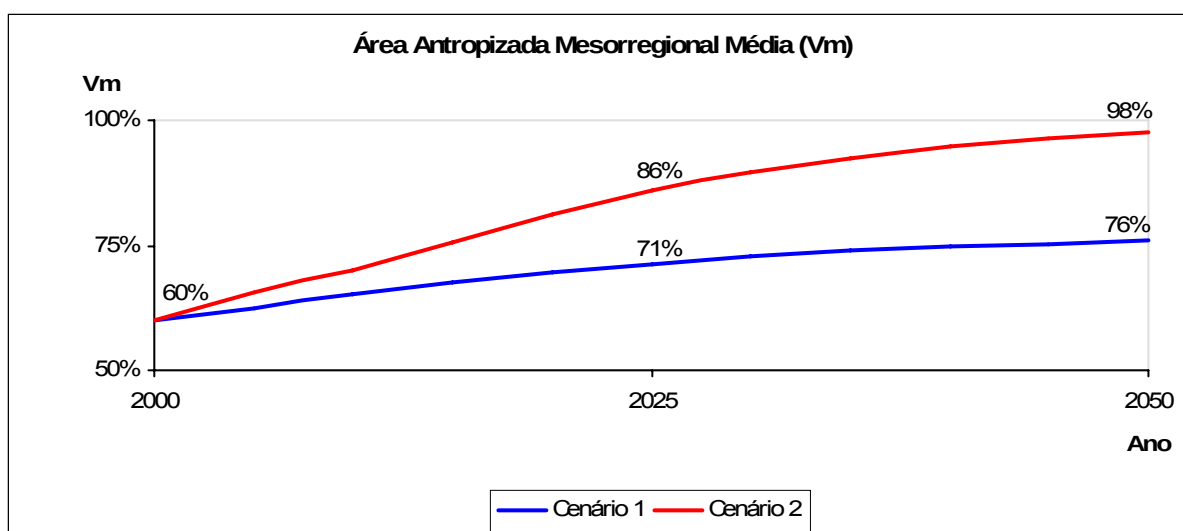


Figura 58 – Área Antropizada mesorregional média.

A fim de analisarmos a magnitude da variação calculada para o valor de V entre os anos 2000 e 2050 nos dois cenários, as mesorregiões foram divididas nas seguintes classes, de acordo com o intervalo de ΔV , em pontos percentuais (p.p.):

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta V < 10 p.p. \\ 10 < \Delta V < 25 p.p. \\ 25 < \Delta V < 40 p.p. \\ 40 < \Delta V < 50 p.p. \\ 50 p.p. < \Delta V \end{array} \right.$$

O resultado dessa análise foi mostrado na Figura 59.

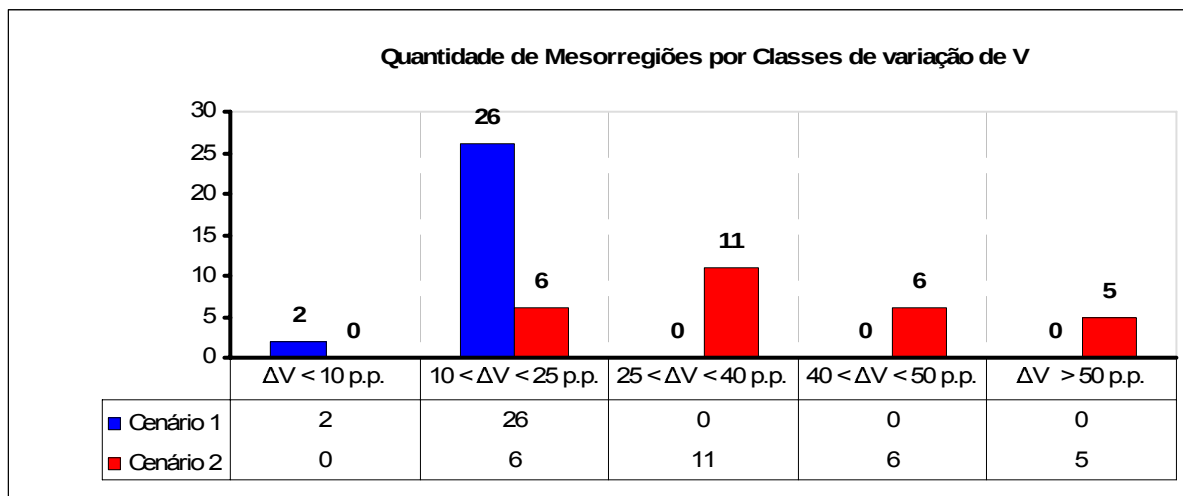


Figura 59 – Quantidades de Mesorregiões por classes de variação de V .

As mesorregiões foram divididas em classes de degradação ambiental segundo os valores futuros de IDA previstos para cada um dos cenários. Através da quantificação, para a situação atual (2000) e cenários 1 e 2 (2050), foi possível analisar a tendência de variação do número de mesorregiões em cada classe de degradação. O resultado obtido foi mostrado na Figura 60.

