



CASSIANO GUSTAVO MESSIAS

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS À FRAGILIDADE AMBIENTAL NA
ALTA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO, PARQUE NACIONAL DA SERRA DA
CANASTRA – MG**

**CAMPINAS
2014**



NÚMERO: 227/2014

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

CASSIANO GUSTAVO MESSIAS

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS À FRAGILIDADE AMBIENTAL NA
ALTA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO, PARQUE NACIONAL DA SERRA DA
CANASTRA – MG**

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCOS CÉSAR FERREIRA

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO INSTITUTO DE
GEOCIÊNCIAS, PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM GEOGRAFIA ÁREA DE ANÁLISE
AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL.**

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO CASSIANO
GUSTAVO MESSIAS E ORIENTADO PELO PROF. DR.
MARCOS CÉSAR FERREIRA**

**CAMPINAS
2014**

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Geociências
Cássia Raquel da Silva - CRB 8/5752

M563m Messias, Cassiano Gustavo, 1987-
 Mapeamento das áreas suscetíveis à fragilidade ambiental na alta bacia do
Rio São Francisco, Parque Nacional da Serra da Canastra - MG / Cassiano
Gustavo Messias. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

 Orientador: Marcos Cesar Ferreira.
 Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de
Geociências.

 1. Vulnerabilidade ambiental. 2. Parque Nacional da Serra da Canastra (MG).
3. Avaliação de riscos ambientais. 4. Testes de Kolmogorov-Smirnov. 5. Análise
espacial. I. Ferreira, Marcos Cesar, 1957-. II. Universidade Estadual de Campinas.
Instituto de Geociências. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Mapping of susceptible areas to environmental fragility in the upper
Sao Francisco river basin, National Park of Serra da Canastra

Palavras-chave em inglês:

Environmental vulnerability
National Park of Serra da Canastra (MG)
Environmental risk assessment
Kolmogorov-Smirnov tests
Spatial analysis

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Mestre em Geografia

Banca examinadora:

Marcos Cesar Ferreira [Orientador]
Ailton Luchiari

Andréia Medinilha Pancher

Data de defesa: 12-08-2014

Programa de Pós-Graduação: Geografia



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL**

AUTOR: Cassiano Gustavo Messias

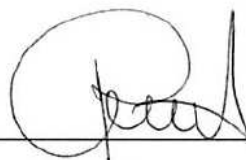
“Mapeamento das Áreas Suscetíveis à Fragilidade Ambiental na Alta Bacia do rio São Francisco, Parque Nacional da Serra da Canastra – MG”.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcos César Ferreira

Aprovado em: 12 / 08 / 2014

EXAMINADORES:

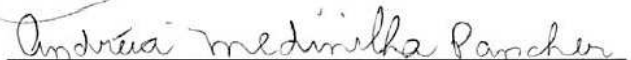
Prof. Dr. Marcos César Ferreira


_____ - Presidente

Prof. Dr. Ailton Luchiari



Profa. Dra. Andréia Medinilha Pancher



Campinas, 12 de agosto de 2014.

Com saudades, dedico este trabalho ao meu avô e padrinho, Sebastião Messias (*in memoriam*), por todo o amor e carinho que sempre teve por mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, proteção e pelas oportunidades dadas.

Aos meus pais, pelo apoio em todos os momentos, pelo exemplo e por acreditarem em meu futuro.

Ao professor Marcos César Ferreira, pela orientação, confiança e pelos inúmeros ensinamentos, os quais levarei comigo por toda minha futura carreira docente.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela bolsa de mestrado concedida a esta pesquisa.

Aos professor da banca examinadora, Andreia Medinilha Pancher, da UNESP – Rio Claro e Ailon Luchiari, da USP, pelas sugestões e participação.

Aos professores e pesquisadores Andreia Medinilha Pancher, da UNESP – Rio Claro e Édson Luiz Bolfe, da Embrapa Monitoramento por Satélites, pelas sugestões na qualificação, as quais contribuíram com a evolução deste trabalho.

À professora Marta Felícia Marujo Ferreira, da Unifal-MG, pela participação no trabalho de campo desta pesquisa, sugestões na área de Geomorfologia e pela amizade construída desde minha graduação.

Aos funcionários da Universidade Estadual de Campinas e do Instituto de Geociências, especialmente Valdirene Pinotti, Maria Gorete Bernardelli, Valdir Olivieri e Rafael Gerin, pelo eficiente trabalho, atenção e paciência em diversos momentos.

Aos professores da Universidade Federal de Alfenas e da Universidade Estadual de Campinas, por todo o conhecimento construído.

Ao amigo Danilo Garófalo, pela parceria e dicas enriquecedoras para este trabalho.

Aos amigos do Instituto de Geociências, em especial Maria Isabel Martins, Natália Martins, Tissiana Souza, Ana Luiza Ribeiro, Lucas Baldoni, Fernanda Otero e Melina Souza, com os quais compartilhei conversas geográficas e momentos de lazer.

Aos membros do grupo de pesquisa Métodos Avançados de Análise Espacial, Danilo Garófalo, Graciali Trentin, Talytha Occioly, Marco Antônio Rodrigues, Amélia M. Kubota, Jéssica Mendes, Edson Mengatto Jr. e Daniel Andrade, pelo auxílio nos trabalhos e discussões realizados na sala 8.

Aos moradores da república 255, que me receberam em Campinas de braços abertos. Às moradoras da Chavascasa, pelos momentos de diversão que passamos juntos.

Aos moradores da república Coyote Parrudo, que me foram companhia e amizade no último semestre do mestrado e que me tiraram, muitas vezes do desgaste da reta final. Em especial ao Henrique Vicente (Funny), meu “parceiro do futuro, na reluzente galáxia”.

A todos os amigos de Lavras e Alfenas, que não citarei nomes, mas com os quais vivi momentos maravilhosos.

À minha irmã Taciany, por ser minha maior companheira desde minha infância.

A todos os meus familiares, em especial aos meus avós e minha madrinha Sônia, pelo apoio e carinho.

Enfim, a todos que participaram deste momento da minha vida, obrigado!

“Vou contar uma história que a natureza retrata
São dois protagonistas da região da Canastra
Ambos chamam Velho Chico com destinos semelhantes
Um é o rio São Francisco; o outro é o saudoso Francisco
De uma família importante

Morador do pé da serra de frente a uma cachoeira
Paz e amor não faltavam junto a sua companheira
Até que uma surpresa chocou o seu coração
Um carro ali parava
Bem equipado estava pra uma demarcação

A sua primeira queda foi fatal
Por ser desapropriado por uma lei federal
Tendo que deixar sua sede, um lindo cartão postal
Um projeto desenhado para ali ser transformado
Em parque nacional
Primeira queda do rio uma queda proporcional
Por toda sua grandeza e seu valor cultural
Uma linda cachoeira por nome Casca d’Anta
Famosa pela estatura
Duzentos metros de altura

Mas o rio Velho Chico aqui ele é pequenino
Que vai correndo para cima é o que aprendi no ensino
O velho Chico Bastiana um dia foi menino
Recebem esta homenagem por esta bela passagem
De cumprir com seu destino.”

NENGO



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS À FRAGILIDADE AMBIENTAL NA
ALTA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO, PARQUE NACIONAL DA SERRA DA
CANASTRA – MG**

RESUMO

Dissertação de Mestrado

CASSIANO GUSTAVO MESSIAS

As paisagens rurais vêm sendo transformadas continuamente pela ocupação humana, principalmente em razão de adaptações técnicas requeridas para o desenvolvimento da agricultura. De maneira geral, estas alterações antrópicas estão diretamente ligadas à utilização dos recursos naturais como insumos da produção agrícola. Os recursos mais impactados por este modo de produção são a vegetação e o solo. Dentre as formas de avaliação do grau de comprometimento da paisagem em razão da exploração agrícola do território é o mapeamento da fragilidade ambiental. Esta pesquisa teve como principal objetivo avaliar os graus de fragilidade ambiental de diferentes áreas do Parque Nacional da Serra da Canastra, situado no sudoeste de Minas Gerais. Criado em 1972, o parque tem como meta principal preservar ecossistemas naturais ainda existentes no bioma do cerrado brasileiro. A metodologia de mapeamento da fragilidade ambiental utilizada neste trabalho baseia-se em cinco variáveis geográficas: índice de vegetação, probabilidade de ocorrência de chuvas intensas, declividades, densidade de estradas e densidade de lineamentos estruturais. Estas variáveis foram processadas em sistemas de informação geográfica, por meio de técnicas de análise espacial, utilizadas para a transformação destas, mapeadas segundo a lógica booleana, em variáveis probabilísticas *fuzzy*. Os mapas *fuzzy* foram combinados por meio de algoritmo baseado em soma ponderada, gerando-se um mapa de fragilidade ambiental do Parque Nacional. Este mapa final foi comparado a mapas de processos erosivos e de movimento de massa, checados em campo, com o objetivo de se atribuir pesos às variáveis ambientais por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov. A metodologia se mostrou eficiente para a identificação e mapeamento de áreas com maior grau de fragilidade no parque, considerando-se a evidência dos processos erosivos e dos movimentos de massa.

Palavras-chave: Parque Nacional da Serra da Canastra, Fragilidade Ambiental, mapeamento de risco, SIG, Teste estatístico Kolmogorov-Smirnov, Análise Espacial.



UNIVERSITY OF CAMPINAS
INSTITUTE OF GEOSCIENCE

**MAPPING OF SUSCEPTIBLE AREAS TO ENVIRONMENTAL FRAGILITY IN THE
UPPER SÃO FRANCISCO RIVER BASIN, NATIONAL PARK OF SERRA DA
CANASTRA - MG**

ABSTRACT
Masters Degree
CASSIANO GUSTAVO MESSIAS

Rural landscapes have been continually transformed by human occupation, mainly due to technical adjustments required for the development of agriculture. In general, these anthropogenic changes are directly linked to the use of natural resources as inputs into agricultural production. The resources most impacted by this mode of production are the vegetation and soil. Among the manners of assessing the degree of landscape vulnerability is the environmental fragility mapping. This research aimed to assess the degree of environmental vulnerability of different areas located within the Serra da Canastra National Park, located in southwestern Minas Gerais. Created in 1972, the park has as main goal to preserve remaining natural ecosystems of the Brazilian Cerrado biome. The methodology for environmental fragility mapping, used in this work, is based on five geographic variables: vegetation index, probability of intense rainfall, slope terrain, roads and structural lineaments densities. These variables, mapped according to the Boolean logic, were processed in a geographic information system through spatial analysis techniques and transformed in fuzzy probabilistic variables. The fuzzy maps were combined by means of algorithm based on a weighted sum, generating the environmental fragility map of the National Park. The estimative of weights values of the five environmental variables was carried out comparing erosion-mass movement maps and the fragility map, using the *D*-value of Kolmogorov-Smirnov test. Considering the evidence of erosion and mass movements, we concluded that the methodology is efficient for the identification and mapping of areas with the high degree of fragility in the park.

Keywords: Serra da Canastra National Park, environmental fragility, risk mapping, GIS, Kolmogorov-Smirnov test, spatial analysis.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xxiii
LISTA DE TABELAS.....	xxvii
LISTA DE QUADROS.....	xxxix
LISTA DE ANEXOS	xxii
APRESENTAÇÃO.....	1
CAPÍTULO 1: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	5
1. INTRODUÇÃO	7
2. HISTÓRICO DO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA	8
3. DINÂMICA POPULACIONAL DOS MUNICÍPIOS QUE COMPÕEM O PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA	12
3.1 Introdução	12
3.2 Material e métodos	12
3.2.1 Material	12
3.2.2 Métodos	13
3.3 Variação populacional entre 1950 e 1980	14
3.4 Variação populacional entre 1980 e 2010	19
3.5 Espacialização populacional por setores censitários em 2010	21
4. CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA DOS MUNICÍPIOS QUE COMPÕEM O PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA	23
4.1 Contextualização	23
4.2 O estado de Minas Gerais	24
4.3 O município de Capitólio	25
4.4 O município de Delfinópolis	26
4.5 O município de Sacramento	27
4.6 O município de São João Batista do Glória	27

4.7 O município de São Roque de Minas	28
4.8 O município de Vargem Bonita	29
5. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA	
CANASTRA	29
5.1 Contextualização	29
5.2 Material e métodos	30
5.2.1 Material	30
5.2.2 Métodos	31
5.2.2.1 Obtenção da drenagem a partir do modelo ASTER GDEM	31
5.2.2.2 Delimitação de bacias hidrográficas	33
5.2.2.3 Produção do Mapa Hipsométrico	33
5.3 Caracterização física do PNSC	34
5.3.1 Fitofisionomias e clima	34
5.3.2 Rede de drenagem	36
5.3.3 Geomorfologia	40
5.3.4 Geologia e pedologia	46
6. ATIVIDADES CONFLITANTES NO PNSC	50
6.1 Contextualização	50
6.1 Incêndios	50
6.2 Mineração	51
6.3 Agropecuária	52
6.4 Turismo pouco estruturado e excesso de vias de circulação	53
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

CAPÍTULO 2: A INFLUÊNCIA DE FATORES NATURAIS E ANTRÓPICOS NA OCORRÊNCIA DE PROCESSOS EROSIVOS E MOVIMENTOS DE MASSA61

1. INTRODUÇÃO	63
2. SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL	64
2.1 Erosão dos solos e movimentos de massa	64
2.2 Fatores naturais e antrópicos que influenciam na ocorrência dos processos	

erosivos e dos movimentos de massa	68
3. MATERIAL E MÉTODOS	71
3.1 Materiais	73
3.2 Metodologia	74
3.2.1 Mapeamento da ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa	74
3.2.2 Mapeamento do índice de vegetação	78
3.2.2.1 Aplicação do modelo estatístico de regressão linear, para o ajuste espectral de imagens de satélite de diferentes datas	79
3.2.2.2 Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI)	82
3.2.3 Mapeamento da declividade	83
3.2.4 Mapeamento da densidade de vias de circulação	85
3.2.4.1 Mapeamento das vias de circulação, utilizando imagens Google Earth	85
3.2.4.2 Densidade de vias de circulação	86
3.2.5 Mapeamento da densidade de lineamentos estruturais	86
3.2.5.1 Obtenção da drenagem a partir do modelo ASTER GDEM	87
3.2.5.2 Obtenção do sombreamento do relevo a partir do modelo ASTER GDEM	87
3.2.5.3 Mapeamento dos lineamentos estruturais	88
3.2.5.4 Densidade de lineamentos estruturais	88
3.2.6 Mapeamento da probabilidade de ocorrências de chuvas intensas	89
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
4.1 Processos erosivos e movimentos de massa	93
4.2 Índice de vegetação	95
4.3 Declividades	99
4.4 Densidade de lineamentos estruturais	102
4.5 Densidade de vias de circulação	104
4.6 Probabilidade de ocorrência de chuvas intensas	106
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

CAPÍTULO 3: MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA, EMPREGANDO-SE TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPACIAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA 117

1. INTRODUÇÃO	119
2. SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL	120
3. JUSTIFICATIVAS PARA A UTILIZAÇÃO DE UMA METODOLOGIA NÃO CONVENCIONAL E À CRIAÇÃO DE UM NOVO MÉTODO	126
4. METODOLOGIA PARA O MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL, EMPREGANDO-SE TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPACIAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA	127
4.1 Atribuição de pesos às variáveis geoambientais	127
4.1.1 Teste estatístico <i>Kolmogorov-Smirnov</i>	127
4.1.2 Aplicação do teste <i>Kolmogorov-Smirnov</i> para a atribuição de pesos às variáveis geoambientais no PNSC	128
4.1.2.1 Contextualização	128
4.1.2.2 Material	129
4.1.2.3 Procedimentos técnicos	130
4.1.2.4 Parâmetros estatísticos	131
4.1.2.5 Considerações referentes aos pesos obtidos	142
4.1.2.6 Normalização dos pesos obtidos	144
4.2 Padronização Fuzzy das variáveis geoambientais	145
4.3 Álgebra dos mapas e obtenção da Fragilidade Ambiental	147
5. RESULTADOS OBTIDOS PELOS MAPEAMENTOS	148
5.1 Contextualização	148
5.2 Fragilidade à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa	149
5.3 Fragilidade Ambiental à ocorrência de ravinas	157
5.4 Fragilidade Ambiental à ocorrência de voçorocas	161
5.5 Fragilidade Ambiental à ocorrência de margens degradadas	164
5.6 Fragilidade Ambiental à ocorrência de escorregamentos	167
5.7 Fragilidade Ambiental à ocorrência de rastejos	170

6. VERDADE TERRESTRE: O RECONHECIMENTO DA ÁREA DE ESTUDO EM	
CAMPO	173
6.1 Contextualização	173
6.2 Preparação de dados e materiais para a execução do trabalho de campo	173
6.3 Execução do trabalho de campo	176
6.4 Pontos reconhecidos em campo	177
6.4.1 Área delimitada pelo PNSC	177
6.4.2 Bacia do Rio São Francisco na zona de amortecimento do PNSC	190
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	195
CONCLUSÃO	199
ANEXOS	205

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização do PNSC em escala estadual, municipal e local	8
Figura 1.2: Áreas regularizadas no PNSC	11
Figura 1.3: Variação populacional dos municípios que compõem o PNSC entre 1950 e 1980	15
Figura 1.4: Área regularizada no Chapadão da Canastra, PNSC e represas formadas por Unidades Hidrelétricas no Rio Grande	17
Figura 1.5: Variação populacional dos municípios que compõem o PNSC entre 1980 e 2010	20
Figura 1.6: Distribuição populacional dos municípios que compõem o PNSC, por setores censitários, no ano de 2010	22
Figura 1.7: Participação dos diferentes setores da economia para o PIB do estado de Minas Gerais	25
Figura 1.8: Participação dos diferentes setores da economia para o PIB municipal de Capitólio	25
Figura 1.9: Participação dos diferentes setores da economia para o PIB municipal de Delfinópolis	26
Figura 1.10: Participação dos diferentes setores da economia para o PIB municipal de Sacramento	27
Figura 1.11: Participação dos diferentes setores da economia para o PIB municipal de São João Batista do Glória	28
Figura 1.12: Participação dos diferentes setores da economia para o PIB municipal de São Roque de Minas	28
Figura 1.13: Participação dos diferentes setores da economia para o PIB municipal de Vargem Bonita	29
Figura 1.14: Sequência de imagens obtidas durante o processo de extração da rede de drenagem a partir dos dados do ASTER GDEM	32
Figura 1.15: Perfis topográficos relacionados à fitofisionomias e o relevo	35
Figura 1.16: Mapa de Rede Hidrográfica do Parque Nacional da Serra da Canastra	37
Figura 1.17: Mapa de bacias e sub-bacias hidrográficas do PNSC	38

Figura 1.18: Unidades morfoesculturais do Brasil, destacando-se a localização do PNSC	41
Figura 1.19: Mapa de Unidades Geomorfológicas do PNSC	43
Figura 1.20: Mapa altimétrico do PNSC.....	45
Figura 1.21: Mapa Geológico do PNSC	48
Figura 1.22: Mapa de solos do PNSC	49
Figura 1.23: Pontos de exploração de quartzito identificados no a SE do Chapadão da Babilônia	52
Figura 1.24: Vias de circulação no PNSC	54
Figura 2.1: Fluxograma do desenvolvimento do capítulo 2 da pesquisa	72
Figura 2.2: Visualização da mesma cena, segundo dois pontos de vista, seguindo as grades nos sentidos sul-norte (esquerda) e norte-sul (direita)	77
Figura 2.3: Diferentes cenas do satélite Landsat 5 TM, banda 3, utilizadas na pesquisa	78
Figura 2.4: Delimitação de um polígono amostral de níveis de cinza nas cenas X e Y, utilizando a banda 3 do Landsat 5 TM, a partir da ferramenta ROI (<i>Region of Interest</i>), para ajuste espectral entre imagens de datas distintas	79
Figura 2.5: Figura 10: Reta de regressão e equação de regressão linear, para a banda 3, entre as cenas X (220/74, de 18/08/2011) e Y (219/74, de 24/08/2011).....	80
Figura 2.6: Recorte de uma área nas cenas de X (220/74, de 18/08/2011) e Y (219/74, de 24/08/2011), da banda 3 do satélite Landsat 5 ETM, após o ajuste espectral da cena X	81
Figura 2.7: Curvas de comportamento espectral de alvos na superfície terrestre no visível, infravermelho próximo e infravermelho médio	82
Figura 2.8: Parte da cena do Modelo Digital de Elevação ASTER, o qual foi utilizado na obtenção do mapa de declividades	84
Figura 2.9: funcionamento do estimador de intensidades Kernel	86
Figura 2.10: Sombreamentos do relevo do PNSC, gerados a partir do modelo ASTER GDEM	87
Figura 2.11: Interpretação visual dos lineamentos estruturais, utilizando como bases cartográficas a drenagem e o sombreamento do relevo, extraídos do ASTER GDEM	88
Figura 2.12: Distribuição espacial dos postos meteorológicos utilizados na interpolação	92

Figura 2.13: Localização dos processos erosivos e movimentos de massa mapeados na área do PNSC	94
Figura 2.14: Mapa do índice de vegetação do PNSC	96
Figura 2.15: Fisionomia de diferentes tipos de cobertura vegetal no PNSC	98
Figura 2.16: Área de pasto sujo no PNSC, antes e após a ocorrência de queimadas	99
Figura 2.17: Mapa de declividades do PNSC	100
Figura 2.18: Recorte do setor noroeste da área de estudo, permitindo-nos inferir que há relação direta entre falhas estruturais e as maiores declividades	101
Figura 2.19: Ao fundo a borda do Chapadão da Canastra – alta declividade, logo abaixo o depósito de tálus – média declividade e, mais à frente, a evolução de uma voçoroca, em área de baixo declive	102
Figura 2.20: Mapa da densidade de lineamentos estruturais do PNSC	103
Figura 2.21: Mapa de densidade de vias de circulação do PNSC	105
Figura 2.22: Mapa de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas do PNSC	107
Figura 2.23: Mapa de localização das represas de Mascarenhas de Moraes e Furnas	109
Figura 3.1: Conversão do arquivo matricial em vetorial, da variável declividades	130
Figura 3.2: Procedimentos para o recorte de processos por classes, utilizando como exemplo a variável NDVI	131
Figura 3.3: Exemplo de uma ocorrência esperada – distribuição normal	132
Figura 3.4: Exemplo de uma ocorrência observada – distribuição não-normal	133
Figura 3.5: Mapas com legenda apresentadas em valores fuzzy e gráficos de funções de Pertinência	146
Figura 3.6: Mapas com legenda apresentadas em valores fuzzy invertidos e gráficos de funções de pertinência	147
Figura 3.7: Fragilidade à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa no PNSC	151
Figura 3.8: Fragilidade à ocorrência de ravinas no PNSC	160
Figura 3.9: Fragilidade à ocorrência de voçorocas no PNSC	163
Figura 3.10: Fragilidade à ocorrência de margens degradadas no PNSC	166
Figura 3.11: Fragilidade à ocorrência de escorregamentos no PNSC	169
Figura 3.12: Fragilidade à ocorrência de rastejos no PNSC	172

Figura 3.13: pontos pré-selecionados para a execução do trabalho de campo	175
Figura 3.14: visualização dos processos observados no ponto 1 em campo	177
Figura 3.15: visualização dos processos observados no ponto 2 em campo	178
Figura 3.16: visualização dos processos observados no ponto 3 em campo	179
Figura 3.17: visualização dos processos observados no ponto 4 em campo	180
Figura 3.18: visualização dos processos observados no ponto 5 em campo	181
Figura 3.19: visualização dos processos observados no ponto 6 em campo	182
Figura 3.20: visualização dos processos observados no ponto 7 em campo	183
Figura 3.21: visualização dos processos observados no ponto 8 em campo	184
Figura 3.22: visualização dos processos observados no ponto 9 em campo	185
Figura 3.23: visualização dos processos observados no ponto 10 em campo	186
Figura 3.24: visualização dos processos observados no ponto 11 em campo	187
Figura 3.25: visualização dos processos observados no ponto 12 em campo	188
Figura 3.26: visualização dos processos observados no ponto 13 em campo	189
Figura 3.27: visualização dos processos observados no ponto 14 em campo	190
Figura 3.28: visualização dos processos observados no ponto 15 em campo	192
Figura 3.29: visualização dos processos observados no ponto 16 em campo	193
Figura 3.30: visualização dos processos observados no ponto 17 em campo	194

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Materiais Cartográficos e produtos de Sensoriamento Remoto utilizados na caracterização da dinâmica populacional	13
Tabela 1.2: Áreas perdidas pelos municípios entre 1950 e 1980	16
Tabela 1.3: Materiais Cartográficos e produtos de Sensoriamento Remoto utilizados na caracterização física	30
Tabela 2.1: Relação entre intensidade de chuvas e perda de solos	70
Tabela 2.2: Materiais cartográficos utilizados	73
Tabela 2.3: Postos pluviométricos utilizados para a aquisição de dados meteorológicos	74
Tabela 2.4: Dados referentes à chuva acumulada máxima em um dia, convertidos para chuva acumulada máxima em 24 horas, pelo modelo de desagregação de chuvas diárias	90
Tabela 2.5: Valores de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas, nas diferentes estações pluviométricas	91
Tabela 3.1: Valores críticos para o teste <i>Kolmogorov-Smirnov</i>	127
Tabela 3.2: Produtos cartográficos utilizados na obtenção de pesos	129
Tabela 3.3 - Ocorrências observada e esperada de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de NDVI	133
Tabela 3.4- Ocorrências observada e esperada de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de Declividade	134
Tabela 3.5 - Ocorrências observada e esperada de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de densidade de lineamentos estruturais	134
Tabela 3.6 - Ocorrências observada e esperada de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de densidade de vias de circulação	134
Tabela 3.7 - Ocorrências observada e esperada de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de POCI	135
Tabela 3.8 – Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à variável índice de vegetação	137
Tabela 3.9 – Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à variável Declividade	138
Tabela 3.10 – Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à	

variável densidade de lineamentos estruturais	139
Tabela 3.11 – Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à	
variável densidade de vias de circulação	140
Tabela 3.12 – Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à	
variável POCI	141
Tabela 3.13: Pesos das variáveis geoambientais influenciadoras, obtidas pelo teste	
Kolmogorov-Smirnov	142
Tabela 3.14: Normalização dos pesos das variáveis geoambientais	145
Tabela 3.15: Síntese das relações entre o grau de fragilidade e as demais características das	
bacias hidrográficas do PNSC	152
Tabela 3.16: Materiais cartográficos utilizados na execução do trabalho de campo	174

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1: Chave de interpretação para a identificação de processos erosivos, em imagens disponíveis no Google Earth / Spot	75
Quadro 2.2: Chaves de interpretação para a identificação de vias em imagens Google Earth / Spot	85
Quadro 3.1: Escala de Vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas	123

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Valores amostrados para as bandas 3 e 4 do satélite, em áreas comuns a duas diferentes cenas, para ajusta-las espectralmente utilizando regressão linear	205
Anexo 2: Amostragem da banda 3, mostrando os valores X e Y iniciais e o valor de X após a aplicação da regressão linear, para o ajuste espectral	207
Anexo 3: Amostragem da banda 4, mostrando os valores X e Y iniciais e o valor de X após a aplicação da regressão linear, para o ajuste espectral	209
Anexo 4: CD contendo os mapas os mapas apresentados, em imagens de alta resolução	211

APRESENTAÇÃO

Os solos estão em frequente dinâmica e são desgastados constantemente por fatores hídricos e eólicos. Com o passar dos milênios, as partículas se moveram de um local ao outro, transformando a paisagem. Entretanto, a partir do momento em que o homem passou a interferir no processo natural, a erosão passou a ser causada pelo uso indiscriminado dos solos (SEIXAS, 1985):

“Destruindo o manto vegetal e sulcando a terra com máquinas rudimentares, os agricultores de então aceleram de maneira espantosa a erosão das terras cultivadas [...]. A monocultura tomou de assalto as terras agricultáveis sem nenhuma restituição de nutrientes ou mecânico, que pelo menos amenizasse a devastação” (SEIXAS, 1985, p. 47).

Ross (1994, p. 63) corrobora com Seixas (1985) ao alegar que “[...] os ambientes naturais mostram-se ou mostravam-se em estado de equilíbrio dinâmico até o momento em que as sociedades humanas passaram progressivamente a intervir cada vez mais intensamente na exploração dos recursos naturais”. Neste sentido, Crepani *et al.* (2001, p. 15) inferem que a atuação do homem sobre o meio ambiente, sem o prévio conhecimento do equilíbrio dinâmico existente entre os diversos componentes que permitiram a “construção” das diferentes unidades de paisagem natural, pode levar a situações desastrosas do ponto de vista ecológico e econômico. Pode-se então afirmar que a ação antrópica tem transformado os ambientes naturais em razão dos modelos de consumo atuais, não o utilizando como sistema que garante a sua sobrevivência, mas, principalmente, como recurso natural com finalidades financeiras.

Este cenário de modificações e desequilíbrios ambientais no Brasil levou à necessidade da criação de Unidades de Conservação, baseando-se na concepção de áreas protegidas, construída no século XIX nos Estados Unidos. Parte-se da ideia de que é inevitável a alteração e domesticação da biosfera, sendo necessária a conservação de alguns espaços naturais em seu estado originário (ARRUDA, 1999). O primeiro Código Florestal Brasileiro foi instituído durante o governo Vargas, por meio do Decreto nº 23.793/1934. Ademais, o ano de 1937 marca a criação da primeira Unidade de Conservação brasileira, o Parque Nacional do Itatiaia, no Rio de Janeiro (ARAÚJO, 2007).

A legislação brasileira mais atual, que normatiza Unidades de Conservação – UCs, é intitulada Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC, Lei nº 9.985, de 18 de julho

de 2000. Segundo a lei, os objetivos primordiais das Unidades de Conservação são: contribuir para a manutenção da diversidade biológica e dos recursos genéticos, preservar a diversidade, proteger paisagens naturais, recursos hídricos e espécies ameaçadas de extinção.

De acordo com Brasil (2000), Capítulo III, Art. 11, a categoria Parque Nacional se configura como Unidade de Conservação Integral e tem como objetivos: preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação, interpretação ambiental, recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico.

Apesar de o SNUC ser uma legislação recente, o Parque Nacional da Serra da Canastra – PNSC, foi criado em 1972, pelo decreto nº 70.355, de 3 de abril. Localizado no sudoeste do estado de Minas Gerais, o parque abrange os municípios de São Roque de Minas, Sacramento, Delfinópolis, São João Batista da Glória, Capitólio e Vargem Bonita. A área do total parque é de aproximadamente 200.000ha, mas apenas 82.000ha se encontram devidamente regularizados, sob domínio público.

Possuindo grande importância ambiental, o PNSC apresenta extensa rede de drenagem, havendo inúmeras nascentes, sendo as principais delas, a histórica do Rio São Francisco e a do Rio Araguari – este, tributário do Rio Paraná. Grande parte do parque está ocupada por campos limpos, utilizadas para a pecuária extensiva, que pouco contribuem para a proteção do solo. Estas áreas, juntamente àquelas cobertas por vegetação campestre, estão, em geral, associadas a solos ácidos e mal drenados. As matas, por sua vez, ocupam pequenas extensões e estão fragmentadas ou associadas a cursos d'água (IBDF,1981). Nos limites do parque há grande incidência de queimadas, desencadeadas por fatores naturais e antrópicos (MEDEIROS E FIEDLER, 2004).

Verifica-se, mesmo nas áreas com declividade menor, a ocorrência de erosão intensa. Ao longo das estradas localizadas no PNSC são observados processos erosivos que chegam a provocar sulcos, valas e voçorocas de grandes proporções. Mesmo assim, observam-se no interior do parque supressão da vegetação nativa, atividades turísticas sem planejamento, atividades agropecuárias, manejo inadequado do solo, excesso de estradas e exploração de quartzito e diamante (MMA/IBAMA, 2005).

Além disso, são atualmente executadas as obras referentes à transposição do Rio São Francisco. Segundo o Comitê de Bacias Hidrográficas do rio São Francisco (2004), tal empreendimento tem como objetivo garantir o fornecimento de água para atuais e futuros

usuários, considerando a retirada de vazão para uso externo. Conforme Brasil (2004), “para beneficiar a região mais seca do País, a captação de água do rio São Francisco será de 3,5% da sua vazão disponível [...]”, ou seja, serão retirados 63,5m³/s dos 1850m³/s de água, que serão transpostos para as bacias do Jaguaribe, Apodi, Piranhas-Açu e Paraíba e ao estado de Pernambuco. Desta forma, é de grande importância a conservação do parque, visto que em seu perímetro estão localizadas suas principais nascentes, responsáveis pela qualidade e perenidade hídrica do rio São Francisco.

O trabalho em questão tem como objetivo geral mapear, a partir de modelos de análise espacial e sistemas de informação geográfica (SIG), as áreas situadas no PNSC que apresentam diferentes graus de fragilidade em seus ambientes naturais. Para isto, foram delimitados alguns objetivos específicos, tais como:

- a) Espacializar informações físicas – naturais e antrópicas, da área estudada, a partir da elaboração de mapas temáticos, que contem as seguintes informações: índice de vegetação, hipsometria, declividades, probabilidade de ocorrência de chuvas intensas, lineamentos e vias.
- b) Adaptar uma metodologia para a análise de fragilidade ambiental na área, baseada em técnicas de análise espacial, considerando-se a indisponibilidade de determinados documentos cartográficos.
- c) Aplicar o teste estatístico Kolmogorov-Smirnov, para a obtenção de pesos para diferentes variáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, M.A.R. Unidades de Conservação no Brasil: da república à gestão de classe mundial. Belo Horizonte: SEGRAC, 2007. 272 p.

ARRUDA, R. “Populações Tradicionais” e a proteção dos recursos naturais em Unidades de Conservação. *In.: Ambiente e Sociedade*, ano II, n° 5, 1999.

BRASIL. Lei no 4.771, de 15 de novembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro. Não substitui o publicado no D.O.U. de 16 de setembro 1965.

BRASIL. Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000. SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Publicado no D.O.U. de 19 de julho de 2000.

BRASIL. Medida provisória 542, de 12 de agosto de 2011. Publicada no DSF em 24/08/2011

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. Deliberação CBHSF N° 28, de outubro de 2004, Bahia, 2004.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; FILHO, P.H.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. *In.: Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial*. São José dos Campos: INPE, 2001. 124 p.

IBDF. Plano de manejo do Parque Nacional da Serra da Canastra. Brasília: 1981.

MEDEIROS, M. B. M.; FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no parque nacional da serra da canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 14, n. 2, 2004.

MMA; IBAMA. Plano de Manejo: Parque Nacional da Serra da Canastra. Brasília: 2005.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. *In: Revista do Departamento de Geografia, n°8, FFLCH-USP*, São Paulo, 1994.

SEIXAS, B. L. S. Fundamentos do Manejo e da Conservação do Solo. Salvador: Centro Editorial e Didático da UFBA, 1985. 275p.

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

1. INTRODUÇÃO

As Unidades de Conservação são regulamentadas pela Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000, intitulada Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC. Nela, são atribuídos dois diferentes grupos: Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável. A categoria Parque Nacional se configura como Unidade de Conservação Integral, que tem como objetivo a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, havendo a possibilidade da realização de pesquisas científicas, atividades educacionais e turismo ecológico. Contudo, as áreas particulares devem ser desapropriadas, ficando sob a posse do domínio público (BRASIL, 2000).

O Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC) se configura como importante UC brasileira. Sua relevância está relacionada à grande beleza cênica da região, preservação e diversidade de fauna e flora do cerrado e presença de nascentes de importantes rios. Ao mesmo tempo, a preservação do parque está ameaçada por inúmeros problemas ambientais e atividades conflitantes, como ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa, queimadas frequentes, mineração e não regularização de extensas áreas, nas quais são desenvolvidas diferentes atividades econômicas, tais como agricultura, pecuária, silvicultura e mineração (MMA/IBAMA, 2005).

Localizado a sudoeste do estado Minas Gerais, Brasil, o PNSC está inserido nos municípios de São Roque de Minas, Sacramento, Delfinópolis, São João Batista da Glória, Capitólio e Vargem Bonita (Figura 1.1). Englobando uma superfície de 197.787ha, pode-se compartimentar o parque em duas grandes áreas: Chapadão da Canastra e Chapadão da Babilônia.

Apresentar-se-á, neste capítulo, a caracterização da área de estudo, descrevendo-se aspectos econômicos, demográficos, físicos e atividades conflitantes que ocorrem na região que compõe o PNSC.

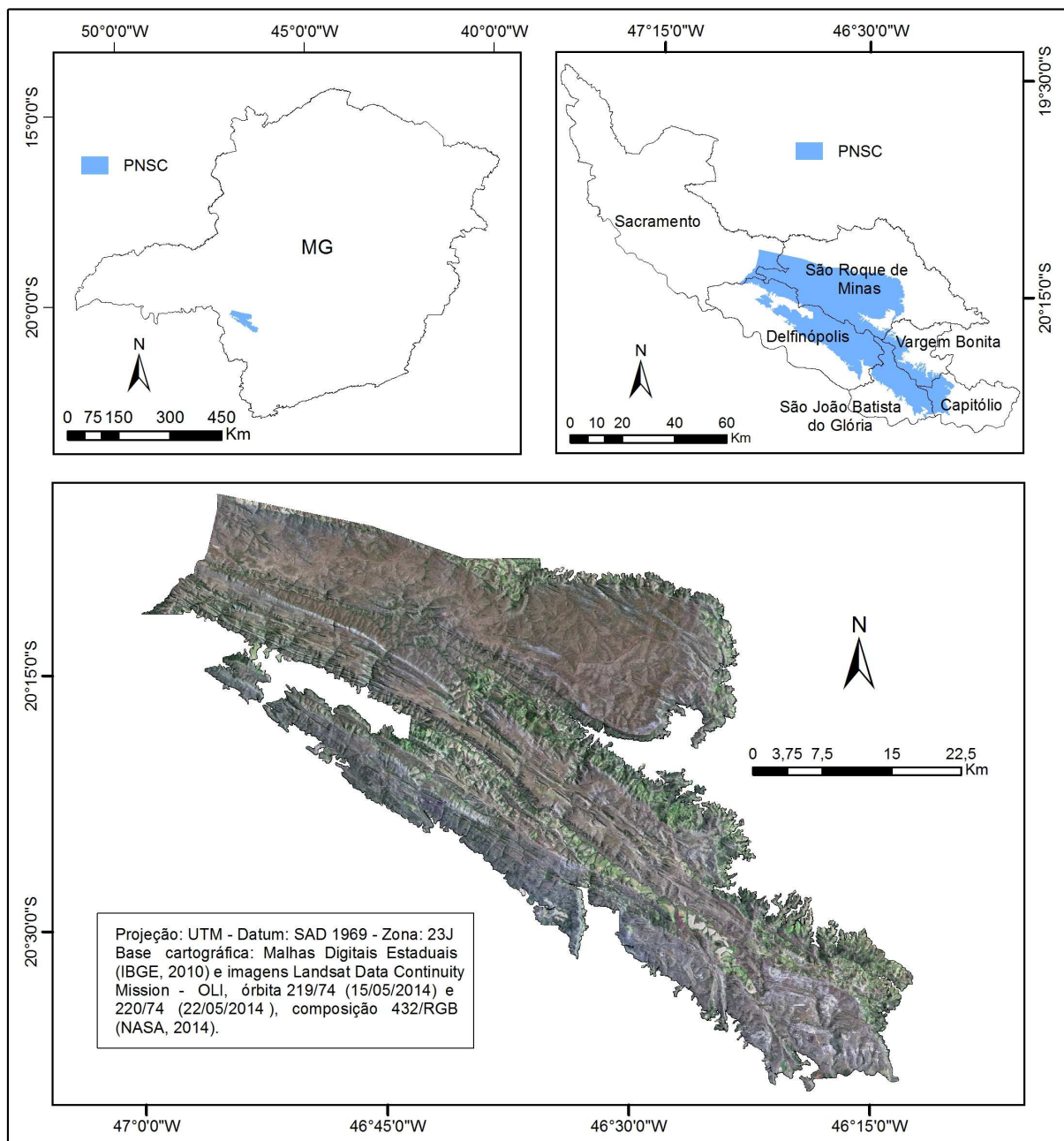


Figura 1.1: Localização da área de estudo em escala estadual, municipal e local

2. HISTÓRICO DO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA

Antes dos bandeirantes e naturalistas chegarem à Serra da Canastra, a região era habitada por índios. A dizimação destes índios iniciou no ano de 1675, pelos bandeirantes, assim como ocorreu em vários locais do país. Posteriormente, as terras foram ocupadas por negros fugitivos de fazendas das redondezas, os quais criaram quilombos, sendo o mais famoso deles, Pai Inácio,

tão grande quanto o de Palmares. Estes negros viviam da agricultura, da pesca e da caça e resistiram ali até meados do século XVIII, quando os quilombolas foram aniquilados em uma batalha sangrenta (BIZZERIL *et. al.*, 2008).

A Serra da Canastra foi então, palco de intensas disputas até segunda metade do século XVIII. O local ganhou importância econômica e política a partir da abertura de novos caminhos para as minas goianas, quando o Estado incentivou a colonização do interior do país, através da concessão de terras e incentivos na atividade agropecuária (BARBOSA, 2007). Começaram a surgir povoados, como São Roque de Minas, onde em 1762 foi construída uma capela em homenagem a São Roque (BIZZERIL *et. al.*, 2008).

A região passou a ser também de interesse de naturalistas, como o francês Auguste de Saint-Hilaire, que em 1819 percorreu a região, a fim de conhecer a nascente do rio São Francisco e documentou o que foi observado. O viajante descreveu a queda da cachoeira Casca d'Anta, assim como as belezas observadas, como as paisagens naturais, as rochas que afloram à superfície e o relevo (CHAVES *et. al.*, 2009).

No século seguinte, a preocupação ambiental com o rio São Francisco entrou em discussão. O decreto-lei nº 1.207, de 7 de fevereiro de 1972, criou o Programa Especial para o Vale do São Francisco – PROVALE. O Art. 2º, alínea “e”, previa a proteção das nascentes do Rio São Francisco, assim como da bacia, mediante a implantação de projetos de reflorestamento e de criação de Parques Nacionais (BRASIL, 1972b).

A criação do PNSC ocorreu com a promulgação do decreto nº 70.355, de 3 de abril de 1972, pelo governo do militar Emílio Médici. Sob a administração e jurisdição do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal do Ministério da Agricultura – IBDF, delimitou-se uma área de 197.797,05ha. O decreto previa no artigo 4º, que poderiam ser excluídas terras de alto valor agricultável, desde que não afetassem as características ecológicas. As desapropriações ficaram sob a responsabilidade do Ministério da Agricultura (BRASIL, 1972a).

Em 1974, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA passou a ficar responsável pelas desapropriações. O Decreto nº 74.447 declarou de interesse social, uma área de 105.185,5ha dos municípios de Vargem Bonita, Sacramento e São Roque de Minas (BRASIL, 1974). Em 1977 foi feito um levantamento e delimitação topográfica da área, estabelecendo apenas os 71.525ha do Chapadão da Canastra. Isto porque, por problemas de regularização

fundiária, dificuldade de acesso e fiscalização, foi necessário excluir as áreas do Chapadão da Babilônia (MMA/IBAMA, 2005).

No ano de 1981, o IBDF elaborou e publicou o primeiro plano de manejo no PNSC. Como naquele momento apenas o Chapadão da Canastra se definia como área regularizada, o documento contempla apenas este local. No entanto, o documento ressalta que “com relação à situação atual do parque, os Decretos nº 70.355 de 03/04/1972 e nº 70.447 de 21/08/1972 encontram-se bastante desatualizados, necessitando de reformulação sobretudo no que diz respeito aos limites e a superfície” (IBDF, 1981).

Por sua vez, no ano de 2005, o Ministério do Meio Ambiente – MMA e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, publicaram um novo plano de manejo. Este documento, ao contrário do primeiro, considerou a área original do decreto de criação do parque, do qual a regularização de aproximadamente 130.000ha nunca foi efetivada (MMA/IBAMA, 2005).

A partir da publicação do novo plano de manejo, iniciou-se um processo de notificação aos órgãos públicos federais, estaduais e municipais, para as pessoas físicas e jurídicas, residentes nas áreas não regularizadas. Passou-se a dificultar ou impedir a continuidade das atividades econômicas desenvolvidas na região. Por este, entre outros motivos, deputados propuseram a criação de uma Área de Proteção Ambiental – APA Serra da Canastra, na qual poderiam ser desenvolvidas atividades econômicas. Esta redução seria de 47.516,7ha, dos 197.797,05ha do Parque Nacional (MELLES *et. al.*, 2007a; MELLES *et. al.*, 2007b).

No ano de 2013 foi apresentada uma nova proposta, visando a rejeição do Projeto de Lei da Câmara, nº 147, de 2010 e aprovação do Projeto de Lei da Câmara, nº 147, de 2010, com uma emenda substitutiva. A partir da votação deste documento, propõe-se criar o Monumento Natural dos Vales da Canastra, ao invés da APA. Desta forma, conservar-se-ão os remanescentes de cerrado e áreas de beleza cênica, resguardando ao mesmo tempo o modo de produção tradicional e permitindo atividades agrícolas e agropastoris e turismo rural (ROLLEMBERG, 2013).

Conforme relatos e dados de GPS cedidos por analistas ambientais do parque, tem-se hoje, aproximadamente, 82.000ha de áreas regularizadas. Estas áreas estão localizadas especialmente no Chapadão da Canastra, onde o processo de regularização ocorreu já na época de criação do parque. No entanto, há áreas regularizadas fragmentadas pelo Chapadão da Babilônia, as quais foram desapropriadas ou doadas para compensação de reserva legal (Figura 1.2).

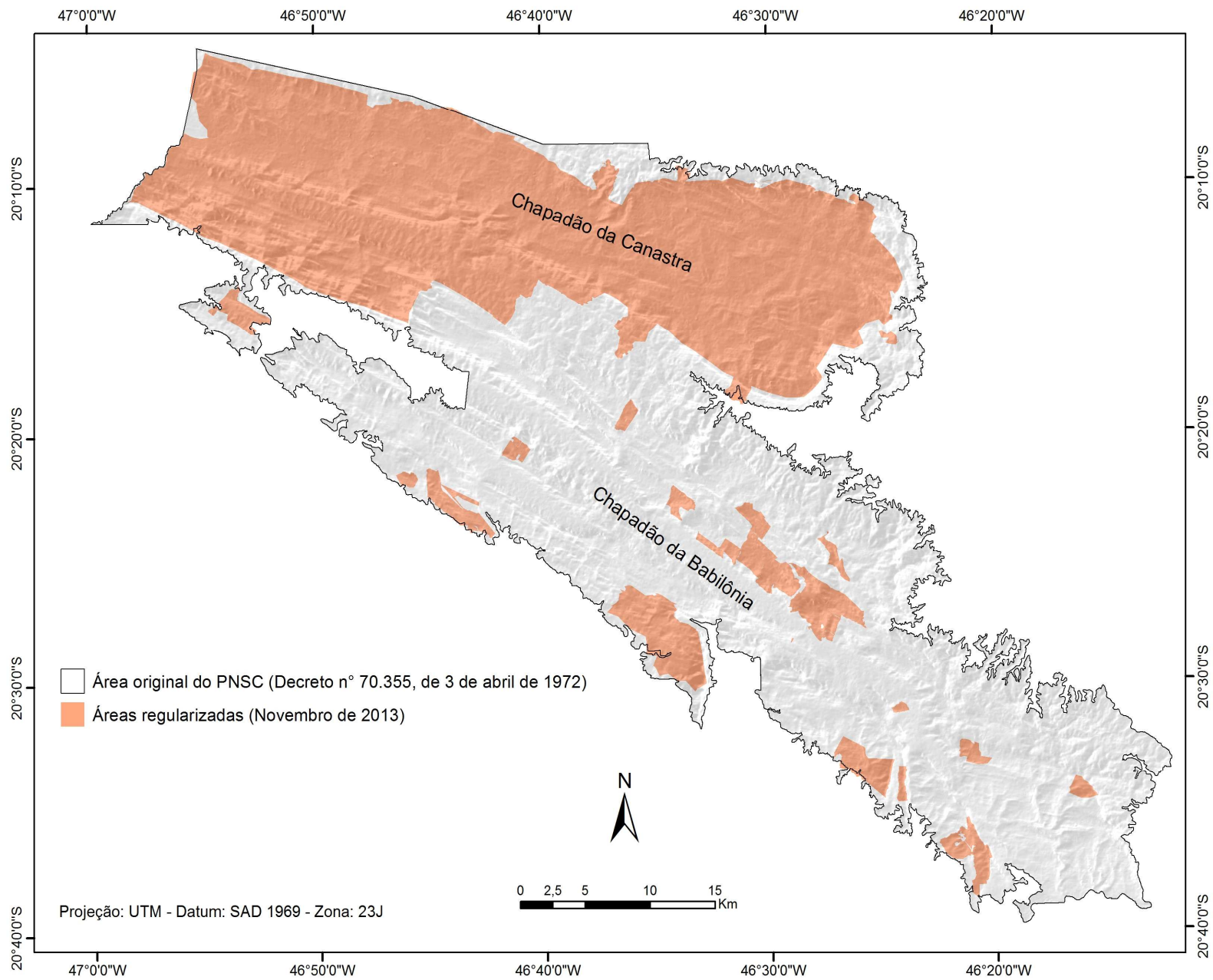


Figura 1.2: Áreas regularizadas no PNSC. Base cartográfica: arquivo em formato GTM, cedido pelo PNSC (2013).

3. DINÂMICA POPULACIONAL DOS MUNICÍPIOS QUE COMPÕEM O PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA

3.1 Contextualização

A categoria Parque Nacional - PN, como Unidade de Conservação Integral, possibilita a realização de pesquisas científicas, atividades educacionais e turismo ecológico. Contudo, deve ser feita a desapropriação das áreas particulares, as quais devem ficar sob a posse do domínio público (BRASIL, 2000).

Este é um dos pontos críticos da criação de áreas naturais protegidas, visto que as populações tradicionais enxergam as desapropriações como usurpação do direito sagrado às terras onde viveram seus antepassados. Isto leva situações de conflito entre a proteção e população, como por exemplo, a realocação da população residente e a continuidade da exploração dos recursos naturais de forma ilegal (DIEGUES, 2000).

Desta maneira, ao se criarem PN ou outras áreas de uso restrito, os municípios passam por alterações demográficas, devido à emigração populacional nas áreas afetadas. Serão analisadas neste tópico, alterações populacionais ocorridas nos municípios os quais compõem o PNSC. Para este fim, trabalharam-se as variações na dinâmica populacional entre os anos de 1950 e 2010, o que possibilitou a avaliação dos impactos da criação do parque e de hidrelétricas instaladas no rio Grande, com relação ao volume populacional.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Material

Efetuuou-se, primeiramente, um levantamento de dados demográficos do Brasil, nos quais foram analisadas as características e taxas médias populacionais de diferentes épocas. Em seguida, extraíram-se dados de população total dos municípios que abrangem o PNSC, pelo Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Já os dados agregados por setores censitários foram obtidos no banco de dados estatísticos, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas – IBGE. Além disso, para a construção dos mapas temáticos, utilizaram-se materiais Cartográficos e produtos de Sensoriamento Remoto (Tabela 1.1) e realizaram-se os procedimentos operacionais no software ArcMap 10.1.

Tabela 1.1: Materiais Cartográficos e produtos de Sensoriamento Remoto utilizados na caracterização da dinâmica populacional

Fonte dos Dados Espaciais	Órbita	Resolução / Escala	Data	Executor
Imagens Landsat TM5	219/74	30m	24/08/2011	NASA
Bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7	220/74		18/08/2011	
Arquivo vetorial contendo a delimitação do PNSC	-	-	2012	ICMBio
Arquivo vetorial contendo os setores censitários do estado de Minas Gerais	-	-	2010	IBGE

3.2.2 Métodos

Os dados de população total por município, dos anos 1950, 1980 e 2010, foram tabulados no software BrOffice 3.2, verificando-se que, no ano de 1950, os municípios de São Roque de Minas e Vargem Bonita constituíam apenas um município, Guia Lopes. Por este motivo, para estes municípios, agregaram-se os dados censitários das décadas seguintes e uniram-se seus polígonos na base cartográfica, em um só.

O recorte dos reservatórios das Unidades Hidrelétricas foi extraído de imagens Landsat TM5, através da separação desta geofície na banda 4, pelo ArcGis 10. No mesmo software, criaram-se os mapas de variação populacional entre 1950 e 2010, classificando-os por *intervalos iguais* em 6 classes. Já no mapa de população por setores censitários do ano de 2010, utilizou-se o classificador automático *quebras naturais*. Os gráficos, por sua vez, foram produzidos no BrOffice 3.2, pelo *assistente de gráfico*.

Os valores de área foram obtidos de diferentes formas, de acordo com a disponibilidade de dados e materiais. As áreas municipais foram encontradas em fontes oficiais do censo de 2010 (IBGE, 2010a). Já as áreas ocupadas pela parte regularizada do parque e pelas represas em cada município, foram calculadas através de seus *shapes* georreferenciados, aplicando a função *calculate geometry*, do ArcGis 10. Deve-se ressaltar que o valor de área alagada corresponde ao mês de agosto de 2011, sendo que este valor é variável, conforme a época do ano.

Por fim, as taxas de variação populacional, as quais mostram quanto houve de aumento ou queda no número de habitantes entre diferentes datas, foram calculadas aplicando a diferença entre população final e inicial, pela razão da população inicial, multiplicada por cem:

$$\text{Taxa de variação} = \frac{(\text{População Final} - \text{População Inicial})}{\text{População Inicial}} \times 100 \quad [\text{Eq. 1.1}]$$

3.3 Variação populacional entre 1950 e 1980

Na primeira metade do século XX, os municípios de Capitólio, Delfinópolis, São João Batista do Glória, Sacramento e Guia Lopes, dedicavam-se economicamente ao cultivo de cana-de-açúcar, pecuária e produção de laticínios. Estas pequenas cidades se caracterizavam pela produção familiar e uma população predominantemente rural (MMA/IBAMA, 2005). No ano de 1950, observavam-se contingentes populacionais que variavam entre 5017 habitantes, no município de São João Batista do Glória, a 20485, em Sacramento (IBGE, 1956).

A segunda metade do século XX foi de grandes transformações no Brasil, inclusive no âmbito demográfico. Entre o período de 1950 e 1980, o estado de Minas Gerais, apresentou crescimento populacional de 7.717.792 para 13.380.105 habitantes (IBGE, 1956; 1980), relacionada a uma taxa de variação demográfica significativa de 73,36%. No entanto, observa-se que, os municípios estudados, apresentaram particularidades com relação às variações demográficas no período em questão. Entre 1950 e 1980, houve um encolhimento populacional na região da Serra da Canastra, dissemelhante à tendência demográfica mineira (Figura 1.3).

Nos municípios de São João Batista do Glória e Sacramento, observaram-se as menores quedas, inferiores a 9%. Por outro lado, os municípios restantes atingiram valores superiores a 23%, chegando a 35% em Capitólio. Este encolhimento populacional, em diferentes proporções, relaciona-se às transformações espaciais no território, tais como a criação do Parque Nacional da Serra da Canastra e a construção de Unidades Hidrelétricas no Rio Grande.

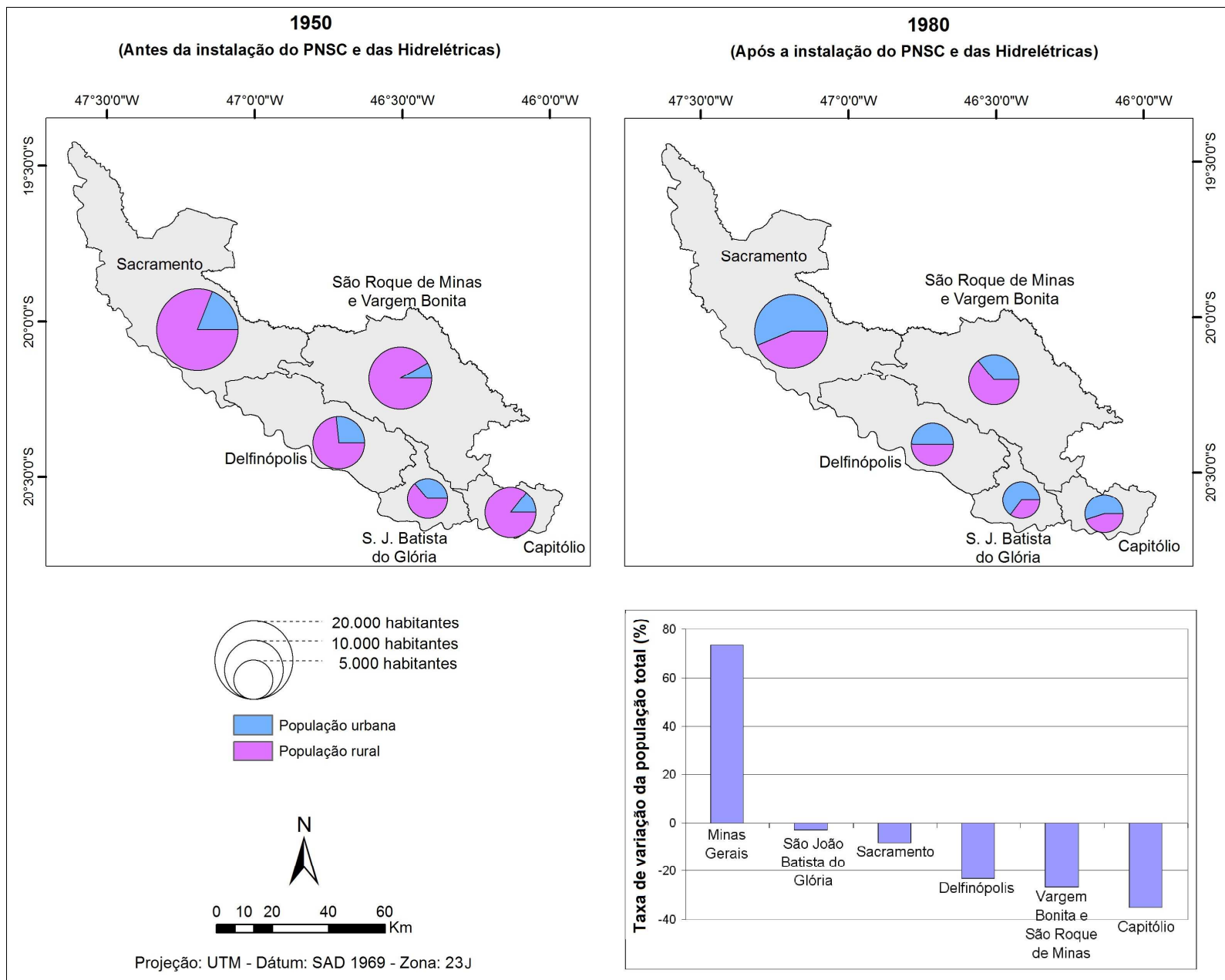


Figura 1.3: Variação populacional dos municípios que compõem o PNSC entre 1950 e 1980.

O PNSC, apesar de abranger áreas dos municípios citados, compreendeu, na época de sua criação, a regularização de 71.525ha. Estas áreas se localizavam nos municípios de Sacramento, Vargem Bonita e São Roque de Minas (Figura 1.4).

Ademais, no terceiro quarto do século XX, foram instaladas quatro Unidades Hidrelétricas na região, as quais resultaram na emigração populacional e na perda de terras agricultáveis em alguns municípios. A Hidrelétrica de Mascarenhas de Moraes, que entrou em operação no ano de 1957, alagou parte dos municípios de Delfinópolis e São João Batista do Glória; Furnas, a qual iniciou suas operações em 1963, atingiu Capitólio e São João Batista do Glória; Luiz Carlos Barreto de Carvalho, inaugurada no ano de 1969, ocupou áreas de Sacramento; Jaguará, cujas operações iniciaram em 1971, inundou partes do município de Sacramento.

É possível verificar então, uma relação direta quanto ao decréscimo populacional, entre as décadas de 1950 e 1980, e as transformações espaciais ocorridas nos municípios que compõem o PNSC. Os percentuais alagados e ocupados pela área regularizada do parque nos levam a avaliar quantitativamente as áreas perdidas, nas quais houve emigração populacional, gerando o encolhimento demográfico dos municípios (Tabela 1.2).

Tabela 1.2: Áreas perdidas pelos municípios entre 1950 e 1980

Município	Percentual alagado	Percentual ocupado pela área regularizada
Capitólio	9,21	0
Delfinópolis	9,88	0
Vargem Bonita e São Roque	0	22,84
Sacramento	1,53	2,31
São João Batista do Glória	1,66	0

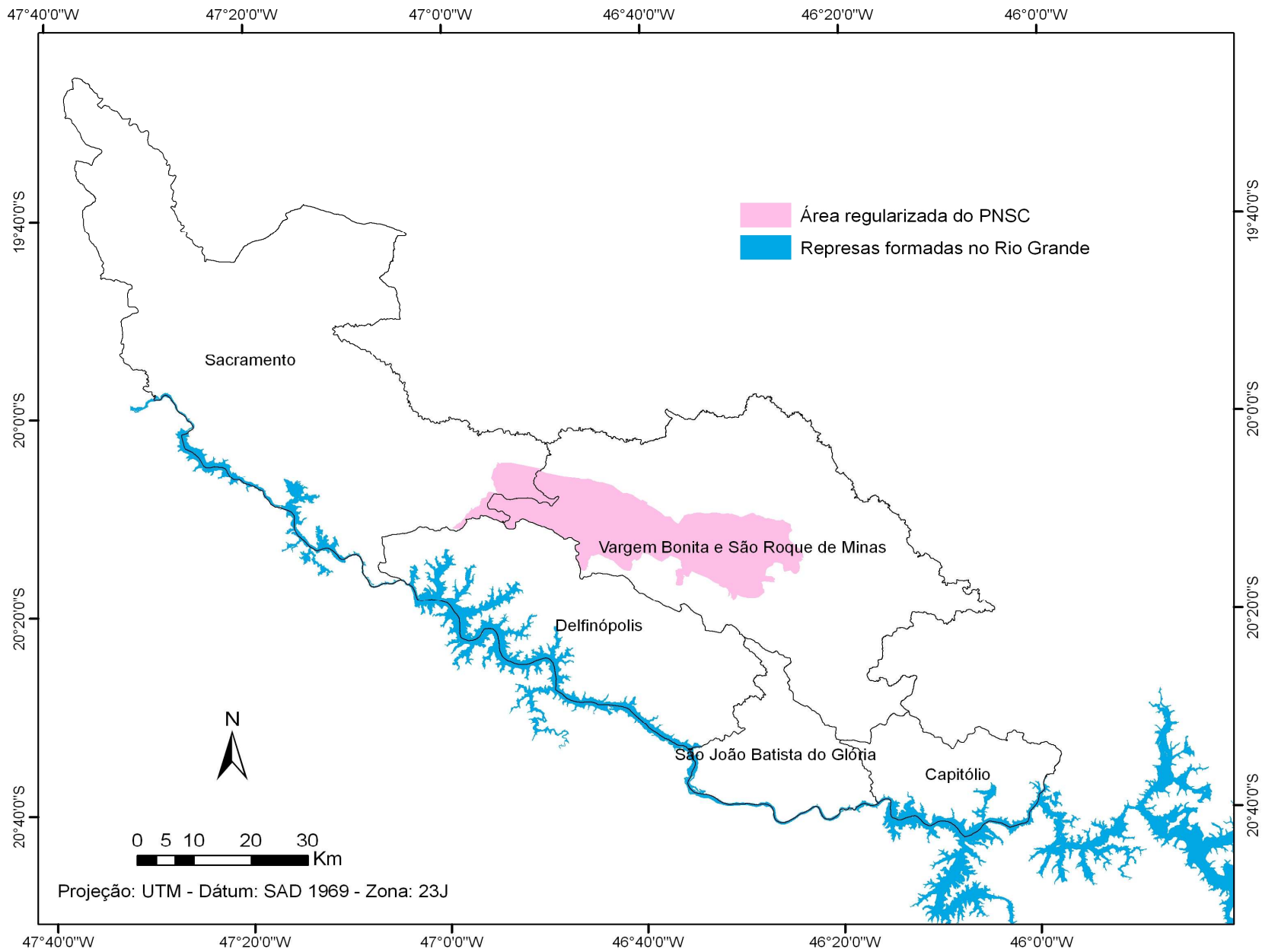


Figura 1.4: Área regularizada no Chapadão da Canastra, PNSC e represas formadas por Unidades Hidrelétricas no Rio Grande

A situação de domicílio foi utilizada como um fator complementar na análise do decréscimo populacional neste período. O fato é que, tanto as Hidrelétricas instaladas, como a área regularizada do parque, atingiram apenas áreas rurais. Desta forma, quanto maior percentual de população rural no ano de 1950, maiores as probabilidades de esta ter sido atingida pelas alterações espaciais no território. Observa-se que no ano citado, há um predomínio de população rural nos municípios – acima da média do estado de Minas Gerais, o que se relaciona às atividades econômicas predominantemente desenvolvidas – agricultura e pecuária.

Aponta-se o município de Capitólio, com o maior decréscimo populacional entre 1950 e 1980, com uma variação de 8061 para 5223 habitantes, o que representa 35,20%. Isto se deve ao fato de que houve o alagamento de 9,21% de sua área, pela Hidrelétrica de Furnas. Apesar de não ser o município com maior percentual de áreas perdidas, na década de 1950 verifica-se elevado contingente populacional que se concentrava predominantemente em áreas rurais, boa parte às margens do rio Grande.

Deve-se destacar que, com a instalação da Hidrelétrica de Furnas, parte da área urbana de Capitólio teria ficado submersa, o que diminuiria ainda mais o número populacional do município. Isto sucederia pois, com o enchimento do reservatório, o rio Piumhi – afluente do rio Grande, teria seu nível elevado. Com a finalidade de evitar danos à população residente na cidade de Capitólio, instalou-se um dique, separando as águas represadas por Furnas e do rio Piumhi, que teve seu curso desviado para o ribeirão da Água Limpa – afluente do rio São Francisco (ASSIS e RIOS, 2010).

Juntos, Vargem Bonita e São Roque de Minas tiveram 26,79% de sua população reduzida, passando de 12228 para 8849 habitantes. Isto se deve ao fato de que, os municípios em questão, são os mais atingidos pela regularização do PNSC, tendo 22,84% de sua área total regularizada. Além disso, a população urbana em 1950 era extremamente baixa e parte da população rural habitava o chapadão da Canastra, posteriormente transformado em UC.

Delfinópolis teve uma redução de 23,22%, encolhendo de 6830 para 4846 habitantes. Assim como Capitólio, o município está entre os de maior perda de terras habitáveis, devido à instalação de Unidade Hidrelétrica de Mascarenhas de Moraes. No entanto, a população urbana na década de 1950 era praticamente o dobro de Capitólio, sendo menos atingida pelo enchimento deste reservatório.

O município de Sacramento apresentou contração populacional de 8,22%, reduzindo de 20485 para 18800 indivíduos. Apenas 1,53% de sua área foi atingida pelas Hidrelétricas de Jaguará e Luiz Carlos Barreto de Carvalho, perdendo, da mesma forma, 2,31% de sua extensão, pela regularização do parque. Devido à maior extensão municipal, Sacramento não teve grandes perdas, ao compará-lo aos outros municípios.

Por fim, o menor encolhimento populacional entre 1950 e 1990, de 2,9%, foi em São João Batista do Glória, cujos habitantes reduziram de 5017 para 4870. O município, além de ter o mais elevado valor de população urbana, teve somente a perda de 1,66% de sua área, ao serem instaladas as Hidrelétricas de Mascarenhas de Moraes e Furnas.

3.4 Variação populacional entre 1980 e 2010

Aproximadamente no início do último quarto do século XX, tem-se a terceira transição demográfica no Brasil. O declínio das taxas de fecundidade levou a um declínio também nas taxas de crescimento populacional (SCARLATO, 2011). Entre 1980 e 2010, observou-se em Minas Gerais uma taxa de variação populacional de 42,46%, bastante inferior à ocorrida no período anterior. Nos municípios estudados, entre 1980 e 2010, foram obtidas taxas de variações populacionais positivas – com exceção a Vargem Bonita e São Roque de Minas, seguindo a tendência nacional de crescimento demográfico (Figura 1.5).

Como citado no item 3.3, Capitólio obteve maior taxa de variação populacional negativa entre as décadas de 1950 e 1980. Dicotomicamente, entre 1980 e 2010, o município apresentou a maior taxa de crescimento, sendo esta de 56,67%, variando de 5223, para 8183 habitantes. Este elevado valor se dá ao fato de que o município se tornou o mais forte no setor turístico, especialmente o turismo de luxo. Exemplo disso é a instalação do Balneário Escarpas do Lago, caracterizando-se como forte atrativo de população fixa ou móvel, em uma superfície hoje superior à área urbana do município em que está inserido.

São João Batista do Glória expressou taxa de variação de 41,41% – semelhante à de Minas Gerais, sendo que cresceu em números populacionais de 4870 para 6887. Entre os municípios analisados, é o que possui maior percentual de população urbana – mais de 80%, assim como produto interno bruto (PIB) per capita mais elevado em 2010. Além disso, o valor bruto da indústria é extremamente superior aos outros municípios, o que tem atraído moradores pela oferta de empregos no setor (IBGE, 2013).

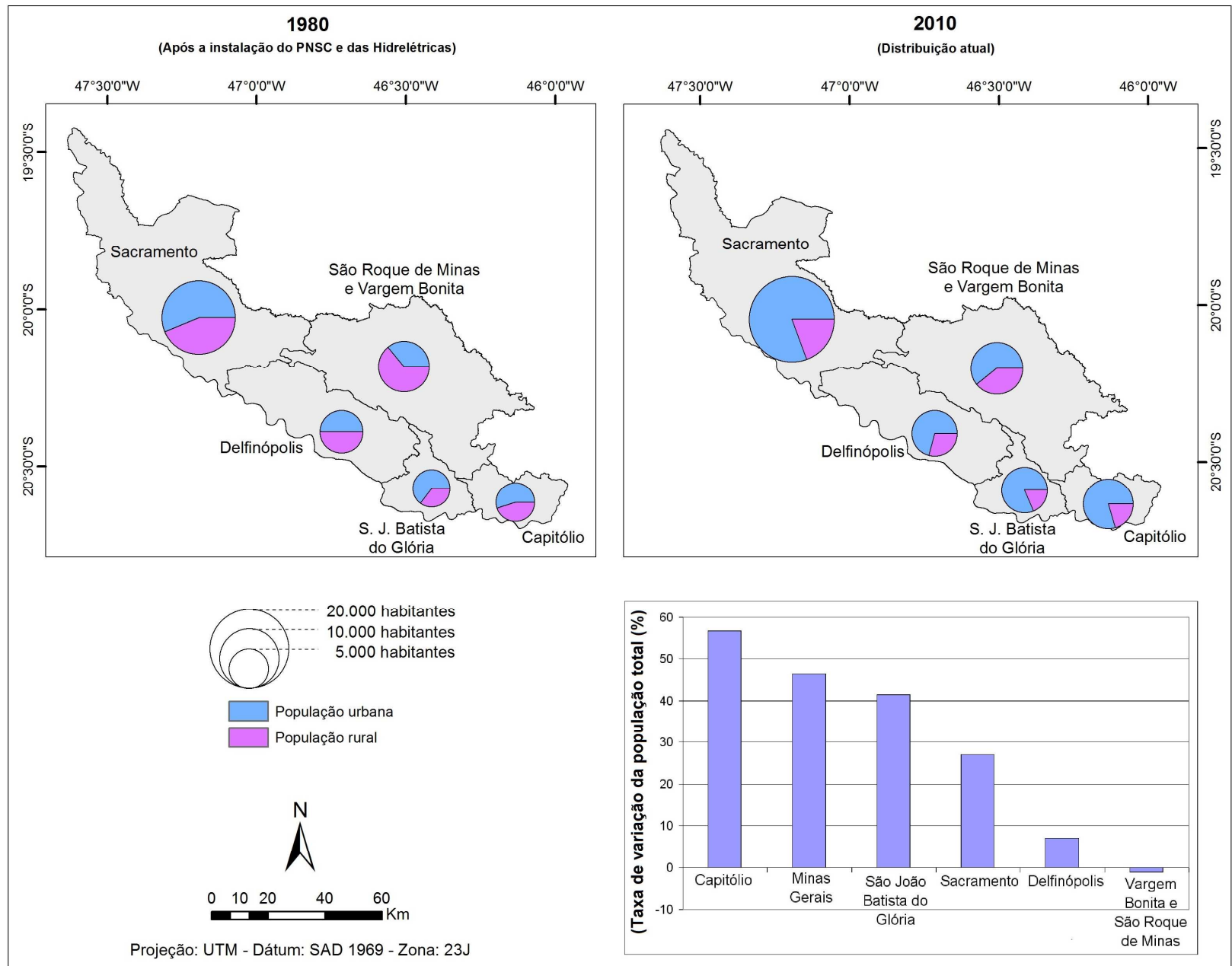


Figura 1.5: Variação populacional dos municípios que compõem o PNCS entre 1980 e 2010

Por sua vez, Sacramento variou de 18800 para 23896 moradores, o que corresponde a uma taxa de variação positiva de 27,10%, inferior à média estadual. Observam-se no município, as maiores arrecadações nos setores primário e terciário (IBGE, 2013), atrativos populacionais à população ativa.

Da mesma forma, Delfinópolis ficou aquém da média do estado, com uma taxa de variação populacional positiva, porém baixa, sendo ela de 6,98%. Seu contingente populacional alterou de 6384, para 6830 habitantes. O pequeno acréscimo está associado à baixa atratividade econômica, visto o baixo PIB per capita e pequena arrecadação na indústria, pecuária ou serviços (IBGE, 2013).

Verificou-se por fim, que os únicos municípios que não tiveram progressão demográfica foram Vargem Bonita e São Roque de Minas, que juntos passaram de 8952 para 8849 habitantes, que representa uma taxa de variação de -1,15%. Isto advém do fato de que, na década de 1980, houve ainda negociações com os moradores da área regularizada do PNSC, dando seguimento às desapropriações nos municípios, relacionadas ao Chapadão da Canastra.

3.5 Espacialização populacional por setores censitários em 2010

Os dados agregados por setores censitários são de grande importância para estudos demográficos, visto que nos permitem espacializar contingentes populacionais com maior detalhamento. Partindo desta análise, é possível apontarem as áreas de concentração e dispersão populacional nos municípios e no interior do PNSC, empregando dados do ano de 2010 (IBGE, 2010b) (Figura 1.6).

A distribuição populacional por setores censitários nos propicia inferir, que as maiores concentrações demográficas nos municípios ocorrem nas áreas urbanas e aglomerados rurais. Destacam-se destes, os setores onde se encontram o distrito de Ponte Alta, a sudeste de Delfinópolis e o Balneário Escarpas do Lago, a leste de Capitólio. Além disso, comprova-se que a população se apresenta irregularmente distribuída nas zonas rurais, mas os setores mais populosos estão nas bordas dos municípios ou próximos do rio Grande.

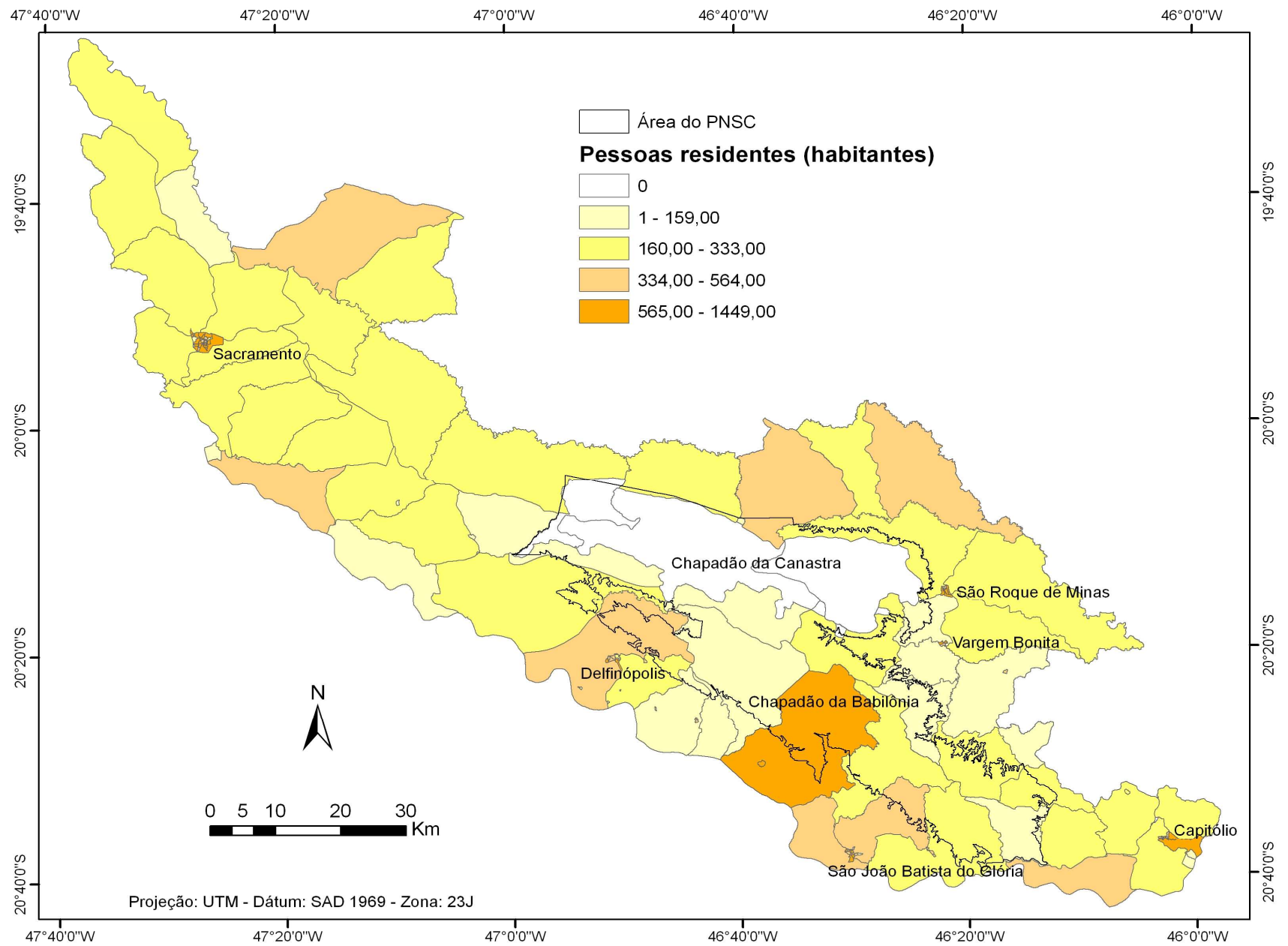


Figura 1.6: Distribuição populacional dos municípios que compõem o PNCS, por setores censitários, no ano de 2010

A porção norte do PNSC, onde está situado o Chapadão da Canastra, devidamente regularizada, é caracterizada pela ausência populacional. No entanto, ainda assim existem atividades conflitantes, as quais ameaçam a conservação desta região. O Chapadão da Babilônia, área não regularizada, dispõe de população residente em propriedades privadas. Neste local, as atividades conflitantes são mais intensas que no Chapadão da Canastra, havendo queimadas, linhas de transmissão de eletricidade, silvicultura, atividades agropecuárias por toda a área, estradas de trânsito livre e mineração – exploração de quartzito (MMA/IBAMA, 2005). Estes aspectos serão discutidos no item 6 deste capítulo.

4. CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA DOS MUNICÍPIOS QUE COMPÕEM O PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA

4.1 Contextualização

O potencial turístico da Serra da Canastra, associado às belezas cênicas e potencializado pela existência do Parque Nacional e de Unidades Hidrelétricas instaladas na região, trata-se de importante fonte de renda para a economia local. No entanto, dados censitários mostram que o setor agropecuário é a principal forma de arrecadação para os municípios que compõem o PNSC, o que vem sendo observado desde o desenvolvimento de populações tradicionais.

Pesquisas realizadas no século XIX já apontavam a existência da pecuária no local, sendo que nesta época, utilizava-se o gado, tanto para a produção de leite, como no transporte de pessoas e mercadorias. De modo similar, a agricultura se configura como importante atividade econômica e, apesar do êxodo rural, as atividades rurais tem aumentado significativamente nas últimas décadas. O peso do setor agrícola se deve, especialmente, ao surgimento de cooperativas de crédito agrícola e de produtores rurais (BIZERRIL, 2008).

Há também o desenvolvimento de outras atividades, tais como extração mineral, produção de laticínios e alimentos em geral, assim como o comércio de bebidas e alimentos (IBGE, 1980, 2010). É relevante ainda destacar o quanto a produção familiar está associada às atividades econômicas. Somente no município de São Roque de Minas, 850 famílias produzem 1600 toneladas de queijo canastra, que abastecem os mercados locais, regionais e de estados vizinhos (BIZERRIL, 2008).

4.2 O estado de Minas Gerais

O estado de Minas Gerais inicia sua história econômica com a exploração do ouro, nos fins do século XVIII, atraindo contingentes populacionais, que se fixaram nas vilas do ouro. Após o apogeu da economia aurífera, por volta de 1750, o ciclo do ouro entrou em decadência, passando a se desenvolverem a lavoura e a pecuária. Este fato foi notório no início do século XIX, quando o estado se volta para atividades de subsistência. O café passa a ter importância na economia mineira na terceira década do século XIX, implicando em um alto nível de demanda por mão de obra. É na década de 1950 que se observou uma crescente participação da indústria na economia de Minas Gerais, em um processo de substituição de importações (BDMG, 1968).

Já na década de 1970, observavam-se elementos que colocavam Minas Gerais à frente de outros estados, tais como: infraestrutura disponível, abundância de recursos naturais e posição geográfica favorável. O volume de investimentos, incentivos fiscais e a urbanização, fizeram com que a economia mineira apresentasse taxas de crescimento econômico superiores à média nacional. Por outro lado, na década de 1980, a crise econômica brasileira desacelerou o processo de crescimento mineiro, mas este continua acima da média do país. A partir de 1990, Minas Gerais se consolidou como segundo estado exportador, mas houve baixo dinamismo econômico, assim como em todo o Brasil (GARCIA e ANDRADE, 2006/2007).

Hoje, Minas Gerais representa o terceiro PIB nacional – 386.156 bilhões de reais e uma participação de 9% no PIB do Brasil. O PIB per capita do estado é de R\$19.573,29, sendo o 10º do país (IBGE, 2014).

Com base em dados do ano de 2010, os serviços se configuram como o mais importante setor da economia mineira (Figura 1.7), correspondendo a mais da metade da participação do PIB, destacando-se a arrecadação com administração pública (13,4%), comércio (11,2%), aluguel (8,3%) e transporte (5,0%). Tem-se, em seguida, o setor industrial, o qual está principalmente relacionado à indústria de transformação (17,6%), extrativa mineral (6,9%) e de construção civil (5,9%). Por fim, a agropecuária tem a menor participação no PIB estadual, sendo em 2010 a cana-de-açúcar o principal cultivo, havendo ainda o milho, soja, café e batata-inglesa (FJP, 2012).

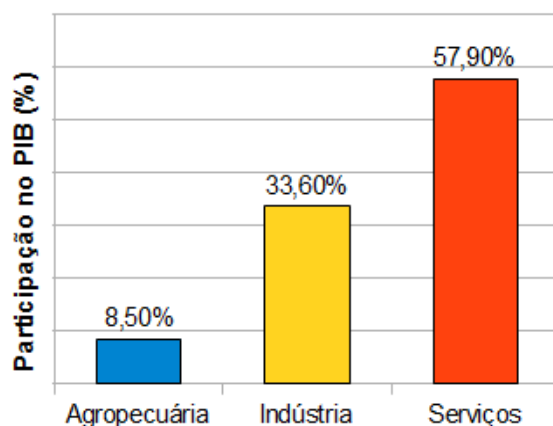


Figura 1.7: Participação dos diferentes setores da economia para o PIB do estado de Minas Gerais. Fonte dos dados primários: Fundação João Pinheiro (2012)

4.3 O município de Capitólio

Capitólio possui PIB municipal de R\$119.162.000,00 e PIB per capita de R\$14.500,14 (SIDRA, 2014). Com relação à distribuição dos setores da economia, o terciário se configura como principal contribuinte, apresentando percentuais aproximados aos do estado de Minas Gerais (Figura 1.8).

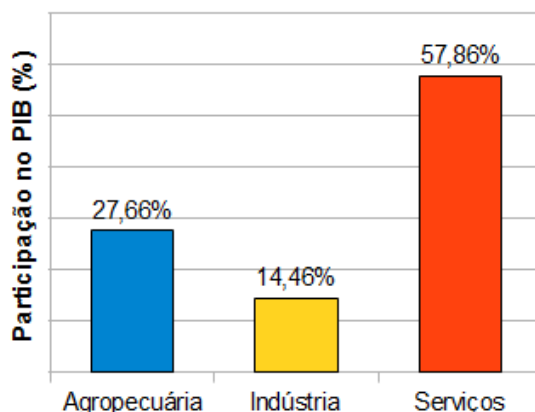


Figura 1.8: Participação dos diferentes setores da economia no PIB municipal de Capitólio. Fonte: Adaptado de IBGE (2013)

A alta demanda por serviços é advinda do ecoturismo, aspecto relatado por Barbosa (2004, p. 179) em uma lista de pontos com alto potencial, tais como cachoeiras, alambiques, hotéis, cânions, mirantes, serras e restaurantes. Neste sentido, são supridas também as necessidades de um turismo de luxo, o qual ocorre devido à presença do Clube Náutico das Escarpas do Lago e do

Balneário Escarpas do Lago – este considerado, segundo Escarpas do Lago (2014), um dos melhores balneários internacionais e refúgio de jovens brasileiros bem-sucedidos.

Com relação ao setor primário, tem-se a produção de cana-de-açúcar e milho como principais cultivos. Há destaque também para a produção leiteira – 10.395 mil litros em 2012. No setor terciário, têm-se importantes produtos agroindustriais relacionados a carne de bovinos, queijo e requeijão (SIDRA, 2014). Observam-se também indústrias de exploração de quartzito na área não regularizada do PNSC.

4.4 O município de Delfinópolis

Delfinópolis apresenta PIB municipal de R\$157.293.000,00 e PIB per capita de R\$22.962,43 (SIDRA, 2014). O município exibe uma distribuição dos setores da economia dissemelhante ao estado de Minas Gerais, sendo que a agropecuária representa a maior participação (Figura 1.9).

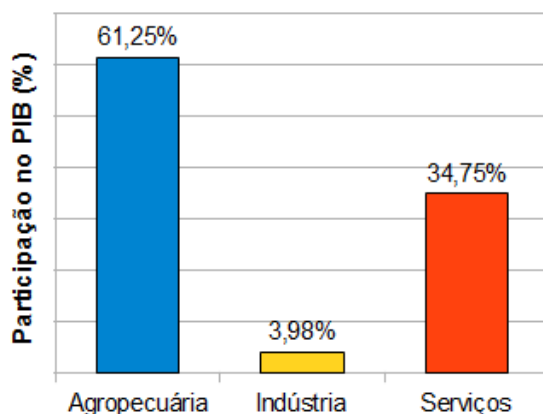


Figura 1.9: Participação dos diferentes setores da economia no PIB municipal de Delfinópolis. Fonte: Adaptado de IBGE (2013)

Destaca-se, como principal produto agrícola, a cana-de-açúcar – com o número expressivo de 506.250 toneladas colhidas em 2012. Cultivam-se ainda no município, em menor quantidade, milho, soja, sorgo e abacate. A produção de leite, em 2012, chegou a 21.725 mil litros. Os serviços estão voltados ao comércio de mercadorias e a indústria possui pouco destaque (SIDRA, 2014).

4.5 O município de Sacramento

Sacramento possui o maior PIB entre os municípios, sendo este de R\$652.747.000,00 e PIB per capita de R\$27.092,80 (SIDRA, 2014). Verifica-se um predomínio da agropecuária na economia, no entanto, o percentual é próximo ao de serviços (Figura 1.10).

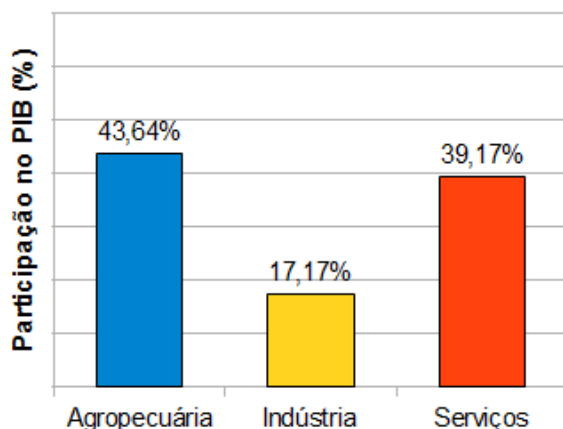


Figura 1.10: Participação dos diferentes setores da economia no PIB municipal de Sacramento. Fonte: Adaptado de IBGE (2013)

A diversificada produção agrícola apresenta números superiores aos demais municípios, com destaque para a cana-de-açúcar, milho, soja e batata inglesa – 810.000, 243.000, 69.000 e 50.750 toneladas produzidas em 2012, respectivamente. A pecuária se apresenta também como importante atividade do setor primário, visto que, em 2012, produziram-se 52.172 mil litros de leite (SIDRA, 2014).

A indústria é também diversificada, com destaque para produtos agroindustriais, tais como doces, geleias, carne de suínos e, especialmente, queijo e requeijão – 576 toneladas em 2012. A demanda por serviços está associada, principalmente, ao comércio no município (SIDRA, 2014).

4.6 O município de São João Batista do Glória

A economia de São João Batista do Glória possui características diferentes do estado de Minas Gerais, visto que o setor secundário representa mais de 70% do PIB (Figura 1.11). Observa-se um PIB municipal de R\$419.210.000,00 e PIB per capita de R\$60.448,47 (SIDRA, 2014).

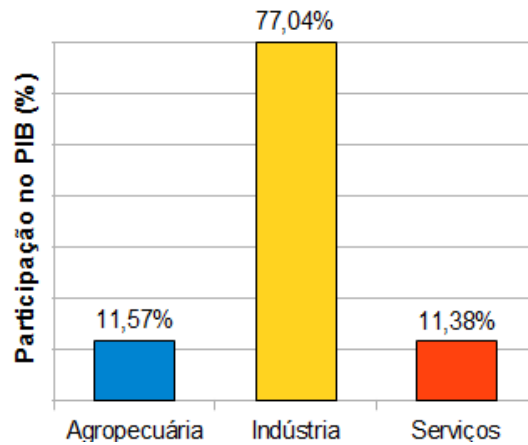


Figura 1.11: Participação dos diferentes setores da economia para o PIB municipal de São João Batista do Glória. Fonte: Adaptado de IBGE (2013)

No setor secundário, sobressai-se a agroindústria para a produção de queijo e requeijão, assim como a de café torrado e moído. Além disso, há a indústria exploratória de recursos minerais, tal como a de quartzito, mesmo dentro da área do PNSC. O setor primário está ligado, principalmente, à produção de cana-de-açúcar e milho – 91022 e 23.040 toneladas em 2012, respectivamente. Além disso, produziram-se 40.613 mil litros de leite em 2012. Os serviços, sendo pouco representativos, estão relacionados às necessidades da população local (SIDRA, 2014).

4.7 O município de São Roque de Minas

São Roque de Minas é um município predominantemente agropecuário, não seguindo a tendência de Minas Gerais (Figura 1.12). Possui PIB municipal no valor de R\$ 147.107.000,00 e, o PIB per capita, de R\$21.909,53 (SIDRA, 2014).

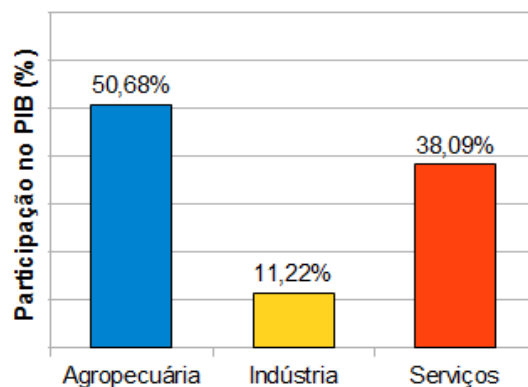


Figura 1.12: Participação dos diferentes setores da economia no PIB municipal de São Roque de Minas. Fonte: Adaptado de IBGE (2013)

O café é visto como principal cultivo agrícola, tendo sido produzida, em 2012, uma quantidade de 4.210 toneladas. Outros cultivos representativos são o milho e batata inglesa – 8.500 e 6.190 toneladas e a produção de leite alcançou 35.960 mil litros em 2012. A produção industrial, voltada à agroindústria, é principalmente de queijo, melado e farinha de mandioca. Por sua vez, os serviços estão voltados às necessidades da população local (SIDRA, 2014).

4.8 O município de Vargem Bonita

Vargem bonita possui o menor PIB entre os municípios estudados, sendo o municipal de no valor de R\$33.852.000,00 e per capita de R\$15.672,40 (SIDRA, 2014). Predomina o setor primário na economia, caracterizando-se como um município agropecuário (Figura 1.13).

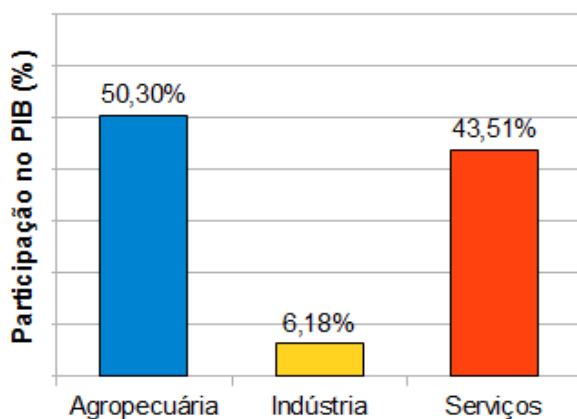


Figura 1.13: Participação dos diferentes setores da economia no PIB municipal de Vargem Bonita. Fonte: Adaptado de IBGE (2013)

Os principais cultivos agrícolas são café e milho, sendo que produziu-se, em 2012, respectivamente, 1.440 e 3.132 toneladas. Os serviços, relacionados ao comércio, são parcela representativa da economia. Por sua vez, a indústria, em pequena escala, está relacionada à produção de queijo (SIDRA, 2014).

5. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA

5.1 Contextualização

“As unidades da paisagem naturais se diferenciam pelo relevo, clima, cobertura vegetal, solos ou até mesmo pelo arranjo estrutural e de litologia ou por apenas um desses componentes” (ROSS, 2012). A Geologia coloca o homens sobre a litologias e estruturas da crosta terrestre; a

Geomorfologia permite a utilização de classificações que tendem a ser genéticas, considerando a forma, composição e os processos geradores (SILVA, 2012). A cobertura vegetal tem importante papel na proteção do solo. Estes, por sua vez, tem grande importância para a sobrevivência da espécie humana, dos vegetais e dos animais na superfície (GUERRA, 2012)

Visando entender a dinâmica ambiental da região da Serra da Canastra, este tópico apresentará a caracterização física da área. Discutir-se-ão informações obtidas em mapeamentos preexistentes e artigos acadêmicos, além de novos produtos gerados em SIG.

5.2 Material e métodos

5.2.1 Material

O levantamento bibliográfico referente à caracterização física do PNSC trata de uma importante etapa, essencial para o entendimento da dinâmica geoambiental da região. Além disso, produtos cartográficos e de teledetecção auxiliaram na produção de mapas temáticos (Tabela 3). Os procedimentos operacionais foram realizados no software ArcMap 10.1.

Tabela 1.3: Materiais Cartográficos e produtos de Sensoriamento Remoto utilizados na caracterização física

Fonte dos Dados Espaciais	Órbita / Folha	Resolução / Escala	Data	Executor
Arquivo vetorial de delimitação do PNSC	-	-	2012	ICMBio
Imagens GeoEye / Google Earth	-	1,6	2011	Orbimage / Google
Mapa de solos do estado de Minas Gerais	-	1:600.000	2010	UFV, CETEC, UFLA, FEAM
Mapa Geomorfológico	SF 23/24	1.000.000	1983	Radambrasil
Mapa geológico do estado de Minas Gerais	-	1:1.000.000	2003	COMIG, CPRM
ASTER Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM)	S21W047	30m	2009	METI / NASA

5.2.2 Metodologia

5.2.2.1 Obtenção da drenagem a partir do modelo ASTER GDEM

Com o desenvolvimento da Fotogrametria Digital, Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), modelos digitais de elevação (MDE) se tornaram importantes produtos para a análise digital do terreno. A extração automática de redes de drenagem em MDE se configura como uma das análises digitais do terreno mais importantes (GONG e XIE, 2009).

Jesus (2009) constatou a eficiência do sensor ASTER para a obtenção de parâmetros morfométricos. O pesquisador afirma que a extração de drenagem utilizando o MDE do sensor ASTER, ou outros sensores, configura-se como rica fonte de dados para o planejamento. Para a extração da drenagem, executou-se uma sequência de procedimentos operacionais, aplicando funções do *Hydrology*, contido no *Spatial Analyst Tools*, do ArcMap 10.1.

Primeiramente foi necessário converter o modelo ASTER, inicialmente em TIFF, para GRID (Figura 1.14A). Aplicou-se o *Fill*, filtro utilizado para remover pequenas imperfeições no modelo, preenchendo vazios (Figura 1.14B). Em seguida, utilizou-se o *Flow Direction*, resultando-nos a direção do fluxo de cada pixel, de acordo com a elevação deste em relação aos oito pixels vizinhos (Figura 1.14C). O *Flow Accumulation* nos apresentou a acumulação de fluxo, sendo que, este raster, já apresenta a drenagem (Figura 1.17D).

Após estes passos, executou-se a extração dos pixels significativos, os quais representam a drenagem. Pelo raster calculator, aplicou-se a função *Con*, extraindo apenas os pixels com valor superior a 100. Utilizou-se este valor, pois apresentou a drenagem extraída do ASTER, mais próxima o possível das cartas topográficas do IBGE (Figura 1.14E). Por fim, com a aplicação da função *Stream to Feature*, gerou-se o arquivo vetorial que contém a drenagem da área de estudo (Figura 1.14F).

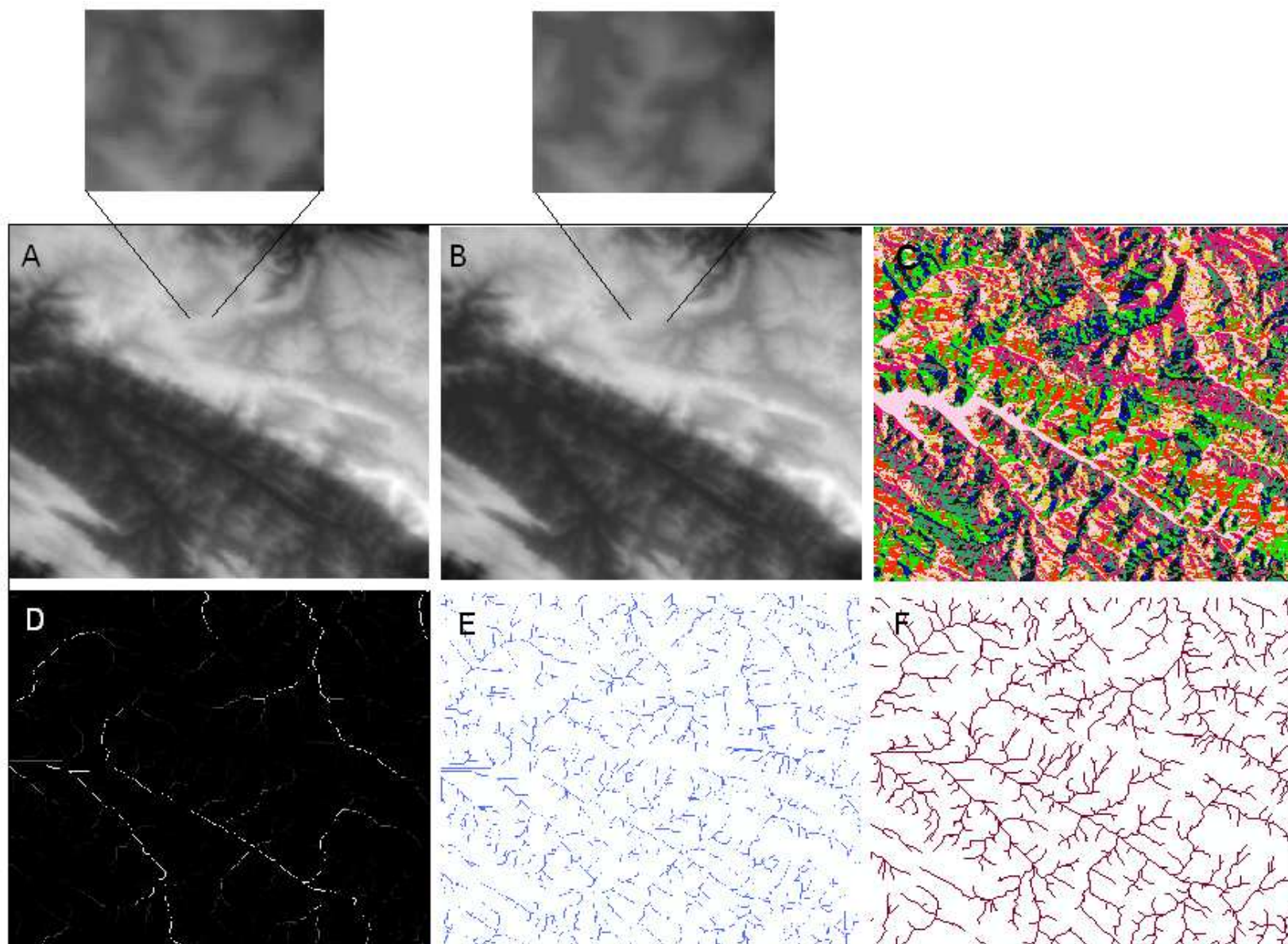


Figura 1.14: Sequência de imagens obtidas durante o processo de extração da rede de drenagem a partir dos dados do ASTER GDEM. A: DEM bruto; B: Imagem filtrada; C: Direção do fluxo. D: Fluxo acumulado. E: Extração dos pixels de drenagem. F: Rede de drenagem extraída em formato vetorial

5.2.2.2 Delimitação de bacias hidrográficas

“A drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que formam a bacia de drenagem, definida como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial” (CHRISTOFOLETTI, 1980). A bacia hidrográfica pode ser considerada um ente sistêmico: é onde se realizam os balanços de entrada, provenientes da chuva e saída, através do exutório, cuja intersecção se dá pelos sistemas hídricos (PORTO e PORTO, 2008).

As bacias de tamanhos diferentes se articulam a partir dos divisores de água, integrando um sistema de drenagem organizado hierarquicamente, podendo ser dividida em sub-bacias e microbacias de menor dimensão (GRANELL-PÉREZ, 2004). Neste sentido, o uso das unidades hidrográficas bacia, sub-bacia e microbacia se ajusta perfeitamente à sistemática de gestão, dando a possibilidade de desenvolvimento de um melhor diagnóstico e um adequado planejamento dos recursos naturais, pelo conhecimento da realidade física da área a ser estudada (FITZ, 2008).

Desta forma, definiram-se as bacias correspondentes ao sistema hidrográfico na área do PNSC, tomando-se como base o mapeamento das bacias hidrográficas de Minas Gerais (IGAM, 2014). Além disso, delimitaram-se sub-bacias hidrográficas localizadas na área do PNSC, a fim de se obter uma perspectiva mais detalhada com relação aos sistemas de drenagem.

Delimitaram-se então, de forma manual, sub-bacias de quarta e quinta ordens, considerando a hierarquia fluvial definida por Strahler (1957). Os limites foram estabelecidos pela localização dos interflúvios, ligando as maiores altitudes do relevo, observados em cotas altimétricas de curvas de nível extraídas do modelo ASTER. Para a digitalização das sub-bacias, aplicaram-se funções disponíveis na barra de ferramentas *Editor*, do ArcMap 10.1.

5.2.2.3 Produção do Mapa Hipsométrico

Os dados de modelos digitais de elevação (MDE) são fundamentais na construção de modelos em SIG, aplicados ao planejamento e gerenciamento dos recursos ambientais (LIU, 2007). O modelo ASTER possibilita a obtenção de informações da superfície, além apresentar os valores de altitude dos pixels – valor Z.

O Mapa Hipsométrico foi produzido pela reclassificação dos valores de Z do modelo ASTER, em classes altimétricas. Para isto, alteraram-se as propriedades do raster no ArcMap

10.1, atribuindo-se cores frias para menores altitudes, assim como cores quentes para as maiores, de forma contínua – *stretched*.