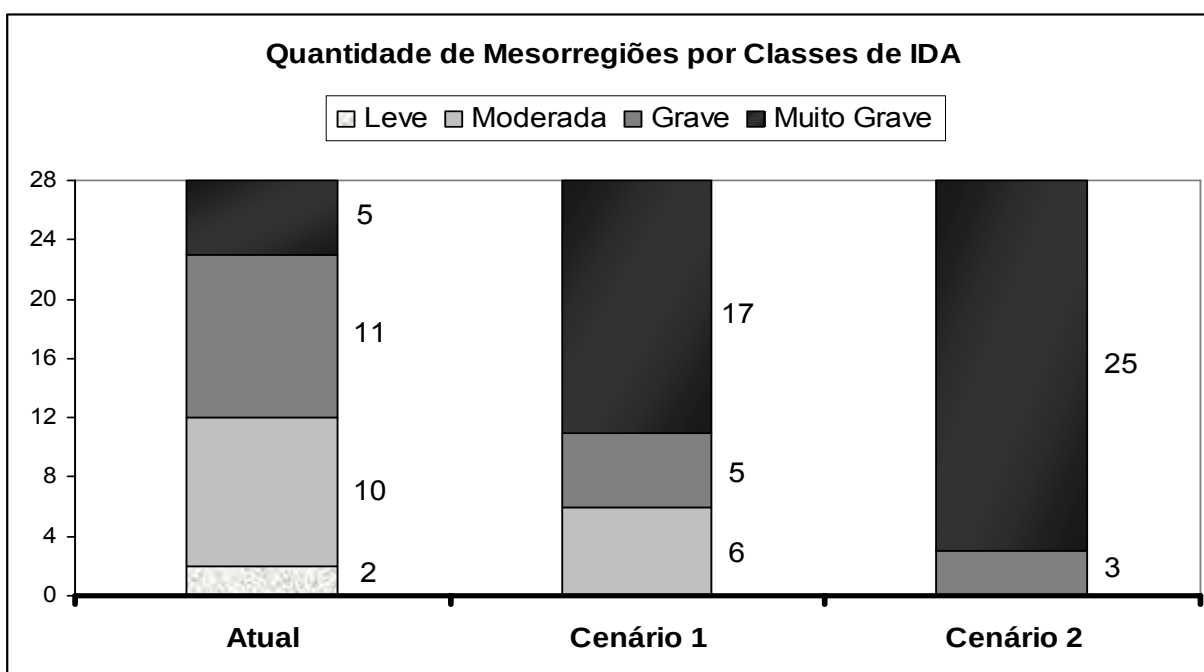


Figura 60 – Quantidades de mesorregiões por classes de IDA .

As projeções de área antropizada e degradação ambiental para os dois cenários mostraram trajetórias semelhantes. Sob o cenário 1, a porcentagem de área antropizada mesorregional

média para o SAN ascende do patamar atual de 60% para cerca de 71% já em 2025, crescendo continuamente até o patamar de 76% em 2050. Ainda nesse cenário, o número de mesorregiões com degradação ambiental considerada “muito grave” passa de 5, na atualidade, para 17 em 2050, de um total de 28 analisadas.

Sob a ótica do cenário 2, os resultados são ainda mais preocupantes: a porcentagem de área antropizada mesorregional média ascende para cerca de 86% em 2025, crescendo de forma contínua até atingir o valor de 98% em 2050. Também para esse cenário, o número de mesorregiões em classe de degradação “muito grave” chega a 25 em 2050, quintuplicando o valor atual.

Dessa forma, como resultado, a tendência prevista de mudanças de uso da terra dentro dos cenários considerados levará, em meados deste século, a um aumento entre 16% e 38% da porcentagem de área antropizada mesorregional média sobre os 60% que se tem atualmente. Ainda, a tendência prevista de degradação ambiental levará a um aumento de 3 a 5 vezes no número de mesorregiões enquadradas na classe de degradação “muito grave”.

Contextualizando esses números, demonstra-se que as mesorregiões localizadas na região leste do SAN sofrerão os piores efeitos de aumento de área antropizada e degradação ambiental (Apêndices A e B). Com efeito, essas mesorregiões, localizadas nas proximidades do Agreste e da Zona da Mata encerram, desde os tempos coloniais, grande parte da população e dos recursos econômicos do SAN.

Estratégias de Conservação

Visando uma possível adoção de iniciativas no sentido de **prevenir o aumento da degradação ambiental**, foram buscadas, dentre as mesorregiões, as maiores amplitudes de variação entre classes de degradação atual e futura, para ambos os cenários. Por exemplo, uma dada mesorregião que apresenta na atualidade grau de degradação “leve”, e é mostrado que, em 2050, em ambos os cenários propostos, passará a ter grau de degradação “muito grave”, constitui motivo de maior preocupação, no sentido de prevenção, que uma mesorregião que passará de um grau “moderado” na atualidade para “grave” em 2050. Nesse sentido, foi elaborado um *ranking* (Tabela 46), em cujo topo encontram-se as mesorregiões que devem sofrer práticas de prevenção de aumento de degradação mais contundentes.

Tabela 46 – *Ranking* de amplitudes de variação de classes de degradação ambiental.

Ranking de amplitudes de variação de classes de degradação ambiental			
MSR	Atual 2000	Cenário 1 2050	Cenário 2 2050
ce_3	Leve	Muito Grave	Muito Grave
pi_2	Leve	Moderada	Muito Grave
al_1	Moderada	Muito Grave	Muito Grave
se_1	Moderada	Muito Grave	Muito Grave
ce_2	Moderada	Grave	Muito Grave
al_3	Moderada	Grave	Muito Grave
ba_1	Moderada	Grave	Muito Grave
pi_1	Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_4	Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_6	Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_7	Grave	Muito Grave	Muito Grave
rn_4	Grave	Muito Grave	Muito Grave
pb_1	Grave	Muito Grave	Muito Grave
pe_1	Grave	Muito Grave	Muito Grave
pe_5	Grave	Muito Grave	Muito Grave
se_3	Moderada	Moderada	Muito Grave
ba_2	Moderada	Moderada	Muito Grave
pi_3	Moderada	Moderada	Grave
pi_4	Moderada	Moderada	Grave
rn_2	Grave	Grave	Muito Grave
pe_4	Grave	Grave	Muito Grave
ba_5	Grave	Muito Grave	Muito Grave
ba_7	Moderada	Moderada	Grave
ce_1	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_5	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
rn_1	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pb_2	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pb_3	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave

Contudo, quando da intenção de selecionar as mesorregiões de maior grau de degradação a fim de promover práticas de mitigação, torna-se interessante relacioná-las em ordem decrescente de gravidade global (Tabela 47), na qual é preponderante o estado atual de degradação ambiental.

Tabela 47- *Ranking* de gravidade de degradação ambiental.