5.3 Caracterização física do PNSC

5.3.1 Fitofisionomias e clima

O PNSC está inserido no domínio fitogeográfico do cerrado, que tendo se desenvolvido e se adaptado no quaternário ou final do terciário, é um dos quadros de vegetação mais antigos do território brasileiro (AB'SABER, 2003). No Brasil, são encontrados na área central e há ainda algumas ocorrências isoladas em São Paulo e na Amazônia, em terrenos planos ou levemente convexizados. As árvores possuem fisionomia específica, tortuosas e espaçadas. Ocorrem em áreas úmidas, com estações chuvosas e secas bem marcadas (CONTI e FURLAN, 2011).

É de suma importância ressaltar que, a expansão agropecuária, transformou 40% do cerrado em áreas agrícolas, perdendo quase 50% de sua vegetação no país (CONTI & FURLAN, 2011). Desta forma, o PNSC se configura como importante refúgio de fauna e flora do cerrado, onde, apesar dos inúmeros problemas ambientais, mantêm-se preservado.

Em escala local, são observadas diferentes fitofisionomias no interior do parque, as quais se formam em diferentes ambientes e condições físicas (Figura 1.15). As matas de galerias se desenvolvem em declividades superiores a 15°, no entorno de corpos d'água e locais em que muitas vezes sofreram processos de voçorocamento e solapamento. Os campos úmidos ocorrem ao longo de zonas de fratura, nas quais há acúmulo de água e umidade. Os ambientes rupestres são formados por campos rupestres e cerrados rupestres, observados em meio a afloramentos rochosos, como em bordas de serras, com declividades de aproximadamente 12° e planaltos superiores a 1300 metros, com declives inferiores a 6° (COUTO JUNIOR *et. al.*, 2010).

Por sua vez, os campos sujos são caracterizados por vegetação arbustivo herbácea esparsa, que se diferenciam do cerrado sentido restrito pelo menor desenvolvimento das plantas. O campo limpo é observado pelo estrato herbáceo com poucos arbustos, ausência de árvores e vegetação não fotossinteticamente ativa nos meses de seca, que se desenvolve em grandes variações altimétricas e relevo plano a suave ondulado (COUTO JUNIOR *et. al.*, 2010). As formas de uso, inadequadas e anteriores à criação do parque, contribuíram para que as formações florestais sofressem alterações, encontrando-se hoje em estágio secundário (MMA/IBAMA, 2005).

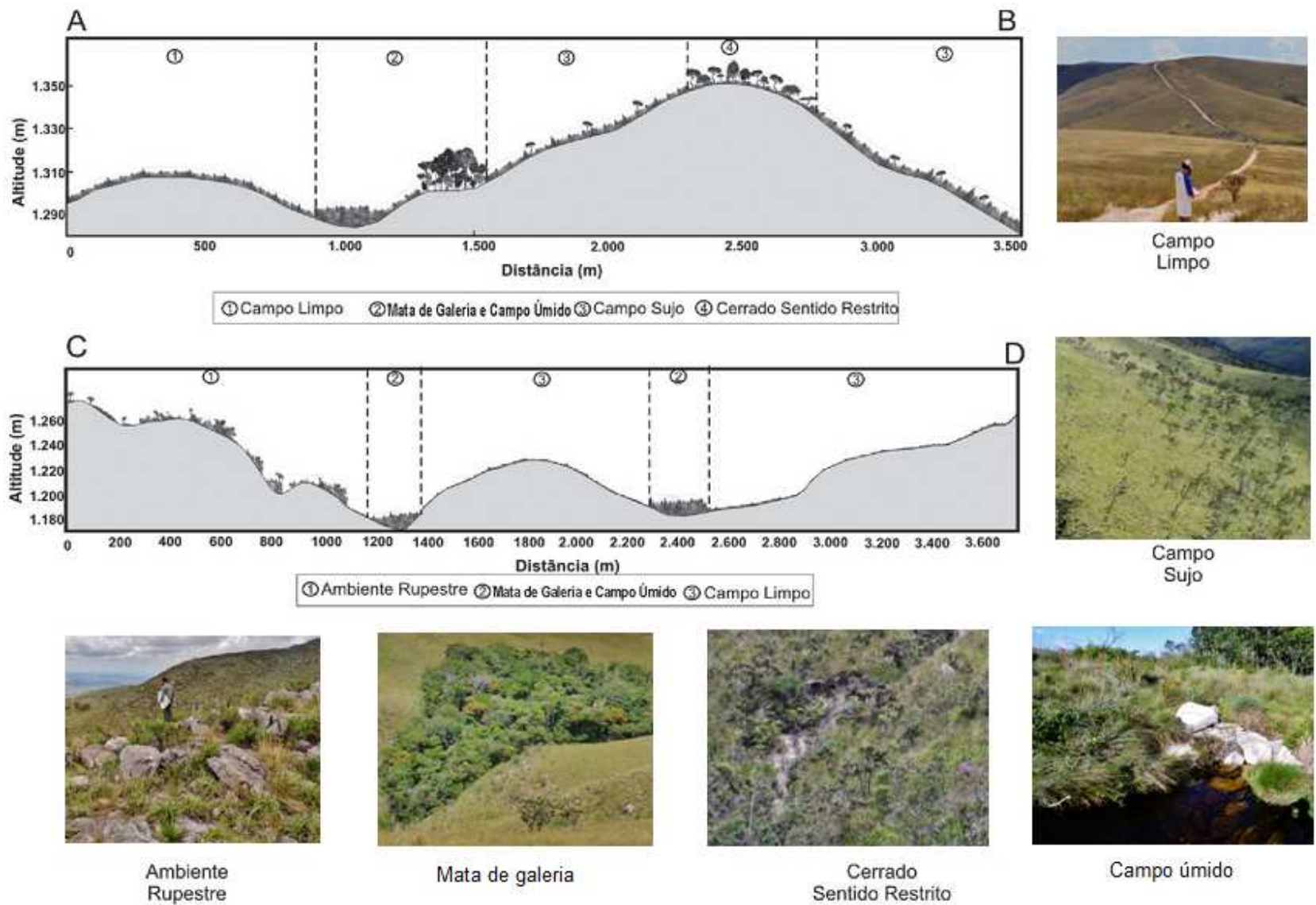


Figura 1.15: Perfis topográficos relacionados à fitofisionomias e o relevo. Fonte: adaptado de Couto Junior *et. al.*, 2010. Fotos: arquivo pessoal (2014).

Ab'Sáber (2003) infere que, climaticamente, o domínio dos cerrados comporta de cinco a seis meses secos, assim como seis a sete meses chuvosos. Além disso, a umidade do ar atinge baixos níveis, com inverno seco e níveis muito elevados, em um verão chuvoso. A temperatura média no parque é de 21°C, sendo que em meses mais frios é inferior a 18°C, e, em meses mais quentes varia entre 22°C a 24°C. O índice pluviométrico varia de 1300mm a 1700mm, com verão chuvoso e inverno seco. O clima corresponde ao tipo Cwb de Köppen (IBDF, 1981).

5.3.2 Rede de drenagem

Com relação à drenagem em regiões do cerrado, há uma perenidade geral dos principais caminhos d'água durante o ano, mesmo havendo o desaparecimento temporário de cursos de menor ordem de grandeza, no período seco (AB'SÁBER, 2003). A drenagem no PNSC (Figura 1.16) é constituída por cursos pertencentes a três diferentes bacias hidrográficas brasileiras, sendo elas as bacias do rio São Francisco, do rio Grande e do rio Paranaíba (Figura 1.17).

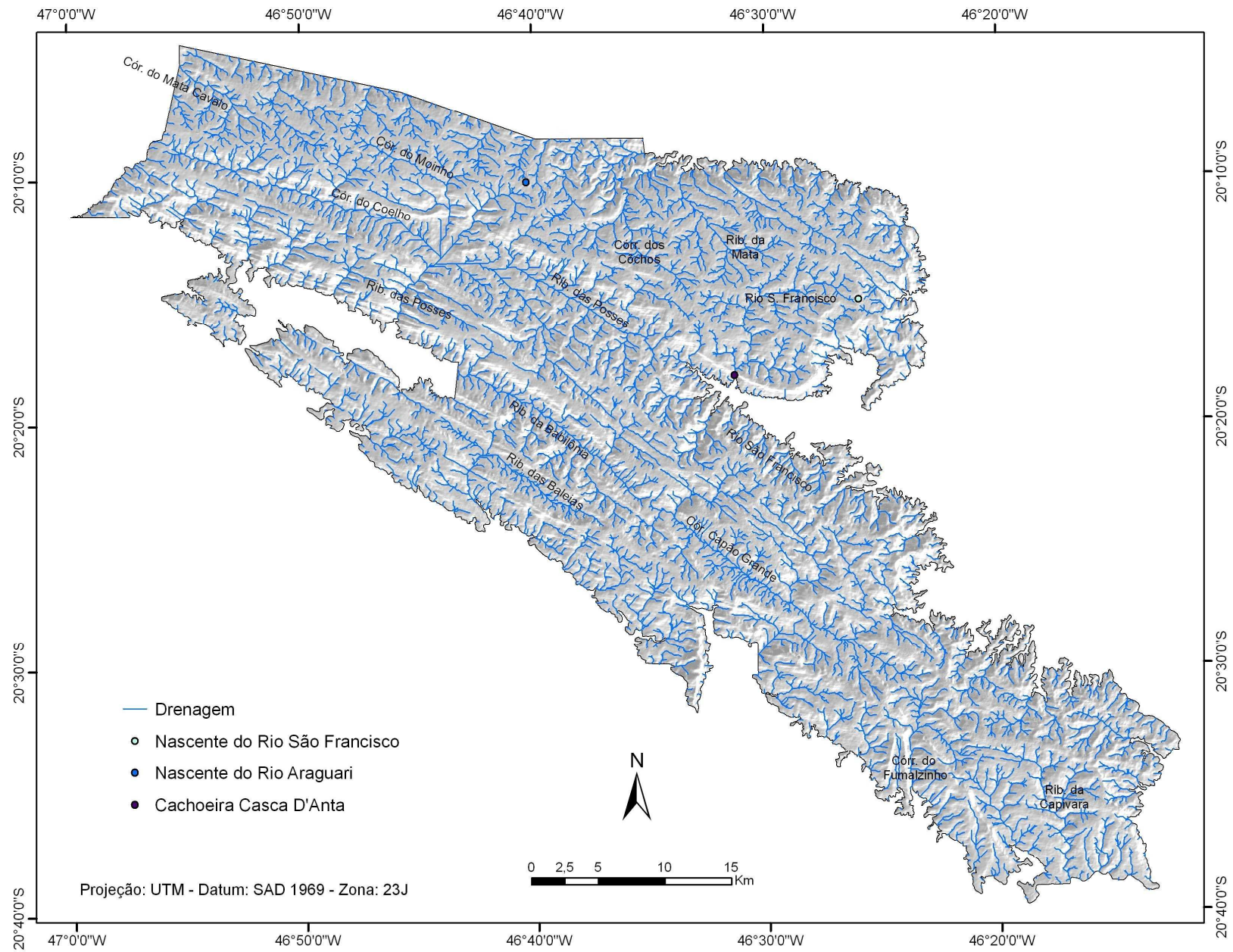


Figura 1.16: Mapa de Rede Hidrográfica do Parque Nacional da Serra da Canastra. Base cartográfica: ASTER GDEM, cena S21W047, 2011

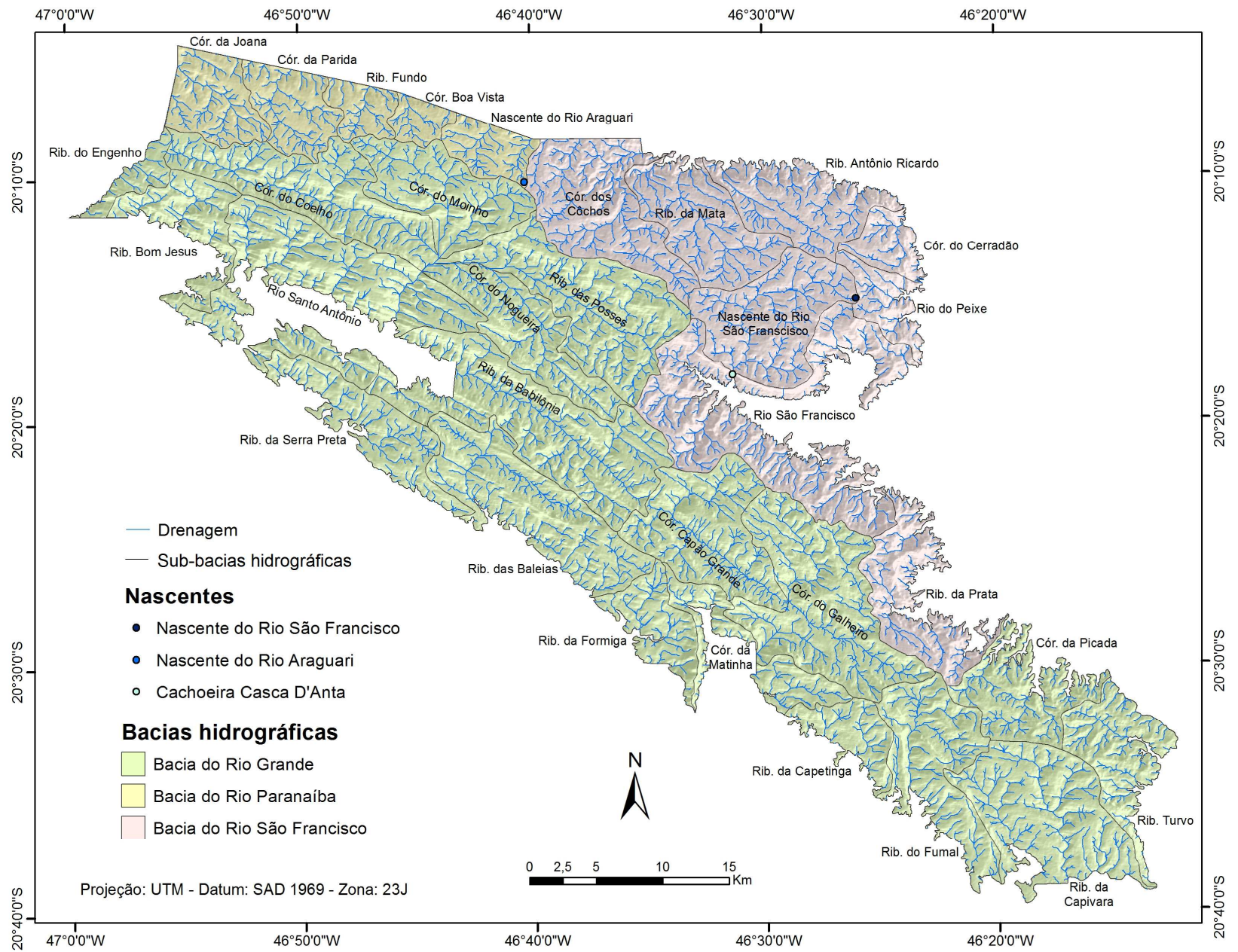


Figura 1.17: Mapa de bacias e sub-bacias hidrográficas do PNSC. Base cartográfica: ASTER GDEM, cena S21W047, 2011.

A bacia do Rio São Francisco “drena áreas dos Estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe e o Distrito Federal, além de cortar três biomas: Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica. Com 645 mil km², sua bacia de drenagem cobre 7,6% do território nacional” (GODINHO e GODINHO, 2003, p. 15). Durante muito tempo, acreditou-se que a nascente geográfica do Rio São Francisco se localizava no PNSC. No entanto, estudos recentes da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba (Cadevasf) afirmam que a verdadeira nascente se situa na Serra do Araxá, município de Medeiros – MG. No entanto, o PNSC ainda é conhecido por conter dentro de seu perímetro, o que se passou a chamar de nascente histórica do “velho chico” (LINS *et. al.*, 2011; SILVA *et. al.*, 2003).

A bacia do Rio Grande tem sua nascente na Serra da Mantiqueira Mineira e tem 68,2% de sua área ao sul de Minas Gerais e 39,8% ao norte de São Paulo. Com uma drenagem de 143 mil km², a bacia se destaca pelo grande potencial hidrelétrico (CBH GRANDE, 2013). Cortando quatro municípios que compõe o PNSC, há quatro Unidades Hidrelétricas instaladas na Região: Mascarenhas de Moraes, Furnas, Luiz Carlos Barreto de Carvalho e Jaguará.

Por sua vez, a bacia do Rio Paranaíba, com uma área de 222 mil km², abrange os estados de Goiás, Minas Gerais, Distrito Federal e Mato Grosso do Sul (CBH PARANAÍBA, 2013). O Rio Araguari, afluente do Rio Paranaíba, tem sua nascente no município de São Roque de Minas, dentro da área do PNSC. O rio percorre 475km, até chegar em sua foz no Rio Paranaíba, cortando diversos municípios do Triângulo Mineiro (CBH ARAGUARI, 2013).

Na área do PNSC, foram delimitadas 41 sub-bacias hidrográficas de quarta e quinta ordem, conforme Strahler (1957). Como a delimitação do PNSC não foi feita pela rede de drenagem ou divisores de água, as sub-bacias das bordas não se encontram na totalidade no perímetro do parque. Portanto, apenas as sub-bacias centrais estão completamente dentro da Unidade de Conservação, entre elas, a da nascente do São Francisco.

A rede de drenagem no PNSC é extensa, constituída, em sua maioria, por rios de pequeno porte e nascentes. No que se refere à qualidade da água, estudos indicam boa qualidade para a maioria dos pontos amostrados, apesar de apresentarem sinais de contaminação provocada por ações antrópicas (MMA/IBAMA, 2005). É possível verificar, pelo mapa de Rede Hidrográfica (Figura 1.16), que a drenagem é condicionada pelo relevo, seguindo as lineações ou falhas. Estas seguem o sentido NW-SE e são verificadas especialmente no Chapadão da Babilônia, onde são

observados padrões de drenagem em treliça e retangulares e a formação de diversas cachoeiras e corredeiras.

5.3.3 Geomorfologia

A Serra da Canastra se configura como verdadeira serra residual, localizada na face sul dos planaltos e serras Goiás-Minas, os quais estão associados à faixa de dobramentos de Brasília (Ross, 1985). A formação é semelhante às serras da Bocaina, Dourada e Geral do Paraná, as quais, conforme Ross (1985):

“[...] se comportam como resíduos das antigas dobras, constituindo alinhamentos de cristas que ora representam bordas anticlinais interiormente erodidos, ora em abas sinclinais alçadas [...]. São frequentes as ocorrências de extensos topos planos com aspecto de chapadas [...]. Estes topos planos se associam a superfícies de erosão, que remontam ao pré-Cretáceo com reafeiçoamento no Terciário-Quaternário (ROSS, 1985, p. 34).

A Canastra, estando localizada na face sul deste domínio morfoestrutural, está em uma área limítrofe com relação a outros domínios: a leste está localizada a depressão sertaneja do São Francisco; a oeste, os planaltos e chapadas da bacia do Paraná; e a sudeste, os planaltos e serras do Atlântico leste-sudeste (Figura 1.18).

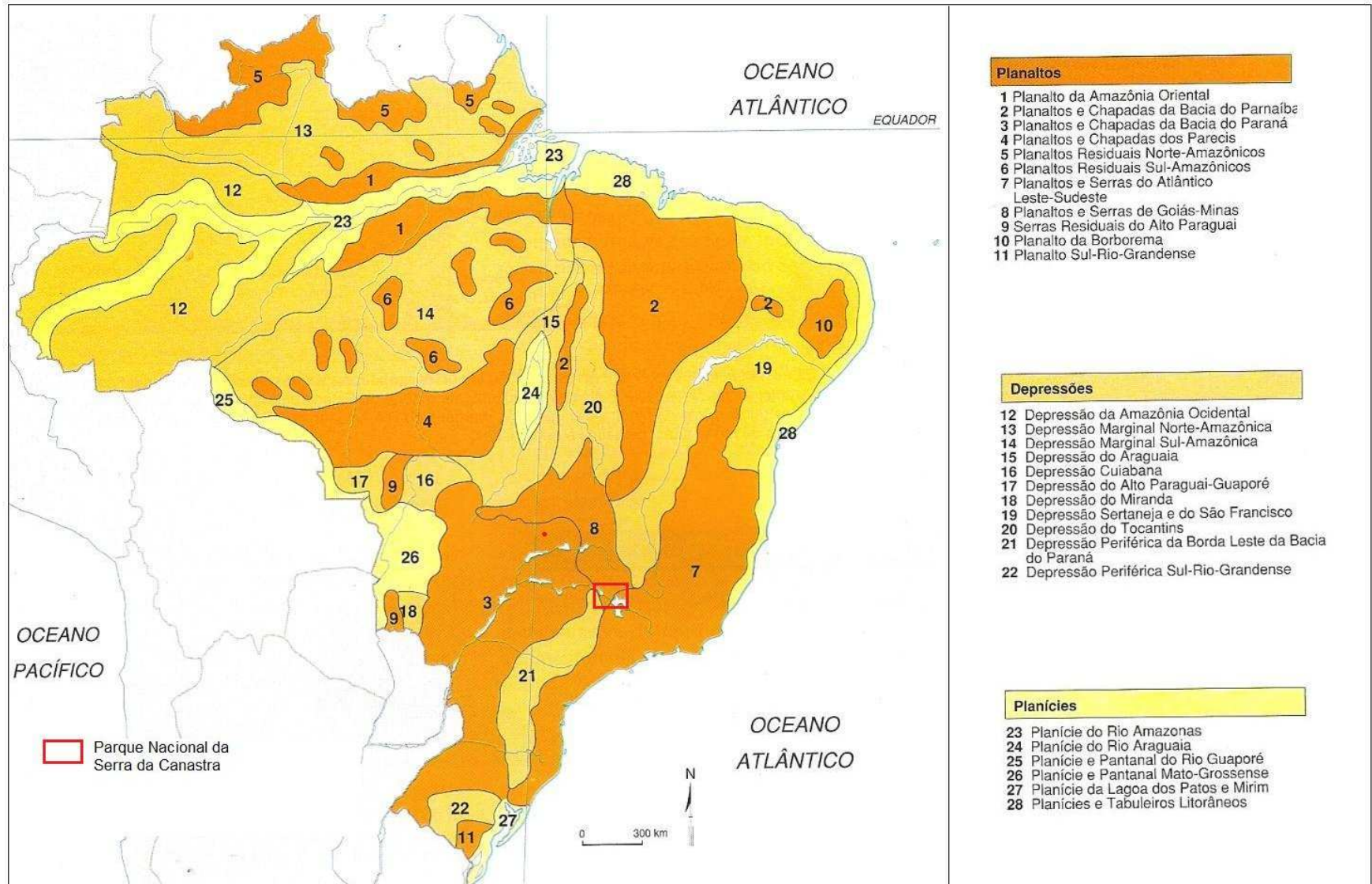


Figura 1.18: Unidades morfoescolturais do Brasil, destacando-se a localização do PNSC. Fonte: Ross (1985), adaptado por Adas (2004).

Em escala de maior detalhe, pode-se afirmar que a área de estudo está sob a região dos planaltos da Serra da Canastra. Este se desenvolve principalmente no estado de Minas Gerais, embora ocupe uma pequena extensão do estado de São Paulo. A região engloba duas diferentes unidades geomorfológicas: as Serras da Canastra e Patamares da Canastra (Figura 1.19) (RADAMBRASIL, 1983).

A unidade Patamares da Serra da Canastra se divide em dois setores: o setor norte, com altitudes acima de 1000m e o setor sul, área rebaixada com altitudes entre 750 e 600m, aproveitada pelo complexo hidrelétrico de Furnas (Radambrasil, 1983). No PNSC, a unidade se localiza inferiormente ao Chapadão da Canastra, formando uma depressão intermontana no local e, em contato com a unidade das Serras da Canastra, forma um divisor entre as bacias do Rio São Francisco e Paraná.

As unidades das Serras da Canastra se encontram emolduradas pelos Patamares da Serra da Canastra, constituindo as barras, cristas e chapadas que constituem nos relevos mais elevados da região dos planaltos da Serra da Canastra, a cerca de 1400m. Os topos das chapadas, geralmente planos, ocorrem predominantemente em quartzitos e são descontínuos em vista à ocorrência de vales encaixados, que aproveitam as camadas de rochas mais sensíveis à erosão linear, como os filitos (RADAMBRASIL, 1983).

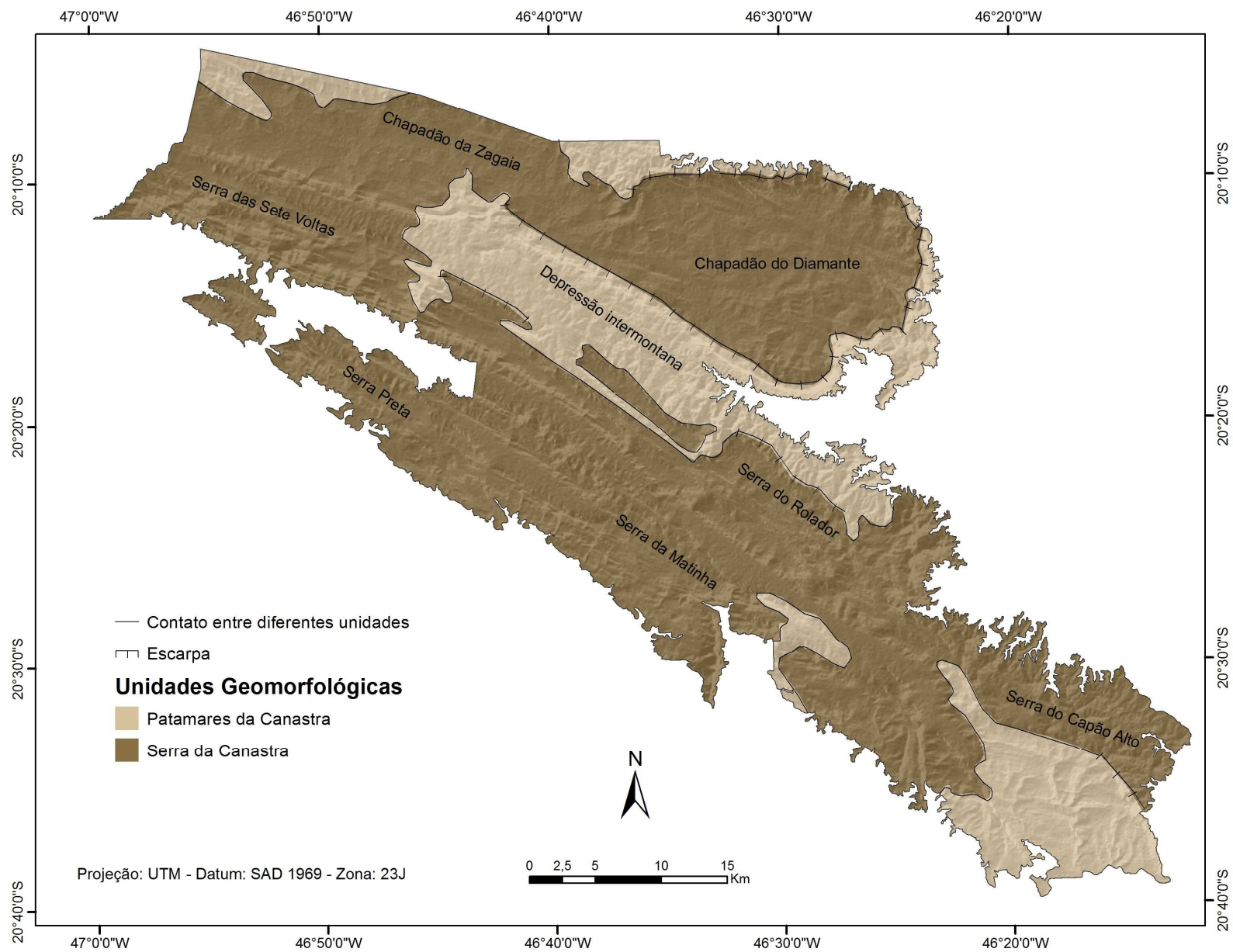


Figura 1.19: Mapa de Unidades Geomorfológicas do Parque Nacional da Serra da Canastra. Base cartográfica: adaptado de Radambrasil (1983). Escala original: 1:1.000.000

Com relação às amplitudes altimétricas, estas variam, aproximadamente, de 600 a 1500 metros (Figura 1.20). As menores altitudes são verificadas nas bordas do parque ou nas depressões intermontanas. Por sua vez, as áreas de maiores altitudes se encontram nas serras e chapadões. IBDF (1981) infere que o paredão formado entre o Chapadão do Diamante e a depressão intermontana do vale do São Francisco, desce de uma elevação de aproximadamente 1300 a 1000 metros, sendo onde ocorre a queda da cachoeira Casca D'anta.

O relevo na área do parque é compartimentado basicamente em cinco unidades: chapadas, depressões intermontanas, morros alongados, morros alongados elevados e colinas com vertentes convexas (MMA/IBAMA, 2005). Observa-se que grande parte do parque se encontra nas duas primeiras unidades citadas.

As chapadas são formadas por três blocos rochosos, os quais se encontram orientadas no sentido NW-SE, sendo eles: bloco Canastra (norte), bloco Babilônia (intermediário) e bloco sul (MMA/IBAMA, 2005). No bloco norte estão localizados os chapadões da Zagaia e do Diamante – onde há a nascente histórica do São Francisco. O intermediário apresenta as serras da Sete Voltas, do Cemitério, da Guarita, do Rolador e da Prata. Por fim, no bloco rochoso voltado ao sul, se encontram as serras Preta, Matinha, Palmeiras, Grande e do Cigano.

Nos chapadões, as rochas metamorfizadas, fraturadas e falhadas condicionam fortemente a morfologia da paisagem local. Tem-se uma unidade morfológica em vertentes suaves e declives inferiores a 10°. Os topos são caracterizados por superfícies aplainadas, vertentes ligeiramente inclinadas e cristas rochosas. A delimitação do compartimento das chapadas ocorre por escarpamentos rochosos, bem marcados na paisagem, com afloramentos rochosos formados basicamente por quartzitos (MMA/IBAMA, 2005).

Entre as chapadas são verificadas depressões intermontanas, as quais individualizam os três grandes blocos rochosos. Os vales são fortemente estruturados no sentido NW-SE, condicionados por fraturas e falhas e rochas menos resistentes que os quartzitos, como os xistos do grupo Canastra. Isto gera a formação de uma rede de canais fluviais fortemente controlados pelas lineações do relevo e, como a capacidade erosiva fluvial é marcante nas escarpas, a capacidade de transporte de sedimentos atinge valores expressivos nas depressões, especialmente após as chuvas (MMA/IBAMA, 2005).

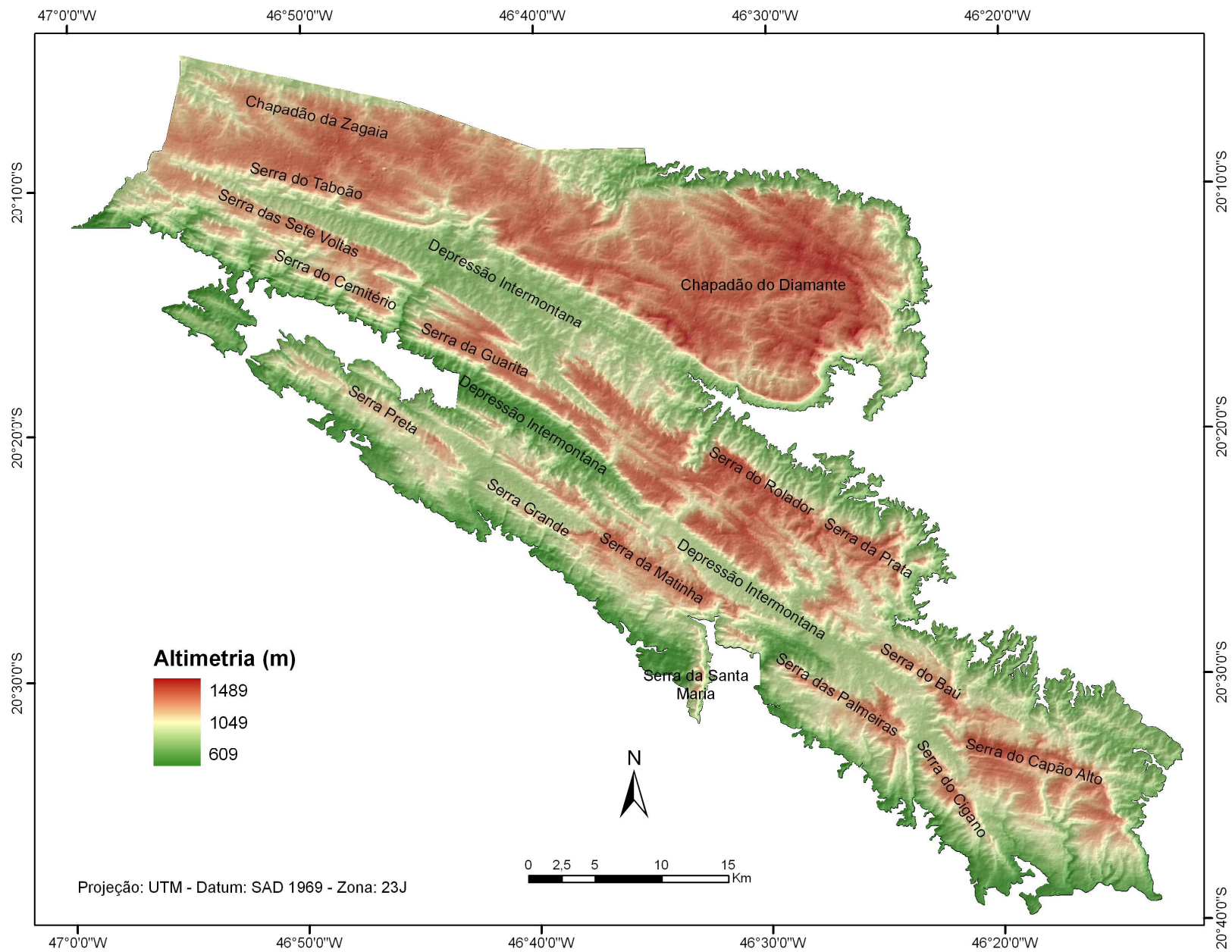


Figura 1.20: Mapa altimétrico do Parque Nacional da Serra da Canastra. Base cartográfica: ASTER GDEM, cena S21W047, 2011

Os morros alongados elevados ocupam uma pequena porção a centro-norte, nos limites do parque, basicamente na sub-bacia do córrego do Côchos, pouco expressivos no parque como um todo. Os morros possuem interflúvios alongados, que chegam até 3 quilômetros de comprimento. Além disso, o contato entre este compartimento e do bloco Canastra delimitam a parte noroeste do PNSC. Por fim, o compartimento dos morros alongados e colinas com vertentes convexas ocupam apenas algumas áreas próximas do limite do parque, ao norte e leste no Chapadão do Diamante e das sub-bacias do Rio São Francisco, Córrego da Picada e Ribeirões Prata e Turvo (MMA/IBAMA, 2005).

5.3.4 Geologia e Pedologia

Com relação à geologia regional, a região da Serra da Canastra e suas adjacências “configura-se em um arranjo estrutural complexo, de modo que o comportamento estratigráfico entre as diversas unidades pré-cambrianas presentes ainda não se encontra perfeitamente estabelecido” (CHAVES *et. al.*, 2008, p. 300). O arcabouço geológico do PNSC é composto por quatro diferentes grupos geológicos: Araxá, Canastra, Bambuí – datados do pré-cambriano e Bauru – datado do Mesozoico (Figura 1.21).

“O Grupo Canastra apresenta-se como um conjunto de intercalações, mais ou menos espessas, de filitos e quartzitos [...] O conjunto compreende uma sequência iniciada por filitos que, em direção ao topo, apresentam aumento progressivo da contribuição arenosa, passando a quartzo-filitos, quartzitos micáceos, quartzitos e finalmente aos ortoquartzitos que sustentam as escarpas das serras e os chapadões” (PEREIRA *et. al.*, 1994, p. 24). “A Serra da Canastra é sustentada por espessos pacotes de sericita-quartzito, atingindo altitudes de até 1300m” (BENITEZ, 2009, p. 111).

Com relação aos solos (Figura 1.22), é possível associar as classes identificados no Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais (UFV *et. al.*, 2010), aos atributos geoambientais já discutidos. No Grupo Canastra, observa-se que na área ocupada pela Bacia do Rio São Francisco, há a predominância de Neossolos Litólicos associados a afloramentos rochosos. No Chapadão da Zagaia, pertencente à Bacia do Rio Paranaíba, são verificados Cambissolos Háplicos, associados ou não a outros solos e afloramentos rochosos. A depressão intermontana localizada ao centro do Grupo Canastra, nas áreas pertencentes à Bacia do Rio Grande, possui a predominância de Latossolos Vermelhos, onde há relevos planos e suavemente ondulados. Nas serras as quais

fazem contato entre o Grupo Canastra e Araxá – Serra do Cemitério, da Guarita, do Rolador e da Prata, encontram-se Plintassolos Argilúvicos, seguindo o sentido NW-SE.

Ao sul do Grupo Canastra, está situado o Grupo Araxá. A faixa de domínio entre eles é marcada, estruturalmente, por tectônica de cavalgamento com transporte no sentido SW-SE, justapondo sequências mais jovens sobre as antigas. “Os xistos são os mais variados, constituídos (além de quartzo e mica) de granada, biotita, clorita, estauroлита, hornblenda e feldspato. (CHAVES *et. al.*, 2008).

O Grupo Araxá possui a predominância de Plintassolos Argilúvicos em seus terrenos mais elevados – Serra da Matinha, das Palmeiras, do Cigano e parte da Serra do Capão Alto. No limite sul do parque, área de menor altitude, porém ondulada, tem-se Neossolos Litólicos. Já nas médias altitudes e relevo suave ondulado e ondulado, são verificados Cambissolos Háplicos.

O Grupo Bauru é constituído por arenitos e conglomerado basal, limitando-se a pequenos platôs na porção noroeste do parque (BENITEZ, 2009). Sua face norte, contida na Bacia do Rio Paranaíba, contém predominância de associações de afloramentos rochosos, Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos. Por sua vez, na face sul, pertencente à Bacia do Rio Grande, observam-se Latossolos Vermelho e Vermelho-Amarelo.

Por fim, o Grupo Bambuí é formado por argilitos, siltitos, calcários e conglomerados (BENITEZ, 2009), ocorrendo principalmente em uma pequena porção na borda nordeste do Chapadão da Canastra. Os solos associados a este grupo são Neossolos Litólicos associados a afloramentos rochosos e Cambissolos associados a Latossolos.

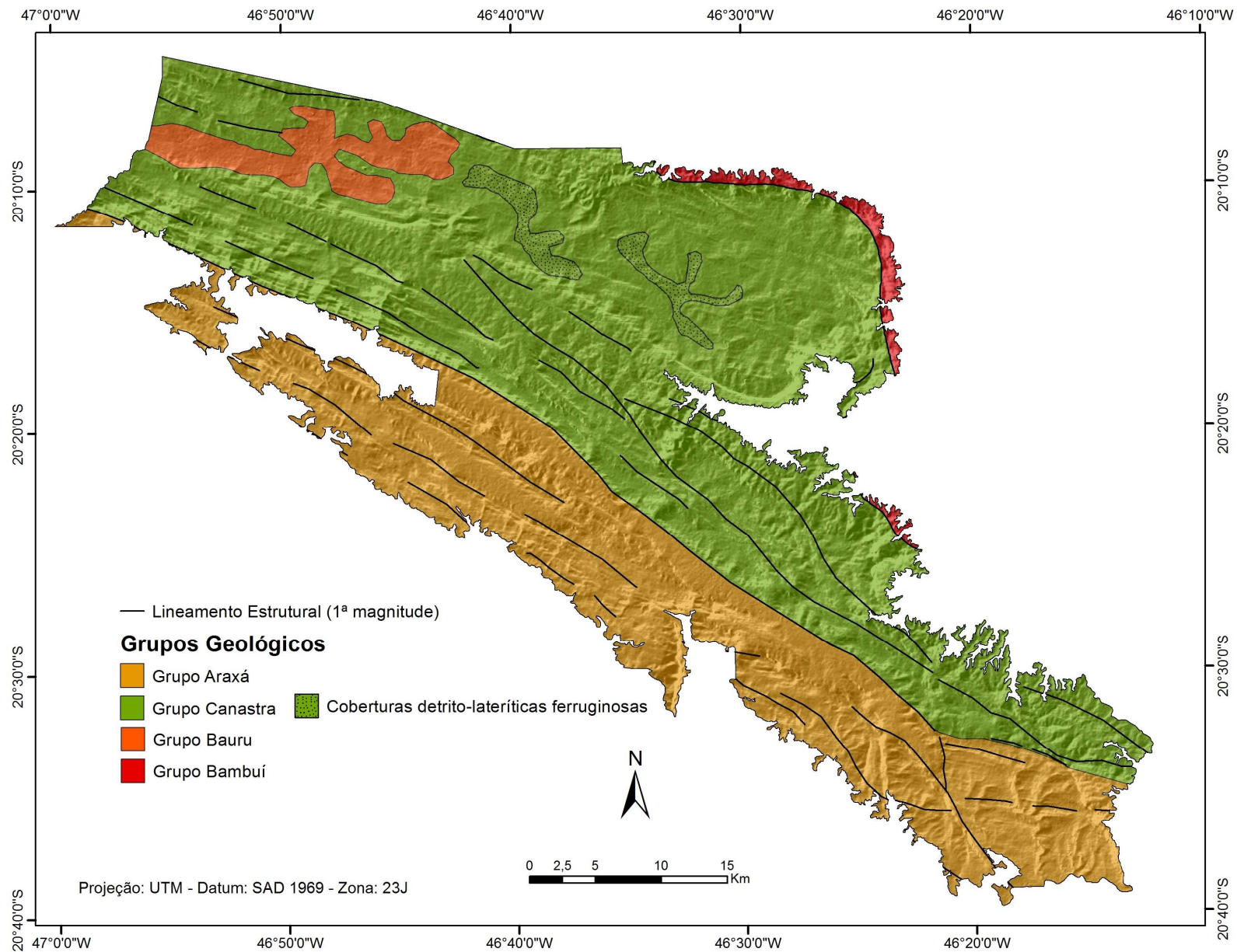


Figura 1.21: Mapa Geológico do PNSC. Fonte: adaptado de COMIG/CPRM (2003); legenda modificada com base em Benitez (2009). Escala original: 1.500.000

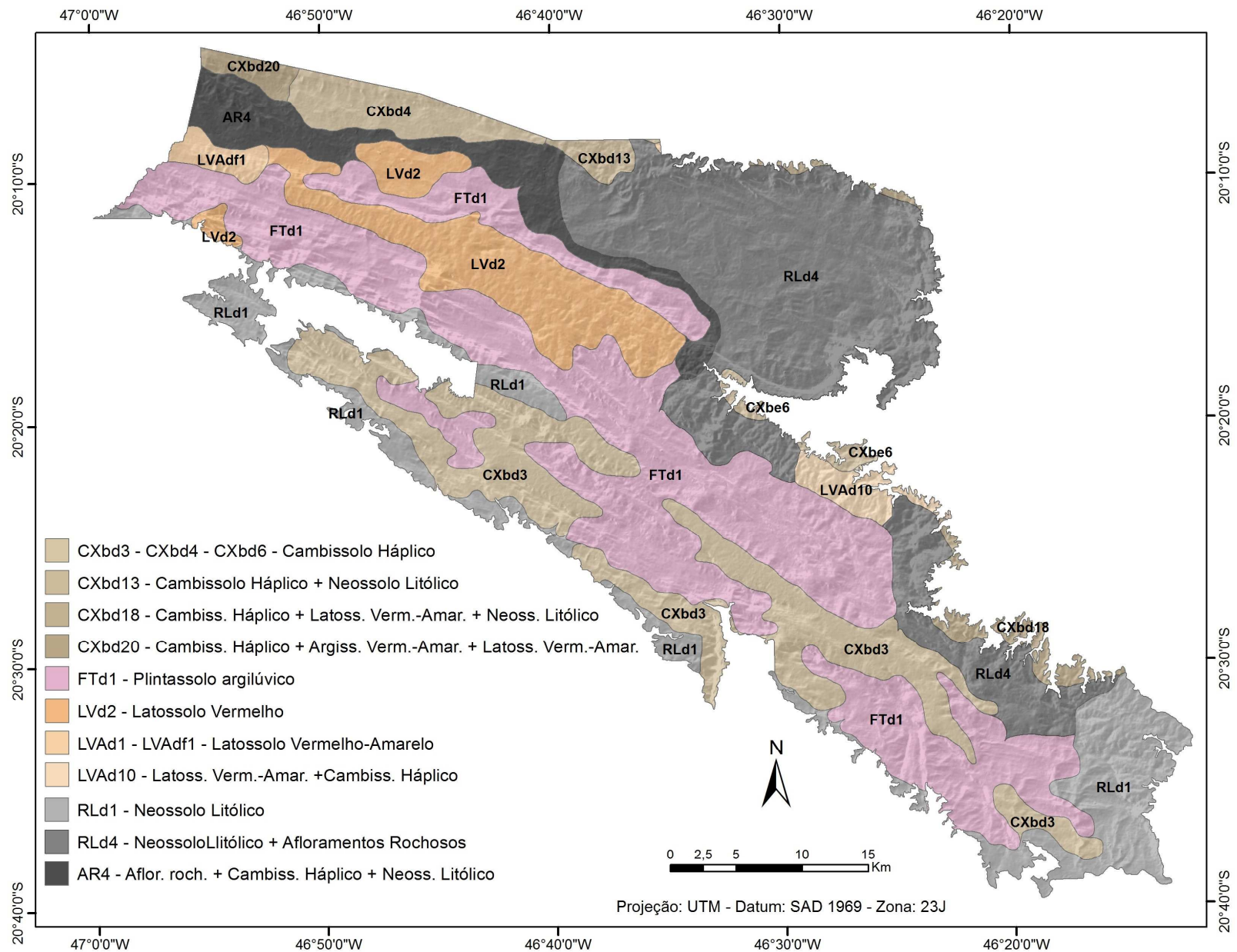


Figura 1.22: Mapa de solos do PNSC. Fonte: Mapa de solo do estado de Minas Gerais (2010). Escala original: 1.500.000. Cores: Convenção de cores para mapas/cartas de solos

6. ATIVIDADES CONFLITANTES NO PNSC

6.1 Contextualização

No PNSC, mesmo com sua grande importância ambiental, são desenvolvidas inúmeras atividades ou situações conflitantes, as quais podem ameaçar a conservação desta UC. São exemplos, a ocorrência de incêndios de forma não controlada, excesso de estradas, turismo pouco estruturado, atividades agrícolas, pecuária e supressão da vegetação do cerrado (MMA/IBAMA, 2005). Estas situações serão brevemente discutidas, sendo que ocorrem de forma mais intensa no Chapadão da Babilônia, uma área de grande preocupação, devido ao baixo percentual de áreas regularizadas.

6.2 Incêndios

O fogo, apesar de comum na região do cerrado, datado de 32 mil anos, pode ser também visto como modificador da vegetação do bioma. É fato que, 70% da biomassa da vegetação de campo sujo, se recupera após nove meses da passagem do fogo. Entretanto, queimadas frequentes podem levar a uma redução da biomassa total e empobrecimento do estoque de nutrientes (MIRANDA *et. al.*, 2004).

Pode-se afirmar que as queimadas em Unidades de Conservação localizadas no cerrado brasileiro tem crescido nas últimas décadas. Isto se deve, especialmente, devido à crescente ocupação destas áreas e à conversão destas em zonas agrícolas (MEDEIROS E FIEDLER, 2004). Os registros de queimadas na região da Serra da Canastra são antigos, e provavelmente, antes mesmo da colonização, os indígenas já utilizavam o fogo como manejo (MMA/IBAMA, 2005).

Magalhães *et. al.* (2012) analisaram as queimadas ocorridas no PNSC entre os anos de 1988 e 2008, com base nos relatórios de ocorrência de incêndios – ROIs. No intervalo de tempo trabalhado, verificou-se um total de 219 incêndios, os quais queimaram uma área de 415.572ha. Os incêndios de menores proporções ocorrem em áreas de baixo declive, enquanto em áreas onduladas, acidentadas, montanhosas e em vales ocorrem queimadas mais críticas. Além disso, entre os 110 focos de incêndio ocorridos de 2002 a 2008, 52 se relacionam à área regularizada, 47 na não-regularizada e 11 na zona de amortecimento.

Por outro lado, Medeiros e Fiedler (2004) afirmam que 50% dos registros de queimadas no parque são de natureza antrópica, sendo a maior parte delas criminosas. Grande parte deste fogo é

ateado por incendiários, mas há também o uso do mesmo como manejo agropecuário na estação seca, aplicado-o sem o conhecimento de técnicas e equipamentos adequados. As queimadas naturais são causadas pela incidência de raios, na estação chuvosa, sendo elas 44% das ocorrências. As ocorrências restantes tem suas causas desconhecidas.

6.3 Mineração

No interior do parque, é verificada a presença de recursos minerais, entre eles diamante, ouro, caulim e quartzito, os quais são de grande interesse para empresas mineradoras (MMA/IBAMA, 2005). No entanto, sabe-se que na categoria Parque Nacional, a exploração destes recursos não é permitida.

A província diamantífera da Serra da Canastra se divide em dois distritos: Alto São Francisco e Médio Rio Grande. O distrito denominado Alto São Francisco engloba áreas do PNSC, havendo depósitos aluvionares com diamantes no Alto São Francisco de pelo menos 60Km. Acima da cachoeira Casca D'anta foram realizadas atividades de garimpagem anteriores à década de 1970, o que foi impossibilitado com a regularização do Chapadão da Canastra. Destaca-se a presença da rocha Kimberlito Canastra 1, localizada à jusante da queda da Casca D'anta, próximo ao escarpamento da Serra da Canastra, município de São Roque de Minas e Kimberlito Canastra 8, em Delfinópolis. Estas são consideradas a primeira fonte primária de diamantes economicamente viável do país (CHAVES *et. al.*, 2008).

Ao longo dos anos, a não regularização do Chapadão da Babilônia permitiu que fossem expedidas licenças ambientais e títulos minerários, os quais permitiram a instalações de atividades mineratórias, tais como extração de quartzito e pesquisa mineral para diamante (MELLES *et. al.*, 2007a). Utilizando-se o software Google Earth, foi possível identificar 169 pontos de exploração de quartzito a SE do Chapadão da Babilônia, área onde também ocorre alto adensamento de vias de circulação, as quais dão acesso às cavas de exploração (Figura 1.23).

Faleiro e Lopes (2010) apontam impactos da extração do quartzito, tais como rebaixamento do lençol freático, processos erosivos, transporte de partículas e assoreamento de redes de drenagem, aumento de gases e partículas sólidas em suspensão, remoção da vegetação, degradação paisagística, geração de rejeito, entre outros. Além dos impactos apontados, é fato que a exploração mineral é um dos principais pontos da discussão que levaria a alterações na área do parque, as quais possibilitariam a extração de recursos naturais.

MMA/IBAMA (2005) apontam que, nas minas de extração de quartzito, localizadas nas Serras do Capão Alto, Cigano e Canteiros, são visualizados impactos como assoreamento dos córregos, aumento da turbidez, perda de biótopos aquáticos, impacto visual, supressão da vegetação natural e passivo ambiental.

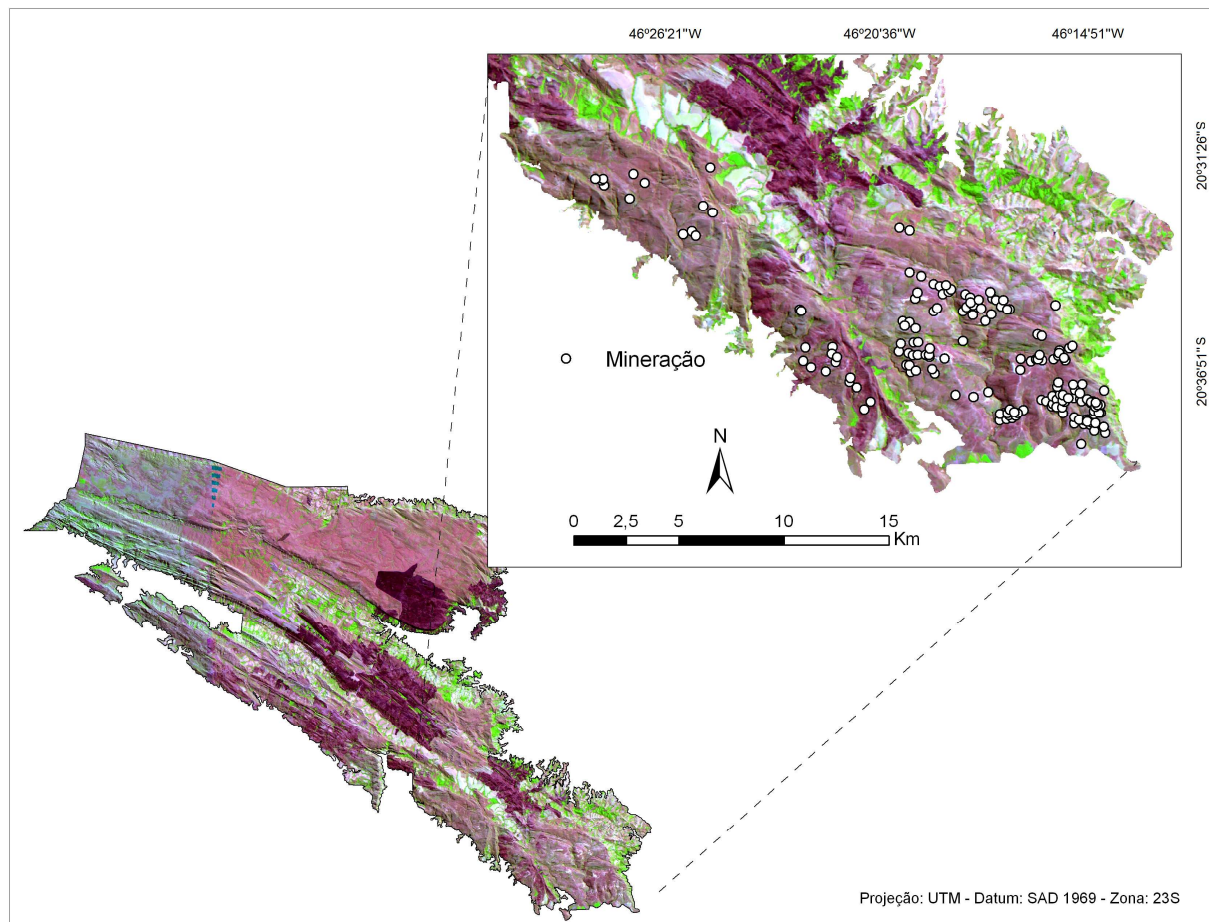


Figura 1.23: Pontos de exploração de quartzito identificados a SE do Chapadão da Babilônia. Base cartográfica: Imagens GeoEye / Google Earth (2011) e Landsat TM 5, cenas 219/74 e 220/74, 24/08/2011 e 18/08/2011.

6.4 Agropecuária

A agropecuária, importante atividade econômica para os municípios em questão, ocorre também de forma irregular no Chapadão da Babilônia. Bizzerril *et. al.* (2008) citam que, já no início do século XIX, naturalistas observaram e relataram a presença de cabeças de gado e plantações de milho.

Atualmente na região da Serra da Canastra, há 2 mil pequenas propriedades rurais, cuja população mantém as tradições locais e fazem da região uma referência ao turismo rural. A

criação de gado é considerada essencial para a produção leiteira e do queijo canastra. (MELLES *et. al.*, 2007a). Deve-se ressaltar que os proprietários de gado se estabelecem nos fundos de vale e utilizam o alto do Chapadão para o pastoreio. Observa-se um alto grau de fragmentação da vegetação natural, dominando extensas áreas de pastagem, resultado da atividade agropecuária (MMA/IBAMA, 2005).

Na porção central do Chapadão da Canastra há poucos indícios de ações antrópicas recentes – exceto queimadas. As práticas agrícolas são observadas no entorno do parque ou nos vales do Chapadão da Babilônia (MMA/IBAMA, 2005). A força do setor econômico se deve ao surgimentos de cooperativas – Sicoob Saromcredi e Cooperativa dos Produtores Rurais da Serra da Canastra (BIZERRIL *et. al.*, 2008).

6.5 Turismo pouco estruturado e excesso de vias de circulação

Segundo MMA/IBAMA (2005), o turismo é uma atividade que vem crescendo na região, baseado no ecoturismo e turismo rural. O Chapadão da Babilônia possui várias pousadas, as quais vem sendo construídas para receber turistas interessados em conhecer as belezas naturais da Serra da Canastra. Configurando-se hoje como importante atividade econômica alternativa, o turismo se organizou de forma incipiente e pouco estruturado.

Com relação às estradas que dão acessos ao parque, ambos os chapadões possuem estradas e trilhas (Figura 1.24). O Chapadão da Canastra, apesar de possuir menor quantidade de vias de acesso, possui uma estrada principal, não pavimentada, de aproximadamente 67Km. Esta estrada dá acesso a quase todo o chapadão, inclusive à nascente histórica do Rio São Francisco e à montante da cachoeira Casca D'Anta.

Por sua vez, o Chapadão da Babilônia possui grande concentração de vias de circulação. Verifica-se um alto adensamento nos fundos de vale, as quais dão acesso livre às propriedades rurais, assim como a SE da área de estudo, onde são localizadas estradas e trilhas que levam às inúmeras cavas de exploração de quartzito. As vias de circulação são ainda utilizadas para atividades *Off Road*, praticadas com jipes e motocicleta.

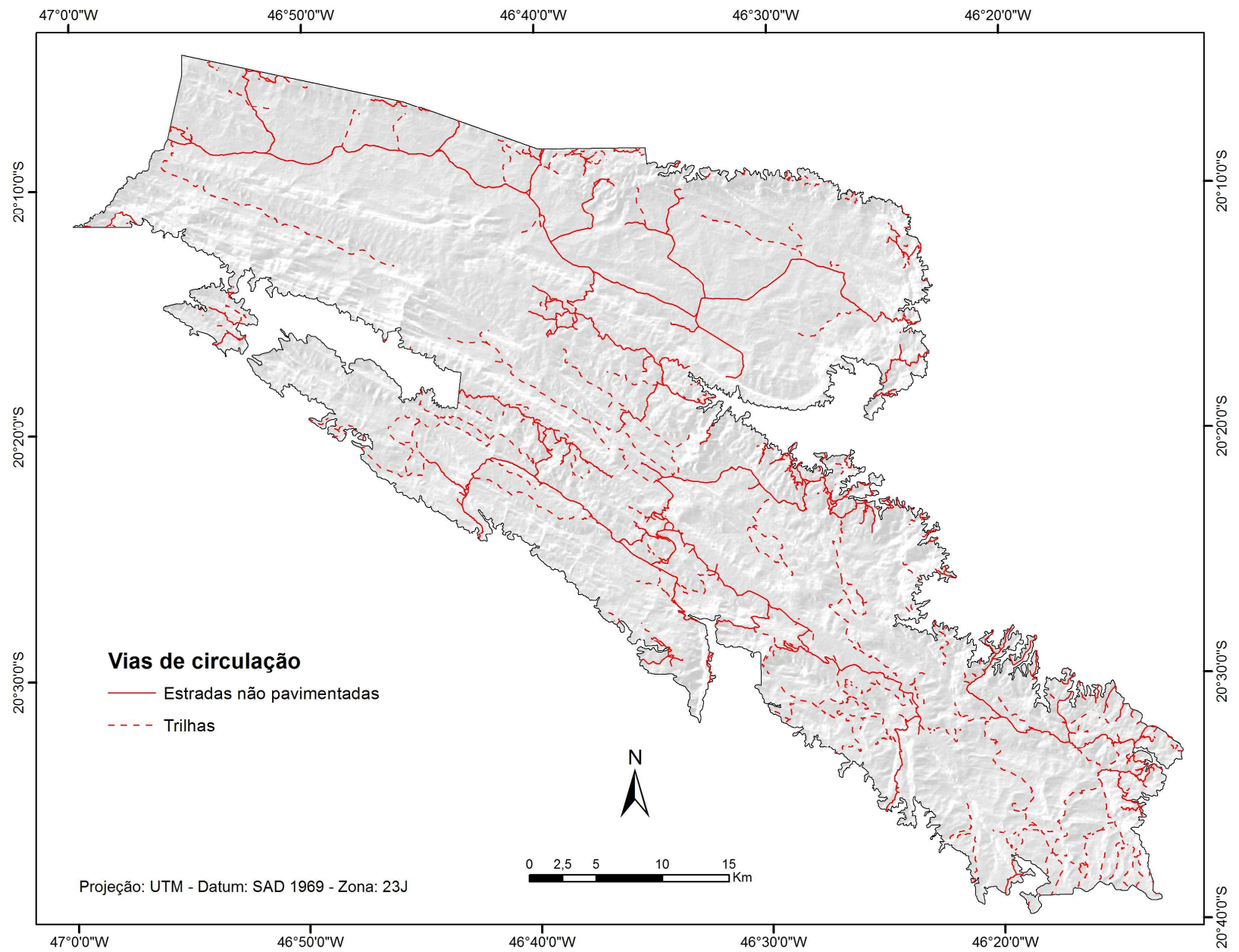


Figura 1.24: Vias de circulação no PNSC. Base cartográfica: Imagens GeoEye / Google Earth (2011).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. Os domínios de natureza no Brasil. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 158 p.
- ADAS, Melhem. Panorama geográfico do Brasil. 4ed. rev. e ampl. São Paulo: Moderna, 2004, p. 334.
- ARAÚJO, M.A.R. Unidades de Conservação no Brasil: da república à gestão de classe mundial. Belo Horizonte: SEGRAC, 2007. 272 p.
- ARRUDA, R. “Populações Tradicionais” e a proteção dos recursos naturais em Unidades de Conservação. *In.: Ambiente e Sociedade*, ano II, n° 5, 1999
- ASSIS, A.T.; RIOS, L. Resgate histórico da percepção dos moradores locais em relação à transposição do Rio Piumhi para o Rio São Francisco. *In.: Revista UNIARARA*, v. 13; n. 1, p. 16-24, julho de 2000.
- BARBOSA, C. Territórios de vida e trabalho dos pequenos produtores de queijo da Serra da Canastra: um estudo sobre a relação entre a produção camponesa e espaços naturais protegidos nas nascentes do Rio São Francisco, Minas Gerais (Dissertação de mestrado). Uberlândia: UFU, 2007.
- BARBOSA, A.M. Subsídios para o planejamento em ecoturismo na região do médio Rio Grande, Minas Gerais, utilizando Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Dissertação (mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE: São José dos Campos, 2004. 249 p.
- BDMG. Diagnóstico da economia mineira – v. 1. Belo Horizonte: BDMG, 1968. 207 p.
- BENITEZ, L. Províncias diamantíferas de Minas Gerais: uma proposta para a caracterização de populações de diamantes típicas como subsídio à Certificação Kimberly. Tese de doutorado. IGC UFMG, Belo Horizonte, 2009
- BIZERRIL, M.; SOARES, C. C.; SANTOS, J. P. Um lugar chamado Canastra. Atibaia: Instituto Pró-Carnívoros, 2008. 81 p.
- BRASIL. Decreto n° 70.355, de 3 de abril de 1972. Cria o Parque Nacional da Serra da Canastra, no Estado de Minas Gerais, com os limites que especifica, e dá outras providências. Publicado no D.O.U. de 4 de abril de 1972a

BRASIL. Decreto-lei nº 1.207, de 7 de fevereiro de 1972. Cria programa especial para o Vale do Rio São Francisco (PROVALE) e dá outras providências. Publicado no D.O.U. de 7 de fevereiro de 1972b

_____. Decreto nº 74.447, de 21 de agosto de 1974. Declara de interesse social, para fins de desapropriação, imóveis rurais situados nos Municípios de Vargem Bonita, Sacramento e São Roque de Minas, compreendidos na área prioritária de emergência, para fins de Reforma Agrária, de que trata o decreto nº 74.446, de 21 de agosto de 1997. Publicado no D.O.U. de 22 de agosto de 1974

_____. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Publicado no D.O.U. de 19 de julho de 2000

CBH ARAGUARI. Disponível em: <<http://www.cbharaguari.org.br/>>. Acesso em: 14/10/2013.

CBH GRANDE. Disponível em: <<http://www.grande.cbh.gov.br/>>. Acesso em: 14/10/2013.

CBH PARANAÍBA. Disponível em: <<http://www.paranaiba.cbh.gov.br/>>. Acesso em: 14/10/2013

CHAVES, M. L. S. C.; BENITEZ, L.; ANDRADE, K. W. Cachoeira Casca d'Anta, São Roque de Minas: Berço do velho Chico, rio da Integração Nacional. *In.*: WINGE, M; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S.; BERBERT-BORN, M. QUEIROZ, E. T. (Edit.). Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Brasília: CPRM, 2009.

CHAVES, M. L. S. C.; ANDRADE, K. W.; BENITEZ, L.; BRANDÃO, P. R. G. Província diamantífera da Serra da Canastra e o Kimberlito Canastra-1: Primeira fonte primária de diamantes economicamente viável do país. *In.*: Geociências, v. 27, n. 3, p 229-317, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia – 2ª ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1980. 188 p.

CONTI, J. B.; FURLAN, S. A. Geoecologia: o clima, os solos e a biota. *In.*: ROSS, J. L. S. (org.). Geografia do Brasil. São Paulo: Edusp, 2011. 549 p.

COUTO JUNIOR, A. F.; SOUZA, V. V.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; SANTANA, O. A.; FREITAS, L. F.; GOMES, R. A. T. Integração de parâmetros morfométricos e imagem ASTER para a delimitação das fitofisionomias da Serra da Canastra, Parque Nacional da Serra da Canastra – MG. *In.*: Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 11, n. 1, p. 57-68, 2010.

DIEGUES, A.C.S. O mito moderno da natureza intocada. 3ª ed. São Paulo: Hucitec, Núcleo de Apoio à Pesquisa Sobre Populações Humanas e Áreas Úmidas Brasileiras, USP, 2000. 169 p.

ESCARPAS DO LAGO. Disponível em: <<http://www.escarpasdolago1.com.br>>. Acesso em: 31/01/2014

FALEIRO, F. F.; LOPES, L. M. Aspectos da mineração e impactos da exploração de quartzito em Pirenópolis – GO. *In.*: Ateliê Geográfico, v. 4, n. 3, p. 148-162, agos/2010

FITZ, P.R. Cartografia básica. São Paulo: oficina de textos, 2008. 143 p.

FJP. Perfil de Minas Gerais 2012. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 2012. 296p.

GARCIA, J.R.; ANDRADE, D.C. Panorama geral da industrialização de Minas Gerais (1970-2000). *In.*: Leituras de economia política, v. 12, Campinas, 2006/2007, p. 155-182

GODINHO, A. L.; GODINHO, H. P. Breve visão do São Francisco. *In.*: GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. (Orgs.) Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais. Belo Horizonte, PUC Minas, 2003. p. 15-24.

GONG, J., XIE, J., 2009. Extraction of drainage networks from large terrain datasets using high throughput computing. *In.*: Computers & Geosciences, v. 35, n. 2, p. 337-346, 2009.

GRANELL-PÉREZ, A.D.C. Trabalhando Geografia com as cartas topográficas – 2ª ed. Ijuí: Ed. Unijuí, 2004. 128 p.

IBDF. Plano de manejo do Parque Nacional da Serra da Canastra. Brasília: 1981

IBGE. Censo demográfico 1950. v. 1. Rio de Janeiro: IBGE, 1956

_____. Censo demográfico 1980. Rio de Janeiro: IBGE, 1980

_____. Censo demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010a

_____. Censo demográfico 2010: agregados por setores censitários. Rio de Janeiro: IBGE, 2010b

_____. Contas regionais do Brasil 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/images/2522_3643_173712_106392.gif>. Acesso em: 14 de janeiro de 2014

_____. IBGE cidades. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>>. Acesso em: 15 de junho de 2013

IGAM. Mapas das bacias hidrográficas de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/geoprocessamento/mapas>>. Acesso em: 08/01/2014

JESUS, N. Avaliação do modelo digital de elevação aster para análise morfométrica de bacias hidrográficas. Tese de Doutorado. IG-UNICAMP, Campinas, 2009.

LINS, L. V.; RIBEIRO, F.; ANDRADE, R. D.; RIGUEIRA, S. E. Educação ambiental para a conservação da Serra da Canastra, Minas Gerais, utilizando o pato-mergulhão (*Mergus octosetaceus*) como espécie bandeira. *In.*: MG.BIOTA, Belo Horizonte, v.4, n.3, p. 34-55, ago./set. 2011

LIU, W. T. H. Aplicações de Sensoriamento Remoto. Campo Grande: UNIDERP, 2007. 881 p.

MAGALHÃES, S. R.; LIMA, G. S.; RIBEIRO, G. A. Avaliação dos incêndios florestais ocorridos no Parque Nacional da Serra da Canastra – Minas Gerais. *In.*: Cerne, Lavras, v. 18, n. 1, p. 135-141, jan./mar. 2012

MELLES, C.; CUNHA, O. LARA, M. C. THADEU, G. GUERRA, R. Projeto de Lei nº 1448 de 28 de junho de 2007. Altera os limites do Parque Nacional da Serra da Canastra, que passa a compor o mosaico de unidades de conservação da Serra da Canastra, nos termos do art. 26 da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Brasília, 2007a.

MELLES, C.; CUNHA, O. LARA, M. C. THADEU, G. GUERRA, R. Projeto de Lei nº 1517 de 28 de junho de 2007. Cria a Área de Proteção Ambiental da Serra da Canastra, que passa a compor o mosaico de unidades de conservação da Serra da Canastra, nos termos do art. 26 da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Brasília, 2007b.

MEDEIROS, Marcelo Brilhante de Medeiros; FIEDLER, Nilton Cezar. Incêndios florestais no parque nacional da serra da canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 14, n. 2, 2004

MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; ANDRADE, S. M. A.; HARIDASAN, M.; MORAIS, H. C. Queimadas do cerrado: caracterização e impactos. *In.*: AGUIAR, L. M. S.; CAMARGO, A. J. A. (editores técnicos). Cerrado: ecologia e caracterização. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 249 p.

- MMA; IBAMA. Plano de Manejo: Parque Nacional da Serra da Canastra. Brasília: 2005
- PEREIRA, L. F.; DARDENNE, M. A.; RISIÈRE, C. A.; PEDROSA-SOARES, A. C. Evolução Geomorfológica dos grupos Canastra e Ibiá na região entre Coromandel e Guarda-Mor, MG. *In.*: Geonomos, v. 2, n. 1, 1994. p. 22-23.
- PORTO, M.F.A.; PORTO, R.L.L. Gestão de bacias hidrográficas. *In.*: Estudos Avançados, v. 22, n. 63, São Paulo, 2008. p. 43-60.
- RADAMBRASIL. Levantamento de recursos naturais: folhas SF 24-25 – Rio de Janeiro de Vitória, v. 32. Rio de Janeiro: Divisão de publicação, 1983. 775 p.
- ROLLEMBERG, R. Parecer nº ___ de 2013. Da Comissão do Meio Ambiente, Defesa do Consumidor e Fiscalização e Controle, em decisão terminativa, sobre o Projeto de Lei da Câmara nº 147, de 2010 (Projeto de Lei nº 1.517, de 2007, na origem), que cria a Área de Proteção Ambiental da Serra da Canastra, que passa a compor o mosaico de unidades de conservação da Serra da Canastra, nos termos do art. 26 da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, e o Projeto de Lei da Câmara nº 148, de 2010 (Projeto de Lei nº 1.448, de 2007, na origem), que altera os limites do Parque Nacional da Serra da Canastra, que passa a compor o mosaico de unidades de conservação da Serra da Canastra, nos termos do art. 26 da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, ambos do Deputado Carlos Melles e outros. Brasília, 2013
- ROSS, J.L.S. Relevo Brasileiro: Uma nova proposta de classificação. Revista do Departamento e Geografia, n. 4, 1985
- _____. Geomorfologia: ambiente e planejamento – 9ª ed. São Paulo: Contexto, 2012. 89p.
- SCARLATO, F.C. População e urbanização brasileira. *In.*: ROSS, J.L.S. (Org). Geografia do Brasil. 6ª ed., 1ª reimpr. São Paulo: Edusp, 2011. 549 p.
- SIDRA. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 04/02/2014
- SILVA, A. P.; VIEIRA, G. G.; FARINASSO, M.; CARLOS, R, J. Determinação da extensão do rio São Francisco. *In.*: Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, INPE, 2003, p. 393-400.
- SILVA, J. X. Geomorfologia e Geoprocessamento. *In.* GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.s): Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos – 11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2012. 472p.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *In.*: Transactions of American Geophysical Union, v.38, p. 913-20, 1957.

UFV; CETEC; UFLA; FEAM. Mapa de solos do estado de Minas Gerais: legenda expandida. Belo Horizonte: FEAM, 2010. 49 p.

CAPÍTULO 2

A INFLUÊNCIA DE FATORES NATURAIS E ANTRÓPICOS NA OCORRÊNCIA DE PROCESSOS EROSIVOS E MOVIMENTOS DE MASSA

1. INTRODUÇÃO

O meio ambiente fornece, ao homem, recursos básicos para sua sobrevivência, tais como alimentos, água e ar. Dicotomicamente, o ser humano tem modificado a natureza de diversas formas, sendo que as principais delas estão ligadas a finalidades estritamente econômicas. “O homem participa dos ecossistemas em que vive. Ele os modifica e, por sua vez, os ecossistemas reagem determinando algumas adaptações do homem [...]. No momento atual, já não existe um ecossistema que não seja modificado pelo homem [...]” (TRICART, 1977, p. 17).

Conforme Ab'Sáber (1992), se não fossem as atividades humanas e as consequências dos processos econômicos, a natureza continuaria em sua complexa funcionalidade, apenas sofrendo modificações climáticas e ecológicas:

“Neste contexto, o Brasil – um país jovem, porém de um longo passado agrário –, sujeito a predações extensivas e a um processo industrial tardio, tão predatório quanto os velhos países industrializados, apresenta um mosaico de áreas críticas em que se incluem interferências de desigual intensidade no mundo dos ecossistemas naturais, no mundo das águas, no estado da atmosfera, no metabolismo das cidades e grandes concentrações metropolitanas, na saúde dos trabalhadores e dos homens-habitantes, e nos polos de industrialização intra ou extra-urbanos” (AB-SÁBER, 1992, p. 167).

Uma das consequências da atuação antrópica no meio ambiente, trata-se da erosão dos solos e evolução de movimentos de massa. A erosão dos solos é problema mundial, mas ocorre em maior expressividade em países em desenvolvimento. O autor afirma ainda, que apesar da importância dos solos, pouco tem se dado atenção a este recurso natural, pelo menos com relação à sua utilização e conservação (GUERRA, 1012). Do mesmo modo, os movimentos de massa são processos presentes em várias partes do mundo e no Brasil, são mais frequentes nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste. Mesmo estes sendo parte da evolução geomorfológica das vertentes, o crescimento populacional em áreas desfavoráveis, tem disseminado a ocorrência de desastres (TOMINAGA, 2012), pelos deslizamentos de terra.

Sabe-se que são inúmeros os danos causados pela erosão, como a perda de solos, limitação da expansão urbana, transporte de substâncias poluentes agregadas aos sedimentos, desenvolvimento de focos de doenças, destruição de superfícies de terras agrícolas e assoreamento de drenagens, o que pode levar a inundações (SANTORO, 2012). Os movimentos de massa, mesmo se constituindo como parte da evolução geomorfológica das vertentes, cada vez

mais estão associados à ocorrência de desastres, devido ao crescimento populacional em áreas desfavoráveis (TOMINAGA, 2007).

Desta forma, a erosão dos solos é vista como grande problema ambiental, inclusive em áreas protegidas. Exemplo disso é citado por Medeiros e Fiedler (2004), os quais afirmam que no Parque Nacional da Serra da Canastra – PNSC, mesmo nas áreas com declividade menor, há a ocorrência de erosão intensa. Segundo os autores, ao longo das estradas são observados processos erosivos que chegam a provocar sulcos, valas e voçorocas de grandes proporções. Conforme MMA/IBAMA (2005), podem-se verificar, ao longo do Chapadão da Babilônia, erosão acelerada, assoreamento dos rios e terracetes; na nascente do Rio São Francisco, verificam-se erosão e compactação dos solos; em trechos do Ribeirão Grande, das Baleias e do Vale do Facão, além de ravinas e voçorocas, observam-se movimentos de massa nos barrancos, deposição de cascalho e alterações no perfil topográfico do leito fluvial.

Este capítulo tem como objetivo pontuar diferentes processos erosivos e movimentos de massa no PNSC, tais como: ravinas, voçorocas, margens degradadas, escorregamentos e rastejos. Além disso, foram espacializados em mapas temáticos, fatores naturais e antrópicos, os quais se relacionam com a ocorrência destes eventos.

Para estes fins, foram utilizados produtos de Sensoriamento Remoto e técnicas de Análise Espacial, disponíveis em SIGs. Ferreira e Loureiro (2013) defendem o potencial das geotecnologias no planejamento e organização dos territórios brasileiros. Para eles, a proteção dos biomas, o risco à população das regiões serranas, assim como os conflitos e questões complexas das áreas urbanas, são exemplos em que as geotecnologias podem contribuir.

2. SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL

2.1 Erosão dos solos e movimentos de massa

Bertoni e Lombardi Neto (2010) relatam que um dos fatores que causaram a queda das primeiras civilizações e impérios, trata-se da erosão dos solos. Para eles, a erosão é um dos grandes problemas da sociedade, sendo que milhões de hectares de terras cultiváveis foram erodidos e cada vez mais a sociedade está dependente dos recursos naturais, devido à elevação do padrão de vida.

Quanto à natureza da erosão, DAEE (1989) aponta que:

[...] na superfície da terra há um quadro extremamente dinâmico, no qual diversos processos atuam de forma contraditória, formando e erodindo os solos. [...] neste quadro, a erosão é considerada *erosão normal*. Entretanto, às vezes esse equilíbrio é rompido com uma intensificação da erosão quando, então, se considera uma *erosão acelerada* que, sendo mais veloz que os processos de formação dos solos, não permite que esses se regenerem (DAEE, 1989, p. 21).

A erosão dos solos pode gerar inúmeros problemas ambientais, entre eles: “remoção dos nutrientes existentes no topo dos solos; redução da penetração das raízes e do armazenamento de água; diminuição das áreas a serem utilizadas para agricultura e pecuária; aumento do assoreamento de rios, lagos, reservatórios e açudes, levando muitas vezes a grandes enchentes em várias partes do mundo; poluição de corpos líquidos, em especial pelo transporte de defensivos agrícolas, junto com os sedimentos erodidos” (JORGE E GUERRA, 2013, p. 10)

“Conhecer a dinâmica dos processos erosivos e dos fatores condicionantes dos movimentos de massa é de extrema relevância para um planejamento e gestão ambiental eficaz [...]” (LOUREIRO E FERREIRA, 2013, p. 95). Não se pode obter um entendimento completo da situação de erosão atual – incluindo o desenvolvimento no passado e no futuro, restringindo-se ao estudo e mapeamento dos processos geomorfológicos envolvidos. Devem-se incluir informações sobre relevo, litologia, solos, etc. (VERSTAPPEN, 1983, p. 370).

Guerra (1999) afirma que o processo erosivo causado pela chuva atinge quase toda a superfície terrestre, especialmente nas áreas de clima tropical, onde os números pluviométricos são elevados e as chuvas concentradas em certas estações do ano. Bertoni e Lombardi Neto (2010) distinguem os processos erosivos em três diferentes tipos: (a) erosão laminar; (b) erosão em sulcos; (c) erosão em voçorocas ou desbarrancados. Tominaga (2012, p. 27) mostra que, por sua vez, os movimentos de massa são “importantes processos naturais que atuam na dinâmica das vertentes, fazendo parte da evolução geomorfológica em regiões serranas”. Augusto Filho (1992) chama de movimentos de massa, processos como: rastejo, escorregamentos, quedas e corridas.

Os agentes de erosão envolvidos nos processos são águas correntes (rios e fluxos laminar e em filete), águas subterrâneas, ondas, correntes marinhas, marés, ventos, geleiras e gravidade (BIGARELLA, 2007). Por sua vez, os fatores controladores das taxas de erosão podem ser, de forma genérica, a cobertura vegetal, classes de solo, pluviosidade, características das encostas, entre outros (GUERRA, 2012).

Conforme Seixas (1985), os tipos de erosão podem ser quanto à origem: geológica, aquela em que ocorre de forma natural através do passar do tempo; e acelerada, quando relacionada às práticas agropecuárias. Por sua vez, Santoro (2012) discute a importância dos processos erosivos causados pela chuva, pois ocorre em grande parte da superfície da terra. Para ele, se destacam dois tipos principais de processos erosivos decorrentes à ação da água, sendo eles: erosão em lençol e erosão linear. Na concepção de Verstappen (1983, p. 373), “a identificação de erosão acelerada é em muitos casos uma questão fácil, quanto à abundante evidência e, infelizmente, disponibilidade em muitas áreas. Mesmo quando os processos erosivos são claramente visíveis nas encostas, o diagnóstico da ocorrência de erosão acelerada pode não ser tão fácil”.

Guerra (1999) explica como se dá a formação dos processos erosivos. De acordo com o autor, dependendo da intensidade da chuva, os espaços entre as partículas de solo são ocupados por água, tornando-o saturado, formando poças e levando ao escoamento superficial. O escoamento inicial é difuso, provocando erosão em lençol, seguido pelo desenvolvimento em fluxo linear, em pequenos canais. Formam-se microrravinas e microrravinas com cabeceira, transportando sedimentos resultantes da erosão. De acordo com Zachar (1982), quando a água se acumula em sulcos, depressões e canais, diminui o atrito e aumenta rapidamente a velocidade do fluxo e força erosiva.

Para Guerra (2012, p. 181), “as ravinas são, quase sempre, iniciadas a uma distância crítica do topo da encosta, onde o escoamento superficial se torna canalizado”. Oliveira (1999, p. 59) considera ravinas como incisões com menos de 50 centímetros. Guerra (2012) cita ainda que a ravina pode se tornar um curso d’água perene, desembocando em um rio, mas evolui em voçoroca quase sempre que alcança este estágio. Vieira (1978, p. 8) defende que “as condições litológicas são as responsáveis principais pela presença de ravinas ou de boçorocas numa determinada zona”. Já Bigarella (2007) coloca que as ravinas são características de superfícies desprovidas de vegetação, terras de agricultura ou locais onde a vegetação foi perturbada, seja por mudanças climáticas, queimadas ou pelo pisoteio de gado. O autor afirma ainda que “os ravinamentos ocorrem em quase todas as regiões climáticas, tanto em vertentes suaves como nas mais íngremes” (BIGARELLA, 2007, p. 924).

Seixas (1985, p. 54), define que “o envossorocamento consiste no deslocamento de enormes volumes de terra, formando assim depressões de grande extensão [...], chegando a atingir grandes extensões”. Oliveira (1999, p. 59), reconhece voçorocas como “incisões com

largura e profundidade superiores a 50 centímetros”. DAEE (1989, p. 24) afirma que “a voçoroca corresponde a um estágio mais avançado e complexo da erosão, cujo poder destrutivo local é superior ao das outras formas e, portanto, de mais difícil contenção”. Morgan (1986) cita que as voçorocas estão quase sempre associadas à erosão acelerada, portanto, à instabilidade da paisagem. Zachar (1982), estudando voçorocas na antiga Tchecoslováquia, mostrou que muitas ocorrem em gradientes de declividade entre 5 e 10° e cerca de 90% são encontradas entre 2 e 15°.

Há ainda, a ocorrência dos chamados movimentos de massa, que para Tominaga (2012, p. 27), são os “[...] movimentos do solo, rocha e/ou da vegetação ao longo da vertente sob a ação direta da gravidade”. Para Santos (2004, p. 24), “essas movimentações de solos e blocos de rocha devem-se à combinação de fatores ligados ao relevo (declividades das encostas), à pluviosidade e aos diversos materiais e características geológicas envolvidas”. Este autor cita que os movimentos de massa são classificados em dois grupos, sendo eles *naturais* (rastejo, escorregamentos translacionais rasos, corridas de lama, desprendimentos de rocha) e *induzidos* (escorregamentos rotacionais profundos, movimentação de tálus e colúvios, colapso em saprólito fraturado etc.).

Na concepção de Tominaga (2012, p. 28), “os escorregamentos são movimentos rápidos, de porções de terreno (solos e rochas), com volumes definidos, deslocando-se sob ação da gravidade, para baixo e para fora do talude ou da vertente. Silva *et al.* (2004, p. 27) afirmam que “são terras escorregadas por saturação extrema (perda de coesão das partículas de solo) e ação da gravidade em escarpas ou vertentes íngremes”. Para Bigarella (2007), o que leva ao desequilíbrio entre a gravidade e a resistência do solo: são causas externas – escavações ou cortes no sopé do talude ou não – como o aumento da pressão intersticial ou deteriorização progressiva da resistência do solo.

Já os rastejos “são movimentos lentos e contínuos de material de encostas com limites indefinidos” (TOMINAGA, 2012, p. 34). Santos (2004, p. 39) define rastejo como “movimento de grande lentidão e interminência no horizonte superior de solos superficiais”. Este autor cita ainda que o rastejo é medido em escala temporal de dezenas de anos, ocorrendo em encostas retilíneas e convexas, com intensidades proporcionais à inclinação. De acordo com Bigarella (2007, p.1040), “o rastejo se diferencia do escorregamento no que diz respeito ao mecanismo de deformação. No escorregamento o mecanismo liga-se na superfície de cedência ao cisalhamento, enquanto no rastejo ele assemelha-se ao de um líquido muito viscoso”.

“A utilização de produtos de Sensoriamento Remoto [...], aliada a um conjunto de procedimentos e ferramentas de análise espaciais existentes dentro de um SIG permitem importantes avanços nos estudos de movimentos de massa e processos erosivos” (LOUREIRO & FERREIRA, 2013, p.120). A identificação e compreensão dos fatores desencadeantes dos processos erosivos têm sido facilitadas com os avanços das técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, uma vez que nos permitem fazer avaliações temporais e pontuais, quanto ao estado de degradação dos solos, possibilitando assim o mapeamento de erosões com muito mais agilidade e em lugares de difícil acesso, gerando importante contribuição no estudo de erosão dos solos.

Garófalo *et. al.* (2012) mapearam os processos erosivos e os movimentos de massa na APA Fernão Dias – MG, a partir de imagens Google Earth georreferenciadas. Em seguida, calcularam a densidade dos processos, utilizando o estimador Kernel, no ArcGis 10. Os autores apresentam a eficácia da técnica, afirmando que: há alta intensidade de processos erosivos em áreas agropastoris, alta densidade de movimentos de massa, próximos de áreas urbanas e baixa densidade de ambos, próximos de remanescentes florestais.

2.2 Fatores naturais e antrópicos que influenciam na ocorrência dos processos erosivos e dos movimentos de massa

Processos nas encostas de todos os tipos e intensidades são parte integrante da Geomorfologia Dinâmica. Nestes estudos são mapeados não só fenômenos de processos erosivos e movimentos de massa, mas também os inúmeros fatores que influenciam sobre eles, tais como a declividade e forma das vertentes, litologia, materiais inconsolidados, solos, etc (VERSTAPPEN, 1983, p. 369).

Crepani *et. al.*, (2001, p. 15) afirmam que “antecedendo qualquer ocupação, devem ser conhecidos os componentes físicos - bióticos (geologia, geomorfologia, pedologia, fitogeografia e clima) que interagindo levaram ao estabelecimento das unidades de paisagem natural”. Por sua vez, Spörl e Ross (2004) asseguram que alterações no relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos acarretam o comprometimento da funcionalidade do sistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico. Morgan (1986) corrobora com Spörl e Ross (2004) ao dizer que os fatores que influenciam na taxa de perda do solo são a chuva, runoff, vento, solo, declividade, cobertura vegetal e a ausência de medidas conservacionistas.

Para Jansson (1982), são numerosas e variadas as influências da cobertura vegetal no processo de erosão e transporte, sendo que esta reduz fortemente a erosão. Conforme Cederstrom (1964) a permeabilidade do solo é sempre maior quando a terra está coberta por vegetação. Concordando com os autores, Guerra (2012, p. 161) aponta que “a densidade da cobertura vegetal é fator importante na remoção dos sedimentos, no escoamento superficial e na perda de solo”. Silva *et al.* (2004) relatam que a copa das árvores, a vegetação e, principalmente, a serrapilheira, amortecem a energia cinética contida nas gotas de chuva, evitando o salpicamento. Da mesma forma, Lourenço (2004) relata que a falta de vegetação permite que as gotas de chuva batam diretamente com o solo, aumentando o efeito do *splash* e a ação erosiva das chuvas. Além disso, a inexistência de vegetação reduz as taxas de infiltração. Neste sentido, Guerra (1999, p.17) mostra que os processos erosivos tendem a acelerar “[...] na medida em que mais terras são desmatadas para a exploração de madeira e/ou para a produção agrícola, uma vez que os solos ficam desprotegidos da cobertura vegetal [...]”.

De acordo com Silva *et al.* (2004), o clima exerce influência sob diversas formas no processo erosivos: pelo vento, chuva, neve e outros, sendo a erosão hídrica a mais importante. Sendo assim, a intensidade da chuva é considerada importante ao escoamento superficial e aos sulcos. Para Santoro (2012), em regiões de precipitação abundante e bem distribuída, têm-se solos profundos e permeáveis, resistentes à erosão. Por outro lado, em regiões onde as chuvas são mal distribuídas, como as subtropicais, nas quais ocorrem pancadas de chuvas fortes, ocorre uma aceleração na evolução de processos erosivos. Morgan (1986) aponta que a perda de solos está intimamente associada às chuvas, através das gotas que atingem a superfície e pelo escoamento. A autora apresenta uma tabela onde relaciona intensidade da chuva, número de quedas de chuvas e perda de solo médio por chuva (Tabela 2.1). Observou-se que o número de chuvas é inversamente proporcional à intensidade das chuvas, ou seja, quanto maior a intensidade da chuva, menor a probabilidade que ela ocorra (exceto no intervalo de 25,5 - 50,8mm/h). Por sua vez, a perda de solos é diretamente proporcional à intensidade da chuva, sendo que quanto mais intensa, maior perda de solo.

Tabela 2.1: Relação entre intensidade de chuvas e perda de solos

Intensidade máxima em 5 minutos (mm/h⁻¹)	Número de chuvas	Média de perda de solo por chuva (t/ha⁻¹)
0-25,4	40	3,7
25,5-50,8	61	6
50,9-76,2	40	11,8
76,3-101,6	19	11,4
101,7-127,0	13	34,2
127,1-153,4	4	36,3
152,5-177,8	5	38,7
177,9-254,0	1	47,9

Fonte: Morgan, 1986

Conforme Salomão (1999), a influência da topografia é verificada pela declividade e comprimento de rampa. Jorge & Guerra (2013, p. 8) inferem que “todas as paisagens que possuam algum tipo de declividade, geralmente superior a 3°, podem sofrer erosão”. Cederstrom (1964, p. 19) cita que “normalmente, onde a superfície tem uma inclinação considerável, a tendência de escoar é maior do que quando a área é plana ou quase plana”. Santoro (2012, p. 58) afirma que “o aumento da declividade de uma vertente provoca o aumento da velocidade do escoamento superficial e, como consequência, cresce também a sua capacidade erosiva [...]”. Da mesma forma, Zachar (1982) explica que à medida que a inclinação é maior, há o aumento do coeficiente de escoamento, da energia cinética e capacidade de fluxo, aumentando a probabilidade de erosão do solo devido ao grau de inclinação. No entanto, Morgan (1986) afirma que, em encostas demasiadamente íngremes, devido ao decréscimo de materiais disponíveis, as taxas de erosão diminuem.

As características litológicas também se configuram como importantes fatores que regem o padrão de distribuição dos processos erosivos causados pela água (VERSTAPPEN, 1983, p. 371). Para Soares e Fiori (1978, p. 48), os lineamentos do relevo são feições lineares, retilíneas ou curvas, que aparecem como uma forma linear fortemente estruturada dos elementos do relevo. Os autores afirmam que zonas de fraturamento são facilmente atacadas pelos processos meteóricos e erosivos, constituindo zonas de desenvolvimento preferencial de linhas de drenagem. Meijerink

(2007) sustenta que a passagem de água ao longo destes fraturamentos causa a expansão vertical e lateral dos mesmos, expandindo a zona de influência do intemperismo na fratura.

Salomão (1999) assegura que a falta de manutenção e a imprecisão dos projetos de drenagem, são as principais causas da grande incidência de processos erosivos em estradas rurais, observados em cortes, aterros e outros locais. Comumente, observam-se ravinas e boçorocas de grande porte associadas a estradas, atingindo propriedades rurais adjacentes. De acordo com Silva *et al.* (2004), verifica-se que a erosão predominante ao longo das estradas é do tipo linear, ocorrendo frequentemente ravinas e voçorocas, especialmente em áreas de baixa cobertura vegetal e solo pouco resistente à erosão.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta etapa da pesquisa, foram mapeados os processos erosivos, movimentos de massa e fatores naturais e antrópicos influenciadores na ocorrência daqueles na área do Parque Nacional da Serra da Canastra. (Figura 2.1). Fez-se, primeiramente, o levantamento bibliográfico referente aos temas trabalhados, tais como: processos erosivos, movimentos de massa, variáveis que influenciam na perda de solos e metodologias para a análise de fragilidade ambiental. Em seguida, levantaram-se produtos cartográficos, de teledetecção e dados pluviométricos, gerando mapas base para o mapeamento da fragilidade ambiental no PNSC – a qual será discutida no capítulo 3.

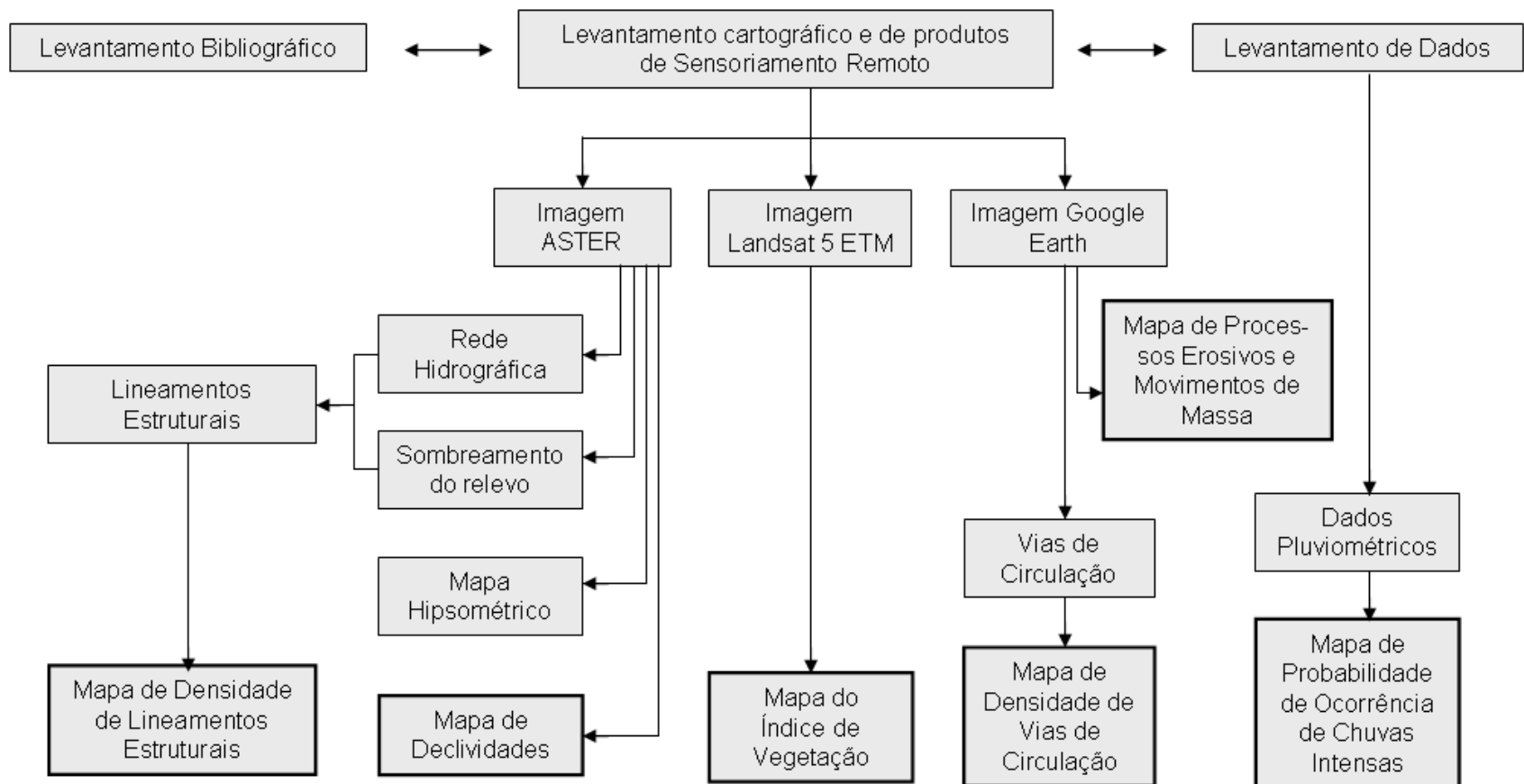


Figura 2.1: Fluxograma do desenvolvimento do capítulo 2 da pesquisa.

3.1 Materiais

Os materiais bibliográficos foram adquiridos em bibliotecas, como as da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp e Universidade Estadual de São Paulo – USP e sites especializados em consultas de materiais acadêmicos, como *Scientific Electronic Library Online* – Scielo e Google Acadêmico. Nestes locais, foram encontrados livros, artigos em periódicos e trabalhos em anais de eventos.

Por outro lado, imagens orbitais, fotografias aéreas e arquivos vetoriais diversos foram adquiridos em sites especializados na disponibilização de materiais cartográficos e produtos de sensores orbitais (Tabela 2.2), tais como Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE, *United States Geological Survey* – USGS, Google Earth e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Para a elaboração e atualização dos mapas e análise dos dados obtidos, utilizaram-se os seguintes sistemas de informações geográficas – SIGs: *ArcMap 10* e *Envi 4.6*.

Tabela 2.2: Materiais cartográficos utilizados

Fonte dos Dados Espaciais	Órbita	Resolução	Data	Executor
Imagens Landsat 5 TM	219/74	30m	24/08/2011	NASA
Bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7	220/74	30m	18/08/2011	NASA
ASTER Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM)	S21W047	30m	2009	METI / NASA
Imagens Google Earth / Spot	-	1,6m	2011	Orbimage / Google
Arquivo vetorial com os limites do PNSC	-	-	2012	ICMBio
Arquivo vetorial da divisão territorial do Brasil	-	-	2010	IBGE
Arquivo vetorial do Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais	-	Escala: 1.1.000.000	2003	CPRM

Adquiriram-se ainda séries históricas de dados pluviométricos, as quais foram obtidas pelo Instituto Nacional das Águas – ANA. Utilizaram-se oito postos pluviométricos, com séries históricas superiores a 30 anos – com exceção à estação Fazenda Sabura (Tabela 2.3).

Tabela 2.3: Postos pluviométricos utilizados para a aquisição de dados meteorológicos

Código	Nome	Município	Latitude	Longitude	Série histórica	Anos
02046025	Fazenda Sabura	São Roque de Minas	-20:8:51	-46:17:5	1984-2011	27
60220000	Desemboque	Sacramento	-20:0:50	-47:1:2	1956-2006	50
02046009	Delfinópolis	Delfinópolis	-20:20:52	-46:50:45	1942-2009	65
02046013	Vargem Bonita	Vargem Bonita	-20:19:48	-46:21:58	1974-2010	36
01946011	Tapira	Tapira	-19:55:37	-46:49:31	1975-2010	33
02046001	Itaú de Minas	Itaú de Minas	-20:44:21	-46:44:7	1942-2005	62
02045012	Piuhim-I	Piuhim	-20:27:43	-45:56:42	1975-2010	35
2046027	UHE Furnas	Alpinópolis	-20:40:33	-46:19:23	1990-2010	20

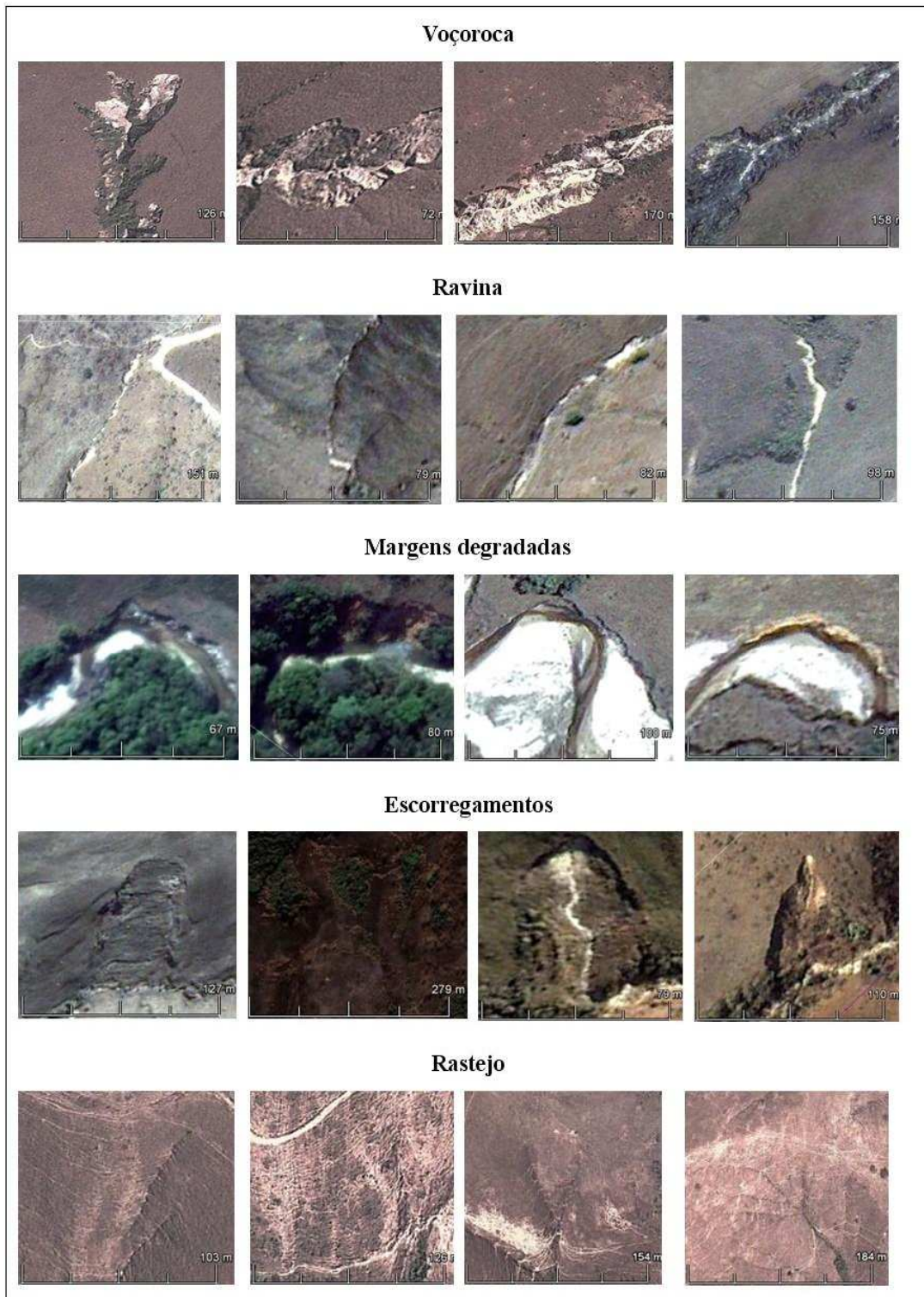
3.2 Metodologia

3.2.1 Mapeamento da ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa

Verstappen & Zuidam (1975) discutem que as fotografias aéreas são registros detalhados da superfície terrestre e seu uso aumenta a eficiência do levantamento geomorfológico. Elas podem ser utilizadas, antes de mais nada, para a preparação de uma base topográfica para o mapa geomorfológico e ao trabalho de campo, no posicionamento detalhado e plotagem exata das observações etc.

O mapeamento dos processos erosivos e movimentos de massa na área do PNSC foi o ponto inicial para o desenvolvimento desta pesquisa. Para tal fim, utilizaram-se funções e interpretaram-se imagens Spot, disponíveis no software Google Earth, sendo estas gratuitas e de alta resolução espacial.

No Google Earth, importou-se o arquivo vetorial de delimitação do parque, em formato *kmz* (formato compatível com o software citado). Selecionou-se então, uma área amostral piloto, na qual foram observados os processos erosivos e movimentos de massa existentes, gerando-se chaves de interpretação para o mapeamento destas feições (Quadro 1.1).