Ranking de gravidade de degradação ambiental			
MSR	Atual 2000	Cenário 1 2050	Cenário 2 2050
ce_1	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_5	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
rn_1	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pb_2	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pb_3	Muito Grave	Muito Grave	Muito Grave
pi_1	Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_4	Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_6	Grave	Muito Grave	Muito Grave
ce_7	Grave	Muito Grave	Muito Grave
rn_4	Grave	Muito Grave	Muito Grave
pb_1	Grave	Muito Grave	Muito Grave
pe_1	Grave	Muito Grave	Muito Grave
pe_5	Grave	Muito Grave	Muito Grave
ba_5	Grave	Muito Grave	Muito Grave
rn_2	Grave	Grave	Muito Grave
pe_4	Grave	Grave	Muito Grave
al_1	Moderada	Muito Grave	Muito Grave
se_1	Moderada	Muito Grave	Muito Grave
ce_2	Moderada	Grave	Muito Grave
al_3	Moderada	Grave	Muito Grave
ba_1	Moderada	Grave	Muito Grave
se_3	Moderada	Moderada	Muito Grave
ba_2	Moderada	Moderada	Muito Grave
pi_3	Moderada	Moderada	Grave
pi_4	Moderada	Moderada	Grave
ba_7	Moderada	Moderada	Grave
ce_3	Leve	Muito Grave	Muito Grave
pi_2	Leve	Moderada	Muito Grave

Constituem fatos concretos o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico do SAN, assim como do NEB como um todo. Isto posto, um cenário de ampla governança e planejamento regional eficiente poderiam reverter as tendências de uso do solo e degradação ambiental reveladas. Contudo, há ainda a difícil tarefa de conciliar desenvolvimento com conservação. Deve-se aliar planejamento regional, zoneamento agro-ecológico, fiscalização ambiental e desenvolvimento econômico sustentável de forma a se conseguir sobrepujar as crescentes forças de degradação que acarretam inúmeros prejuízos ao meio ambiente e reduzem sobremaneira o bem-estar das sociedades inseridas nesse contexto.

Mapeamento de Mudanças de Uso do Solo para Cenários Projetados

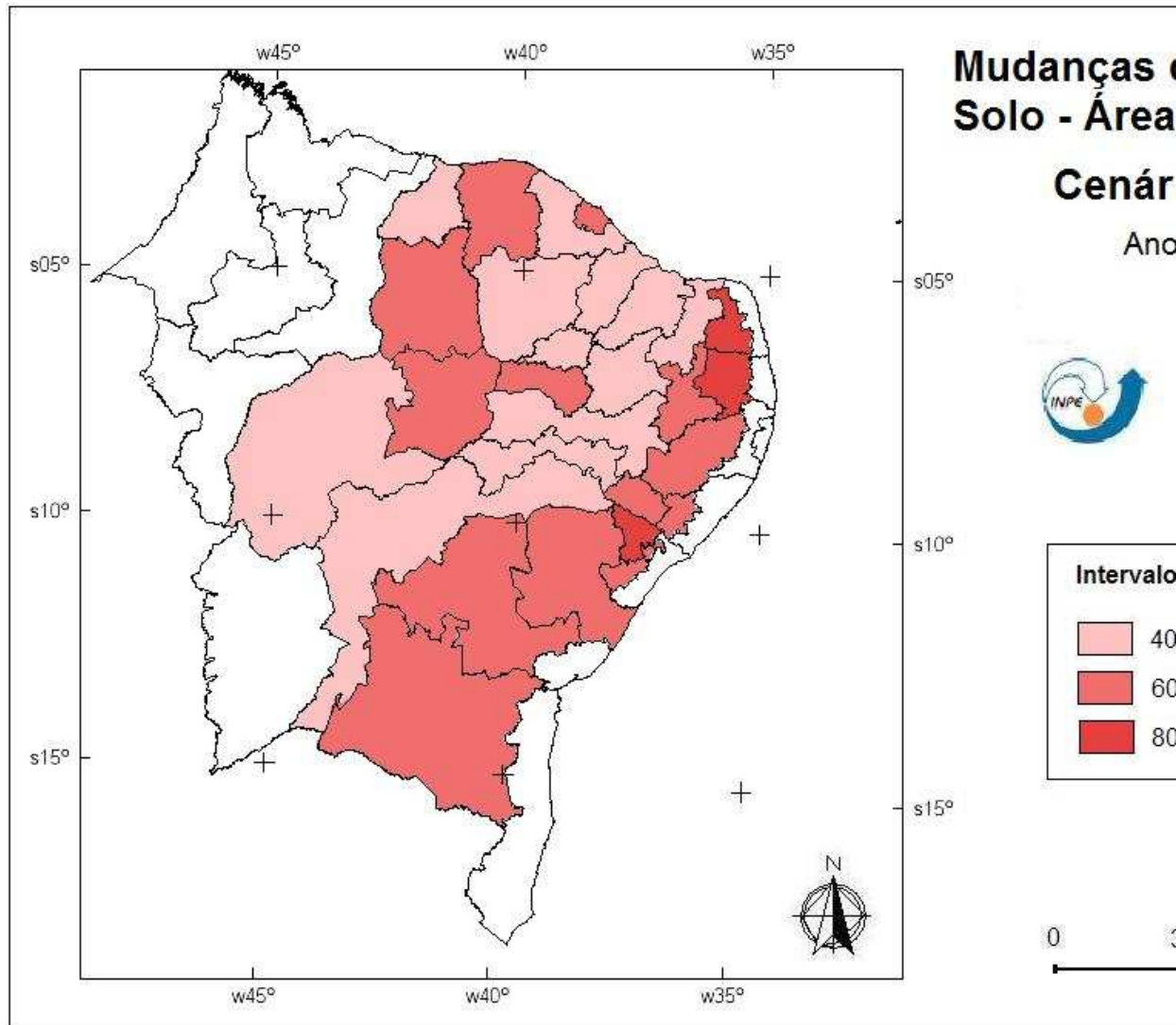


Figura 61 - Mapeamento da área antropizada para o cenário atual (ano 2000).