Quadro 1.1: Chave de interpretação para a identificação de processos erosivos, em imagens disponíveis no Google Earth / Spot

Executou-se a identificação dos processos erosivos e movimentos de massa em escala aproximada de 1:1.500, tendo sido analisada visualmente toda a área do parque, seguindo por grades de coordenadas, cada uma delas, os sentidos norte-sul e sul-norte. Isto possibilitou a visualização das vertentes sob dois diferentes pontos de vista (Figura 2.2). A possibilidade de visão do relevo em 3 dimensões facilitou a identificação e localização das feições. Os processos foram pontuados com marcadores – através da função *adicionar marcador* – e salvos em diferentes pastas, nomeados de acordo com o tipo de processo.

Ao final do trabalho visual, as imagens Google Earth da área do parque, contendo os processos erosivos, foram exportadas em formato JPEG (formato de imagem matricial), em alta resolução (4800x4800 pixels), através de uma licença teste do Google Earth Pro. Em ambiente ArcMap 10 estas imagens foram registradas, utilizando funções da barra de ferramentas *Georeferencing*. Atribuíram-se pontos de controle, através de feições comuns observadas nesta imagem e na drenagem, obtida em cartas topográficas do IBGE. Por fim, os pontos de ocorrência de processos erosivos foram digitalizados e salvos em formato *shapefile* – *shp* (formato vetorial compatível com o software *ArcMap*).

Para a análise dos processos pontuados, utilizar-se-ão variáveis ambientais e antrópicas condicionantes, tais como: índice de vegetação, declividades, densidade de estradas, densidade de lineamentos estruturais e probabilidade de ocorrência de chuvas intensas. Para a elaboração dos mapas das variáveis em questão, recorreram-se a técnicas de análise espacial disponíveis em SIGs. Para os mapas de densidade de estradas, densidade de lineamentos estruturais e probabilidade de ocorrência de chuvas intensas, atribuíram-se quatro classes de áreas iguais – quartis, através do classificador de intervalos *Quantile*. Os mapas do índice de vegetação e declividades tiveram seus intervalos classificados por quebras naturais – pelo classificador *Natural Breaks*, destacando-se melhor as características locais.



Figura 2.2: Visualização da mesma cena, segundo dois pontos de vista, seguindo as grades nos sentidos sul-norte (esquerda) e norte-sul (direita). Este procedimento foi utilizado para identificação e mapeamento dos seguintes processos erosivos: ravina, voçoroca e margem degradada

3.2.2 Mapeamento do índice de vegetação

Para analisar a cobertura vegetal do Parque Nacional da Serra da Canastra, optou-se por trabalhar com o Índice de Vegetação. “Nas aplicações do sensoriamento remoto, os cientistas desenvolveram os índices de vegetação para monitorar e quantificar as condições e a distribuição espacial da vegetação, usando os dados digitais de refletâncias espectrais da radiação eletromagnética” (LIU, 2007, p. 217).

Para calcular o índice, utilizaram-se produtos do satélite Landsat 5 TM, com resolução espacial de 30 metros. Observou-se que a área do parque ocupa duas diferentes cenas do satélite – sendo elas 220/74 e 219/74. Isto ocorre devido à diferente data de visita do satélite, sendo escolhidas imagens dos dias 18 e 24 de agosto de 2011 (Figura 2.3).

Mesmo havendo proximidade entre as datas, verificou-se que as geofácies, observadas nas duas cenas, possuem diferentes respostas espectrais. Por este motivo, foi necessário executar um ajuste espectral entre as bandas. Este ajuste foi realizado pela reclassificação dos valores dos pixels em uma das imagens, minimizando-se as diferenças entre elas. Para esta tarefa, aplicou-se o modelo estatístico de regressão linear.

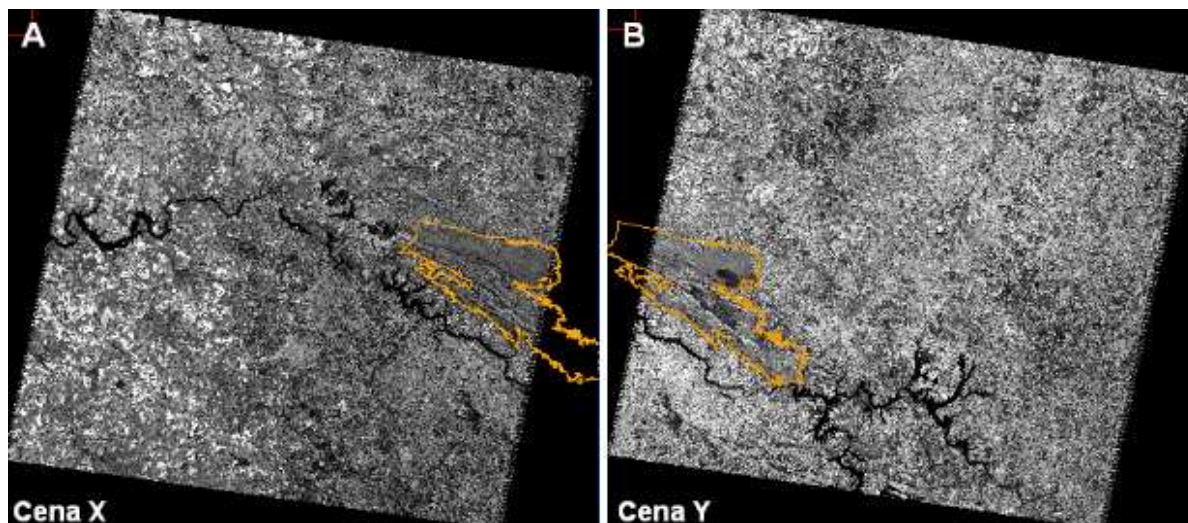


Figura 2.3: Diferentes cenas do satélite Landsat 5 TM, banda 3, utilizadas na pesquisa. A figura A corresponde à cena X (220/74, de 18/08/2011) e B à cena Y (219/74, de 24/08/2011)

3.2.2.1 Aplicação do modelo estatístico de regressão linear, para o ajuste espectral de imagens de satélite de diferentes datas

Conforme Mazucheli e Achcar (2002), através de análise estatística, é possível avaliar uma possível relação entre uma variável dependente e outra independente. Pela regressão linear, “[...] a partir de um conjunto de observações, busca-se o modelo que melhor explique a relação, se existir alguma, entre as variáveis inerentes a um dado fenômeno” (MAZUCHELI e ACHCAR, 2002, p.1761). A aplicação deste modelo gerou maior semelhança entre a média dos níveis de cinza obtidos em geofácies, nas bandas que operam no vermelho (banda 3) e infravermelho próximo (banda 4), através do ajuste espectral de uma das cenas do satélite Landsat 5 TM.

O software Envi 3.4 foi utilizado na geração de uma composição colorida 345/RGB, em uma cena a qual chamar-se-á de X. Nela, foram selecionadas 60 amostras de diferentes geofácies, em áreas comuns às duas cenas, delimitadas por regiões de interesse – ROIs, acima de 100 pixels. Trabalhou-se, primeiramente, com a banda do vermelho – banda 3, na qual foram importados os ROIs anteriormente criados (Figura 2.4). Através do software citado, encontrou-se a média dos níveis de cinza – *Digital Number* – de cada ROI e criou-se uma planilha no BrOffice Calc 3.2, relacionando-os em colunas (Anexo 1). O procedimento foi executado sem a aplicação do contraste nas imagens, portanto, as médias não se encontraram bem distribuídas no intervalo 0 e 255.

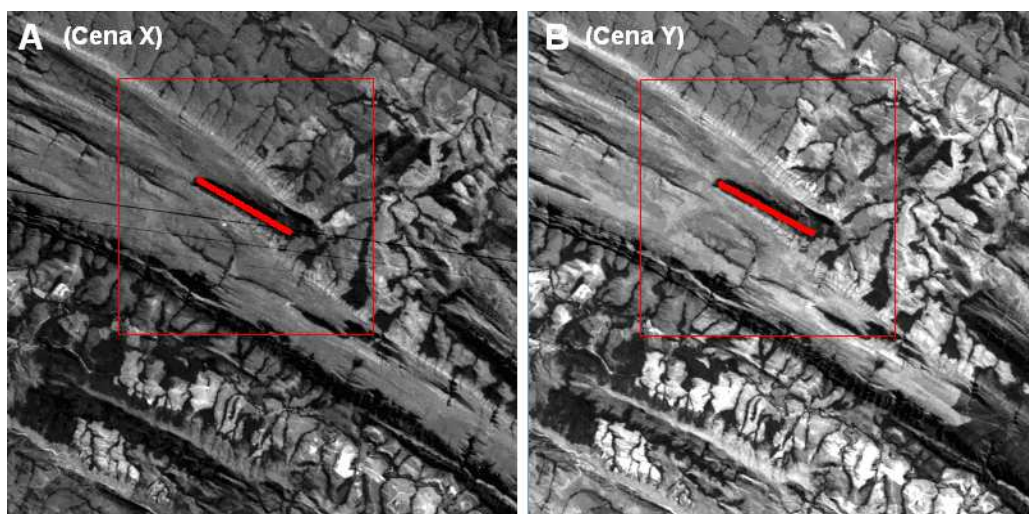


Figura 2.4: Delimitação de um polígono amostral de níveis de cinza nas cenas X e Y, utilizando a banda 3 do Landsat 5 TM, a partir da ferramenta ROI (*Region of Interest*), para ajuste espectral entre imagens de datas distintas. Cena Y: 219/74, de 24/08/2011; Cena X:220/74, de 18/08/2011.

Relacionando os valores dos ROIs amostrados nas cenas X e Y, gerou-se um gráfico de dispersão para cada banda, através do assistente de gráfico do BrOffice Calc 3.2 (Figura 2.5). Este gráfico apresenta a linha de tendência, a equação da reta de regressão linear – $f(x)$ e o coeficiente de determinação – R^2 .

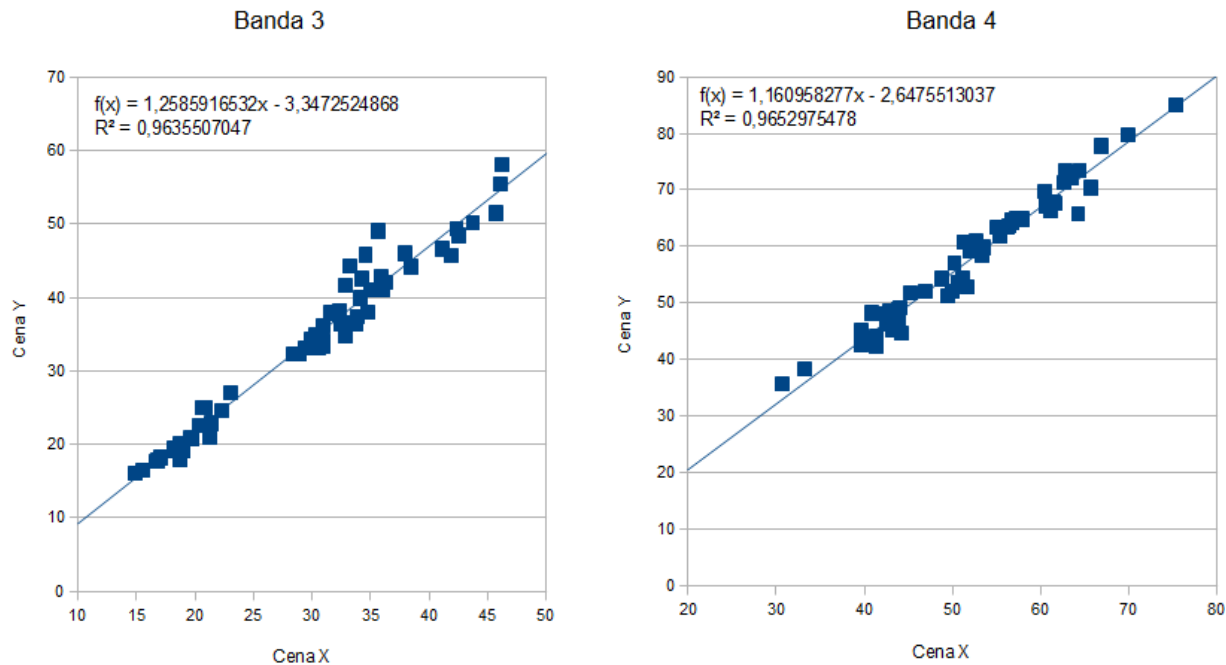


Figura 2.5: Figura 10: Retas de regressão e equações de regressão linear, para a banda 3, entre as cenas X (220/74, de 18/08/2011) e Y (219/74, de 24/08/2011), no BrOffice 3.2

Obtiveram-se resultados satisfatórios pela regressão linear dos valores de níveis de cinza das duas cenas, visto que o coeficiente de determinação – R^2 de ambas as bandas foi superior a 0,96. Ao final, foram encontradas as seguintes equações:

$$\text{– Banda 3: } F(X) = 1,26.X + (-3,35) \quad [\text{Eq. 2.1}]$$

$$\text{– Banda 4: } F(X) = 1,16.X + (-2,65) \quad [\text{Eq. 2.2}]$$

Aplicando-se estas equações de regressão linear, é possível alterar os valores dos pixels nas cenas ajustadas. Desta forma, ao se aplicar o algoritmo na cena X, deve haver um aumento nos valores de níveis de cinza, aproximando-se dos valores de Y. Esta alteração tornará as duas

cenos mais semelhantes no aspecto espectral, ou seja, com relação aos valores de níveis de cinza (Anexo 2, Anexo 3).

As equações foram aplicadas nas cenas X, bandas 3 e 4, utilizando-se a função *raster calculator*, do software ArcMap 10. Em seguida, fizeram-se os mosaicos das cenas X ajustadas e Y originais, através função *mosaic*, obtendo-se um só raster de saída. Por fim, recortou-se apenas a área de interesse, aplicando a função *clip* e utilizando a delimitação do parque como máscara.

Deve-se ressaltar que o ajuste espectral não gerará imagens idênticas, visto que são vários os fatores que causam diferenças espectrais em imagens de datas diferentes, tais como: horário de visita, diferenças atmosféricas, encharcamento do solo por ocorrência de chuva, alterações de uso do solo de uma data à outra ou mesmo desgaste do sensor em órbita no satélite.

Neste caso, obtiveram-se resultados positivos no ajuste espectral de usos como: campos sujos, campos limpos, campos rupestres, matas de galeria, rocha exposta, corpos d'água e solo exposto – como a precipitação no mês de agosto ocorre em taxas baixas, não houve encharcamento do solo entre as diferentes datas. No entanto, visualizou-se que na cena Y, do dia 24/08/2011, houve a ocorrência de uma grande queimada, abrangendo o Chapadão da Canastra e o Chapadão da Babilônia. Sendo geofácies diferentes as áreas queimadas e não queimadas, nas diferentes imagens, estas não puderam ser corrigidas pelo ajuste espectral (Figura 2.6).

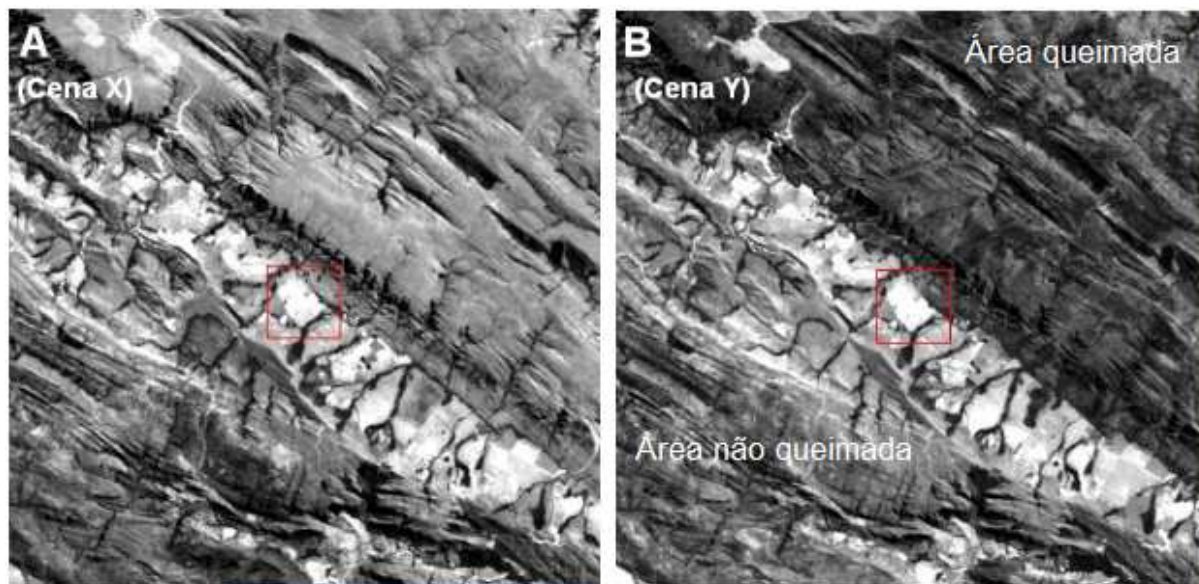


Figura 2.6: Recorte de uma área nas cenas de X (220/74, de 18/08/2011) e Y (219/74, de 24/08/2011), da banda 3 do satélite Landsat 5 ETM, após o ajuste espectral da cena X, mostrando que foi possível obter a correção espectral das áreas onde não ocorreram queimadas, o que não foi possível nas áreas queimadas.

3.2.2.2 Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI)

Segundo Jensen (1996), pela reflectância espectral, é possível identificar vegetação verde e saudável, senescente, seca e solo exposto. O autor cita que geralmente, a vegetação verde saudável reflete 40 ou 50% da energia incidente no infravermelho próximo (0,7 a 1,1µm) e devido à clorofila, absorve 80 a 90% da energia no visível (0,4 a 0,7µm). Por sua vez, solo exposto geralmente tem maior reflectância que vegetação verde no visível, e menor reflectância que vegetação verde no infravermelho próximo (Figura 2.7).

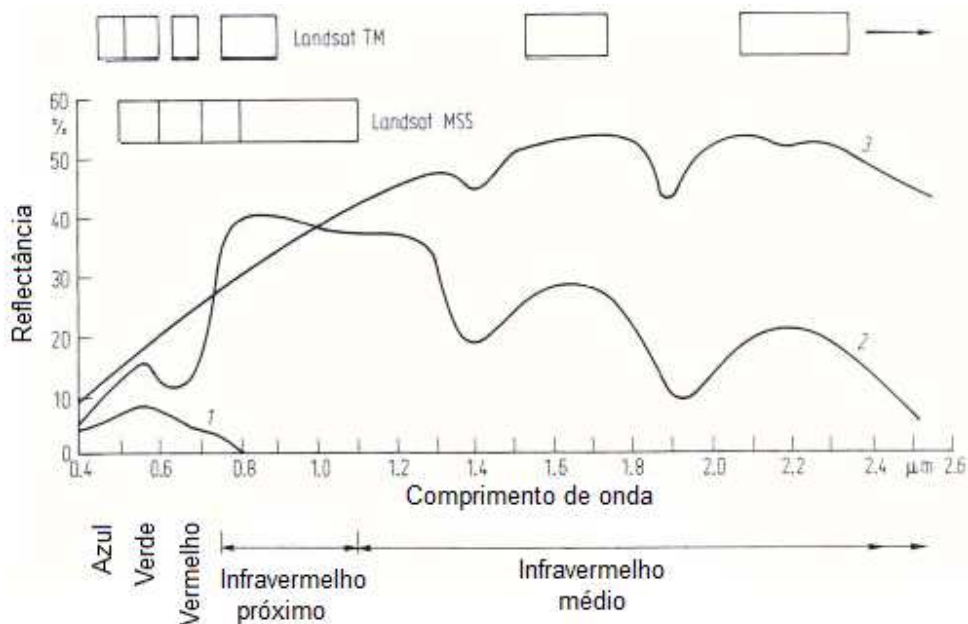


Figura 2.7: Curvas de comportamento espectral de alvos na superfície terrestre no visível, infravermelho próximo e infravermelho médio. 1. água; 2. vegetação; 3. solo exposto. Fonte: Gonzales e Woods (1992).

Bolfe (2010) apresenta uma relação entre os índices de vegetação mais utilizados em estudos de cobertura vegetal, afirmando que o *índice de vegetação da diferença normalizada – NDVI*, proposto por Rouse *et al.* (1977), é o mais utilizado. Este índice é calculado pela diferença entre a faixas do infravermelho próximo e do visível, normalizada pela divisão da soma das faixas do infravermelho próximo e do vermelho (visível), como mostra a seguinte equação:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}}, \quad [Eq. 2.3]$$

onde ρ_{NIR} é a reflectância do infravermelho próximo e ρ_{red} a reflectância do vermelho.

Na construção do NDVI, trabalharam-se com imagens do satélite Landsat 5 TM. Desta forma, pelo *raster calculator*, do ArcMap 10, aplicou-se a seguinte equação:

$$\text{NDVI}_{\text{TM}} = \frac{\text{banda 4} - \text{banda 3}}{\text{banda 4} + \text{banda 3}} \quad [\text{Eq. 2.4}]$$

A aplicação da equação resultou em um arquivo raster, o qual apresenta valores de pixels entre -1 e +1, onde: valores próximos de -1 representam nuvens ou corpos d'água; valores próximos de zero mostram rocha, solo exposto ou outros alvos desprovidos de vegetação; quanto mais próximo do valor +1, maior biomassa. Desta forma, o valor de NDVI mais alto mostra a vegetação mais densa, alcançando um valor máximo de NDVI de 0,833 (LIU, 2006).

3.2.3 Mapeamento da declividade

Segundo Miceli *et al.* (2011, p. 191), “um Modelo Digital de Elevação – MDE, pode fornecer informações espaciais de grande importância para a modelagem e análise da superfície terrestre, podendo ser obtido através de processos fotogramétricos, cartas topográficas e de sensores diversos”. De acordo com Meijerink (2007), isto é possível pois, em um MDE, além das coordenadas – X e Y, é armazenada a elevação do terreno – Z. Carvalho e Bayer (2008) citam que são diversas as aplicações de MDE, como a elaboração de mapas de concavidade e convexidade das vertentes, delimitação automática de bacias, áreas inundadas, criação de perfis topográficos e longitudinais, entre outros.

O modelo *Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer* – ASTER GDEM (Figura 2.8) cobre 99% da superfície terrestre, tendo uma resolução espacial de, aproximadamente, 30 metros, sendo disponibilizado gratuitamente (WANG, 2012). Através deste modelo, conforme Liu e Mason (2009), há a possibilidade de obtenção da declividade, definida por um plano tangente à superfície.

O mapeamento da declividade foi produzido no software ArcMap 10, aplicando-se a função *Slope*, do *Spatial Analyst Tools*. O declive é encontrado pela taxa de variação máxima do valor Z em cada célula do raster, com relação aos vizinhos, obtendo-se valores em graus ou porcentagem (ESRI, 2013). Utilizou-se como raster de entrada o modelo ASTER GDEM, a partir da cena que contém a área de estudo. Analisando os valores de declividades encontrados, quanto mais próximo de 0°, mais plana a superfície e quanto mais próximo de 90°, maior declividade.

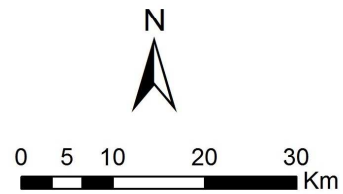
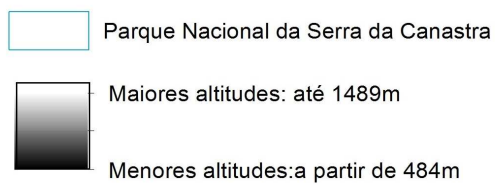
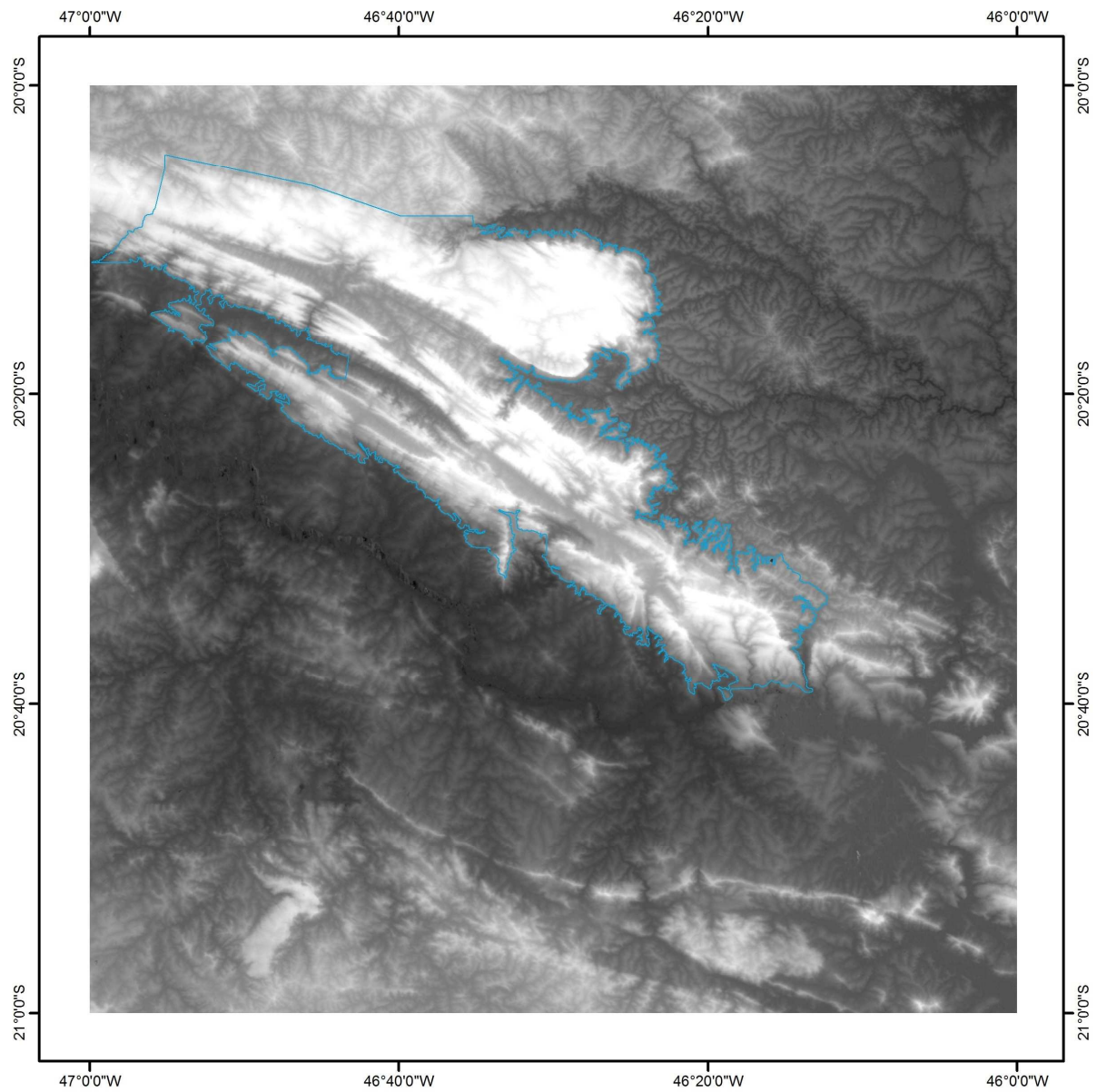


Figura 2.8: Parte da cena do Modelo Digital de Elevação ASTER, o qual foi utilizado na obtenção do mapa de declividades. Cena S21W047; Data: 2009; Projeção: UTM; Dátum: SAD 1969; Zona: 23J. Fonte: METI/NASA, 2009

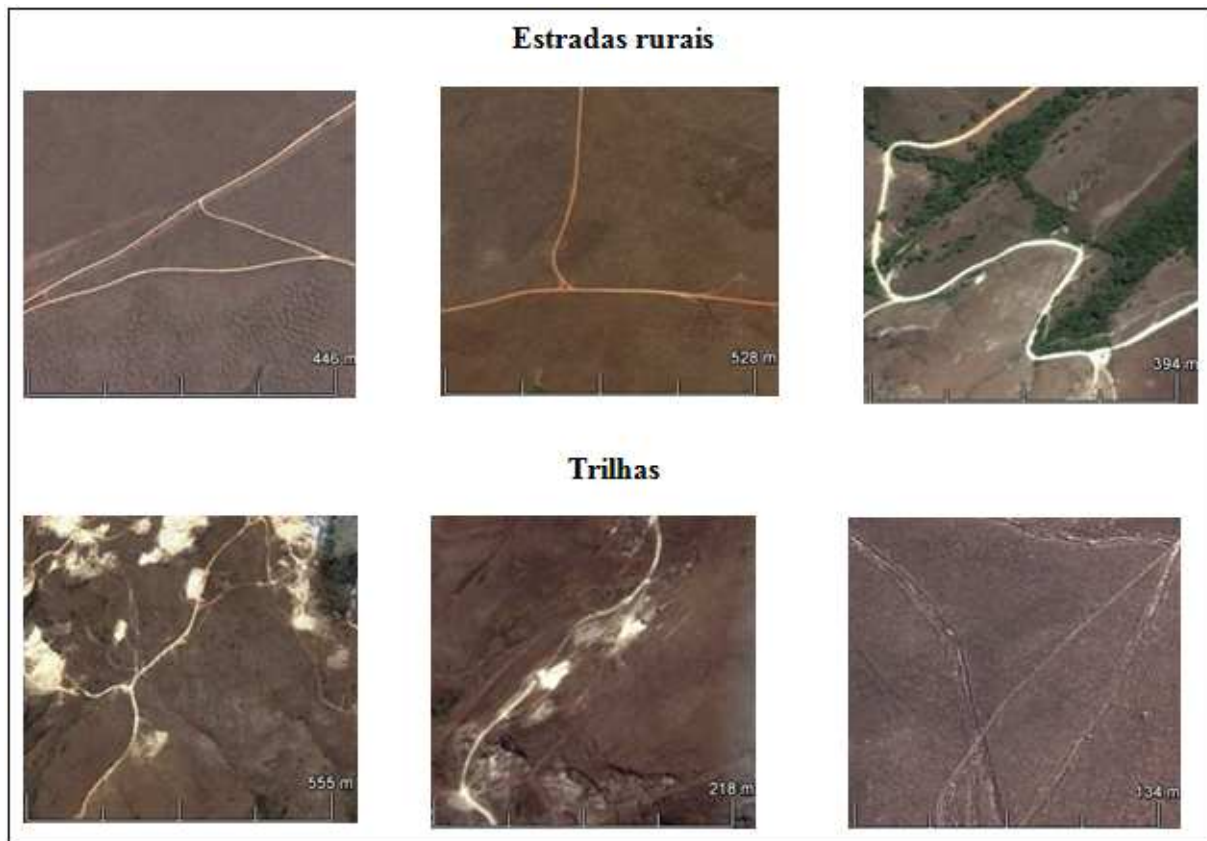
3.2.4 Mapeamento da densidade de vias de circulação

Brasil (2008, p. 107) define via como “superfície por onde transitam veículos, pessoas e animais, compreendendo a pista, a calçada, o acostamento, ilha e canteiro central”. As vias são classificadas, de acordo com o Art. 60, pela sua utilização em: I. Vias urbanas: a) via de trânsito rápido b) via arterial c) via coletora d) via local; II. Vias rurais: a) rodovias b) estradas.

3.2.4.1 Mapeamento das vias de circulação, utilizando imagens Google Earth

O mapeamento das vias de circulação foi feito visualmente, utilizando imagens Google Earth. Na área do parque foram encontradas estradas e trilhas, identificadas através da interpretação de imagens Google Earth georreferenciadas (Quadro 2.2). No ArcMap 10, digitalizaram-se as vias, utilizando funções da barra de ferramentas *editor*. Foi então criado um shape de linhas, que contém as vias existentes na área do PNSC.

Quadro 2.2: Chaves de interpretação para a identificação de vias em imagens Google Earth / Spot.



3.2.4.2 Densidade de vias de circulação

O estimador de intensidade *Kernel* é uma alternativa simples para analisar o comportamento de padrões de pontos, permitindo-se estimar a intensidade pontual do processo em toda a região de estudo (CÂMARA E CARVALHO, 2001). Através dele, é possível obter a densidade de feições pontuais em torno de cada pixel de saída (ESRI, 2013). Segundo Câmara e Carvalho (2001, p. 2.5), realiza-se “uma contagem de todos os pontos dentro de uma região de influência, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse”. A figura 2.9 exemplifica a aplicação do estimador, mostrando que a partir de um raio de abrangência, dado pela largura do raio, faz-se a contagem dos pontos nesta área, dando-se a densidade de eventos. É possível então, analisar a concentração e dispersão de um fenômeno no espaço.

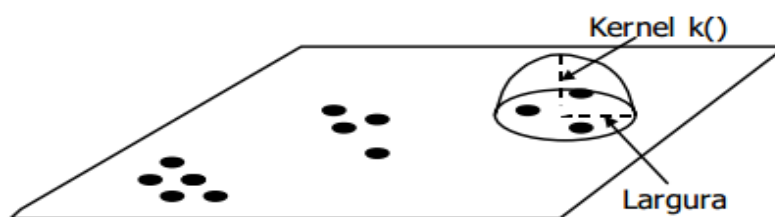


Figura 2.9: funcionamento do estimador de densidades Kernel. Fonte: Câmara e Carvalho (2001)

A densidade de vias de circulação foi produzida no ArcMap10, através da ferramenta *Kernel Density*, contida no *Spatial Analyst Tools*. Testaram-se diferentes raios de influência, definindo qual a vizinhança a ser interpolada melhor se ajusta ao tamanho da área trabalhada. Obtiveram-se melhores resultados com o raio de 3km, sendo esta área interpolada em torno do vetor.

3.2.5 Mapeamento da densidade de lineamentos estruturais

O lineamento é uma simples ou composta feição linear, retilínea ou curva, que se distingue claramente a partir dos padrões, refletindo um fenômeno subsuperficial (O’LEARY, 1976). Partindo da análise de imagens de satélite, da drenagem e de estudos da geologia do PNSC (Heineck *et al.* 2003; Chaves *et al.*, 2008; Benitez, 2009), é possível verificar que na área há falhas geológicas e forte estruturação do relevo no sentido NW-SE, sendo consideradas áreas instáveis geologicamente. Desta forma, os lineamentos se configuram como importante variável no estudo dos processos erosivos e movimentos de massa na área do PNSC.

3.2.5.1 Obtenção da drenagem a partir do modelo ASTER GDEM

A metodologia referente à utilização do modelo ASTER, para a obtenção da drenagem, foi apresentada no tópico 5.1.2.1, do capítulo 1.

3.2.5.2 Obtenção do sombreamento do relevo a partir do modelo ASTER GDEM

Carvalho e Bayer (2008) relatam que o sombreamento do relevo é importante para a análise de feições estruturais. Para eles, o realce do relevo possibilita a impressão de concavidade e convexidade, “[...] permitindo a identificação de feições estruturais, contatos litológicos, zonas de erosão recuante, áreas de morros e colinas, além de possibilitar a identificação de padrões diferenciados de dissecação, feições planares, lineares positivo-negativas e tabulares do relevo” (Carvalho e Bayer, 2008, p. 38).

Para se obter o sombreamento do relevo, aplicou-se a ferramenta *Hillshade*, do *Spatial Analyst Tools*. No azimute, que se refere à posição angular do sol, utilizaram-se os valores 315° e 45° – medidos no sentido horário a partir do norte, obtendo-se então o sombreamento do relevo em duas diferentes perspectivas (Figura 2.10). Para a altitude, que corresponde à inclinação do sol em relação ao horizonte, foi aplicado o valor de 45°. Não se aplicou o fator Z da latitude correspondente à área estudada, visto que o arquivo ASTER foi trabalhado em Universal Transversa de Mercator – UTM , não sendo necessário este ajuste.

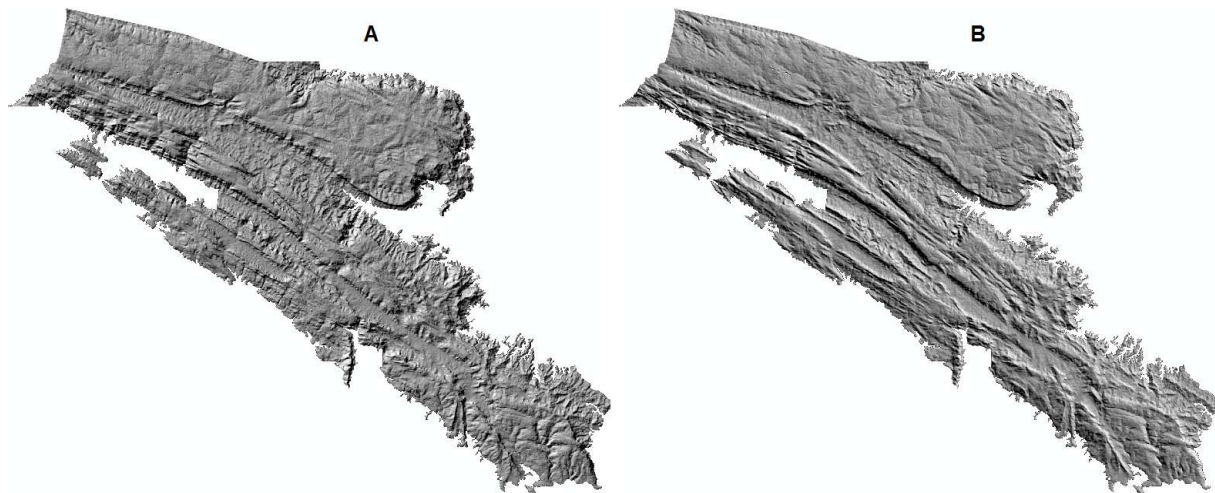


Figura 2.10: Sombreamentos do relevo do PNSC, gerados a partir do modelo ASTER GDEM. A: Azimute de 315°; B: Azimute de 45°

3.2.5.3 Mapeamento dos lineamentos estruturais

O mapeamento dos lineamentos estruturais foi feito visualmente no ArcMap 10, utilizando como principal base a rede de drenagem, mas tendo também como auxílio as imagens de sombreamento do relevo com diferentes azimutes, extraídos do modelo ASTER GDEM.

Analisando a drenagem associada ao relevo, identificaram-se padrões altamente retangulares ou em treliça – nos quais os afluentes e rios de hierarquia fluvial superior formam ângulos retos – 90° (Figura 2.11). Estes padrões são formados por redes de fratura, definidas por Guerra (1972, p. 348) como “fendas que aparecem nas rochas cortando indistintamente os minerais, e possuindo ou não, direções que seguem certos alinhamentos. As redes de fratura resultam de esforços tectônicos sofridos pela rocha”

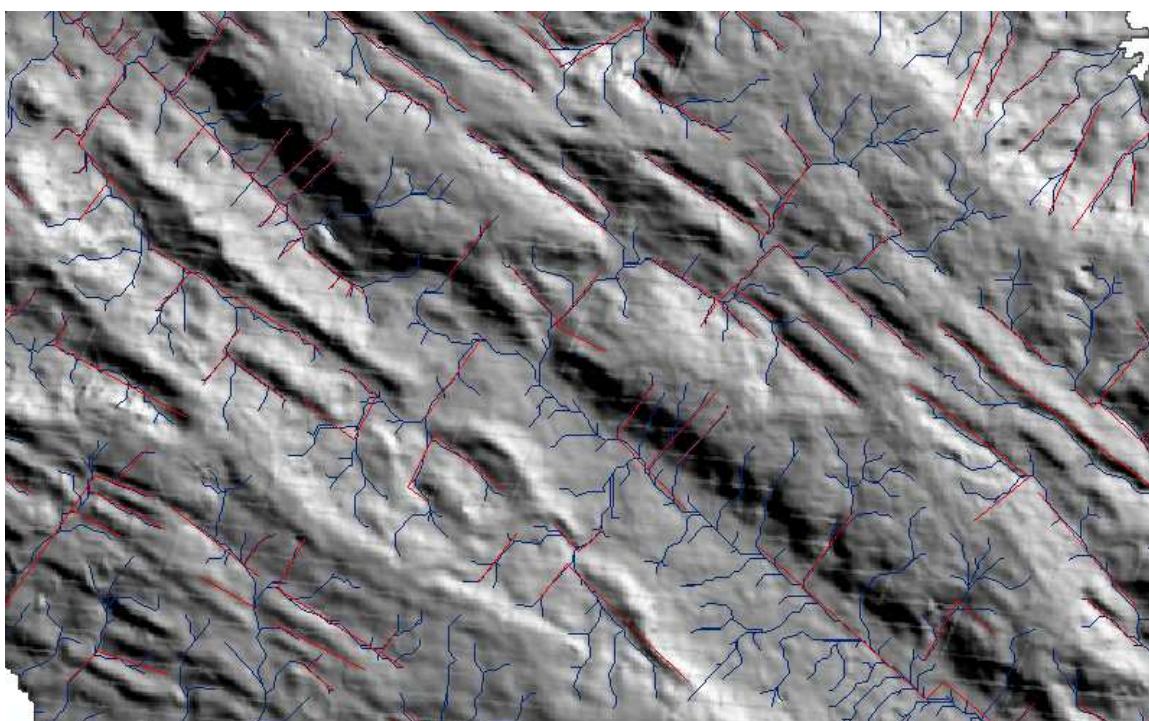


Figura 2.11: Interpretação visual dos lineamentos estruturais, utilizando como bases cartográficas a drenagem e o sombreamento do relevo, extraídos do ASTER GDEM

3.2.5.4 Densidade de lineamentos estruturais

Calculou-se a densidade de lineamentos estruturais no ArcMap10, através do estimador *Kernel* (apresentado no tópico 3.2.4.2, deste capítulo), pela ferramenta *Kernel Density*, contida no *Spatial Analyst Tools*. Utilizou-se o raio de abrangência, ao redor das linhas, de 3km.

3.2.6 Mapeamento da probabilidade de ocorrências de chuvas intensas

Para Santoro (1991), a precipitação é o mais importante dos fatores climáticos que influenciam na erosão, sendo de grande importância analisar a distribuição durante o ano e sua intensidade. Conforme Guerra (2012), a intensidade da chuva está relacionada com a energia cinética, a qual determinará a erosividade. O autor relata ainda que vários pesquisadores buscaram estudar um valor crítico para o início da erosão, no entanto não há um padrão para isto, mas são sugeridos alguns valores, como: 25mm/h (HUDSON, 1961), 10mm/h (MORGAN, 1977), 6mm/h (RICHTER E NEGANDANK, 1977) e 5mm/h (BOARDMAN E ROBINSON, 1985). Guerra (1999) considera que grande parte das gotas maiores que 4 mm ocorrem em chuvas entre 50 e 100mm/h, sendo a energia cinética maior neste intervalo.

De acordo com Occhipinti & Santos (1966), a partir de dados de pluviômetros, aplicando o modelo de desagregação de chuvas, há a possibilidade de se obterem informações referentes às chuvas de intensidade máxima em 24 horas. Estes pesquisadores desenvolveram um modelo para desagregar chuvas máximas de um dia, em chuvas máximas em 24 horas. O modelo apresenta uma relação média de 1,14 para chuvas em um dia, e em 24 horas. Desta forma, multiplicando-se a altura pluviométrica de chuvas de um dia por 1,14, obtém-se chuvas em 24 horas.

Além disso, buscou-se definir um valor crítico que se possa caracterizar uma chuva de intensidade extrema. Utilizou-se como base estudos de Garófalo & Ferreira (2012), os quais definiram como chuva intensa, aquela maior que 50 mm em um período de 24 horas.

Analisaram-se diversas estações pluviométricas situadas no entorno do PNSC, selecionando-se oito ao final, as quais possuem séries históricas de aproximadamente 30 anos ou mais e dados completos. A partir das séries históricas, a cada ano, extraiu-se o valor máximo de chuvas em um dia. Utilizaram-se apenas os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, sendo que estes são os mais chuvosos. Os dados foram tabulados no BrOffice Calc 3.2 e convertidos de chuva em um dia, para chuvas em 24 horas (Tabela 2.4), aplicando a seguinte fórmula:

$$\text{Máx 24h} = \text{Máx dia} \times 1,14 \quad [\text{Eq. 2.5}]$$

onde Máx 24: chuva acumulada máxima em 24 horas; Máx dia: chuva acumulada máxima um dia; 1,14: constante de transformação

Tabela 2.4: Dados referentes à chuva acumulada máxima em um dia, convertidos para chuva acumulada máxima em 24 horas, pelo modelo de desagregação de chuvas diárias. Estação utilizada como exemplo: Piumhi

Ano	Dia / Dez.	Dia / Jan.	Dia / Fev.	Dia / Mar.	24h / Dez.	24h / Jan.	24h / Fev.	24h / Mar.
1976	94	27	62	62	107,16	30,78	70,68	70,68
1977	50	74,9	5,8	34	57	85,386	6,612	38,76
1978	50,2	60,5	22,7	88,5	57,228	68,97	25,878	100,89
1979	70,8	50,7	29	18,5	80,712	57,798	33,06	21,09
1980	60,2	60,7	44	21,3	68,628	69,198	50,16	24,282
1981	30	50	18,2	23	34,2	57	20,748	26,22
1982	72	117,5	65,5	105,5	82,08	133,95	74,67	120,27
1983	44,4	65	108,7	82	50,616	74,1	123,918	93,48
1984	50,2	40,4	28	54	57,228	46,056	31,92	61,56
1985	39	123,4	30	47,2	44,46	140,676	34,2	53,808
1986	37,4	33,6	39,5	37	42,636	38,304	45,03	42,18
1987	69	47,2	19	42	78,66	53,808	21,66	47,88
1988	57	33	64	63	64,98	37,62	72,96	71,82
1989	63	38,6	112	19,2	71,82	44,004	127,68	21,888
1990	97	140	28,2	34,8	110,58	159,6	32,148	39,672
1991	29,4	63	41,8	71,2	33,516	71,82	47,652	81,168
1992	37,8	84	45,5	25	43,092	95,76	51,87	28,5
1993	84	22	32,1	21,3	95,76	25,08	36,594	24,282
1994	55	73,4	16,5	25,2	62,7	83,676	18,81	28,728
1995	100,3	37,3	42,4	31,8	114,342	42,522	48,336	36,252
1996	60	55,5	29	34	68,4	63,27	33,06	38,76
1997	37	95	17	27	42,18	108,3	19,38	30,78
1998	52	47	57	50	59,28	53,58	64,98	57
2000	38,9	76,7	40,2	54,3	44,346	87,438	45,828	61,902
2001	43,6	40,7	52,4	38,6	49,704	46,398	59,736	44,004
2002	43,6	44	55,1	36,9	49,704	50,16	62,814	42,066
2003	111,1	70,5	25,2	42,5	126,654	80,37	28,728	48,45
2004	46,8	80,4	72,4	34,4	53,352	91,656	82,536	39,216
2005	51,9	31,1	73,2	28,6	59,166	35,454	83,448	32,604
2006	62,8	44	64,5	97	71,592	50,16	73,53	110,58
2007	31,1	68,7	33	16,4	35,454	78,318	37,62	18,696
2008	55	107,3	45,2	73,3	62,7	122,322	51,528	83,562
2009	89	59,2	64	67,5	101,46	67,488	72,96	76,95
2010	72,5	74,2	31,5	26,5	82,65	84,588	35,91	30,21
2011	64,2	113	34	107	73,188	128,82	38,76	121,98

Em uma nova planilha, organizaram-se os valores de chuvas máximas em 24 horas, dos quatro meses, em uma só coluna. Estes valores foram utilizados no cálculo da probabilidade de ocorrência de chuvas intensas, aplicando-se o modelo de distribuição de Gumbel:

$$F(X) = e^{-e^{-\frac{X-\alpha}{\beta}}} \quad [\text{Eq. 2.6}]$$

onde F(X): probabilidade de ocorrência de chuvas intensas; X: valor de chuva intensa (50).

Para encontrarem os valores de α e β , aplicou-se o método dos momentos, tomando como base a média e o desvio padrão, aplicando as seguintes equações:

$$\beta = \frac{\sqrt{6}}{\pi} s \quad [\text{Eq. 2.7}]$$

$$\alpha = \mu - 0,5772 \beta \quad [\text{Eq. 2.8}]$$

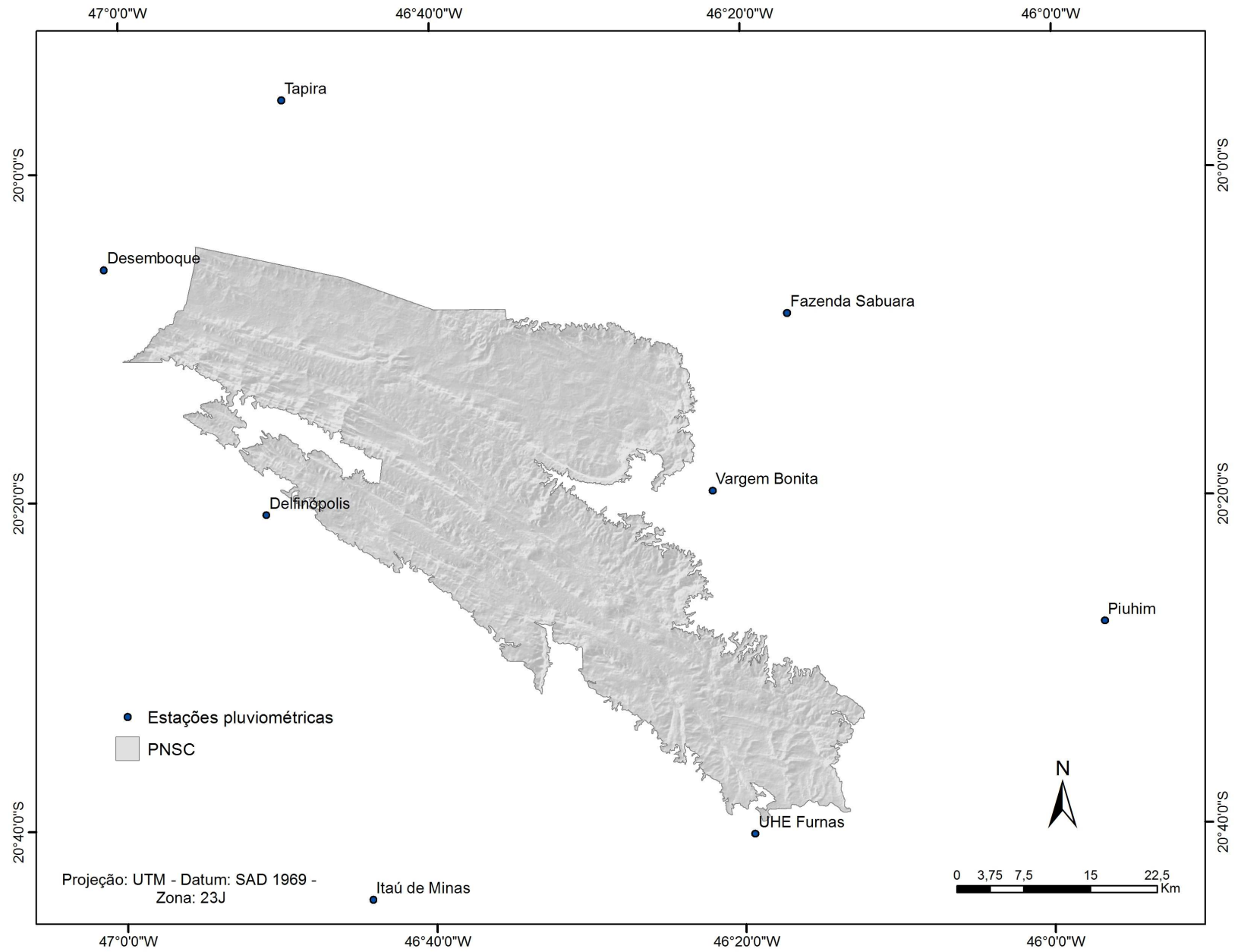
onde s : desvio-padrão; μ : população média da amostra.

Após encontrarem os valores de α e β , aplicou-se o modelo de distribuição de Gumbel para os dados de cada estação, utilizando para isto o BrOffice 3.2. Encontraram-se os seguintes valores de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas (Tabela 2.5):

Tabela 2.5: Valores de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas, nas diferentes estações pluviométricas

Estação pluviométrica	Probabilidade de ocorrência de chuvas intensas
Delfinópolis	53,19%
Desemboque	57,86%
Fazenda Sabura	59,09%
Itaú de Minas	44,64%
Piumhi	59,30%
Tapira	49,94%
Furnas	62,22%
Vargem Bonita	67,76%

No ArcMap 10, criou-se um shape de pontos, nos quais se especializaram as estações pluviométricas, através dos valores de coordenadas X e Y (Figura 2.12). Em cada ponto correspondente à estação, acrescentou-se uma coluna à tabela de atributos, na qual foi inserido o valor de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas .