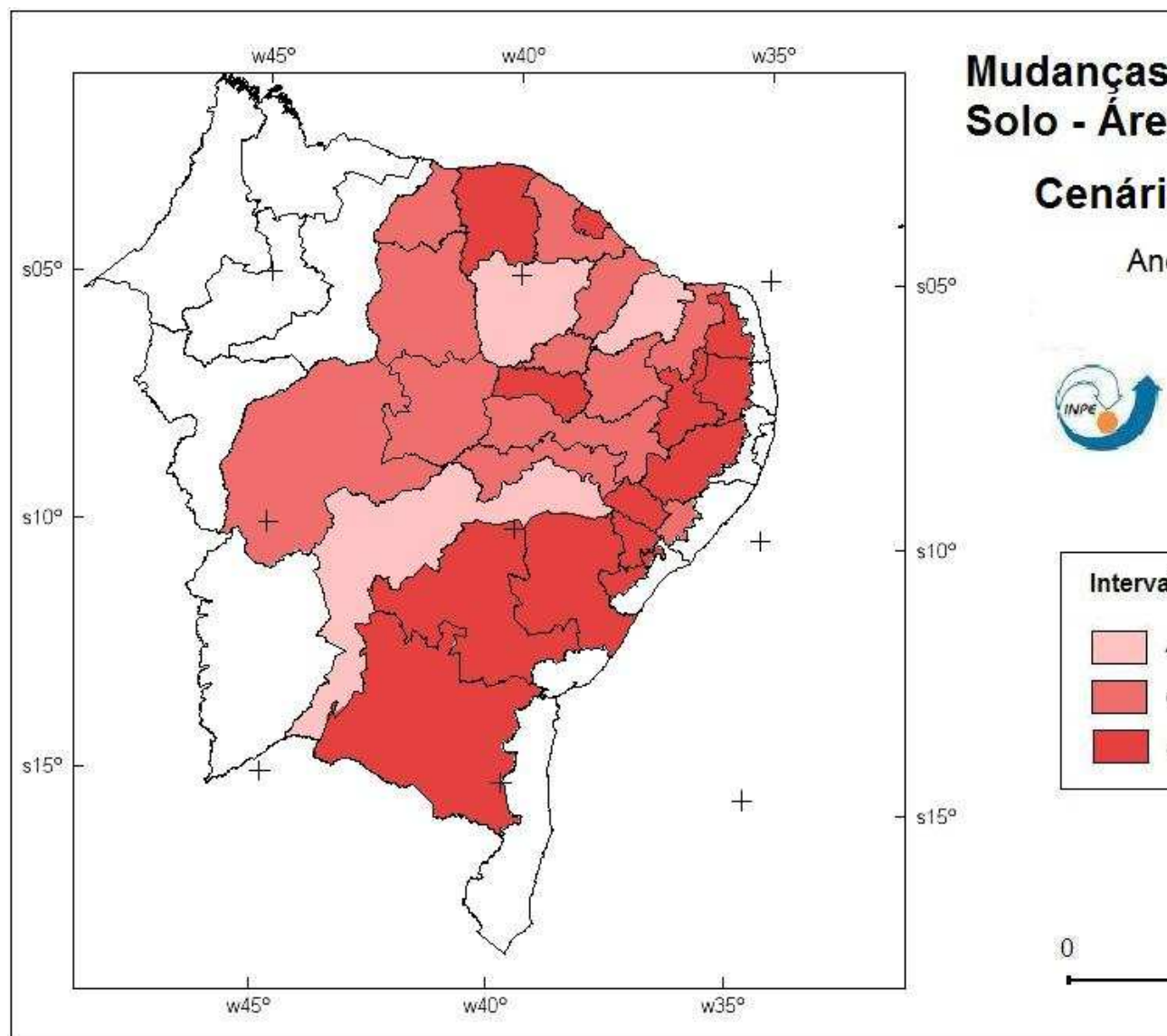


Figura 62 - Mapeamento da área antropizada para o cenário 1 (ano 2050).

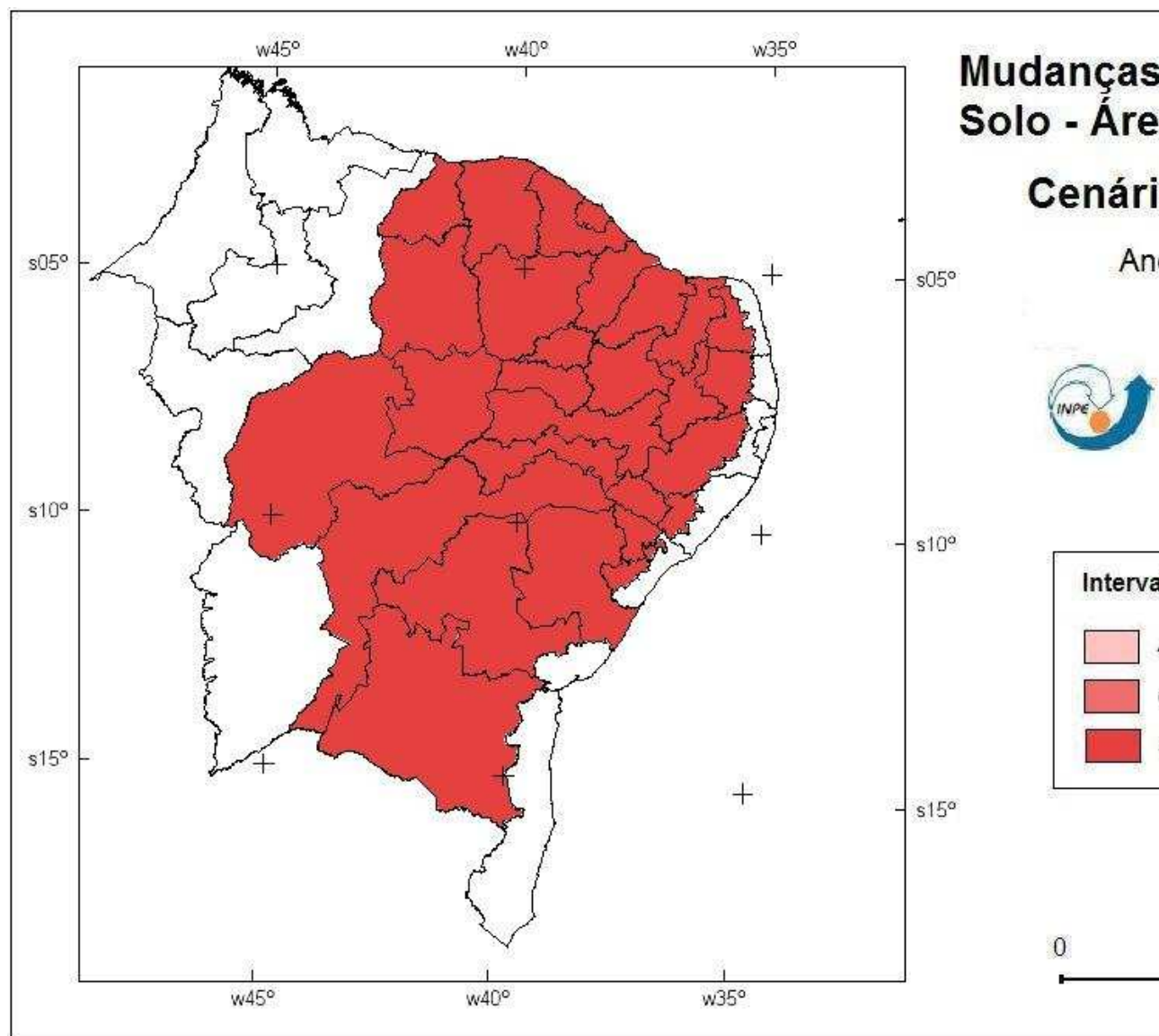


Figura 63 - Mapeamento da área antropizada para o cenário 2 (ano 2050).

Mapeamento de Degradação Ambiental para os Cenários Projetados

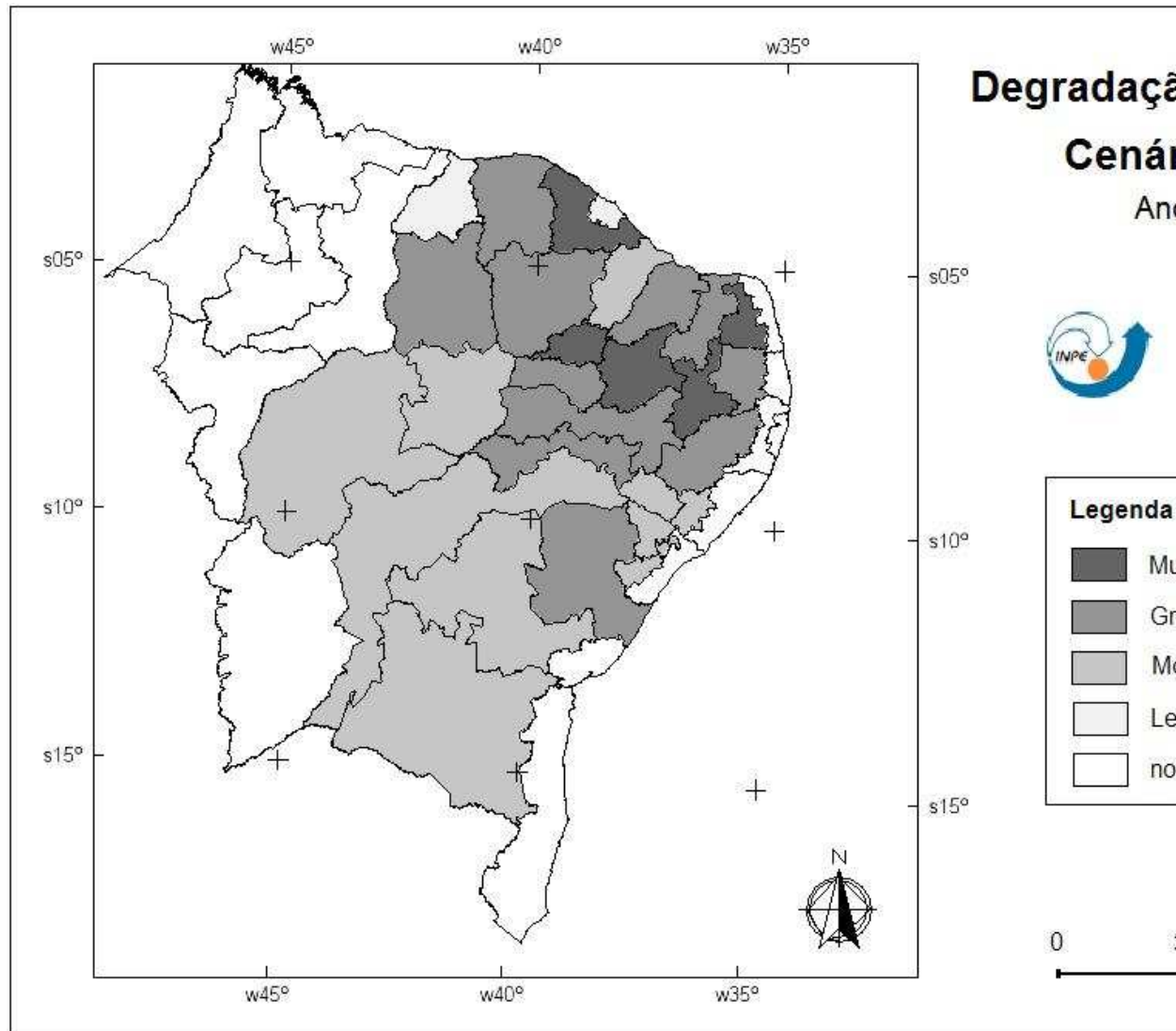


Figura 64 - Mapeamento da degradação ambiental para o cenário atual (ano 2000).