F
 Figura 2.12: Distribuição espacial dos postos meteorológicos utilizados na interpolação

Para a interpolação dos dados de chuvas, utilizou-se método de *krigagem*, pela ferramenta *Kriging*, disponível no *Spatial Analyst Tools*. Para Imai *et al.* (2003), a *krigagem* é um método de interpolação, no qual os pesos dos dados observados são determinado a partir de uma pré-análise espacial, que utiliza semivariogramas experimentais. O método permite amostrar dados de locais não amostrados, levando ainda em conta o comportamento espacial do fenômeno, gerando superfícies areais. Utilizou-se o método de *krigagem ordinária*, assim como o modelo do *semivariograma linear*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este item apresentará o mapeamento dos processos erosivos no Parque Nacional da Serra da Canastra e as variáveis ambientais e antrópicas relacionadas à ocorrência e evolução dos mesmos. Estes mapas serão utilizados como base cartográfica para a construção dos produtos de fragilidade ambiental, que serão apresentados no capítulo 3.

4.1 Processos erosivos e movimentos de massa

A partir da análise visual de imagens Google Earth, foi possível espacializar os processos erosivos e movimentos de massa que ocorrem no Parque Nacional da Serra da Canastra (Figura 2.13). Foram mapeados um total de 1796, sendo eles: 74 voçorocas, 1275 ravinas, 38 cicatrizes de escorregamentos, 63 margens degradadas e 345 rastejos.

Observou-se que os processos erosivos e movimentos de massa estão irregularmente distribuídos pela área do parque – distribuição não-normal, relacionando-se a diferentes fatores geoambientais e antrópicos. Desta forma, pode-se afirmar que os agentes condicionantes atuam em escala e tempo diferentes e, relacionados a fatores controladores e influenciadores, levam a uma heterogeneidade espacial na gênese e evolução destes eventos.

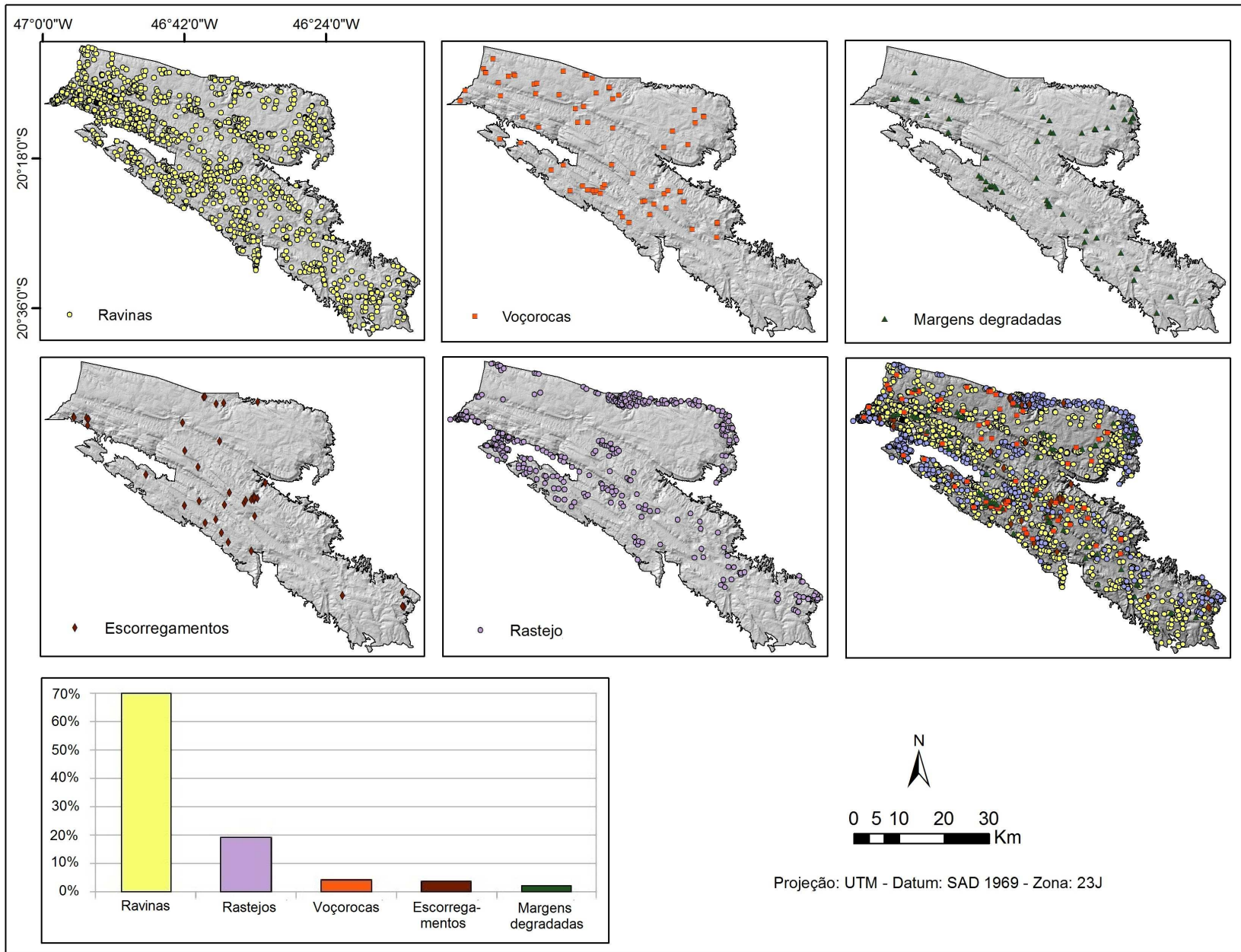


Figura 2.13: Localização dos processos erosivos e movimentos de massa mapeados na área do PNSC. Base cartográfica: Google Earth (2011).

4.2 Índice de vegetação

O índice de vegetação nos possibilita a obtenção de informações referentes à biomassa da cobertura vegetal, podendo ser obtido por diferentes índices, a partir de álgebras das bandas do vermelho e infravermelho, no caso do TM, bandas 3 e 4. Isto é possível devido às diferentes respostas espectrais das geofácies terrestres, em cada banda: solo exposto tem maior reflectância da energia eletromagnética no visível, neste caso, vermelho; vegetação tem boa reflectância no infravermelho próximo; já os corpos d'água, têm alta absorção da energia em ambas.

No caso do índice NDVI, obtém-se valores a cada pixel do raster de saída, os quais variam entre o intervalo -1 e +1, onde: os valores próximos de -1 se relacionam a corpos d'água; próximos de 0 estão relacionados a rocha ou solo desprovido de cobertura vegetal; e, à medida que se aproximam de +1, verifica-se maior densidade de vegetação. Desta forma, quando maior o índice, maior a biomassa observada naquele pixel.

O mapa do índice de vegetação nos permite então, inferir quais as áreas de vegetação mais e menos densa, assim como ausência de cobertura vegetal. Esta informação é de extrema importância quando se estudam processos erosivos e movimentos de massa (Figura 2.14).

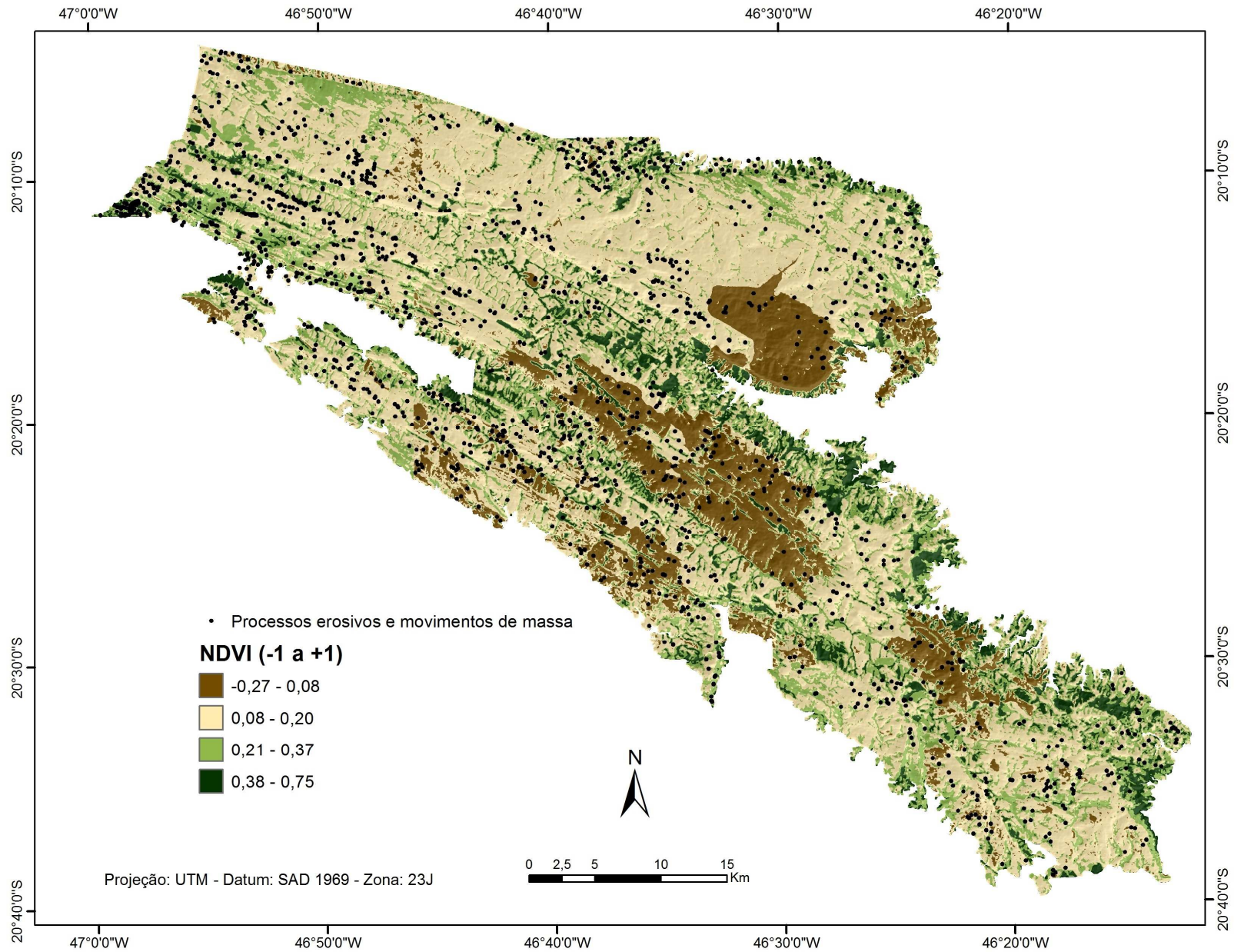


Figura 2.14: Mapa do índice de vegetação do Parque Nacional da Serra da Canastra. Base Cartográfica: Landsat 5 TM, cenas 219/74 e 220/74, 24/08/2011 e 18/08/2011. Intervalos de classes: *natural breaks*, 4 classes.

A classe de maior índice de vegetação (+0,38 a +0,75) ocupa cerca de 8% do parque, sendo as áreas de vegetação mais densa. Em grande parte, ocorre no Chapadão da Babilônia, se concentrando, principalmente, na depressão intermontana ao sul da escarpa do Chapadão da Canastra, ao centro do parque, seguindo pelo vale do Rio São Francisco até os limites sudeste do parque. O Chapadão da Canastra é quase desprovido de matas densas, o que já havia sido afirmado no primeiro plano de manejo do parque (IBDF, 1981), o qual indicou que havia apenas 1% de matas.

Pode-se verificar que os processos erosivos e movimentos de massa não se concentram nesta classe, devido à proteção do solo desenvolvida pela vegetação. Isto corrobora com estudos de Guerra (2012), que afirma que em uma área com alta densidade de cobertura vegetal e coberta por serrapilheira, a erosão ocorre em taxas baixas. Desta forma, estes locais, mesmo que apresentem pontos de erosão, são em níveis inferiores a outras áreas, onde há menor densidade de cobertura vegetal.

A classe cujo índice varia entre +0,21 a +0,37 (Figura 40), está relacionada à vegetação de pequeno porte, formada por campo sujo ou campo rupestre, ocupando 23,24% do parque. As áreas de campo sujo se referem basicamente a remanescentes de cerrado degradado, devido ao uso inadequado anterior à criação do parque ou atividades conflitantes atuais, como a pecuária e queimadas. Por sua vez, o campo rupestre é uma vegetação que se desenvolve entre afloramentos rochosos com solos rasos, entre altitudes de 1000 a 1500 metros (MMA/IBAMA, 2005).

Por outro lado, grande parte do parque está associado ao índice que varia entre +0,08 a +0,20, o qual representam as áreas de pastos limpos, formados basicamente por gramíneas e poucos arbustos (Figura 2.15). O valor extremamente baixo do índice de vegetação nesta classe, extremamente baixo, é verificado devido à data das imagens obtidas, do mês de agosto. Esta época, de baixa pluviosidade na região, faz com que a vegetação dos campos se apresente senescente. Desta forma, na banda 3, há a reflectância, de solo, rochas e minerais, e a reflectância da vegetação na banda 4 é baixa, devido ao baixo nível de clorofila nas plantas. Este índice é maior em meses de maior pluviosidade, devido à rebrota das pastagens, obtendo-se maiores níveis de clorofila.

Esta classe concentra o maior número de processos erosivos observados, comprovando que a baixa densidade de vegetação acarreta no desenvolvimento de formas erosivas. Neste sentido, Bertoni & Lombardi Neto (2010) destacam que os principais efeitos da cobertura vegetal

são, entre outros, proteção contra os impactos das gotas, aumento da infiltração devido às raízes e diminuição do escoamento superficial devido ao atrito com as plantas. Deve-se destacar que, em áreas onde há a criação de gado, especialmente em locais não regularizados, observa-se intensa degradação das pastagens, havendo rastejamentos, muitos associados a uma alta concentração de sulcos e ravinas.



Figura 2.15: Fisionomia de diferentes tipos de cobertura vegetal no Parque Nacional da Serra da Canastra. Fonte: Arquivo pessoal, 2014

A classe que apresenta os menores índices, os quais variam entre -0,27 e 0,08, representa usos com ausência total de cobertura vegetal, sendo eles: áreas queimadas, afloramentos rochosos, solo exposto e mineração. Os afloramentos rochosos ocorrem devido à resistência de rochas metamórficas do Grupo Canastra, que formam maciços que acompanham a direção estrutural NO-SE. As áreas de solo exposto ocorrem em locais não regularizados, especialmente no Chapadão da Babilônia, onde existem propriedades rurais, nas quais ocorre a preparação do solo para agricultura. Além disso, identificaram-se pontos de exploração de quartzito, a SE do Chapadão da Babilônia, nos municípios de São João Batista do Glória e Capitólio.

Devido à data da imagem utilizada (mês de agosto), época de baixos índices de pluviosidade, foi possível mapear duas grandes extensões de queimadas. A primeira se localiza a SE do Chapadão da Canastra, no interior da sub-bacia da nascente do Rio São Francisco e outra, seguindo a Serra da Guarita em direção à Serra do Rolador. Conforme Lourenço (2004), os incêndios, ao destruírem a vegetação, deixam os solos expostos à ação dos processos erosivos,

intensificando os processos de meteorização das rochas e mobilização dos solos. Medeiros e Fiedler (2003), estudando os incêndios ocorridos no Chapadão da Canastra, concluíram que a maior parte deles possui causas humanas. A Revista Novo Ambiente (2010) apresentou uma reportagem, na qual coloca que, após setenta dias sem chuva, em setembro de 2010, incêndios florestais queimaram mais da metade da área do parque (Figura 2.16).



Figura 2.16: Área de pasto sujo no PNSC, antes e após a ocorrência de queimadas. Fonte: Revista Novo Ambiente (2010)

4.3 Declividades

Entre os fatores que afetam os processos de erosão pela água, as características morfológicas das encostas são de grande importância. Conforme Verstappen (1983, p. 371), em altos declives, a velocidade do escoamento superficial tende a ser mais elevada e a taxa de infiltração menor que em declives menos acentuados, em encosta de mesmo material. Da mesma forma, em longas encostas, tende a ocorrer grande escoamento superficial e, conseqüentemente erosão, especialmente no sopé. O PNSC possui declividades que variam, aproximadamente, entre 0 e 77% (Figura 2.17), as quais se apresentam como contribuintes para a ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa.

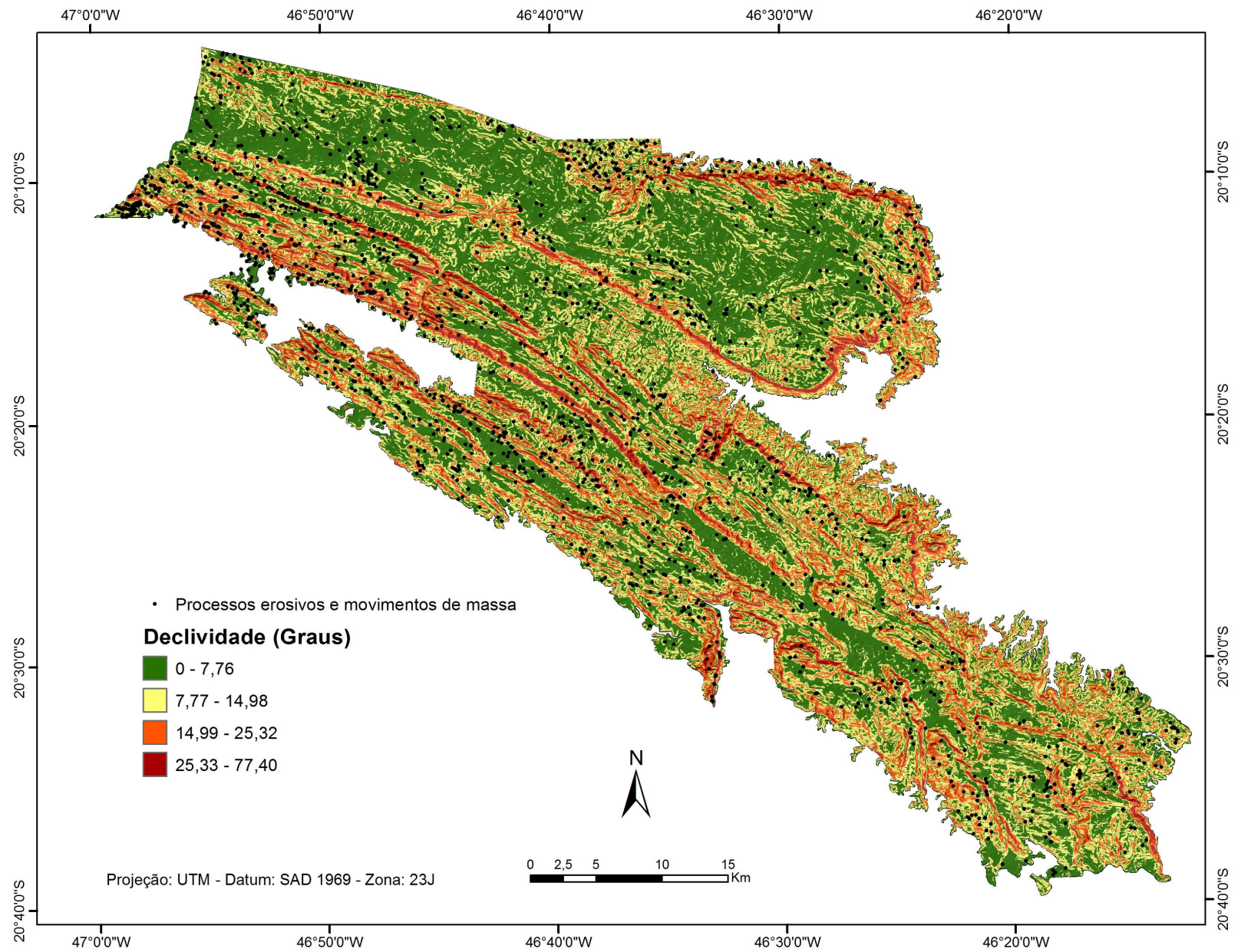


Figura 2.17: Mapa de declividades do Parque Nacional da Serra da Canastra. Base Cartográfica: ASTER GDEM, cena S21W047, 2011. Intervalos de classes: *natural breaks*, 4 classes.

Observa-se que a classe mais plana é apresentada em verde, com declives que variam entre 0 a 7,77. Em áreas de maior altitude, estão associados aos relevos planos a levemente arredondados, os quais foram o Chapadão da Canastra; topos arredondados, em serras do Chapadão da Babilônia; fundos de vales, em rios pouco estruturados geologicamente. Em áreas menos elevadas, são encontradas em depressões intermontanas, colinas e também em rios poucos estruturados.

As classes de declividades intermediárias possuem intervalos entre 7,77 a 14,98° e entre 14,99 e 25,32°. Estes declives ocorrem, principalmente, em vertentes de rios encaixados, geralmente lineados estruturalmente, especialmente no Chapadão da Babilônia. São observados também no sopé das escarpas, onde formam depósitos de tálus, por materiais provenientes de áreas elevadas com declividades acentuadas, como os chapadões ou serras.

Por fim, as áreas de alto declive, variando entre e 25,33 e 77,40°, formam as diversas vertentes declivosas dos chapadões, assim como escarpas, localizadas nas bordas e no interior do parque. É possível inferir a existência de uma relação direta entre estas declividades e a estruturação do relevo, tanto por seguirem o sentido NW-SE, como por apresentarem alta densidade de lineamentos estruturais nas regiões de altos declives (Figura 2.18). Desta forma, são verificados, também, em vales de rios estruturados geologicamente, assim como em topos de morros angulosos, no Chapadão da Babilônia.

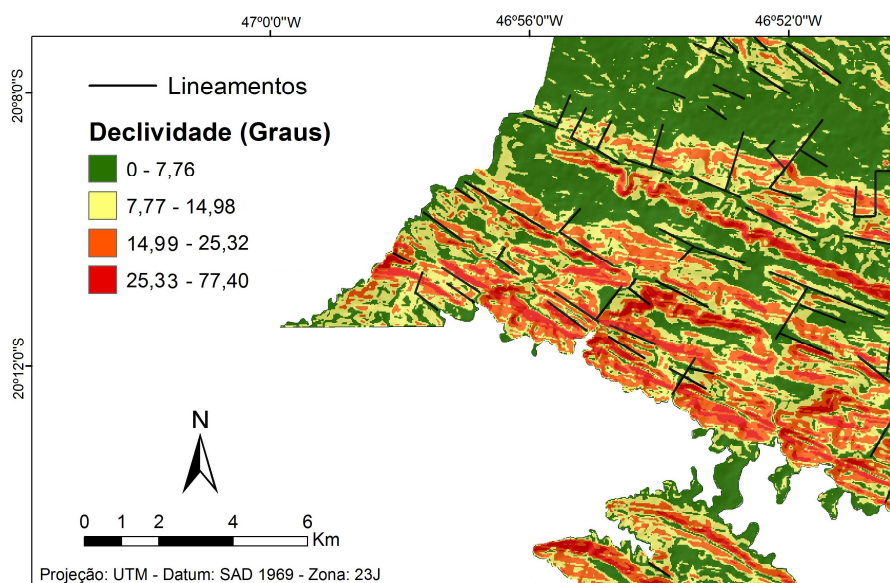


Figura 2.18: Recorte do setor noroeste da área de estudo, permitindo-nos inferir que há relação direta entre falhas estruturais e as maiores declividades.

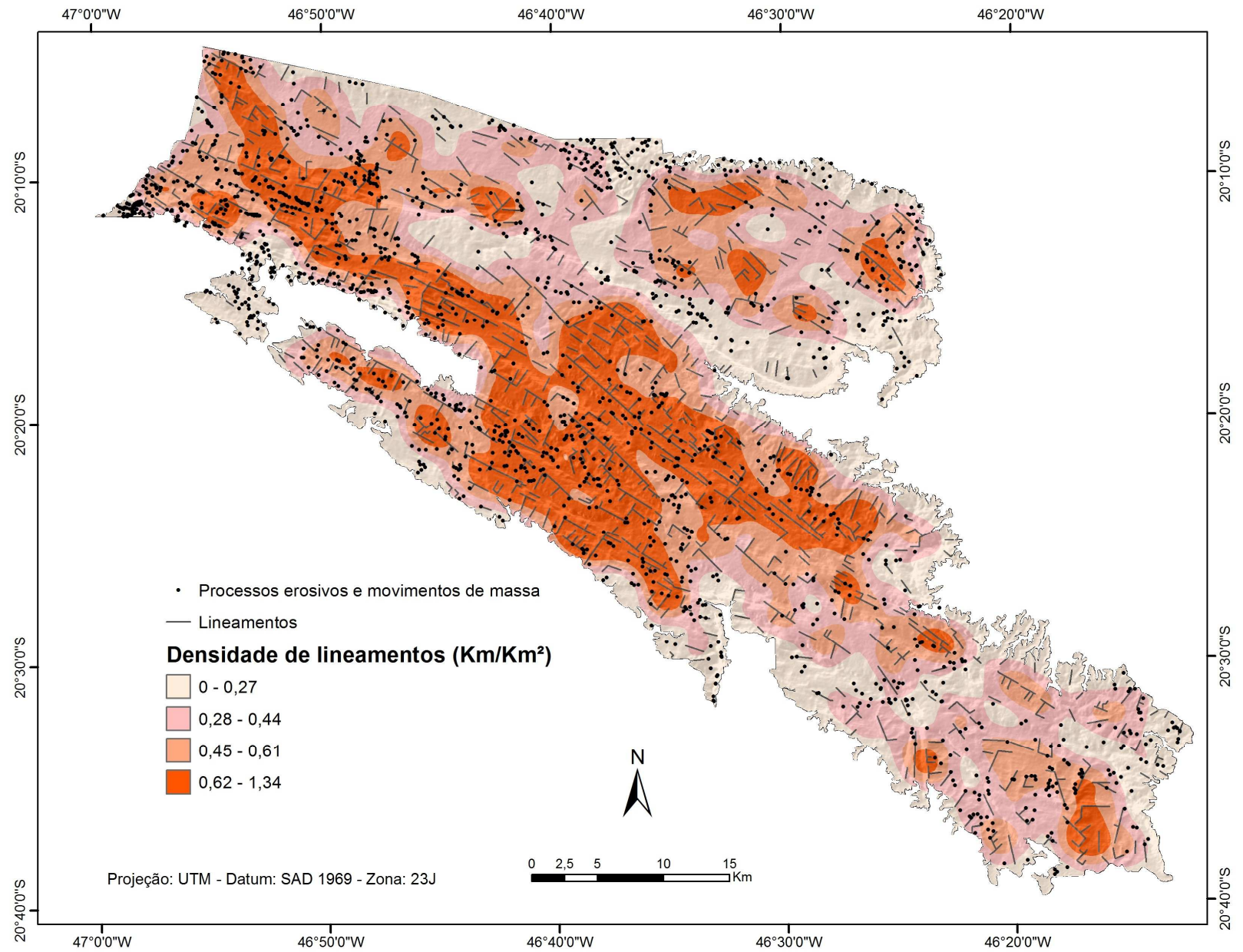
Observa-se que, nem sempre, os processos erosivos e movimentos de massa ocorrem em áreas de altos declives, o que depende do tipo de processo observado. As voçorocas no PNSC, por exemplo, são em sua grande parte do tipo conectada à rede hidrográfica, ocorrendo em locais de baixo declive (Figura 2.19). O mesmo ocorre no caso de erosões em margens de rios, pois estas se localizam, exceto em rios muito estruturados, em baixos declives. Por outro lado, há locais de alta declividade, como relevos escarpados, onde dificilmente são encontrados processos, devido à falta de solo *in situ* e rochas expostas, como é o caso de bordas dos chapadões e solos muito rasos. Esta afirmativa corrobora com estudos de Morgan (1986), quando a autora afirma que em encostas muito íngremes, há a diminuição das taxas de erosão, devido à menor quantidade de material disponível.



Figura 2.19: Ao fundo a borda do Chapadão da Canastra – alta declividade, logo abaixo o depósito de talus – média declividade e, mais à frente, a evolução de uma voçoroca, em área de baixo declive. Fonte: Arquivo pessoal, 2014

4.4 Densidade de lineamentos estruturais

Soares e Fiori (1978) inferem que zonas de fraturamento são as mais facilmente atacadas por processos meteóricos e erosivos, constituindo zonas preferenciais de drenagem retilínea, formando lineações na drenagem. Desta forma, os lineamentos estruturais podem apresentar importantes informações referentes à gênese e evolução de formas de erosão. Avaliaram-se as áreas de maior e menor densidade de lineamentos no PNSC, partindo da análise da densidade dos mesmos. (Figura 2.20).



FFigura 2.20: Mapa da densidade de lineamentos estruturais do Parque Nacional da Serra da Canastra. Base Cartográfica: Base cartográfica: ASTER GDEM, cena S21W047, 2011 Intervalos de classes: *quantile*, 4 classes.

De acordo com Chaves *et. al.* (2008), a complexidade estrutural da região estudada é explicada pelo posicionamento na porção terminal da faixa de Brasília, nas proximidades da zona de interferência com a faixa de dobramentos do Alto Rio Grande. Isto porque, segundo Ross (1985), esta formação se comporta como resíduo de dobras antigas, constituídas de alinhamentos de cristas.

Observou-se que, a região estudada, possui forte estruturação do relevo e, conseqüentemente, da drenagem. A maior densidade de lineamentos se inicia em um pequeno trecho no extremo noroeste do Chapadão da Canastra, no córrego da Joana e segue, no sentido NW-SE, até as áreas centrais do Chapadão da Babilônia – sendo estas as de maior concentração. Estes locais apresentam expressivas diferenças altimétricas, especialmente entre as serras e as depressões intermontanas, além de inúmeros pontos de declives acentuados e rios estruturados, os quais seguem as falhas.

Observam-se em diversas áreas escarpadas por falhamento, especialmente ao longo das bordas do Chapadão da Canastra, grandes rampas de depósito de tálus, formados por sedimentos provenientes desta área. Souza (2006) acredita que as feições escarpadas são resultados de antigas dobras, falhas e erosões, que originaram morfologias bem irregulares. Estas formações são altamente vulneráveis à erosão, devido à baixa agregação entre os materiais, que possuem diferentes granulometrias.

As menores densidades de lineamentos estruturais se dão nas bordas do parque, onde são apresentados menores valores altimétricos. As médias densidades são verificadas no Chapadão da Canastra e a sudeste do Chapadão da Babilônia, sendo que se verificam, nestas áreas, relevos planos a ondulados. No entanto, estes locais apresentam ilhas isoladas de alta densidade, nos locais onde ocorrem rios lineados estruturalmente.

4.5 Densidade de vias de circulação

IBDF (1981) cita que dentro do parque, há a evolução de inúmeros processos erosivos, observados principalmente ao longo das estradas. MMA/IBAMA (2005) apresenta uma lista de atividades conflitantes do PNSC, entre elas, as estradas que cortam o parque. Ao mapear a densidade de vias de circulação – sendo elas trilhas e estradas não-pavimentadas (Figura 2.21), podem-se relacioná-las à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa.

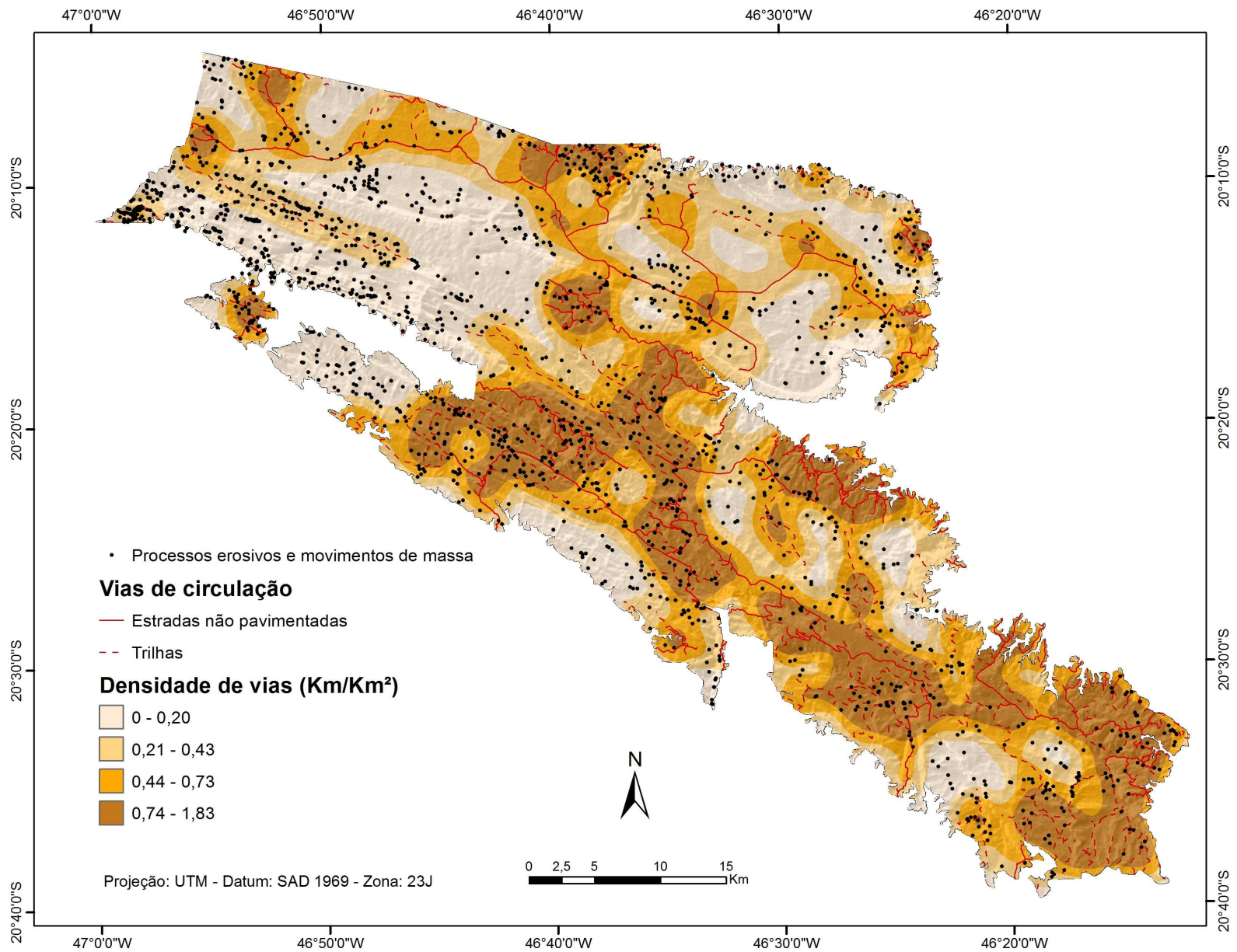


Figura 2.21: Mapa de densidade de vias de circulação do Parque Nacional da Serra da Canastra. Base Cartográfica: Google Earth (2011). Intervalos de classes: *quantile*, 4 classes.

No Chapadão da Canastra, há uma estrada principal não-pavimentada, de aproximadamente 67km, cujo acesso é restrito por três portarias, as quais controlam o número de visitantes diários. Estas estradas dão acesso a grande parte do chapadão, inclusive as áreas centrais, levando até mesmo às proximidades da nascente histórica do Rio São Francisco, facilitando o acesso a este local. O chapadão possui predominância de médias ou baixas densidades de vias, mas há pontos de alta densidade em locais não-regularizados das bordas, assim como em cruzamentos nas zonas centrais, entre a estrada principal e trilhas ou estradas secundárias

O Chapadão da Babilônia concentra grande parte das altas densidades de vias de circulação, especialmente nas zonas centrais e a sudoeste, as quais dão acesso às áreas de mineração. Além do excesso de estradas, há acesso livre às mesmas, devido à baixa taxa de regularização fundiária destes locais, onde há fazendas de criação de gado, propriedades rurais e pousadas. Além disso, ocorrem atividades *Off Road* em motos e jipes, nas inúmeras trilhas que cortam todo o parque, caracterizando-se como importantes formadoras de processos erosivos nestes locais, devido ao impacto das rodas e o solo. MMA/IBAMA (2005) ressaltam, que ao longo das estradas do Chapadão, visualiza-se erosão acelerada – ravinas, voçorocas e movimentos de massa, assim como assoreamento dos cursos d'água.

4.6 Probabilidade de ocorrência de chuvas intensas

De acordo com estudos de Bertoni e Lombardi Neto (2010), a intensidade da chuva é o fator pluviométrico mais importante na erosão. Para Guerra (2012), isto está relacionado com as taxas de infiltração, pois com o encharcamento do solo, há o aumento do escoamento superficial, o que aumenta o poder erosivo. A análise estatística de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas no PNSC apresenta quais as áreas mais ou menos propensas à ocorrência de chuvas com grande capacidade erosiva.

A interpolação dos valores obtidos e a definição de intervalos de classes, possibilitaram que se obtivessem as probabilidades de ocorrência de chuvas intensas, utilizando área como objeto gráfico. Desta forma, criou-se um mapa utilizando superfícies contínuas, as quais são mais representativas que pontos fixos no espaço (Figura 2.22).

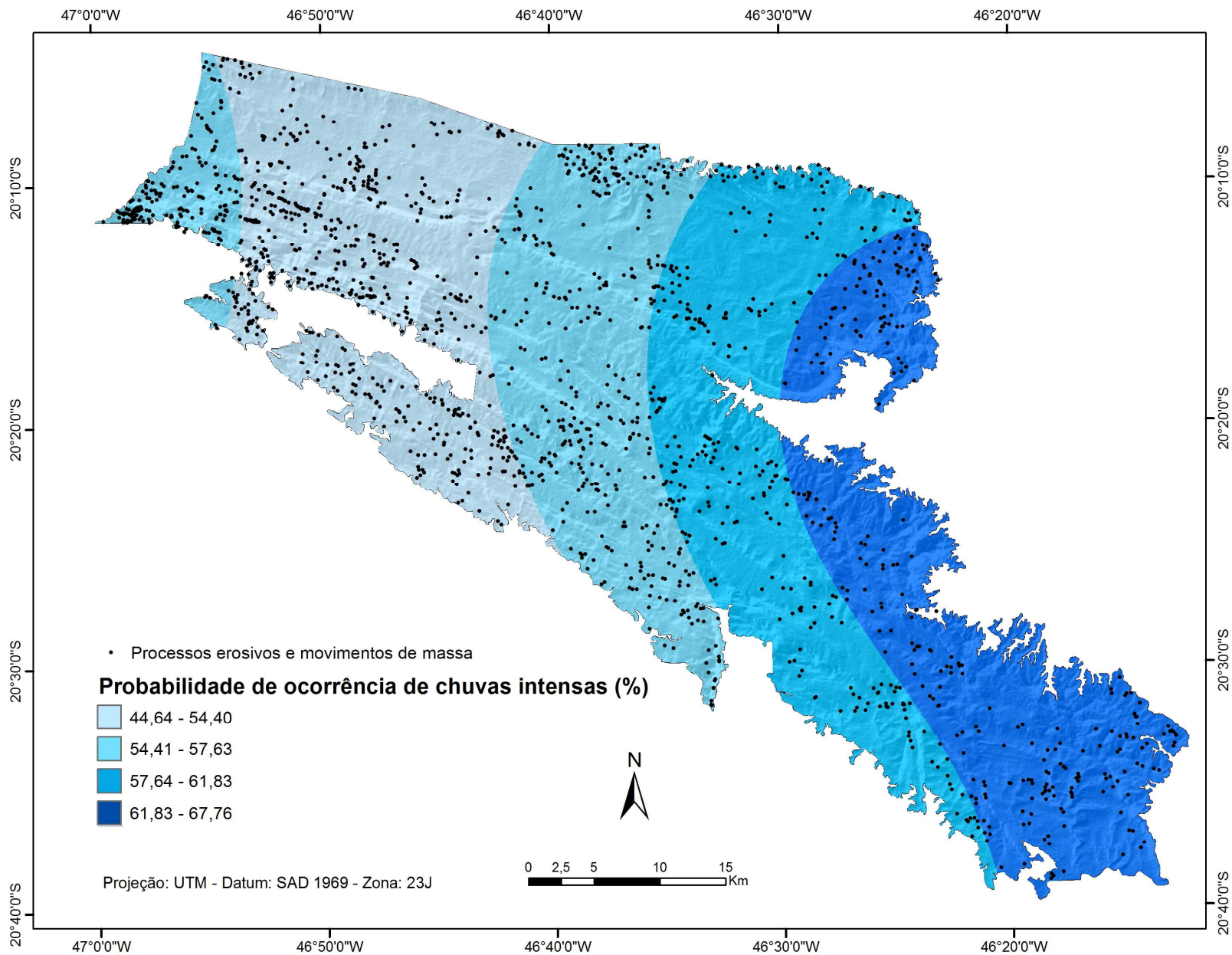


Figura 2.22: Mapa de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas do Parque Nacional da Serra da Canastra. Intervalos de classes: *quantile*, 4 classes.

Pode-se observar que, entre os meses estudados – dezembro, janeiro, fevereiro e março, há maior probabilidade de ocorrência de chuvas intensas na porção leste da área de estudo. À medida em que se afasta do leste, em direção a noroeste, observa-se a diminuição do percentual de probabilidade.

Isto ocorre pelo fato de que, as estações localizadas a sudeste, onde se observa maior probabilidade, são influenciadas pelo lago de Furnas (Figura 2.23). Esta afirmação corrobora com estudos de Ottoni *et. al.* (2011), os quais afirmam que há relação direta do lago com a distribuição das chuvas. Segundo os autores, o regime hídrico na região foi alterado após instalação da hidrelétrica, visto que houve um aumento pluviométrico de 18,5% nas adjacências e na região onde o reservatório está inserido.

Além da Hidrelétrica de Furnas, a oeste está localizada a Hidrelétrica de Mascarenhas de Moraes e Luiz Carlos Barreto de Carvalho. No entanto, Furnas se caracteriza como a principal influenciadora do regime das chuvas, visto que o reservatório desta possui áreas inundadas bastante superior às outras. Conforme Furnas (2013), Furnas possui uma área de 1440Km² (144.000ha), enquanto a área de Mascarenhas de Moraes é de 250Km², (25.000ha) e Luiz Carlos Barreto de Carvalho, 46,7Km², (4.670ha).

Alguns empecilhos não permitiram que se obtivessem informações com maior detalhe, como a falta de dados ou séries históricas muito curtas. Verifica-se também que algumas estações utilizadas se localizam em pontos muito distantes do parque, não havendo a possibilidade de se obter dados com grande precisão local. Além disso, o interior do parque não possui estações, para que se pudessem definir padrões locais de distribuição de chuvas.

Estes empecilhos levaram a uma grande homogeneização de áreas de alta ou baixa probabilidade, que seguiu basicamente o sentido oeste – leste. Desta forma, entre os mapas apresentados, o de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas é o que menos explica a ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa, devido à sua escala generalizada.

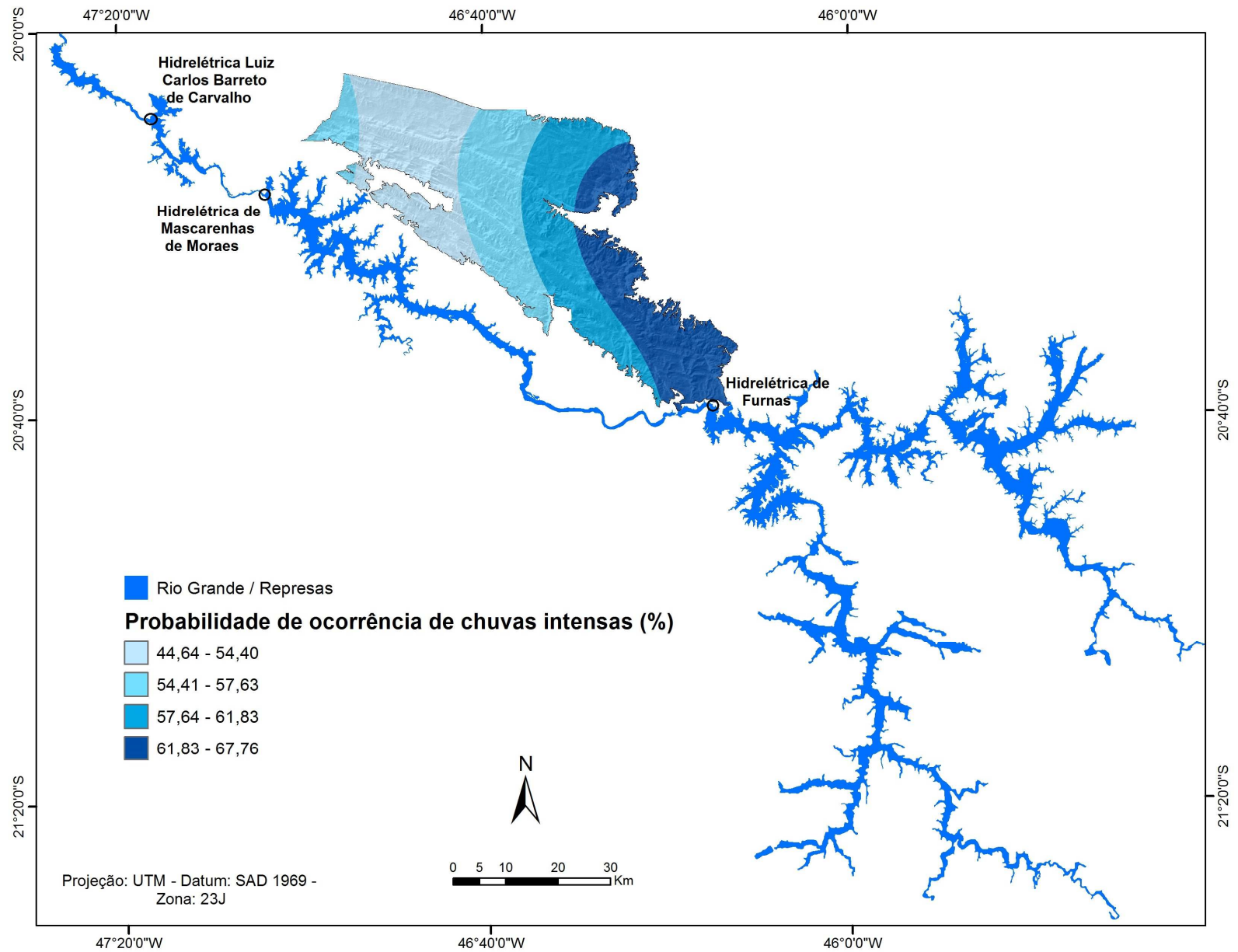


Figura 2.23: Mapa de localização das represas de Mascarenhas de Moraes e Furnas. No mapa é possível verificar que as áreas de maior probabilidade de ocorrência de chuvas intensas, são próximas do lago de Furnas e recebem influência direta do mesmo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A. N. Domínios de natureza no Brasil: ordens de criticidade: o caso da Amazônia. *In.*: VELLOSO, J. P. R. A ecologia e o novo padrão de desenvolvimento no Brasil. São Paulo: Nobel, 1992. 184 p.

ANA. Disponível em: <<http://ana.gov.br>>. Disponível em: 05/02/2013

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. *In.*: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, 1992, v.2, p.721-733.

BENITEZ, L. Províncias diamantíferas de Minas Gerais: uma proposta para a caracterização de populações de diamantes típicas como subsídio à Certificação Kimberly. Tese de doutorado. IGC UFMG, Belo Horizonte, 2009

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 7ª Ed. São Paulo: Ícone, 2010. 355 pag.

BIGARELLA, João José, BECKER, Rosemari D., SANTOS, Gilberto F. dos. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais vol. 3. Contribuição de Maria Lúcia de Paula Herrmann... [et al.]. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 2007.

BOLFE, E. L. Desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa de biomassa e de carbono em sistemas agroflorestais por meio de imagens orbitais (Tese de doutorado). Campinas: Unicamp, 1010. 232 p.

BRASIL. Lei no 4.771, de 15 de novembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro. Não substitui o publicado no D.O.U. de 16 de setembro 1965

_____. Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000. SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Publicado no D.O.U. de 19 de julho de 2000

_____. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Código de Trânsito Brasileiro. 3ª ed. Brasília: DENATRAN, 2008. 232 p.

CÂMARA, G.; CARVALHO. Análise de processos pontuais. São José dos Campos: INPE, 2002

CARVALHO, T.M; BAYER, M. Utilização dos produtos Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) no mapeamento geomorfológico do estado de Goiás. *In.*: Revista Brasileira da Geomorfologia. v.9, n.1, p.35-41, 2008

CEDERSTROM, D. J. Água subterrânea. Rio de Janeiro: Centro de Publicações Técnicas da Aliança, 1964. 280 p.

CHAVES, M.L.S.C.; BENITEZ, L. ANDRADE, K.W. Cachoeira Casca D'anta, São Roque de Minas, MG: Berço do velho Chico, o rio da integração nacional. *In.*: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C. SOUZA, C.R.G.; FERNANDES, A.C.S.; BERTORT-BORN, M.; QIEROZ, E.T. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Publicado na internet em 9 de dezembro de 2008.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; FILHO, P.H.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. *In.*: Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. São José dos Campos: INPE, 2001. 124 p.

DAEE. Controle de erosão: bases conceituais técnicas; diretrizes para o planejamento urbano; regional e orientações para o controle de boçorocas urabanas. São Paulo: DAEE/IPT, 1989

ESRI. ArcGIS Desktop 10.1 Help, 2013.

FURNAS. Disponível em: <<http://furnas.com.br>>. Acesso em: 20/05/2013

GARÓFALO, D.F.T.; FERREIRA; M.C. Mapeamento da probabilidade de ocorrência de chuvas de intensidade extrema, durante o período de dezembro a março na APA Fernão Dias (MG), a partir de krigagem espacial. *In.*: Congresso brasileiro sobre desastres naturais, Rio Claro, UNESP, 2012

GARÓFALO, D.F.T.; FERREIRA; M.C.; FERREIRA, M.F.M.; MESSIAS, C.G. Mapeamento da densidade de processos erosivos e de movimentos de massa, a partir de imagens do Google Earth georreferenciadas, utilizando estimador kernel: uma aplicação na APA Fernão Dias (MG). *In.*: Anais do 9º SINAGEO, Rio de Janeiro, 2012.

GONZALES, R.C.; WOODS, R.E. Processamento de Imagens Digitais. São Paulo: Edgar Blucher, 1992

GUERRA, A.T. Dicionário Geológico-Geomorfológico – 4ª Ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia, 1972. 439 p.

_____. O início do processo erosivo. *In.*: GUERRA, C.J.T.; SILVA, A.S da; BOTELHO, R.G.M (Orgs). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações – 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1999.

_____. Processos erosivos nas encostas. *In.*: GUERRA, A.J.T; CUNHA, S.B. da. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos – 11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2012.

HEINECK, C.A.; LEITE, C.A.S.; SILVA, M.A.; VIEIRA V.S. Mapa geológico do Estado de Minas Gerais, Escala 1:1.000.000. Belo Horizonte: Convênio COMIG/CPRM, 2003.

HIDROWEB. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 27/03/2012

IBDF. Plano de manejo do Parque Nacional da Serra da Canastra. Brasília: 1981

IMAI, N. N.; VICENTE, J.; LIMA, D. L.; TACHIBANA, V. M.; SIVA, E. A.; VOLL, E.; OLIVEIRA, H. E. S. Análise Comparativa da Interpolação por Krigagem ordinária e Krigagem por indicação no caso de ervas daninhas em cultura de soja. *In: Congresso Brasileiro de Cartografia*, 21; 2003, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2003.

JANSSOL, M.B. Land erosion by water in different climates. Borgstrom Tryckeri, Motala: Uppsala University, 1982.

JENSEN, J. R.. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective. 2nd ed. Saddle River, NJ, United States: Prentice-Hall, 1996. 318 p.

JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T. Erosão dos solos e movimentos de massa – recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes *In.: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Orgs). Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas*. São Paulo: Oficina de textos, 2013. Pág. 95-125.

LIU, W. T. H. Aplicações de Sensoriamento Remoto. Campo Grande: UNIDERP, 2007. 881 p.

LIU, J.G.; MASON, P.J. Essential imagem processing and GIS for Remote Sensing. Oxford, England: John Wiley & Sons Ltd., 2009. 443 p.

LOUREIRO, H. A. S.; FERREIRA, S. M. O papel das Geotecnologias no estudo de feições erosivas e movimentos de massa no Brasil. *In.: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Orgs). Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas*. São Paulo: Oficina de textos, 2013. Pág. 95-125.