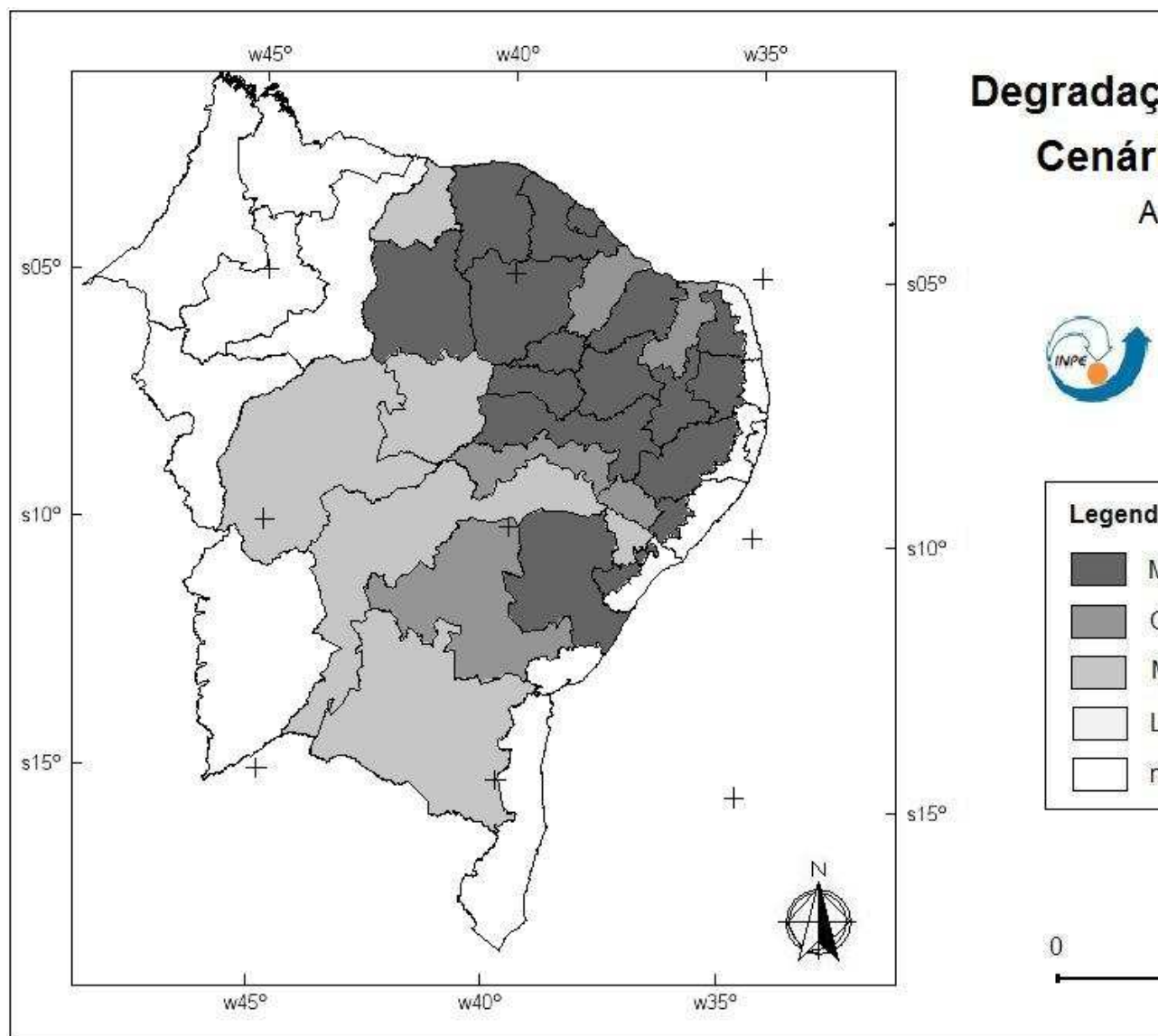


Figura 65 - Mapeamento da degradação ambiental para o cenário 1 (ano 2050).

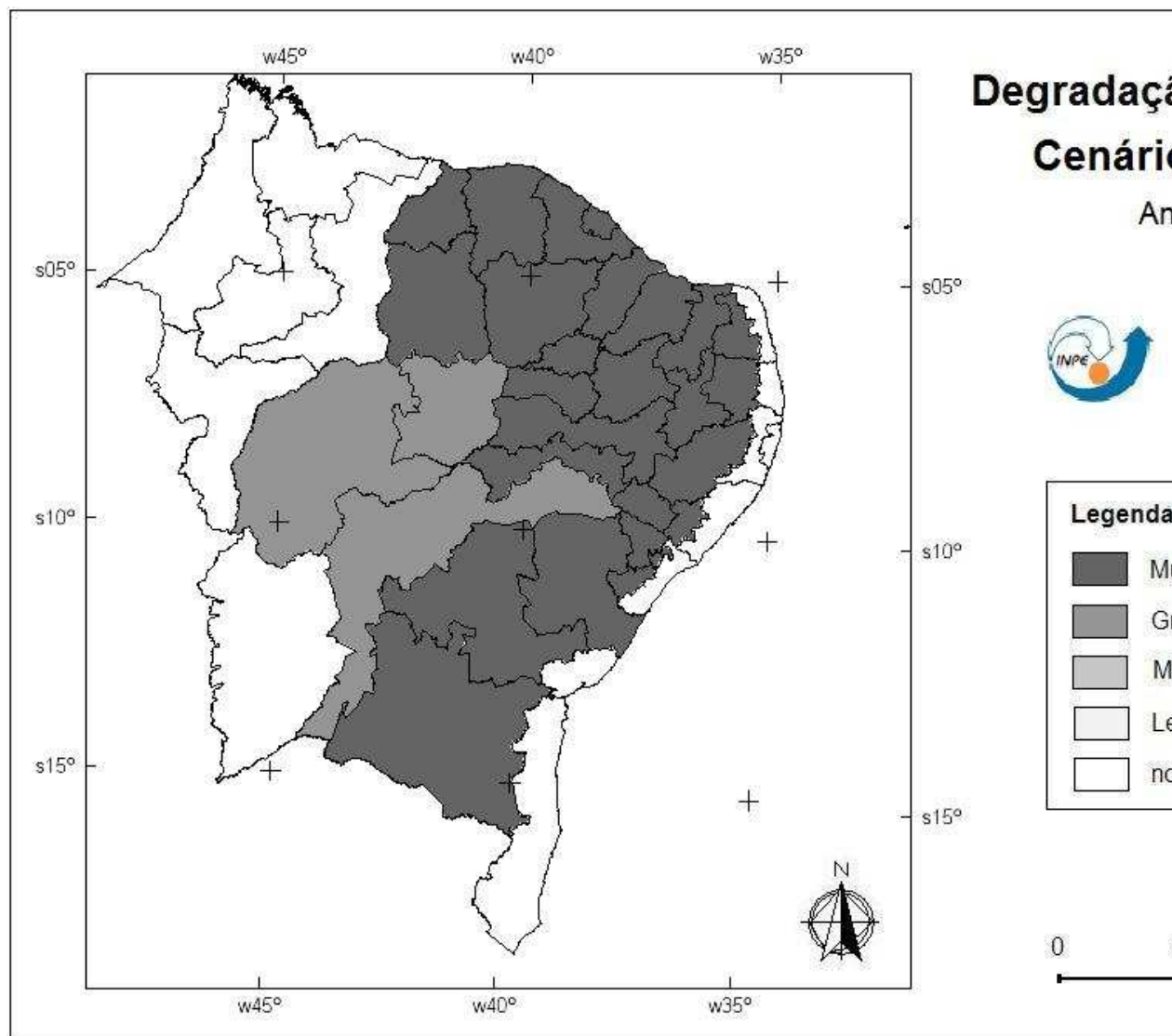


Figura 66 - Mapeamento da degradação ambiental para o cenário 2 (ano 2050).