LOURENÇO, L. Risco de erosão após incêndios florestais. Coimbra, FLUC, 2004. 199 p.

JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T. Erosão dos solos e movimentos de massa – recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes. *In.: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Orgs.). Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas*. São Paulo: Oficina de textos, 2013. p. 7-30

MAZUCHELI, J.; ACHCAR, J.A. Algumas considerações em regressão não linear. *In.: Acta Scientiarum*. Maringá, v. 24, n. 6, p. 1761-1770, 2002.

MEDEIROS, M. B. M.; FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no parque nacional da serra da canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 14, n. 2, 2004

MEIJERINK, A.M.J. Remote Sensing: applications to groundwater. Paris, France: UNESCO, 2007. 311 p.

MICELI, B.S.; DIAS, F.M.; SEABRA, F.M.; SANTOS, P.R.A.; FERNANDES, M.C. Avaliação vertical de modelos digitais de elevação (MDEs) em diferentes configurações topográficas para médias e pequenas escalas. *In.: Revista Brasileira de Cartografia* No 63/01, 2011. Pág. 191-201

MMA; IBAMA. Plano de Manejo: Parque Nacional da Serra da Canastra. Brasília: 2005

MORGAN, R.P.C. Soil Erosion and Conservation. Hong Kong: Longman Group UK Limited, 1986. 298 p.

NOVO AMBIENTE: DESENVOLVIMENTO COM EQUILÍBRIO, ano 1, n° 4, setembro/2010. Curitiba: Novo Ambiente Editora e Produtora Ltda, 2010

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. Geological Society of America Bulletin, v. 87, p. 1463-1469, 1976

OCCHIPINTI, A.G. & SANTOS, P.M. Relações entre as precipitações máximas de “um dia” e de “24 horas” na cidade de São Paulo. São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico, USP. 1966. 26p.

OLIVEIRA, M.A.T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçoroca. *In.: Erosão e conservação dos solos: conceitos e temas*. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1999, p. 57-99.

OTTONI, A. B.; FERREIRA, A.C.; NOGUEIRA NETO, C.; BRAGA, F.G.S. ; SILVA, D.S. Análise da influencia dos grandes reservatórios hidrelétricos no regime de chuva e nas características da economia hídrica de uma bacia degradada: estudo de caso do reservatório da usina hidrelétrica de Furnas no rio Grande/MG. *In: Anais do XIX Simpósio brasileiro de recursos hídricos*, Maceió, 2011

ROSS, J. L. S. Relevo Brasileiro: Uma nova proposta de classificação. Revista do Departamento e Geografia, n. 4, 1985

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SHELL, J. A.; DEERING, D. W.; Harlan, J. C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Final Report, ASA/GSFC, Greenbelt, MD, 1977. 371 p.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção de processos erosivos.. *In.: GUERRA, C.J.T.; SILVA, A.S da; BOTELHO, R.G.M. (Orgs). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações – 3ª ed.* Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1999.

- SANTORO, J.. Fenômenos erosivos acelerados na região de São Pedro – SP. Estudo da fenomenologia com ênfase geotécnica. Rio Claro – SP (Dissertação de Mestrado). IGCEUNESP-Campus de Rio Claro, 1991.
- SANTORO, J. Erosão continental. In.: TOMINAGA, L.K; SANTORO, J.; AMARAL, R. Do (Orgs). Destrastres Naturais: conhecer e prevenir – 2ª ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2012.
- SANTOS, A. R. A grande barreira da Serra do Mar: da trilha dos Tupiniquins à rodovia dos Imigrantes. São Paulo: o Nome da Rosa, 2004. 122 p.
- SEIXAS, B. L. S. Fundamentos do Manejo e da Conservação do Solo. Salvador: Centro Editorial e Didático da UFBA, 1985. 275p.
- SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E. ; CAMARGO, P. B.. Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas. São Carlos: RiMa, 2004. 138 p.
- SOARES, P. C.; FIORI, A. P.. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. In.: Boletim Geográfico, Rio de Janeiro, 36 (258-259), jul./dez.m 1978.
- SOUZA, L. H. F. Representação gráfica de feições lineares do relevo: proposta de aplicação de simbologia linear digital na cartografia geomorfológica (Dissertação de mestrado). Uberlândia: UFU, 2006. 92 pag.
- SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. In.: GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, Nº 15, p.39-49, 2004.
- TOMINAGA, L. K. Avaliação de metodologias para análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Uabatuba – SP (Tese de doutorado). São Paulo: FFLCH, 2007. 200 p.
- _____. Escorregamentos. In.: TOMINAGA, L. K; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs). Destrastres Naturais: conhecer e prevenir – 2ª ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2012.
- TRICART, Jean. Ecodinâmica. Rio De Janeiro: IBGE, 1977
- VERSTAPPEN, H. Th. Applied gemorphology: Geomorphological surveys for environmental development. Netherlands: Elsevier Science Publish, 1983. 437 p.
- VERSTAPPEN, H. Th. ZUIDAM, R. A. van. ITC System of Geomorphological Survey. Dutchland: Enschede Textbook ITC, 1975. 49 p.
- VIEIRA, N. M. Estudo geomorfológico das boçorocas de Franca, SP (Tese de doutorado). Franca: UNESP, 1978. 226 p.

WANG, W.; YANG, X.; YAO, T. Evaluation of ASTER GDEM and SRTM and their suitability in hydraulic modelling of a glacial lake outburst flood in southeast Tibet. In.: Hydrological Processes, Volume 26, pages 213–225, 15 January 2012

ZACHAR, D. Soil erosion. Bratislava: Elsevier Scientific Publishing Company, 1982. 547 p.

CAPÍTULO 3

MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA, EMPREGANDO-SE TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPACIAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

1. INTRODUÇÃO

“O processo erosivo causado pela água das chuvas tem abrangência em quase toda a superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical, onde os totais pluviométricos são bem mais elevados do que em outras regiões do planeta” (GUERRA, 1999, p. 17). A erosão segue uma dinâmica natural, enquanto o sistema ambiental se mantém em equilíbrio dinâmico. A partir das intervenções antrópicas, o processo de erosão tende a acelerar, perdendo-se grande quantidade de solos (SANTORO, 2012). Neste sentido, acredita-se que “a conservação dos recursos ambientais depende de uma forma planejada de utilização do meio ambiente [...]. Os planos de conservação podem ser construídos conforme diferentes modelos metodológicos de planejamento” (CONTI E FURLAN, 2011, p. 200-201).

“[...] acredita-se que todo planejamento deva considerar as potencialidades dos recursos naturais, mas, sobretudo, as fragilidades diante das intervenções antrópicas na natureza” (AMARAL E ROSS, 2009, p. 60). O estudo de fragilidade ambiental objetiva, então, “avaliar áreas suscetíveis à degradação e subsidiar ações de planejamento que restrinjam e direcionem o uso e ocupação da terra, de forma a prevenir e minimizar o surgimento de problemas relacionados à qualidade ambiental” (AMARAL E ROSS, *op. cit.*, p. 60). Conforme Ross (1994):

Os estudos relativos a fragilidade, expressos através de cartogramas e textos, são documentos de extrema importância ao Planejamento Ambiental, que tenha como centro de preocupação o desenvolvimento sustentado, onde conservação e recuperação ambiental estão lado a lado com o desenvolvimento tecnológico, econômico e social (ROSS, 1994, p. 64).

No Brasil, os métodos mais utilizados no mapeamento de fragilidade ambiental, tratam-se de estudos realizados por Ross (1994) e Crepani *et. al.* (2001). Ross (*op. cit.*) utiliza da álgebra entre variáveis naturais e antrópicas para mapear a estabilidade das diferentes unidades ecodinâmicas, tais como relevo, classes de solo e uso do solo. Por sua vez, Crepani *et. al.* (*op. cit.*) aplicam uma média entre dados de geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura vegetal e climatologia, a fim de se obterem unidades territoriais básicas de diferentes graus de vulnerabilidade.

Embora a relevância e a grande utilização no meio geográfico dos estudos realizados por Ross (1994) e Crepani *et. al.* (2001), observam-se algumas limitações na aplicação dos mesmos. Pensou-se então, em uma metodologia alternativa, a qual se possam obter resultados mais

detalhados, respeitando-se as características particulares da área de estudo em destaque, a indisponibilidade de materiais cartográficos, a aplicação de técnicas de análise espacial e que possibilite a inserção de outras variáveis geoambientais relevantes ao local estudado.

As contribuições metodológicas citadas serviram como base para a criação desta metodologia, a qual foi idealizada por integrantes do grupo de pesquisa *Métodos Avançados de Análise Espacial*, do Instituto de Geociências, da Unicamp. A primeira aplicação se deu na dissertação de Garofalo (2013), o qual trabalhou o mapeamento de fragilidade ambiental na alta bacia dos rios Piracicaba e Sapucaí Mirim, APA Fernão Dias, Minas Gerais, confirmando a eficácia do método.

Aplicar-se-á, neste capítulo, esta metodologia em uma segunda área de estudo: o Parque Nacional da Serra da Canastra – PNSC, Alto Rio São Francisco, Minas Gerais. Tem-se, neste local, diferentes características com relação ao estudado por Garofalo (2013), sejam físicas, como bioma, distribuição de chuvas, formação geológica e amplitudes altimétricas, além de uma outra categoria de Unidade de Conservação, com diferentes restrições de uso e ocupação.

Buscou-se, desta forma, verificar a eficiência da metodologia nesta área de estudo, apresentando quais as áreas mais e menos vulneráveis à erosão dos solos e à ocorrência de movimentos de massa. Além disso, a aplicação pode servir como auxiliar ao planejamento e manejo das diferentes áreas do parque, o qual, apesar de sua importância ecológica, possui inúmeros problemas naturais ou antrópicos, tais como erosão, incêndios, exploração mineratória, agropecuária e excesso de estradas. Neste sentido, Tricart (1977, p. 15) infere que “estudar os problemas do meio ambiente responde ao nosso conceito de que a ciência deve contribuir para o bem público”.

2. SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL

As revoluções técnico-científicas, acompanhadas do desenvolvimento econômico nos dois últimos séculos, transformaram radicalmente o homem como ser social. Promoveram a redução dos índices de mortalidade, entretanto, não reduziram a natalidade ao mesmo nível, o que levou a um rápido crescimento demográfico (ROSS, 1994). Ao mesmo tempo, houve o aumento da busca por recursos naturais, assim como, a tecnificação e a sofisticação dos padrões sócio culturais. Este autor acredita que:

(...) A crescente industrialização concentrada em ciclos, a mecanização da agricultura em sistema de monocultura, a generalizada implantação de pastagens, a intensa exploração de recursos energéticos e matérias-primas como o carvão mineral, petróleo, recursos hídricos, minérios, têm alterado de forma irreversível o cenário da terra e levado com frequência a processos degenerativos profundos da natureza (ROSS, 1994, p. 63).

Neste sentido, a ação humana é cada vez mais significativa ao lado dos processos naturais, alterando a paisagem em um ritmo intenso. A área onde ocorrem as intervenções antrópicas se constitui em uma estreita faixa situada entre a porção superior da litosfera e a inferior da atmosférica, ao que Grigoriev (1968, *apud* ROSS, 1990) denominou de *estrato geográfico da terra*.

“[...] a utilização de modelos é útil ao planejamento ambiental e urbano, visto que é a forma de avaliar áreas extensas de uma forma rápida. Para os locais onde são verificados intensos processos de desequilíbrio ambiental, se deve proceder a um diagnóstico mais específico, em escala maior.” (AMARAL E ROSS, 2009, p. 77). Desta forma, ao se mapearem as fragilidades dos ambientes naturais, são proporcionadas diretrizes ao planejamento, representando os potenciais das diferentes áreas, a fim de se preservar o equilíbrio (AMARAL E ROSS, *op. cit.*).

O método para análise de fragilidade dos ambientes naturais é baseado no conceito de *Unidades Ecodinâmicas*, proposto por Tricart (1977), o qual afirma que, na natureza, as trocas de energia e matéria ocorrem em razão do equilíbrio dinâmico. O homem, através de intervenções nos componentes da natureza, altera este equilíbrio. Baseado nestes pressupostos, Ross (1990) definiu como *unidades ecodinâmicas estáveis*, os ambientes onde há equilíbrio dinâmico e, as *unidades ecodinâmicas instáveis*, onde as intervenções antrópicas levam ao desequilíbrio.

A metodologia proposta por Ross (1994) se desenvolve basicamente utilizando variáveis ambientais e antrópicas: caracterização do relevo, feita pelos *índices de dissecação do relevo* (em médias e pequenas escalas), ou pelas *formas das vertentes e classes de declividade* (em grandes escalas); classes de solos, sobre as quais o autor apresenta a tabela de classes de fragilidade ou erodibilidade; uso do solo, que deve ser trabalhado por meio da interpretação de produtos de sensores orbitais e fotografias aéreas, possuindo pesos a serem atribuídos conforme a tabela de graus de proteção dos solos, de acordo com os tipos de cobertura vegetal.

A construção do produto cartográfico de fragilidade ambiental se desenvolve a partir do cruzamento de pranchas planimétricas, que possuem as informações referentes às variáveis ambientais e antrópicas. Primeiramente, cruzam-se os dados relativos ao relevo e aos solos,

obtendo-se um produto intermediário. Em seguida, combinam-no ao uso do solo ou tipos de cobertura vegetal, resultando no mapa que classifica e qualifica a área estudada, segundo a estabilidade das diferentes unidades ecodinâmicas.

Crepani *et al.* (2001) apresentaram uma metodologia para a geração de cartas de vulnerabilidade natural e erosão, a qual foi utilizada na primeira fase do zoneamento ecológico econômico da Amazônia Legal. Baseou-se também no conceito de *Ecodinâmica* de Tricart (1977), relacionando morfogênese e pedogênese. Estes autores trabalharam com o conceito de vulnerabilidade e apoiando-se nas *unidades territoriais básicas*.

A metodologia considera as *Unidades Territoriais Básicas* em duas categorias: unidades de paisagem natural e polígonos de ação antrópica. As *unidades de paisagem natural* são traçadas em produtos de sensores orbitais, fundamentadas em elementos de textura, relevo, drenagem, tonalidades de cinza ou matrizes de cores, relacionando ao conhecimento da geologia, geomorfologia, pedologia, fitogeografia e climatologia. Os *polígonos de ação antrópica* representam a área física onde há atuação do homem modificando as condições naturais.

O modelo proposto por Crepani *et al.* (2001) atribui valores próximos de 1, quando há o predomínio de processos pedogenéticos (áreas estáveis), próximos de 2 quando há situações intermediárias, e, próximos de 3, quando houver processos morfogenéticos (áreas vulneráveis). Estabelece-se então uma escala de vulnerabilidade com 21 classes de vulnerabilidade à perda do solo, que variam entre estável e vulnerável (Quadro 3.1). Este modelo é aplicado a cada uma das seguintes variáveis: geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura vegetal e climatologia. Os autores definiram critérios para a atribuição de valores na escala de vulnerabilidade para cada tema (CREPANI *et al.* 2001). Estima-se uma média aritmética entre os valores dos temas, identificando unidades territoriais básicas de diferentes graus de vulnerabilidade.

Quadro 3.1: Escala de Vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas

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

Fonte: Crepani *et al.*(2001)

Spörl e Ross (2004) argumentam que a fragilidade corresponde às mudanças que ocorrem nos componentes da natureza, geradas pela ruptura do equilíbrio dinâmico. Os pesquisadores avaliaram três diferentes modelos para o mapeamento da fragilidade ambiental, sendo eles: fragilidade potencial natural com apoio nos índices de dissecação do relevo (ROSS, 1994), fragilidade potencial natural com apoio nas classes de declividades (ROSS, 1994) e fragilidade potencial natural com apoio em unidades territoriais básicas (CREPANI *et al.*, 2001). Os autores estudaram uma área situada na divisa entre estados de São Paulo e Minas Gerais

Ao analisar o primeiro modelo – *fragilidade potencial natural com apoio nos índices de dissecação do relevo* – foram combinados mapas temáticos referentes ao índice de dissecação do relevo, solos, cobertura vegetal e pluviosidade. As áreas foram identificadas e classificadas em quatro graus de fragilidade: fraco, médio, forte e muito forte - sendo que, o grau médio, foi o predominante. Outro modelo testado – *fragilidade potencial natural com apoio nas classes de declividades* – utilizaram-se os mapas de declividades, solos, cobertura vegetal e pluviosidade. A combinação destes mapas resultou em áreas com cinco graus de fragilidade: muito fraco, fraco, médio, forte e muito forte, predominando o grau muito forte. O terceiro modelo testado – o

modelo de fragilidade potencial natural com apoio em unidades territoriais básicas – tomou com base os mapas geológico, geomorfológico, pedológico, de vegetação e climático, cuja combinação classificou as áreas em três graus de fragilidade: baixo, médio e forte.

Spörl e Ross (2004) constataram que há divergência entre os resultados obtidos pelos três modelos analisados. Os autores inferem que isto ocorre, pois o modelo de Crepani et al. (2001), trabalha com a média dos valores das variáveis, e Ross (1994) utiliza o relevo como o determinante da fragilidade ambiental.

Outros autores se apoiaram em produtos de teledetecção e Sistemas de Informação Geográfica na análise de fragilidade ambiental. Isto é possível pois, conforme Kraak e Ormeling (1996), teoricamente, os SIG poderiam ser capazes de solucionar problemas sem mapas, apenas com informações digitais. No entanto, isto é questionável na prática. Para Lang e Blaschke (2009), grande parte dos dados trabalhados no dia a dia tem relação com o espaço, sendo os SIGs usados para a documentação e visualização. Os métodos de análise espacial “[...] servem para a pesquisa de relações espaciais entre entidades dentro de uma ou mais camada de dados [...]. A análise espacial apoiada em SIG objetiva, fundamentalmente, gerar novas informações, o que se dá por meio da manipulação e integração de dados já existentes” (LANG E BLASCHE, 2009, p. 63).

Kawakubo *et al.* (2005) aplicaram técnicas de geoprocessamento para a caracterização empírica de fragilidade ambiental, tomando como base a metodologia de Ross (1994). Para os pesquisadores, *fragilidade potencial* é a vulnerabilidade natural do ambiente e *fragilidade ambiental* é a vulnerabilidade natural associada à proteção dos solos pelos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal. Elaborou-se um mapa-síntese, resultado do cruzamento das seguintes informações: declividade, solos e uso do solo. Os autores mostraram que é possível se utilizar técnicas de geoprocessamento, como *modelagem numérica do terreno (MNT)* e *álgebras de mapas* para se produzir o mapeamento de fragilidade ambiental.

Estudos de Donha *et al.* (2006) mostram que o SIG tem sido usado como importante ferramenta aplicada ao planejamento ambiental, devido à possibilidade de avaliar, de forma integrada, um grande número de variáveis, possibilitando a geração de informações rápidas e a inclusão de novas interações a qualquer momento. Utilizaram-se técnicas de geoprocessamento e a metodologia de Ross (1994) para determinar a fragilidade da área do Centro de Estações de Experimentação do Canguri – CEEC, inserido na APA do Iraí, na região Metropolitana de Curitiba. O SIG *Idrisi 32* foi utilizado para trabalhar com as informações cartográficas.

Donha *et. al.* (2006) relacionaram informações de declividades, solos e distância dos recursos hídricos para a geração do mapa de fragilidade potencial. Constatou-se que 80,28% da área se encontram nas classes baixa e muito baixa; 17,44% da área é ocupada por fragilidade média; já as classes alta e muito alta, representam juntas apenas 2,28%. Por fim, criaram um mapa de fragilidade emergente, combinando a fragilidade potencial com uso do solo. Observaram que 51,30% da área possui fragilidade baixa; as classes muito baixa, média e alta, correspondem, respectivamente, a 31,28%, 14,48% e 2,94%. Salientaram a eficácia do SIG envolvido na pesquisa para a geração dos mapas de fragilidade. Contudo, os autores ressaltam a necessidades de outros profissionais qualificados, cujo SIG não pode substituir.

Garófalo (2013) trabalhou o mapeamento da fragilidade da alta bacia dos rios Piracicaba e Sapucaí-Mirim – APA Fernão Dias. Como variáveis geoambientais, utilizaram-se: índice de vegetação, declividades, probabilidade de ocorrência de chuvas intensas, densidade de vias de circulação e densidade de lineamentos estruturais. Além disso, o autor aplicou o teste estatístico *Kolmogorov-Smirnov* na geração de pesos às variáveis, fazendo uma média ponderada, conforme a relação entre as mesmas e a ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa. Propôs, ainda, o uso de escala *Fuzzy* em seu mapa final, obtendo-se valores contínuos entre 0 e 1, a fim de se evitar a rigidez de intervalos de classes e permitir a obtenção de valores intermediários.

O autor encontrou diferentes pesos para as variáveis e a seguinte ordem de importância: índice de vegetação, chuvas, declividades, estradas e lineamentos. Os valores de fragilidade ambiental à ocorrência de todos os processos erosivos e movimentos de massa foram encontrados, em escala *Fuzzy*, entre 0,055 e 0,788. Concluiu-se que, as bacias localizadas na porção centro-oeste da APA, são as que apresentam maior proporção de fragilidade média ou alta. Nestes locais, são observados cultivos agrícolas e pastagens. Por sua vez, as bacias com menores fragilidades ocorrem, especialmente, na porção nordeste da APA. Estas áreas são ocupadas, principalmente, por remanescentes florestais e atividades agropastoris. Concluíram que o método se mostrou satisfatório, por apresentar subjetividade inferior aos métodos convencionais.

3. JUSTIFICATIVAS PARA A UTILIZAÇÃO DE UMA METODOLOGIA NÃO CONVENCIONAL E À CRIAÇÃO DE UM NOVO MÉTODO

Ao se mapear a fragilidade ambiental de uma certa área de estudo, gera-se um produto que serve como base para a análise das áreas propícias à ocorrência de inúmeros processos erosivos e movimentos de massa. No entanto, os processos possuem gênese distintas, sendo que são influenciados de forma particular, por diferentes elementos e características naturais e antrópicas. Sendo assim, devem-se analisar cada processo de maneira individual, considerando-se que há fatores que mais ou menos influenciam na ocorrência dos mesmos.

A metodologia proposta, além de se trabalhar cada processo em mapas individuais, destaca a necessidade da geração de pesos, os quais possam quantificar a importância de cada variável geoambiental. Os métodos tradicionais consideram mesmos pesos para todas as variáveis, como se todas tivessem a mesma importância perante a formação dos processos. Por isto, indica-se a aplicação de uma média ponderada, a qual considera a relevância real de cada variável.

Ademais, os métodos tradicionais trabalham com intervalos rígidos de classes. O problema de se trabalhar com intervalos rígidos é a imprecisão dos dados, visto que não há rigidez na espacialização de fenômenos no espaço. Este ponto pode ser evitado com a aplicação de intervalos *Fuzzy*, gerando mapas em superfícies contínuas e intervalos que variam entre 0 e 1. Desta maneira, há a possibilidade de se obterem dados exatos de locais específicos, dentro da área de estudo, obtendo-se maior detalhe no mapeamento.

Por fim, deve-se destacar a indisponibilidade de materiais cartográficos no Brasil, quando se refere a escala de detalhes, como os mapas de solos e geologia, os quais se tem, de maneira geral, materiais em escala 1:500.000 ou 1:1.000.000. Muitos trabalhos aplicam o cruzamento de mapas temáticos em diferentes escalas, gerando superfícies generalizadas e resultados imprecisos. Propôs-se, neste trabalho, substituírem-se variáveis geoambientais disponíveis apenas em pequena escala, por outras relevantes àquele local, em escala compatível.

Deste modo, a não rigidez na escolha das variáveis a serem utilizadas e a aplicação de pesos, consideram-se as particularidades área de estudo, visto que a importância de cada elemento da paisagem, na ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa, é variável de acordo com as características do local trabalhado.

4. METODOLOGIA PARA O MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL, EMPREGANDO-SE TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPACIAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

4.1 Atribuição de pesos às variáveis geoambientais

4.1.1 Teste estatístico *Kolmogorov-Smirnov*

Conforme Young (1977), utiliza-se o teste estatístico *Kolmogorov-Smirnov*, quando se pretende comparar duas funções, sendo elas: uma derivada empiricamente e outra hipotética. Este teste não paramétrico – o qual não exige que as amostras tenham uma distribuição normal, relaciona a distribuição das variáveis, considerando o erro de amostragem entre a função empírica e hipotética.

O teste *Kolmogorov-Smirnov* nos possibilitará, então, avaliar duas hipóteses:

H_0 : Os dados seguem distribuição normal – hipotética

H_1 : Os dados não seguem distribuição normal – empírica

Observar-se-á, então, a máxima diferença entre a função acumulada dos dados, sendo eles os da distribuição empírica e da hipotética. Em seguida, deve-se comparar esta diferença a um valor crítico, a um certo nível de significância. Os valores críticos de D podem ser encontrados na tabela 3.1, conforme o n da amostra e nível de significância desejado.

Tabela 3.1: Valores críticos para o teste *Kolmogorov-Smirnov*

n	Nível de Significância α			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
Valores maiores	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

Fonte: Portal Action (2014)

Taylor (1977) aplicou o teste *Kolmogorov-Smirnov* na análise de fenômenos espacialmente distribuídos. O autor buscou comprovar, quantitativamente, a existência da relação entre localização de cultivos de horticulturas e duas variáveis externas: classes de solo e distância com o mercado de consumo.

Utilizando uma amostra de 100 fazendas, o autor criou quatro classes para as duas variáveis utilizadas, relacionando-as em uma tabela, contendo a frequência e a área percentual de fazendas em cada uma. Após isto, calcularam-se as distribuições esperadas – H_0 e observadas – H_1 e, em seguida, os valores acumulados das mesmas. Por fim, calculou-se o valor D , encontrando-se as diferenças dos valores acumulados e obtendo-se os valores máximos.

Para a distância das fazendas e o mercado de consumo, utilizando o nível de significância de $\alpha = 0,05$, obteve um valor crítico D igual a 0,136, assim como D máximo de 0,2. O autor comprova então sua hipótese de que há relação entre a localização de cultivos hortícolas e distância com o mercado consumidor, a um nível de significância de 5%.

4.1.2 Aplicação do teste Kolmogorov-Smirnov para a atribuição de pesos às variáveis geoambientais no PNSC

4.1.2.1 Contextualização

A metodologia para o mapeamento da fragilidade ambiental, utilizando técnicas de análise espacial, recorre ao teste estatístico *Kolmogorov-Smirnov* (Taylor, 1977) para a obtenção pesos às variáveis geoambientais influenciadoras. Estes pesos indicam a importância de cada variável, à formação e evolução de diferentes processos erosivos e movimentos de massa.

A análise dos processos pretéritos são a base para este desenvolvimento metodológico, partindo da hipótese de que, entendendo a dinâmica dos processos formados no passado, podem-se prever quais as áreas de maior ou menor risco à ocorrência futura. Considera-se, também, que cada processo possui gênese e magnitude específicas, o que leva à necessidade da geração de diferentes pesos para as variáveis geoambientais influenciadoras, conforme cada um deles.

Definidos os pesos para cada variável, são aplicadas álgebras de diferentes produtos cartográficos, os quais representam as mesmas. Ferreira (1996) defende que a modelagem cartográfica envolve representações expressas em forma de combinação de mapas, estruturados no encadeamento de regras de transformação espacial de dados geográficos mapeados. Por isto, a modelagem cartográfica recorre a funções de processamento espacial, disponíveis em SIG.

Neste sentido, empregaram-se produtos cartográficos referentes ao mapeamento dos processos erosivos e movimentos de massa no PNSC, utilizando, na álgebra, os pesos obtidos pela aplicação do teste *Kolmogorov-Smirnov*. As variáveis geoambientais utilizadas foram: índice de vegetação, declividades, densidade de lineamentos estruturais, densidade de vias de circulação e probabilidade de ocorrência de chuvas intensas. Os mapeamentos das mesmas, foram apresentados no capítulo 2.

4.1.2.2 Material

Nesta fase da pesquisa, utilizaram-se produtos cartográficos, tais como rasters de polígonos, contendo as cinco variáveis geoambientais utilizadas e shapes de pontos, os quais localizam a ocorrência de cada processo erosivo e movimento de massa (Tabela 3.2).

Tabela 3.2: Produtos cartográficos utilizados na obtenção de pesos

Produtos cartográficos	Formato	Modo de Implantação	Base cartográfica
Índice de vegetação	Raster	Área	Landsat 5 TM (2011)
Declividades	Raster	Área	ASTER GDEM (2009)
Densidade de vias de circulação	Raster	Área	Imagens Google Earth / Spot (2011)
Densidade de lineamentos estruturais	Raster	Área	ASTER GDEM (2009)
Probabilidade de ocorrência de chuvas intensas	Raster	Área	Séries históricas de dados pluviométricos (ANA, 2012)
Ravinas	Shape	Ponto	Imagens Google Earth / Spot (2011)
Voçorocas	Shape	Ponto	Imagens Google Earth / Spot (2011)
Margens degradadas	Shape	Ponto	Imagens Google Earth / Spot (2011)
Escorregamentos	Shape	Ponto	Imagens Google Earth / Spot (2011)
Rastejos	Shape	Ponto	Imagens Google Earth / Spot (2011)
Todos os processos	Shape	Ponto	Imagens Google Earth / Spot (2011)

4.1.2.3 Procedimentos técnicos

Utilizando-se o ArcMap 10, software no qual foram executados os procedimentos técnicos em SIG, importaram-se os produtos cartográficos necessários para a geração de pesos. Os

arquivos matriciais de todas as variáveis geoambientais foram classificados em quatro intervalos de áreas iguais – classificador *Quantile*. Conforme ESRI (2013), este classificador distribui os dados de forma linear, contendo um mesmo número de feições em cada classe. Desta forma, as quatro classes apresentarão áreas de valores próximos – não exatamente iguais, garantindo a subjetividade dos dados, devido à não interferências da preferência do autor em classificar os dados.

Para se calcular o número de processos erosivos e movimentos de massa em cada classe, devem-se converter os arquivos matriciais em vetoriais. Para isto, converteram-se os arquivos para TIFF de 8 bits, reclassificaram-se as classes em valores de 1 a 4, utilizando-se a função *Reclassify*, disponível no *Spatial Analyst Tools*, do *ArcToolbox*. Em seguida, converteu-se o raster em vetor, pela função *Raster to Polygon*, do *Conversion Tools* (Figura 3.1). Gerou-se um arquivo de polígonos, em formato *shapefile*, contendo na tabela de atributos uma coluna referente a qual classe cada polígono pertence – adotando-se valores de 1 a 4.

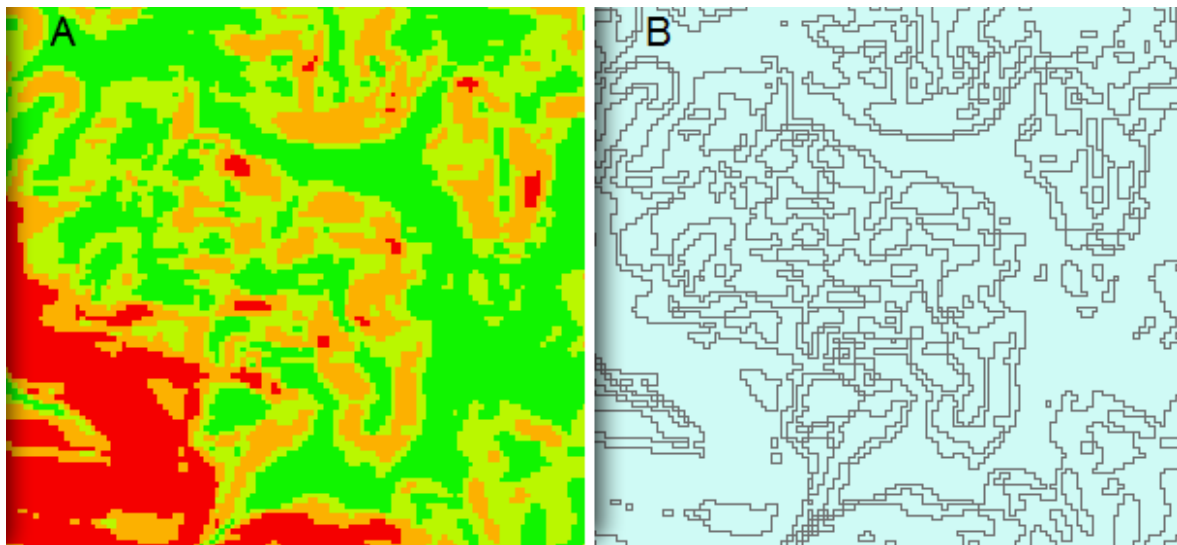


Figura 3.1: Conversão do arquivo matricial em vetorial, da variável declividades. A: arquivo matricial; B: arquivo vetorial.

Com a finalidade de se trabalharem valores quantitativos de processos em cada classe, tornou-se necessária a criação de shapes poligonais de cada uma delas – desta forma, cada variável passa a ser trabalhada em quatro arquivos vetoriais. Esta tarefa foi executada pela tabela de atributos, através da função *Select by Attributes*, na qual selecionou-se uma classe por vez e exportaram-nas em diferentes arquivos – pelo *Export Data*. Em cada um dos arquivos, gerou-se na tabela de atributos uma coluna com o nome *Área* e pelo *Calculate Geometry* foram encontradas as áreas dos polígonos, em metros quadrados – os quais foram posteriormente somados pelo BrOffice Calc 3.2, obtendo-se a área total da classe.

Recortando-se os arquivos de pontos de processos, pelo comando *Clip*, utilizando-se os shapes de cada classe como máscara, foram obtidos novos shapes de pontos, os quais apresentam apenas os processos existentes dentro de cada classe (Figura 3.2). Este procedimento permitiu que, ao se consultar a tabela de atributos destes arquivos, possa ser encontrada a quantidade de processos mapeados nas classes – o total de processos em uma classe, é o maior valor da coluna *FID + 1*.

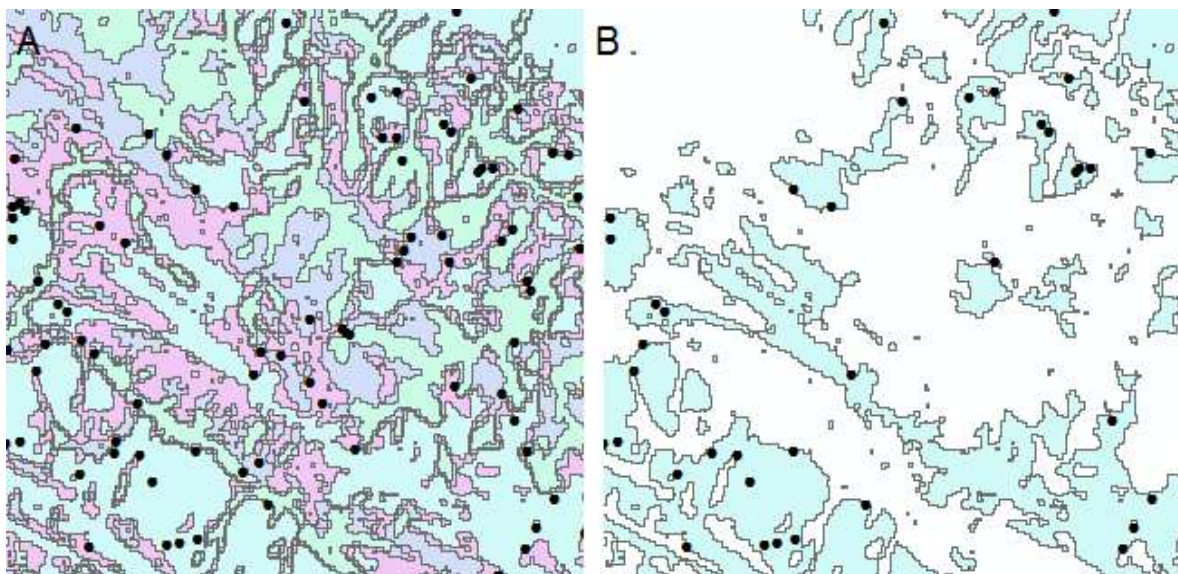


Figura 3.2: Procedimentos para o recorte de processos por classes, utilizando como exemplo a variável NDVI. A: arquivo vetorial contendo todas as classes de NDVI e todos os processos, antes do recorte. B: arquivo contendo apenas a classe de menor NDVI e os processos que ocorrem somente nela.

4.1.2.4 Parâmetros estatísticos

Para cada tipo de processo, tabularam-se os valores quantitativos em diferentes planilhas do BrOffice Calc 3.2, tais como: número total de processos, número de processos por classe, área total do parque e área de cada classe. No software citado, foram inseridas funções matemáticas, as quais possibilitaram a aplicação do teste *Kolmogorov-Smirnov* (Taylor, 1977).

Primeiramente, calculou-se a área de cada classe em valor percentual ($Ac_{\%}$), por uma regra de três simples, multiplicando-se a área da classe (Ac_{m^2}) em metros quadrados, por cem, dividida pela área total do parque (em metros quadrados):

$$Ac_{\%} = \frac{Ac_{m^2} \times 100}{1977700600m^2} \quad [\text{Eq. 3.1}]$$

Em seguida, calcularam os dados de *Ocorrência Esperada* (O_E), em cada classe. Estes são valores hipotéticos, os quais simulam como seria a distribuição de processos em cada classe, desconsiderando influências antrópicas e ambientais. Ou seja, como seria a distribuição, se os processos ocorressem de acordo apenas com a área que a classe ocupa, seguindo uma distribuição normal. Encontraram-se estes valores pelo produto da área de uma classe ($Ac_{\%}$) e o número total de processos erosivos no parque (n), dividido por cem:

$$O_E = \frac{Ac_{\%} \times n}{100} \quad [\text{Eq. 3.2}]$$

Supõe-se que, em uma amostra, são verificados 16 processos erosivos, distribuídos de forma normal. Dividindo a área ocupada por esta amostra em 4 classes de tamanhos iguais – *quartis*, a O_E apresentaria valor idêntico de eventos por classes. Ou seja, 4 processos em cada uma delas (Figura 3.3).

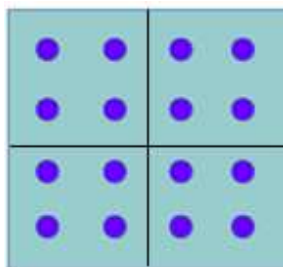


Figura 3.3: Exemplo de uma ocorrência esperada – distribuição normal.

Já a *Ocorrência observada* (O_o) apresentará, quantitativamente, o número de eventos empiricamente mapeados em cada classe. Ou seja, o número real de processos existentes naquele intervalo de dados. Neste sentido, imagina-se uma amostra contendo 16 processos, seguindo uma distribuição não-normal. Estes eventos são, então, distribuídos pela área da amostra de maneira irregular. Pela fragmentação da área da amostra em 4 classes de tamanhos iguais, serão obtidos, pela O_o , diferente número de eventos por classes (Figura 3.4)

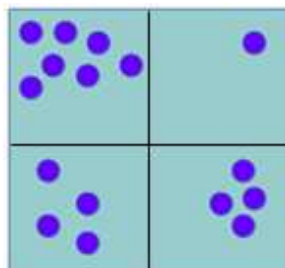


Figura 3.3: Exemplo de uma ocorrência observada – distribuição não-normal.

Considera-se neste caso então, a relação direta entre processos e fatores antrópicos e ambientais, visto que são distribuídos de forma irregular ao longo das classes – distribuição não-normal (Tabela 3.3; Tabela 3.4; Tabela 3.5; Tabela 3.6; Tabela 3.7).

Tabela 3.3 - Ocorrências observadas e esperadas de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de NDVI.

Parâmetros estatísticos	Classes de NDVI (-1 a +1)			
	(-) 0,27 – 0,12	0,13 – 0,16	0,17 – 0,23	0,24 – 0,75
Porcentagem de uso do solo	24,49	25,54	25,89	24,09
Ocorrência observada de ravinas (n=1275)	278	390	391	216
Ocorrência esperada de ravinas	312,19	325,61	330,13	307,11
Ocorrência observada de voçorocas (n=74)	24	26	18	6
Ocorrência esperada de voçorocas	17,84	19,16	18,89	18,11
Ocorrência observada de margens degradadas (n=63)	19	25	11	8
Ocorrência esperada de margens degradadas	15,17	16,31	16,08	15,42
Ocorrência observada de escorregamentos (n=38)	3	11	12	12
Ocorrência esperada de escorregamentos	9,30	9,70	9,83	9,15
Ocorrência observada de rastejos (n=345)	105	127	89	24
Ocorrência esperada de rastejos	84,47	88,10	89,33	83,10
Ocorrência esperada de todos eventos (n=1796)	424	564	534	274
Ocorrência esperada de todos eventos	432,61	465,03	458,66	439,75

Tabela 3.4- Ocorrências observadas e esperadas de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de Declividade.

Parâmetros estatísticos	Classes de declividades (graus)			
	0 – 5,16	5,17 – 8,80	8,81 – 14,56	14,57 – 77,40
Porcentagem de uso do solo	24,56	24,85	26,13	24,44
Ocorrência observada de ravinas (n=1275)	253	350	309	356
Ocorrência esperada de ravinas	313,25	316,88	333,22	311,70
Ocorrência observada de voçorocas (n=74)	35	17	18	4
Ocorrência esperada de voçorocas	18,18	18,39	19,34	18,09
Ocorrência observada de margens degradadas (n=63)	43	16	1	3
Ocorrência esperada de margens degradadas	15,47	15,65	16,45	15,40
Ocorrência observada de escorregamentos (n=38)	3	3	11	21
Ocorrência esperada de escorregamentos	9,36	9,44	9,93	9,29
Ocorrência observada de rastejos (n=345)	76	89	118	62
Ocorrência esperada de rastejos	84,76	85,74	90,16	84,34
Ocorrência esperada de todos eventos (n=1796)	412	474	453	457
Ocorrência esperada de todos eventos	441,25	446,37	469,39	439,08

Tabela 3.5 - Ocorrências observadas e esperadas de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de densidade de lineamentos estruturais.

Parâmetros estatísticos	Classes de densidade de lineamentos estruturais (Km/Km ²)			
	0 – 0,27	0,28 – 0,44	0,45 – 0,61	0,62 – 1,34
Porcentagem de uso do solo	24,39	25,78	25,24	24,61
Ocorrência observada de ravinas (n=1275)	243	281	363	384
Ocorrência esperada de ravinas	310,95	328,71	321,76	313,75
Ocorrência observada de voçorocas (n=74)	12	21	14	27
Ocorrência esperada de voçorocas	18,05	19,08	18,67	18,21
Ocorrência observada de margens degradadas (n=63)	8	10	24	21
Ocorrência esperada de margens degradadas	15,36	16,24	15,90	15,50
Ocorrência observada de escorregamentos (n=38)	7	7	5	19
Ocorrência esperada de escorregamentos	9,27	9,80	9,59	9,35
Ocorrência observada de rastejos (n=345)	159	92	48	46
Ocorrência esperada de rastejos	84,14	88,95	87,06	84,90
Ocorrência esperada de todos eventos (n=1796)	430	411	454	501
Ocorrência esperada de todos eventos	438,02	463,04	453,24	441,96

Tabela 3.6 - Ocorrências observadas e esperadas de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de densidade de vias de circulação.

Parâmetros estatísticos	Classes de densidade de vias de circulação (Km/Km ²)			
	0 – 0,20	0,21 – 0,43	0,44 – 0,73	0,74 – 1,83
Porcentagem de uso do solo	24,76	25,38	25,22	24,66
Ocorrência observada de ravinas (n=1275)	384	362	233	296
Ocorrência esperada de ravinas	315,66	323,60	321,49	314,35
Ocorrência observada de voçorocas (n=74)	18	18	18	20
Ocorrência esperada de voçorocas	18,32	18,78	18,66	18,25
Ocorrência observada de margens degradadas (n=63)	14	13	15	21
Ocorrência esperada de margens degradadas	15,60	15,99	15,89	15,53
Ocorrência observada de escorregamentos (n=38)	13	4	7	14
Ocorrência esperada de escorregamentos	9,41	9,64	9,58	9,37
Ocorrência observada de rastejos (n=345)	92	68	80	105
Ocorrência esperada de rastejos	85,41	87,56	86,99	85,06
Ocorrência esperada de todos eventos (n=1796)	521	466	374	462
Ocorrência esperada de todos eventos	444,65	455,84	452,86	442,82

Tabela 3.7 - Ocorrências observadas e esperadas de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de POCL.

Parâmetros estatísticos	Classes de POCL (%)			
	44,64 – 54,40	54,41 – 57,63	57,64 – 61,83	61,84 – 67,76
Porcentagem de uso do solo	24,81	25,51	25,02	24,65
Ocorrência observada de ravinas (n=1275)	454	407	207	207
Ocorrência esperada de ravinas	316,38	325,27	319,06	314,30
Ocorrência observada de voçorocas (n=74)	28	25	17	4
Ocorrência esperada de voçorocas	18,36	18,88	18,52	18,24
Ocorrência observada de margens degradadas (n=63)	22	12	16	13
Ocorrência esperada de margens degradadas	15,63	16,07	15,77	15,53
Ocorrência observada de escorregamentos (n=38)	4	21	8	5
Ocorrência esperada de escorregamentos	9,43	25,51	25,02	24,65
Ocorrência observada de rastejos (n=345)	101	144	40	60
Ocorrência esperada de rastejos	85,61	88,01	86,33	85,04
Ocorrência esperada de todos eventos (n=1796)	609	609	288	290
Ocorrência esperada de todos eventos	445,67	458,18	449,43	442,73

Calcularam-se, por seguinte, os valores de frequência observada e esperada. A *Frequência Esperada* (F_E) trata da razão entre ocorrência esperada e o total de processos no parque (n). Os valores serão idênticos à razão entre a área daquela classe e 100, já que a ocorrência esperada trata de uma distribuição normal, considerando apenas a área da classe. Desta forma, a hipótese se apresenta como nula (H_0), visto que não há qualquer influência das diferentes variáveis geoambientais sobre a ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa:

$$F_E = \frac{O_E}{n} \quad [\text{Eq. 3.3}]$$

A *Frequência Observada* (F_O) diz respeito à razão entre o número de processos de uma classe e o número total de eventos (n). Neste caso, tem-se valores reais da distribuição de eventos por classes, não tratando de uma distribuição normal (H_1) – considerando a importância de fatores geoambientais. Desta forma, quanto mais próximo do valor de *Frequência Esperada*, menor será a influência da variável geoambiental analisada e quanto menos próximo do valor, maior a influência. Isto ocorre pois, se em uma classe o valor de uma distribuição não normal é muito distinto do valor em uma distribuição normal, os processos estão concentrados em alguma das classes, mais que em outras:

$$F_O = \frac{O_O}{n} \quad [\text{Eq. 3.4}]$$

O teste *Kolmogorov-Smornov* trabalha com frequências acumuladas (F_A), tendo sido encontrados os valores cumulativos de frequência observada e esperada, em cada uma das 4 classes:

Frequência acumulada observada (F_{AO}):

$$\text{Classe 1: } F_{AO1} = F_{O1} \quad [\text{Eq. 3.5}]$$

$$\text{Classe 2: } F_{AO1} = F_{O1} + F_{O2} \quad [\text{Eq. 3.6}]$$

$$\text{Classe 3: } F_{AO1} = F_{O1} + F_{O2} + F_{O3} \quad [\text{Eq. 3.7}]$$

$$\text{Classe 4: } F_{AO1} = F_{O1} + F_{O2} + F_{O3} + F_{O4} \quad [\text{Eq. 3.8}]$$

Frequência acumulada esperada (F_{AE}):

$$\text{Classe 1: } F_{AE1} = F_{E1} \quad [\text{Eq. 3.9}]$$

$$\text{Classe 2: } F_{AE1} = F_{E1} + F_{E2} \quad [\text{Eq. 3.10}]$$

$$\text{Classe 3: } F_{AE1} = F_{E1} + F_{E2} + F_{E3} \quad [\text{Eq. 3.11}]$$

$$\text{Classe 4: } F_{AE1} = F_{E1} + F_{E2} + F_{E3} + F_{E4} \quad [\text{Eq. 3.12}]$$

Calcularam-se as diferenças entre frequência acumulada observada e frequência acumulada esperada, apresentando-nos os *Valores D* de cada classe:

$$D = F_{AO} - F_{AE} \quad [\text{Eq. 3.13}]$$

Utilizando-se um nível de significância $\alpha = 0,05$, podem-se obter valores críticos de D pela seguinte equação proposta por Taylor (1977):

$$D(\alpha = 0,05) = \frac{1,36}{\sqrt{n}} \quad [\text{Eq. 3.14}]$$

Quando o valor D é maior ou igual ao D crítico, significa que a variável tem grande influência na ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa. Quando um D é encontrado abaixo do valor crítico, pode-se aceitar a hipótese nula, ou seja, uma distribuição normal dos processos nas diferentes classes de uma variável geoambiental.

Aplicaram-se os procedimentos técnicos descritos e o teste *Kolmogorov-Smirnov*, em cada um dos três tipos de processos erosivos – ravinas, voçorocas e margens degradadas; nos dois movimentos de massa – rastejo e deslizamentos; e com todos os processos erosivos e movimentos de massa de forma conjunta. Trabalharam-se, em cada processo, com as cinco variáveis geoambientais anteriormente mapeadas (Tabela 3.8; 3.9; 3.10; 3.11; 3.12).

Tabela 3.8 – Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à variável índice de vegetação.

Fenômeno	Parâmetros estatísticos	Classes de NDVI (-1 a +1)				D crítico
		(-) 0,27 – 0,12	0,13 – 0,16	0,17 – 0,23	0,24 – 0,75	
Ravinas	Frequência observada	0,2180	0,3059	0,3067	0,1694	0,0380
	Frequência esperada	0,2449	0,2554	0,2589	0,2409	
	Freq. acumulada observada	0,2180	0,5239	0,8306	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2449	0,5002	0,7592	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,0268	0,0237	0,0714	0,0000	
Voçorocas	Frequência observada	0,3243	0,3514	0,2432	0,0811	0,1580
	Frequência esperada	0,2449	0,2554	0,2589	0,2409	
	Freq. acumulada observada	0,3243	0,6757	0,9189	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2449	0,5002	0,7592	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,0795	0,1754	0,1598	0,0000	
Margens degradadas	Frequência observada	0,1270	0,1746	0,3968	0,3016	0,1710
	Frequência esperada	0,2449	0,2554	0,2589	0,2409	
	Freq. acumulada observada	0,1270	0,3016	0,6984	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2449	0,5002	0,7592	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,1179	0,1987	0,0608	0,0000	
Escorregamentos	Frequência observada	0,0789	0,2895	0,3158	0,3158	0,2200
	Frequência esperada	0,2409	0,2589	0,2554	0,2449	
	Freq. acumulada observada	0,0789	0,3684	0,6842	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2409	0,4998	0,7552	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,1619	0,1314	0,0710	0,0000	
Rastejos	Frequência observada	0,3043	0,3681	0,2551	0,0696	0,0732
	Frequência esperada	0,2420	0,2524	0,2559	0,2381	
	Freq. acumulada observada	0,3043	0,6725	0,9275	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2420	0,4944	0,7504	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,0623	0,1780	0,1772	0,0000	
Todos os processos	Frequência observada	0,2361	0,3140	0,2973	0,1526	0,0320
	Frequência esperada	0,2449	0,2554	0,2589	0,2409	
	Freq. acumulada observada	0,2361	0,5501	0,8474	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2449	0,5002	0,7592	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,0088	0,0499	0,0883	0,0000	

Tabela 3.9 – Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à variável declividade.