12 Conclusões

A região Nordeste do Brasil é composta por 43 mesorregiões, das quais foram excluídas da análise as 5 mesorregiões maranhenses – por não pertencerem ao SAN - além de 9 outras mesorregiões para as quais houve insuficiência de dados. Desse modo, 28 mesorregiões inseridas no SAN foram estudadas no presente trabalho.

Foram gerados cenários futuros da extensão de mudanças de uso da terra e degradação ambiental no SAN até o ano de 2050. Com base em dados georreferenciados relativos à precipitação, temperatura, topografia, pedologia e vegetação, juntamente com dados sócio-econômicos, elaboraram-se modelos simples que relacionam população (*POP*) ou Produto Interno Bruto (*PIB*) à porcentagem de área antropizada (*V*) e grau de degradação ambiental (*IDA*). Considerando projeções futuras de *POP* e *PIB*, obtiveram-se cenários de *V* e *IDA*. Vale ressaltar que ambos os cenários trabalham com a hipótese de não intervenção governamental sobre a área para o período de previsão.

- O estudo apontou, para o ano de 2050, valores médios de área antropizada mesorregional (*V*) entre 76% e 98%, com as mesorregiões sofrendo aumento médio entre 16 e 38 pontos percentuais na porcentagem de área antropizada;
- Ainda, para o mesmo ano, mostrou-se que entre 17 e 25 das 28 mesorregiões estudadas apresentarão classe de degradação ambiental “muito grave” e de 5 a 3 estarão classificadas em grau de degradação “grave”;
- A análise da variação do grau de degradação ambiental revelou que as mesorregiões “Metropolitana de Fortaleza” (CE), “Norte Piauiense” (PI) e “Agreste Alagoano” (AL) necessitam de medidas urgentes em termos de prevenção de aumento de degradação ambiental;
- Através da mesma análise, foi ainda mostrado que as mesorregiões “Centro-Sul Cearense” (CE), “Norte Cearense” (CE) e “Agreste Potiguar” (RN) requerem iniciativas contundentes no sentido de mitigação da degradação ambiental, dado que se encontram, já na atualidade, com graus de degradação elevados, tendendo a chegar ao ano 2050 em grau “muito grave”.

Referências Bibliográficas

ALVES, J. M. B. Aspectos Climatológicos do Nordeste Brasileiro com ênfase na Região Semi-árida: Principais causas da Variedade Pluviométrica Interanual. In: 1º SIMPÓSIO SOBRE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO, 17-21 de novembro de 1997, Petrolina-PE. **O Papel de Sistemas de Captação de Água de Chuva para o Século 21**. Petrolina: ABCMAC, 1997.

ANDRADE, Manuel Correia de. **Geografia Econômica do Nordeste: o Espaço e a Economia Nordestina**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas, 1987. 174 p.

ARAÚJO, Eliene Pontes. **Aplicação de Dados SRTM à modelagem da Erosão em Microbacias por Geoprocessamento**. 2006. 88 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: 2006.

ARAÚJO, H. A.; RAMOS, S. O.; GUERRA, A. M.; LEAL, L. R. B. **Aspectos Climatológicos Regionais e Variação dos Níveis Estáticos do Aquífero Cárstico da Micro-Região de Irecê-Bahia**. Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia. Salvador: [ca. 2004]. 18 p.

BANDEIRA, Pedro Silveira. **As Mesorregiões no Contexto da Nova Política Federal de Desenvolvimento Regional: Considerações sobre Aspectos Institucionais e Organizacionais**. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional/UFGM. Belo Horizonte: UFGM, 2004. 50 p.

BERNARDES, N. **As Caatingas**. [S.l.:s.n.], 1985.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1995. 355 p.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Anuário Estatístico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2003.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeção da População do Brasil por sexo e idade para o Período 1980-2050 – Revisão 2004: Metodologia e Resultados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Plano Estratégico de Desenvolvimento Sustentável do Nordeste: Desafios e Possibilidades para o Nordeste do Século XXI**. Recife: MIN, 2006a. 159 p.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Programa de Desenvolvimento Integrado e Sustentável do Semi-Árido**. Brasília: MIN, [ca. 2005]. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/programasregionais/publicacoes/conviver.asp>> Acesso em: 01 jul. 2007.

BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. **Brasil em Foco**. Brasília: MRE, 2006b. Disponível em: <<http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/divpol/nordeste/regiao/apresent/index.htm>>. Acesso em 02 mai. 2007.

CABRAL, J. B. P. et al. Uso de técnicas de geoprocessamento para mapear o potencial natural de erosão da chuva na bacia hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG. **Revista RA'E GA/UFPR**, Curitiba, n. 10, p. 107-116. 2005.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS object-orientated data modelling**. INPE. São José dos Campos: 2006.

CÂMARA, Gilberto.; DAVIS, Clodoveu. **Introdução ao Geoprocessamento**. São José dos Campos: INPE, 1998. 5 p.

CÂMARA, Gilberto.; MONTEIRO, A. M. Vieira. **Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2000. 35 p.

CASTRO, Josué de. **Geografia da Fome**. 9. ed. São Paulo: Editora Brasiliense, 1965. 332 p.

COELHO, M. A.; TERRA, L. **Geografia Geral e do Brasil**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2003. 455 p.

DEVORE, Jay L. **Probabilidade e Estatística: para Engenharia e Ciências**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006. 692 p.

DOMINGOS, J. L. **Estimativa de perda de solo por erosão hídrica em uma bacia hidrográfica**. 2006. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas e Naturais/Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória: 2006.

EMBRAPA. **Convenção de cores para mapas/cartas de solos – Primeiro e Segundo Nível Categórico (Sistema PANTONE, CMYK, RGB e HSV – p/ ArcView)**. 2. ed. [S.l.]: 2005.

FAUSTO, Boris. **História Concisa do Brasil**. 2. ed. São Paulo: Edusp, 2006. 324 p.

FERREIRA, D.G.; MELO, H.P.; RODRIGUES NETO, F.R.; NASCIMENTO, P.J.S.; RODRIGUES, V. Avaliação do quadro de desertificação no Nordeste do Brasil: diagnósticos e perspectivas. **Conferência Nacional e Seminário Latino-Americano da Desertificação**, Fortaleza, 1994.

FERREIRA, G.M.L. **Atlas Geográfico: espaço mundial**. [S.l:s.n.], 2002.

FURTADO, Celso. **Formação Econômica do Brasil**. 34. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2007. 351 p.

GOMES, Alessandra Rodrigues. **Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo em região Semi-Árida utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento – área piloto de Parnamirim (PE)**. 2005. 165 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: 2005.

GREMAUD, A. P.; VASCONCELLOS, M. A. S. de.; TONETO, R. J. **Economia Brasileira Contemporânea**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002. 626 p.

HALL, F. G. et al. **ISLSCP Initiative II**. DVD/CD-ROM. NASA, 2005.

JACOMINE, P. K. Tito. **A Nova Versão do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**. UFRPE. Recife: 2005. 16 p.

LEPSCH, Igo F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

MANNINGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.24, n.5, p.1335-1340. 2002.

MARQUES, J. J. G. S. M. et al. **Erosividade das chuvas da região de Sete Lagoas-MG**. XIII Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo, Águas de Lindóia, 4 a 8 de agosto. 1996.

OLIVEIRA-GALVÃO, A. L. C. de. **Reconhecimento da Susceptibilidade ao Desenvolvimento de Processos de Desertificação no Nordeste Brasileiro, a partir da integração de Indicadores Ambientais**. 2001. 280 f. Tese (Doutoramento em Geociências) - Instituto de Geociências/UnB, Brasília, 2001.

PEDRO, F. G.; LORANDI, R. Potencial Natural de Erosão na área periurbana de São Carlos-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 56/01. 2004. 6 p.

PEREIRA, Antônio R.; NOVA, Nilson A. V.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PILETTI, Nelson. **História do Brasil**. São Paulo: Ática, 1999.

RIBEIRO, Darcy. **O Povo Brasileiro: A formação e o sentido do Brasil**. 2. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 1995. 476 p.

ROSA, Roberto. **O uso de sistemas de informação geográfica para estimativa de perdas de solo por erosão laminar**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia: [c.a. 1994].

SAITO, Carlos Hiroo; OLIVEIRA-GALVÃO, Ana Lúcia Costa de. Mapeamentos sobre Desertificação no Brasil: uma análise comparativa. **Revista Científica do IBAMA – Brasil Florestal**, Brasília, v.23, n.º.77, p. 9-20. 2003.

SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L09708, doi:10.1029/2007GL029695. 2007.

SANTOS, A. C. S. **Projeto SEGHIDRO: Relatório de Atividades**. FUNCEME/DEMET. [Fortaleza]: 2004.

SOUZA, Simone. (Coord.). **História do Ceará**. Fortaleza: Fundação Demócrito Rocha/UFC, 1989. 403 p.

VIEIRA et al. **Integração e atualização de dados de uso/cobertura da terra do Estado do Ceará para utilização em modelos meteorológicos**. [Fortaleza]: 2005.

WILSON, Dominic. **Dreaming With the BRICs: The Path to 2050**. Global Economics Paper n.º 99. New York: Goldman Sachs Bank, 2003. 24 p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide conservation planning.** Agricultural Handbook n° 537. Washington. D. C.: USDA/ARS, 1978. 58 p.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO			
1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 31 de outubro de 2007	3. DOCUMENTO Nº CTA/ITA-IEI/TC-001/2007	4. Nº DE PÁGINAS 152
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Cenários Futuros de Mudanças de Uso da Terra e Degradação Ambiental no Semi-Árido do Nordeste Brasileiro			
6. AUTOR: Daniel Macêdo Gonçalves			
7. INSTITUIÇÃO/ÓRGÃO INTERNO/DIVISÃO: Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Civil – ITA/IEI			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Degradação ambiental; Mudanças de uso da terra; Nordeste.			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Controle ambiental; Degradação; Utilização do solo; Desenvolvimento sustentável; Região nordeste; Brasil; Gestão ambiental			
10. APRESENTAÇÃO:		X Nacional	Internacional
Trabalho de Graduação, ITA, São José dos Campos, 2007. 152 páginas.			
11. RESUMO: A região Nordeste do Brasil vem passando por um profundo processo de degradação ambiental devido ao uso inadequado do solo. As áreas mais susceptíveis à degradação encontram-se no Semi-Árido Nordestino (SAN). Dentro desse contexto, o presente trabalho buscou gerar cenários futuros da extensão de mudanças de uso da terra e degradação ambiental no SAN até o ano de 2050. Para tal, o SAN foi dividido em mesorregiões e, com base em dados georreferenciados relativos à precipitação, temperatura, topografia, pedologia e vegetação, juntamente com dados sócio-econômicos, elaboraram-se modelos simples que relacionam população (<i>POP</i>) ou Produto Interno Bruto (<i>PIB</i>) à porcentagem de área antropizada (<i>V</i>) e grau de degradação ambiental (<i>IDA</i>). Considerando projeções futuras de <i>POP</i> e <i>PIB</i> , obtiveram-se cenários de <i>V</i> e <i>IDA</i> . Os cenários mostram que, em 2050, as mesorregiões nordestinas terão, em média, entre 78% e 98% de suas áreas ocupadas pelo desenvolvimento de atividades antrópicas. Ainda, no mesmo ano, do total de 28 mesorregiões estudadas, de 17 a 25 delas apresentarão grau de degradação considerado “muito grave”. Espera-se que os cenários futuros obtidos neste trabalho possam subsidiar um planejamento regional sustentável para a região do SAN.			
12. GRAU DE SIGILO (X) OSTENSIVO () RESERVADO () CONFIDENCIAL () SECRETO			