Fenômeno	Parâmetros estatísticos	Classes de declividade (graus)				D crítico
		0 – 5,16	5,17 – 8,80	8,81 – 14,56	14,57 – 77,40	
Ravinas	Frequência observada	0,1984	0,2745	0,2424	0,2847	0,0380
	Frequência esperada	0,2457	0,2485	0,2614	0,2445	
	Freq. acumulada observada	0,1984	0,4729	0,7153	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2457	0,4942	0,7556	1,0000	
Voçorocas	Diferenças (O - E)	0,0473	0,0213	0,0403	0,0000	0,1580
	Frequência observada	0,4730	0,2297	0,2432	0,0541	
	Frequência esperada	0,2457	0,2485	0,2614	0,2445	
	Freq. acumulada observada	0,4730	0,7027	0,9459	1,0000	
Margens degradadas	Freq. acumulada esperada	0,2457	0,4942	0,7556	1,0000	0,1710
	Diferenças (O - E)	0,2273	0,2085	0,1904	0,0000	
	Frequência observada	0,6825	0,2540	0,0159	0,0476	
	Frequência esperada	0,2457	0,2485	0,2614	0,2445	
Escorregamentos	Freq. acumulada observada	0,6825	0,9365	0,9524	1,0000	0,2200
	Freq. acumulada esperada	0,2457	0,4942	0,7556	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,4369	0,4423	0,1968	0,0000	
	Frequência observada	0,0789	0,0789	0,2895	0,5526	
Rastejos	Frequência esperada	0,2457	0,2485	0,2614	0,2445	0,0732
	Freq. acumulada observada	0,0789	0,1579	0,4474	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2457	0,4942	0,7556	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,1667	0,3363	0,3082	0,0000	
Todos os processos	Frequência observada	0,2203	0,2580	0,3420	0,1797	0,0320
	Frequência esperada	0,2457	0,2485	0,2614	0,2445	
	Freq. acumulada observada	0,2203	0,4783	0,8203	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2457	0,4942	0,7556	1,0000	
Todos os processos	Diferenças (O - E)	0,0254	0,0160	0,0647	0,0000	0,0320
	Frequência observada	0,2294	0,2639	0,2522	0,2545	
	Frequência esperada	0,2457	0,2485	0,2614	0,2445	
	Freq. acumulada observada	0,2294	0,4933	0,7455	1,0000	
Todos os processos	Freq. acumulada esperada	0,2457	0,4942	0,7556	1,0000	0,0320
	Diferenças (O - E)	0,0163	0,0009	0,0100	0,0000	

Tabela 3.10 – Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à variável densidade de lineamentos estruturais.

Fenômeno	Parâmetros estatísticos	Classes de densidade de lineamentos estruturais (Km/Km ²)				D crítico
		0 – 0,27	0,28 – 0,44	0,45 – 0,61	0,62 – 1,34	
Ravinas	Frequência observada	0,1906	0,2204	0,2847	0,3012	0,0380
	Frequência esperada	0,2439	0,2578	0,2524	0,2461	
	Freq. acumulada observada	0,1767	0,4110	0,6957	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2439	0,5017	0,7541	1,0000	
Voçorocas	Diferenças (O - E)	0,0672	0,0907	0,0584	0,0000	0,1580
	Frequência observada	0,1622	0,2838	0,1892	0,3649	
	Frequência esperada	0,2439	0,2578	0,2524	0,2461	
	Freq. acumulada observada	0,1622	0,4459	0,6351	1,0000	
Margens degradadas	Freq. acumulada esperada	0,2439	0,5017	0,7541	1,0000	0,1710
	Diferenças (O - E)	0,0817	0,0558	0,1189	0,0000	
	Frequência observada	0,1270	0,1587	0,3810	0,3333	
	Frequência esperada	0,2439	0,2578	0,2524	0,2461	
Escorregamentos	Freq. acumulada observada	0,1270	0,2857	0,6667	1,0000	0,2200
	Freq. acumulada esperada	0,2439	0,5017	0,7541	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,1169	0,2160	0,0874	0,0000	
	Frequência observada	0,1842	0,1842	0,1316	0,5000	
Rastejos	Frequência esperada	0,2439	0,2578	0,2524	0,2461	0,0732
	Freq. acumulada observada	0,1842	0,3684	0,5000	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2439	0,5017	0,7541	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,0597	0,1333	0,2541	0,0000	
Todos os processos	Frequência observada	0,4609	0,2667	0,1391	0,1333	0,0320
	Frequência esperada	0,2439	0,2578	0,2524	0,2461	
	Freq. acumulada observada	0,4609	0,7275	0,8667	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2439	0,5017	0,7541	1,0000	
Todos os processos	Diferenças (O - E)	0,2170	0,2258	0,1126	0,0000	0,0320
	Frequência observada	0,2394	0,2288	0,2528	0,2790	
	Frequência esperada	0,2439	0,2578	0,2524	0,2461	
	Freq. acumulada observada	0,2394	0,4683	0,7210	1,0000	
Todos os processos	Freq. acumulada esperada	0,2439	0,5017	0,7541	1,0000	0,0320
	Diferenças (O - E)	0,0045	0,0334	0,0330	0,0000	

Tabela 3.11 – Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à variável densidade de vias de circulação.

Fenômeno	Parâmetros estatísticos	Classes de densidade de vias de circulação (Km/Km ²)				D crítico
		0 – 0,20	0,21 – 0,43	0,44 – 0,73	0,74 – 1,83	
Ravinas	Frequência observada	0,3012	0,2839	0,1827	0,2322	0,0380
	Frequência esperada	0,2476	0,2538	0,2522	0,2466	
	Freq. acumulada observada	0,3012	0,5851	0,7678	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2476	0,5014	0,7535	1,0000	
Voçorocas	Diferenças (O - E)	0,0536	0,0837	0,0143	0,0000	0,1580
	Frequência observada	0,2432	0,2432	0,2432	0,2703	
	Frequência esperada	0,2476	0,2538	0,2522	0,2466	
	Freq. acumulada observada	0,2432	0,4865	0,7297	1,0000	
Margens degradadas	Freq. acumulada esperada	0,2476	0,5014	0,7535	1,0000	0,1710
	Diferenças (O - E)	0,0043	0,0149	0,0238	0,0000	
	Frequência observada	0,2222	0,2063	0,2381	0,3333	
	Frequência esperada	0,2476	0,2538	0,2522	0,2466	
Escorregamentos	Freq. acumulada observada	0,2222	0,4286	0,6667	1,0000	0,2200
	Freq. acumulada esperada	0,2476	0,5014	0,7535	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,0254	0,0728	0,0869	0,0000	
	Frequência observada	0,3421	0,1053	0,1842	0,3684	
Rastejos	Frequência esperada	0,2476	0,2538	0,2522	0,2466	0,0732
	Freq. acumulada observada	0,3421	0,4474	0,6316	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2476	0,5014	0,7535	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,0945	0,0540	0,1220	0,0000	
Todos os processos	Frequência observada	0,2667	0,1971	0,2319	0,3043	0,0320
	Frequência esperada	0,2476	0,2538	0,2522	0,2466	
	Freq. acumulada observada	0,2667	0,4638	0,6957	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2476	0,5014	0,7535	1,0000	
Diferenças (O - E)	Diferenças (O - E)	0,0191	0,0376	0,0579	0,0000	0,0320
	Frequência observada	0,2901	0,2595	0,1932	0,2572	
	Frequência esperada	0,2476	0,2538	0,2522	0,2466	
	Freq. acumulada observada	0,2901	0,5496	0,7428	1,0000	
Diferenças (O - E)	Freq. acumulada esperada	0,2476	0,5014	0,7535	1,0000	0,0320
	Diferenças (O - E)	0,0425	0,0482	0,0108	0,0000	

Tabela 3.12 – Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à variável POCl.

Fenômeno	Parâmetros estatísticos	Classes de POCl (%)				D crítico
		44,64 – 54,40	54,41 – 57,63	57,64 – 61,83	61,84 – 67,76	
Ravinas	Frequência observada	0,3561	0,3192	0,1624	0,1624	0,0380
	Frequência esperada	0,2481	0,2551	0,2502	0,2465	
	Freq. acumulada observada	0,3561	0,6753	0,8376	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2481	0,5033	0,7535	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,1079	0,1720	0,0842	0,0000	
Voçorocas	Frequência observada	0,3784	0,3378	0,2297	0,0541	0,1580
	Frequência esperada	0,2481	0,2551	0,2502	0,2465	
	Freq. acumulada observada	0,3784	0,7162	0,9459	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2481	0,5033	0,7535	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,1302	0,2130	0,1925	0,0000	
Margens degradadas	Frequência observada	0,3492	0,1905	0,2540	0,2063	0,1710
	Frequência esperada	0,2481	0,2551	0,2502	0,2465	
	Freq. acumulada observada	0,3492	0,5397	0,7937	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2481	0,5033	0,7535	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,1011	0,0364	0,0402	0,0000	
Escorregamentos	Frequência observada	0,1053	0,5526	0,2105	0,1316	0,2200
	Frequência esperada	0,2481	0,2551	0,2502	0,2465	
	Freq. acumulada observada	0,1053	0,6579	0,8684	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2481	0,5033	0,7535	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,1429	0,1546	0,1149	0,0000	
Rastejos	Frequência observada	0,2928	0,4174	0,1159	0,1739	0,0732
	Frequência esperada	0,2481	0,2551	0,2502	0,2465	
	Freq. acumulada observada	0,2928	0,7101	0,8261	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2481	0,5033	0,7535	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,0446	0,2069	0,0726	0,0000	
Todos os processos	Frequência observada	0,3391	0,3391	0,1604	0,1615	0,0320
	Frequência esperada	0,2481	0,2551	0,2502	0,2465	
	Freq. acumulada observada	0,3391	0,6782	0,8385	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2481	0,5033	0,7535	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,0909	0,1749	0,0850	0,0000	

Os valores de D podem indicar informações relevantes à distribuição de processos erosivos e movimentos de massa, visto que:

- Quanto mais alto o valor de D com relação ao seu D crítico, maior concentração de eventos em certas classes e dispersão em outras. Neste caso, há grande influência da variável geoambiental na ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa (distribuição não normal).
- Valores próximos ou menores que o D crítico mostram que há pouca concentração e dispersão de eventos, mantendo valores relativamente semelhantes ao longo das classes de uma variável trabalhada. Desta forma, há baixa influência da variável geoambiental na ocorrência de processos (distribuição normal).

Partindo das inferências apresentadas, utilizaram-se os valores de D para a aplicação de pesos às variáveis geoambientais. O valor utilizado para cada variável, em cada tipo de processo,

é representado pelo *Máximo de D* (Tabela 3.13), sendo ele a maior diferença modular entre as frequências acumulada observada e esperada, encontrada naquela variável:

$$D_{Máx} = Máx | F_{AO} - F_{AE} | \quad [Eq. 3.15]$$

Tabela 3.13: Pesos das variáveis geoambientais influenciadoras, obtidas pelo teste Kolmogorov-Smirnov

Processos erosivos ou movimento de massa	Peso das Variáveis Geoambientais Influenciadoras					D crítico
	NDVI	Declividades	Dens. de lineamentos	Dens. de vias	POCI	
Ravinas	0,0714	0,0473	0,0907	0,0837	0,1720	0,0380
Voçorocas	0,1754	0,2273	0,1189	0,0238	0,2130	0,1580
Margens degradadas	0,1986	0,4423	0,2160	0,0869	0,1011	0,1710
Escorregamentos	0,1619	0,3363	0,2541	0,1220	0,1546	0,2200
Rastejos	0,1780	0,0647	0,2258	0,0579	0,2069	0,0732
Todos os processos	0,0883	0,0163	0,0334	0,0482	0,1749	0,0320

4.1.2.5 Considerações referentes aos pesos obtidos

O teste *Kolmogorov-Smirnov* trabalha com valores críticos de *D*, a um nível de significância de $\alpha = 0,05$, mostrando a influência dos processos erosivos e movimentos de massa. Quando um valor máximo de *D* em uma variável, é maior que o *D* crítico do processo analisado, há alta influência da variável na ocorrência do mesmo. Por outro lado, quando o *D* máximo está abaixo do *D* crítico, há uma distribuição normal, apresentando baixa influência da variável.

Neste sentido, os valores de *D* máximo nos possibilitaram a atribuição de pesos para as variáveis geoambientais. Além disso, observa-se que, para cada processo erosivo ou movimento de massa, há a influência ou não das diferentes variáveis, em diferentes intensidades. Desta forma, pode-se afirmar que cada processo possui gênese e evolução distintas, daí a necessidade de se trabalhar com a fragilidade de cada um deles em diferentes produtos e discussões.

Deve-se ressaltar que, os valores de *D* máximo abaixo do *D* crítico, não foram desprezados. Mesmo que em baixa intensidade, há alguma influência, já que não foram verificados mesmos valores de processos observados em todas as classes, em nenhum caso – os quais seriam os mesmos valores que processos esperados.

Por outro lado, foram desprezados os valores de variáveis em que os processos observados se concentram, em grande maioria, nas duas primeiras classes, as quais se espera que sejam menos vulneráveis. Por exemplo, as maiores probabilidades de ocorrência de chuvas intensas estão localizadas em áreas de menor número de processos observados, assim como as menores

probabilidades em áreas com maior número de processos. Isto mostra que esta variável tem influência muito baixa perante as outras, as quais sobressaem a ela, portanto, deve ser desprezada.

Ressalta-se que, como discutido no capítulo 2, os resultados do mapeamento da variável POCI foram comprometidos por alguns fatores, como o baixo número de estações pluviométricas, gerando um mapa generalizado, sem detalhes da área de estudo, que possui ambientes tão distintos, devido às altas diferenças altimétricas e de declives. Por isto, o peso desta variável foi desprezado em todos os processos, para que não comprometesse o resultado do mapeamento.

O processo ravinas apresentou D crítico no valor de 0,0380. As variáveis com D máximo superior a isto foram, em ordem decrescente, densidade de lineamentos (0,0907), NDVI (0,0714) e declividades (0,0473). O valor de densidade de vias foi desprezado, visto que os processos se concentram, em grande número, em áreas de baixa densidade – classes 1 e 2. É essencial destacar que, quando geramos um índice de vegetação, têm-se valores próximos de -1, em menor biomassa, assim como em valores próximos de +1, em maior biomassa. Por sua vez, no mapa de fragilidade ambiental, em escala entre 0 e 1, quanto mais próximo de 0, menor fragilidade e mais próximo de 1, maior fragilidade. Como se espera que as áreas mais frágeis sejam as de menor biomassa, houve a necessidade de se inverterm os valores de índice de vegetação para todos os processos – exceto margens degradadas, ao reescaloná-lo em escala *Fuzzy* (item 4.2).

As voçorocas apresentaram valor crítico de D de 0,1580, sendo que apenas a declividade e o índice de vegetação alcançaram D máximo superior a este valor, sendo eles 0,2273 e 0,1754, respectivamente. A densidade de lineamentos, embora não tenha apresentado valor superior ao D crítico (0,1189), é mais representativa que densidade de vias, cujo valor foi baixo (0,0238), quase apresentando distribuição normal. Deve-se ressaltar que estes processos foram observados em áreas de baixa declividade, tanto no mapeamento, como em campo, caracterizando-se, na maioria das vezes, como voçorocas conectadas à rede hidrográfica. Por este motivo, ao reescalonar o mapa de declividades em escala *Fuzzy*, neste caso, inverteu-se a escala, para que as áreas frágeis fossem consideradas as de menor declividade.

Foi obtido D crítico de 0,1710 para margens degradadas, sendo que declividades (0,4423), densidade de lineamentos (0,2160) e NDVI (0,1986) apresentaram valores superiores e densidade de vias de circulação (0,0869) valor inferior. Como os fundos de vale se localizam, normalmente, em locais de baixa declividade, a escala *Fuzzy* foi invertida para a variável declividade, da mesma

forma que no caso de voçorocas. Este comportamento pode não ocorrer em locais de falhas de fraturas, mas o alto valor de D máximo da densidade de lineamentos, intensificará a vulnerabilidade destas áreas. Além disso, verificou-se que as áreas de maior biomassa, ou seja, áreas de mata densa, estão situadas nos fundos de vale. Por este motivo, este é o único caso em que a escala *Fuzzy* não foi invertida, mostrando que as áreas mais vulneráveis são as que possuem maior NDVI – quanto maior índice, maior biomassa.

Os escorregamentos apresentaram D crítico de 0,2200, visto que declividades (0,3363) e densidade de lineamentos (0,2541) mostraram valores superiores a este. Índice de vegetação (0,1619) e densidade de vias (0,1220) obtiveram valores inferiores, mas são também representativos, pois a maior parte dos processos foram verificados nas classes 3 ou 4.

O valor crítico de D dos movimentos de rastejo é de 0,732. Das variáveis representativas, apenas NDVI mostrou D máximo superior, de 0,1780. Embora o valor das variáveis declividades (0,0647) e densidade de vias (0,0579) estejam abaixo do crítico de D , seus pesos foram utilizados. Isto não ocorreu no caso de densidade de lineamento, que embora tenha apresentado alto valor de D máximo (0,2258), os processos estão concentrados em áreas de baixa densidade de lineamentos – classe 1, mostrando que não há forte relação entre a ocorrência destes movimentos de massa e a variável em questão.

Por fim, encontrou-se, para todos os processos erosivos e movimentos de massa de maneira conjunta, D crítico no valor de 0,0320. O índice de vegetação obteve o maior D máximo (0,0883), seguido por densidade de lineamentos (0,0334) e declividades (0,0163) – este abaixo do D crítico. Neste caso, desconsiderou-se o valor de densidade de vias de circulação, pois na maior parte dos processos erosivos e movimentos de massa, de forma geral, se apresentam em áreas de baixa densidade de vias.

4.1.2.6 Normalização dos pesos obtidos

Como os valores máximo e mínimo dos pesos obtidos em cada variável geoambiental não seguem uma escala específica, tornou-se necessário harmonizá-las, pelo processo de normalização de valores. Desta forma, normalizaram-se os valores para uma escala entre 0 e 1, utilizando apenas as variáveis que explicam a formação e evolução dos processos erosivos e movimentos de massa (Tabela 3.14). Para isto, somaram-se os valores dos pesos de todas as

variáveis, em um determinado processo, dividindo o resultado obtido pelo peso de cada classe de forma individual:

$$P_{NV1} = \frac{P_{V1} + P_{V2} + P_{V3} \dots + P_{Vn}}{P_{V1}} \quad [\text{Eq. 3.16}]$$

Tabela 3.14: Normalização dos pesos das variáveis geoambientais

Processos erosivos ou movimento de massa	Peso das Variáveis Geoambientais Influenciadoras				
	NDVI	Declividades	Dens. de lineamentos	Dens. de vias	POCI
Ravinas	0,3409	0,2258	0,4331	-	-
Voçorocas	0,3215	0,4167	0,2180	0,0436	-
Margens degradadas	0,2105	0,4685	0,2288	0,0920	-
Escorregamentos	0,1851	0,3846	0,2541	0,1395	-
Rastejos	0,5921	0,2152	-	0,1926	-
Todos os processos	0,6398	0,1181	0,2420	-	-

4.2 Padronização *Fuzzy* das variáveis geoambientais

As variáveis geoambientais mapeadas apresentam unidades, assim como valores máximo e mínimo característicos, sendo distintos entre eles. Para se realizar a álgebra destes mapas, torna-se necessária a padronização dos valores. Desta forma, obtêm-se mapas com valores máximo e mínimo idênticos, o que possibilita a realização do cruzamento entre dados mapeados.

A análise *Fuzzy* permite a padronização destes valores, visto que, conforme Wang *et. al.* (1990), um conjunto *Fuzzy* se caracteriza por uma função de pertinência, que associa números reais entre 0 e 1. Além disso, os autores citam que um conjunto *Fuzzy* não tem fronteiras definidas com nitidez, podendo haver adesão parcial de elementos em um conjunto. Desta forma, a aplicação da lógica *Fuzzy* é utilizada também, nesta metodologia, para a obtenção de valores intermediários, obtendo-se mapas temáticos em valores contínuos, sem a divisão em classes com limites rígidos definidos.

A aplicação do modelo foi realizada pelo ArcMap 10, utilizando-se a função *Fuzzy Membership*, do *Spatial Analyst Tools*. Utilizou-se a função linear, a qual atribui 0 para o mínimo valor e 1 para o máximo valor, transformando o raster de entrada de forma linear (ESRI, 2012). Utilizaram-se, como valores máximo e mínimo, o maior e menor valor encontrados nas variáveis geoambientais. Deste modo, reescalou-se o maior valor de cada variável para 1 e o menor valor para 0, assim como os valores intermediários entre eles (Figura 3.5).

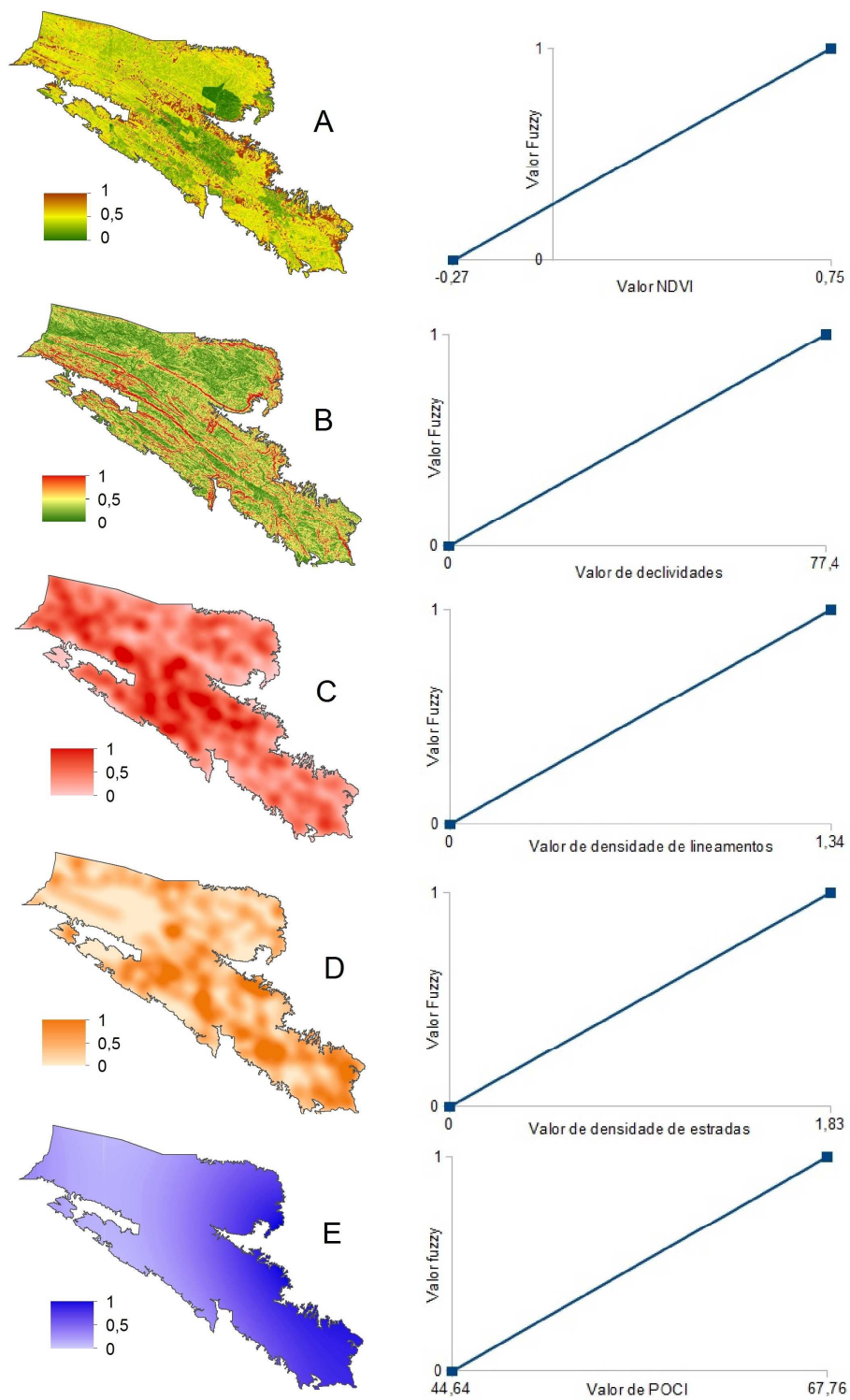


Figura 3.5: Mapas com legenda apresentadas em valores *fuzzy* e gráficos de funções de pertinência. A: NDVI; B: declividades; C: densidade de lineamentos; D: densidade de estradas; E: POCI

Como descrito no item 4.1.2.5, algumas variáveis foram reescaladas com valores *Fuzzy* invertidos, visto que se comportam de forma inversa em certos tipos de processos. Isto ocorre na variável índice de vegetação em todos os processos, exceto no processo margens degradadas; e em declividades, em se tratando de voçorocas e margens degradadas (Figura 3.6).

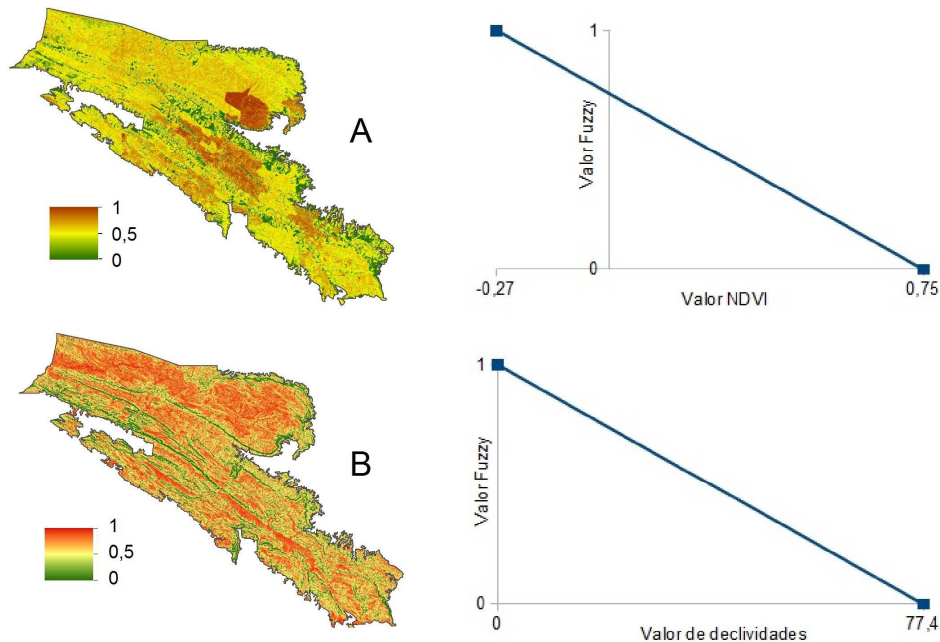


Figura 3.6: Mapas com legenda apresentadas em valores *fuzzy* invertidos e gráficos de funções de pertinência. A: NDVI; B: declividades.

4.3 Álgebra dos mapas e obtenção da Fragilidade Ambiental

Como anteriormente foi discutido, este método propõe a execução da álgebra dos mapas, para se obter a fragilidade ambiental, utilizando uma média ponderada, a partir de pesos preestabelecidos. Esta média ponderada foi aplicada pela soma dos produtos dos valores de cada variável pelo peso, dividido pela soma dos pesos. Como os pesos das variáveis foram normalizados (entre 0 e 1), na somatória dos pesos, o divisor, sempre será 1:

$$\text{Fragilidade Ambiental} = \frac{[(V_1 * P_1) + (V_2 * P_2) \dots + (V_n * P_n)]}{1} \quad [\text{Eq. 3.16}]$$

A álgebra dos mapas foi executada pelo *Raster Calculator*, disponível no *Map Álgebra*, no *Spatial Analyst Tools*, do ArcMap 10, pela aplicação da equação de fragilidade ambiental, em cada processo e utilizando seus pesos específicos para as variáveis geoambientais:

$$\text{Frag_ravinas} = (\text{"fuzzy_decliv"} * 0.2258 + \text{"fuzzy_ndvi_"} * 0.3409 + \text{"fuzzy_lineam"} * 0.4331) / 1.0$$
$$\text{Frag_vocoro} = (\text{"fuzzy_decli_i"} * 0.4167 + \text{"fuzzy_ndvi_"} * 0.3215 + \text{"fuzzy_lineam"} * 0.2180 + \text{"fuzzy_estrada"} * 0.0436) / 1.0$$
$$\text{Frag_margem} = (\text{"fuzzy_decli_i"} * 0.4685 + \text{"fuzzy_ndvi_2"} * 0.2105 + \text{"fuzzy_lineam"} * 0.2288 + \text{"fuzzy_estrada"} * 0.0921) / 1.0$$
$$\text{Frag_rastejo} = (\text{"fuzzy_decliv"} * 0.2152 + \text{"fuzzy_ndvi_"} * 0.5921 + \text{"fuzzy_estrada"} * 0.1926) / 1.0$$
$$\text{Frag_escorreg} = (\text{"fuzzy_decliv"} * 0.3846 + \text{"fuzzy_ndvi_"} * 0.1851 + \text{"fuzzy_lineam"} * 0.2541 + \text{"fuzzy_estrada"} * 0.1395) / 1.0$$
$$\text{Frag_todos} = (\text{"fuzzy_decliv"} * 0.1181 + \text{"fuzzy_ndvi_"} * 0.6398 + \text{"fuzzy_lineam"} * 0.2420) / 1.0$$

5. RESULTADOS OBTIDOS PELOS MAPEAMENTOS

5.1 Contextualização

“[...] os ambientes naturais se mostram ou se mostravam em equilíbrio dinâmico, até o momento em que as sociedades humanas passaram progressivamente a interferir cada vez mais intensamente na exploração dos recursos naturais” (ROSS, 1994, p. 63). Partindo deste pressuposto, pode-se afirmar que a erosão dos solos é vista como um grande problema das sociedades e, devido à elevação no nível de vida, cada vez mais estas dependem dos recursos naturais (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2010).

“Tendo em vista a inegável importância dos processos erosivos e dos escorregamentos, a avaliação das possibilidades ou riscos para ocorrência desses fenômenos é decisiva na gestão de terras agrícolas, nas obras de construção civil, no planejamento urbano e em empreendimentos que causam profunda alteração no meio” (MARTINI *et. al.*, 2006, p. 42). Desta forma, “[...] todo planejamento deve considerar as potencialidades dos recursos naturais, mas, sobretudo, as fragilidades diante das diferentes intervenções antrópicas na natureza” (AMARAL E ROSS, 2006, p. 60).

Deste modo, o mapeamento da fragilidade ambiental no PNSC, possibilitou a avaliação da susceptibilidade de diferentes áreas à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa. Agregou-se ainda, nesta discussão, as intervenções humanas nos diferentes locais, especialmente aqueles não regularizados, onde se observam atividades conflitantes, tais como agricultura, pecuária, fluxo livre de pessoas, mineração e queima não controlada.

5.2 Fragilidade à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa

Mapearam-se 1796 processos erosivos e movimentos de massa, entre eles ravinas, voçorocas, margens degradadas, rastejos e escorregamentos. De maneira geral, os eventos ocorrem por toda a área do PNSC. Contudo, a distribuição destes não se dá de maneira uniforme – distribuição normal, visto que se concentram prioritariamente em certas localidades, devido às características físicas e às intervenções antrópicas, as quais ocorrem em intensidades dissemelhantes, nos diferentes ambientes.

No caso do mapeamento da fragilidade a todos os processos erosivos e movimentos de massa, de forma conjunta, os pesos obtidos para cada variável geoambiental foram definidos pelas características predominantes entre todos aqueles. Esta análise, portanto, é feita de maneira geral, não obedecendo as características e gêneses de cada processo.

Nesta forma de análise, obteve-se, como variável predominante, a densidade da vegetação, definida pelo NDVI. Esta informação pode ser comprovada por estudos de Jansson (1982), ao afirmar que a cobertura vegetal reduz fortemente a erosão, sendo numerosas e variadas suas influências. Desta maneira, pode-se afirmar que, quanto maior o índice de vegetação – maior densidade vegetal, menor o risco de erosão e, quanto menor o índice de vegetação – menor biomassa, maior o risco.

Posteriormente, tem-se a importância das características litológicas, representadas pela densidade de lineamentos estruturais. Este é um dado importante na região, visto que ocorrem inúmeras falhas e fraturas, estruturadas entre os grupos Canastra e Araxá, seguindo o sentido NW-SE (MMA/IBAMA, 2005). Verificou-se que, quanto maior a densidade de lineamentos estruturais, maior a ocorrência de processos.

Por fim, outra variável representativa para todos os processos se trata da declividade. No entanto, o valor máximo de D encontrado foi verificado abaixo do D crítico, portanto, a variável não possui alta influência. No entanto, autores como Guerra (2012), Tominaga (2012), Santoro (2012) e Zachar (1982) afirmam a importância da topografia na evolução de processos erosivos e

movimentos de massa. Isto mostra a necessidade de se trabalhar com cada processo de maneira desconjuntada, para que possam ser analisadas suas características individuais.

O mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de todos os processos (Figura 3.7) mostra, de maneira geral, que as áreas de baixa fragilidade, são aquelas situadas em fundos de vale de bacias centrais, localizadas na depressão intermontana na base do Chapadão da Canastra, tais como Córrego do Nogueira, Ribeirão das Posses e Córrego do Moinho. Além disso, este grau de fragilidade pode ser observado em pontos de alta densidade de cobertura vegetal, localizados nas bordas do parque.

As médias fragilidades, sejam elas média alta ou média baixa, são observadas, geralmente, em áreas onde se verifica alta densidade de lineamentos estruturais e densidade de vegetação média, como em áreas de pasto limpo e pasto sujo. Destacam-se sub-bacias situadas no Chapadão da Canastra, assim como algumas nos setores noroeste e sudeste do parque.

Por fim, as áreas de maior fragilidade ambiental estão situadas nas zonas Centrais do Chapadão da Babilônia, nas quais são verificados baixos índices de vegetação – áreas queimadas, solo exposto e mineração, associados a alta densidade de lineamentos estruturais e altas declividades. Destacam-se sub-bacias cuja área está praticamente toda classificada como alta fragilidade, tais como Ribeirão da Babilônia, Ribeirão das Baleias e Córrego Capão Grande.

Deve-se ainda notar que a sub-bacia nascente do Rio São Francisco possui grande parte de sua área mapeada como frágil. Isto se deve ao fato de que, a imagem do sensor TM selecionada para o mapeamento, apresentava a ocorrência de uma extensa área queimada e, neste local, obteve-se baixo índice de vegetação.

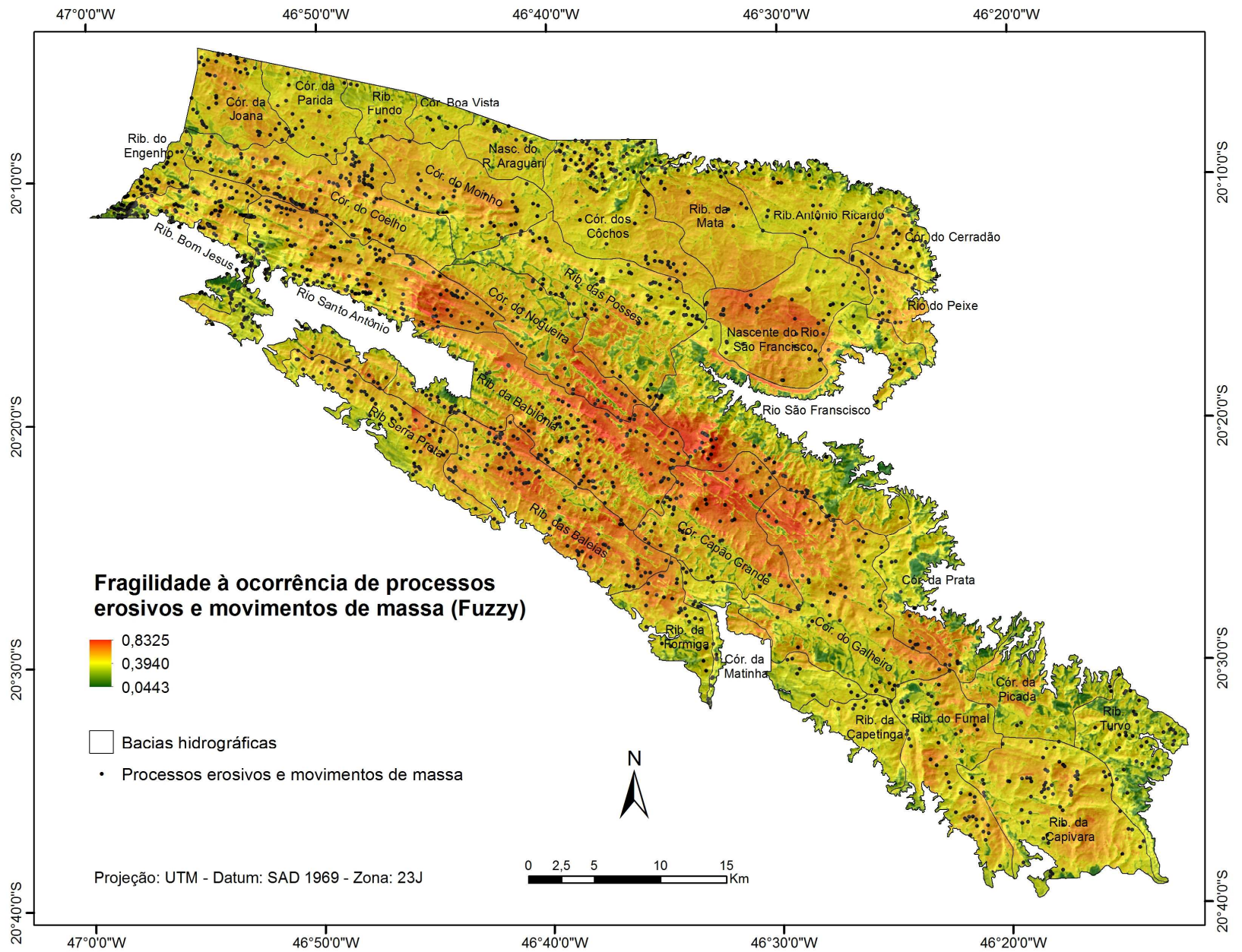


Figura 3.7: Fragilidade à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa no PNSC

Como complemento à discussão, a Tabela 3.15 apresenta dados quantitativos referentes às sub-bacias hidrográficas, com a finalidade de facilitar o entendimento da relação entre os graus de fragilidade e a ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa. Apresentam-se dados referentes a extensões, como áreas das sub-bacias no interior do PNSC, visto que muitas delas não se encontram em sua totalidade no perímetro da Unidade de Conservação, além do grau de regularização, o qual mostra o quanto a sub-bacia se encontra regularizada. Além disso, a tabela relaciona o número de processos em cada sub-bacia, assim como a densidade destes eventos nas mesmas.

Tabela 3.15: Síntese das relações entre o grau de fragilidade e as demais características das bacias hidrográficas do PNSC.

SUB-BACIA	ÁREA DA SUB-BACIA NO INTERIOR DO PARQUE (Km ²)	GRAU DE REGULARIZAÇÃO O (%)	PROCESSOS EROSIVOS E MOVIMENTOS DE MASSA OBSERVADOS	DENSIDADE DE PROCESSOS EROSIVOS E MOVIMENTOS DE MASSA (Processos/Km ²)
Córrego Capão Grande	81,07	15,27	Ravinas: 47 Voçorocas: 7 Margens degradadas: 6 Escorregamentos: 1 Rastejos: 2 Todos: 63,0	Ravinas: 0,579 Voçorocas: 0,086 Margens degradadas: 0,074 Escorregamentos: 0,012 Rastejos: 0,024 Todos: 0,777
Córrego da Boa Vista	13,03	92,32	Ravinas: 6 Voçorocas: 1 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0 Todos: 7	Ravinas: 0,460 Voçorocas: 0,076 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0 Todos: 0,537
Córrego da Joana	39,86	87,25	Ravinas: 31 Voçorocas: 7 Margens degradadas: 1 Escorregamentos: 0 Rastejos: 8 Todos: 47	Ravinas: 0,777 Voçorocas: 0,175 Margens degradadas: 0,025 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0,200 Todos: 1,179
Matinha	35,88	0	Ravinas: 27 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 1 Escorregamentos: 1 Rastejos: 1 Todos: 30	Ravinas: 0,752 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0,027 Escorregamentos: 0,027 Rastejos: 0,027 Todos: 0,836
Córrego da Parida	36,10	91,41	Ravinas: 16 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 2	Ravinas: 0,443 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0,055

			Todos: 18	Todos: 0,498
Córrego da Picada	52,21	0	Ravinas: 4 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 2 Todos: 6	Ravinas: 0,076 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0,038 Todos: 0,114
Córrego do Cerradão	20,15	43,67	Ravinas: 9 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 5 Escorregamentos: 0 Rastejos: 19 Todos: 33	Ravinas: 0,446 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0,248 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0,942 Todos: 1,637
Córrego do Coelho	86,33	100	Ravinas: 125 Voçorocas: 4 Margens degradadas: 1 Escorregamentos: 0 Rastejos: 2 Todos: 132	Ravinas: 1,447 Voçorocas: 0,046 Margens degradadas: 0,011 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0,023 Todos: 1,529
Córrego do Galheiro	117,05	21,30	Ravinas: 42 Voçorocas: 3 Margens degradadas: 3 Escorregamentos: 0 Rastejos: 6 Todos: 54	Ravinas: 0,358 Voçorocas: 0,025 Margens degradadas: 0,025 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0,051 Todos: 0,461
Córrego do Moinho	65,28	100	Ravinas: 33 Voçorocas: 4 Margens degradadas: 3 Escorregamentos: 1 Rastejos: 0 Todos: 41	Ravinas: 0,505 Voçorocas: 0,061 Margens degradadas: 0,045 Escorregamentos: 0,015 Rastejos: 0 Todos: 0,628
Córrego do Nogueira	59,97	26,51	Ravinas: 19 Voçorocas: 3 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 2 Rastejos: 10 Todos: 34	Ravinas: 0,316 Voçorocas: 0,050 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0,033 Rastejos: 0,166 Todos: 0,566
Córrego dos Côchos	83,90	75,98	Ravinas: 40 Voçorocas: 5 Margens degradadas: 3 Escorregamentos: 4 Rastejos: 49 Todos: 101	Ravinas: 0,476 Voçorocas: 0,059 Margens degradadas: 0,035 Escorregamentos: 0,047 Rastejos: 0,584 Todos: 1,203
Nascente do São Francisco	76,94	100	Ravinas: 37 Voçorocas: 4 Margens degradadas: 4 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0 Todos: 45	Ravinas: 0,480 Voçorocas: 0,051 Margens degradadas: 0,051 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0 Todos: 0,584
			Ravinas: 17	Ravinas: 0,285

Ribeirão Antônio Ricardo	59,49	76,73	Voçorocas: 3 Margens degradadas: 1 Escorregamentos: 0 Rastejos: 24 Todos: 45	Voçorocas: 0,050 Margens degradadas: 0,016 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0,403 Todos: 0,756
Ribeirão Bom Jesus	39,47	27,70	Ravinas: 68 Voçorocas: 1 Margens degradadas: 3 Escorregamentos: 5 Rastejos: 35 Todos: 112	Ravinas: 1,718 Voçorocas: 0,025 Margens degradadas: 0,075 Escorregamentos: 0,1263 Rastejos: 0,884 Todos: 2,830
Ribeirão da Babilônia	127,21	0,77	Ravinas: 93 Voçorocas: 4 Margens degradadas: 3 Escorregamentos: 5 Rastejos: 30 Todos: 135	Ravinas: 0,731 Voçorocas: 0,031 Margens degradadas: 0,023 Escorregamentos: 0,039 Rastejos: 0,235 Todos: 1,061
Ribeirão da Capetinga	26,88	32,36	Ravinas: 9 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0 Todos: 9	Ravinas: 0,334 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0 Todos: 0,334
Ribeirão da Capivara	97,70	2,41	Ravinas: 59 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 3 Escorregamentos: 0 Rastejos: 4 Todos: 66	Ravinas: 0,603 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0,030 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0,040 Todos: 0,675
Ribeirão da Formiga	34,25	72,58	Ravinas: 22 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 3 Todos: 25	Ravinas: 0,642 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0,087 Todos: 0,729
Ribeirão da Mata	64,95	60,42	Ravinas: 12 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 1 Rastejos: 9 Todos: 22	Ravinas: 0,184 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0,015 Rastejos: 0,138 Todos: 0,338
Ribeirão da Prata	56,53	0	Ravinas: 11 Voçorocas: 2 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 7 Todos: 20	Ravinas: 0,194 Voçorocas: 0,035 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0,123 Todos: 0,353
Ribeirão das Baleias	92,56	6,68	Ravinas: 66 Voçorocas: 11 Margens degradadas: 11 Escorregamentos: 5 Rastejos: 8	Ravinas: 0,713 Voçorocas: 0,118 Margens degradadas: 0,118 Escorregamentos: 0,054

			Todos: 101	Rastejos: 0,086 Todos: 1,091
Ribeirão das Posses	99,27	100	Ravinas: 65 Voçorocas: 1 Margens degradadas: 4 Escorregamentos: 1 Rastejos: 12 Todos: 83	Ravinas: 0,654 Voçorocas: 0,010 Margens degradadas: 0,040 Escorregamentos: 0,010 Rastejos: 0,120 Todos: 0,836
Ribeirão do Engenho	13,95	76,77	Ravinas: 55 Voçorocas: 2 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 18 Todos:	Ravinas: 3,942 Voçorocas: 0,143 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 1,290 Todos: 5,376
Ribeirão do Fumal	73,62	18,21	Ravinas: 41 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 4 Escorregamentos: 1 Rastejos: 5 Todos: 51	Ravinas: 0,556 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0,054 Escorregamentos: 0,013 Rastejos: 0,067 Todos: 0,692
Ribeirão Fundo	18,52	78,77	Ravinas: 4 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 3 Todos: 7	Ravinas: 0,215 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0,161 Todos: 0,377
Ribeirão Turvo	51,12	0	Ravinas: 18 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 3 Rastejos: 15 Todos: 36	Ravinas: 0,352 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0,058 Rastejos: 0,293 Todos: 0,704
Nascente do Rio Araguari	24,02	87,71	Ravinas: 4 Voçorocas: 4 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 5 Todos: 13	Ravinas: 0,166 Voçorocas: 0,166 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0,208 Todos: 0,541
Rio Peixe	23,70	52,86	Ravinas: 21 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 4 Todos: 25	Ravinas: 0,886 Voçorocas: 0 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0 Rastejos: 0,168 Todos: 1,054
Rio Santo Antônio	120,41	54,24	Ravinas: 175 Voçorocas: 4 Margens degradadas: 7 Escorregamentos: 1 Rastejos: 40 Todos: 227	Ravinas: 1,453 Voçorocas: 0,033 Margens degradadas: 0,058 Escorregamentos: 0,008 Rastejos: 0,332 Todos: 1,885
Rio Serra Preta	51,76	14,47	Ravinas: 42 Voçorocas: 1 Margens degradadas: 0	Ravinas: 0,811 Voçorocas: 0,019 Margens degradadas: 0

			Escorregamentos: 0 Rastejos: 17 Todos: 60	Escorregamentos: 0 Rastejos: 0,328 Todos: 1,159
Rio São Francisco	134,48	10,31	Ravinas: 52 Voçorocas: 3 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 6 Rastejos: 7 Todos: 68	Ravinas: 0,386 Voçorocas: 0,022 Margens degradadas: 0 Escorregamentos: 0,044 Rastejos: 0,052 Todos: 0,505
Todo o parque	1977,85	41,87	Ravinas: 1275 Voçorocas: 74 Margens degradadas: 63 Escorregamentos: 38 Rastejos: 345 Todos: 1795	Ravinas: 0,644 Voçorocas: 0,037 Margens degradadas: 0,031 Escorregamentos: 0,019 Rastejos: 0,174 Todos: 0,907

Verificou-se que o parque, como um todo, possui densidade de processos erosivos e movimentos de massa de 0,907processos/Km². As sub-bacias com maior densidade são Ribeirão do Engenho (5,376processos/Km²), Ribeirão Bom Jesus (2,830processos/Km²) e Rio Santo Antônio (1,885processos/Km²), apresentando valores representativos, com relação ao parque como um todo. Estas sub-bacias estão localizadas a noroeste, em locais onde houve, durante muito tempo, o desenvolvimento de atividades antrópicas, tais como agricultura, pecuária, acesso livre e supressão da vegetação nativa, vista a recente regularização desta área. Grande parte dos processos observados nestes locais são rastejos, os quais se associam a sulcos erosivos em grande intensidade, assim como ravinas e, tem-se o pisoteio do gado como grande causador. Estas sub-bacias possuem, em sua grande parte, média a alta fragilidade, com exceção à parte sul do Ribeirão do Engenho, que mostra baixa fragilidade em pontos de vegetação densa.

Por outro lado, as sub-bacias que se mostraram com menor densidade de processos, são Córrego da Picada (0,114processos/Km²), Ribeirão da Capetinga (0,334processos/Km²), Ribeirão da Mata (0,338processos/Km²), Ribeirão da Prata (0,353processos/Km²) e Ribeirão Fundo (0,377processos/Km²). As sub-bacias do Ribeirão Fundo, Córrego da Prata e Córrego da Picada se apresentam, em sua grande parte, com baixa ou média-baixa fragilidades, devido à alta densidade de vegetação em certos pontos; os dois últimos, em alguns locais, ocorre também média-alta fragilidade, devido à ocorrência de queimadas. O Ribeirão da Mata se apresentou com média-alta fragilidade, pois possui média densidade de vegetação e pontos de alta ou média densidade de lineamentos estruturais. Já o Ribeirão da Capetinga possui média-baixa fragilidade, devido ao médio índice de vegetação e baixa densidade de lineamentos estruturais.

Nota-se que não há uma homogeneidade nos graus de fragilidade no interior das sub-bacias, visto que muitas delas, variam entre alto a baixo grau. Isto ocorre pelos diversos usos do solo e, principalmente, pelas marcantes diferenças de declividades em seu interior, sendo que quanto maior a variabilidade destes, mais diversificados os graus.

Deve-se destacar ainda, que poucas áreas se mostram com fragilidade ambiental baixa. Isto ocorre devido à baixa variabilidade florestal do parque, pois grande parte dele está associado a áreas de pasto limpo, com valores de NDVI entre 0,08 e 0,20. Por outro lado, há poucas áreas de mata densa, cujos índices de vegetação variam entre 0,38 e 0,75. Como o peso da vegetação, no mapeamento em destaque, é amplamente superior ao das outras variáveis geoambientais, somente as áreas de alto índice de vegetação foram mapeadas com baixa fragilidade, ocorrendo então a predominância de médias e altas fragilidades.

5.3 Fragilidade Ambiental à ocorrência de ravinas

As ravinas se tratam dos processos erosivos encontrados em maior expressividade no PNSC, tendo sido mapeados 1275 pontos de ocorrência, o que representa uma densidade de 0,644ravinas/Km². Estes eventos equivalem a 70,99% de todos os processos erosivos e movimentos de massa mapeados em todo o parque.

Verificou-se que, a principal variável geoambiental influenciadora na ocorrência de ravinas, trata-se da densidade de lineamentos estruturais. Segundo Guerra (2012), as ravinas estão associadas ao escoamento superficial nas encostas das bacias, quando este se torna canalizado, sendo características efêmeras nas encostas. Além disso, Vieira (1978) firma que as condições litológicas são as principais responsáveis pela sua presença em um determinado local. Desta forma, após um evento chuvoso, as zonas de falha são as mais propensas à evolução de pontos de ravinamento no parque, o que corrobora com estudos de Soares e Fiori (1978), os quais afirmam que estes locais são facilmente atacados pelos processos erosivos.

A biomassa vegetal também é importante na proteção do solo com relação à ocorrência de ravinas, pois, segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), ao caírem sobre a cobertura vegetal, as gotas da chuva são interceptadas pelas folhas, tornando-se gotas menores. Por outro lado, ao caírem em um solo descoberto, partículas são transportadas pelo escoamento superficial. De

acordo com Guerra (1999), o escoamento inicial é difuso, provocando erosão em lençol e em seguida, se desenvolve em fluxo linear, em pequenos canais – o que forma as ravinas.

A declividade do terreno é também responsável pela formação de ravinas. No entanto, o peso é o mais baixo, com relação às variáveis anteriormente discutidas. Isto ocorre pois, como defende Bigarella (2007), os ravinamentos ocorrem tanto em vertentes suaves, como nas mais íngremes. Desta forma, não se tem um padrão exato de distribuição conforme a declividade. Entretanto, a maior parte das ravinas, no PNSC, localiza-se nas áreas de maior declive.

Verificou-se, pelo mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de ravinas (Figura 3.8) que as sub-bacias de alta e média-alta fragilidades à ocorrência deste processo, iniciam-se a noroeste da área de estudo, a partir do córrego da Joana e seguem em direção sudeste, até o Córrego do Galheiro. As maiores fragilidades estão situadas nas áreas centrais do Chapadão da Babilônia, especialmente em certos pontos das sub-bacias do Rio Santo Antônio (1,453ravinas/Km²), Córrego do Nogueira (0,316ravinas/Km²), Ribeirão da Babilônia (0,731ravinas/Km²), Ribeirão das Baleias (0,713ravinas/Km²) e Córrego do Capão Grande (0,579ravinas/Km²).

Estes locais possuem, além de alta densidade de lineamentos estruturais, grandes variações altimétricas e de declividades, onde são formados conjuntos de serras, além de se associarem a usos do solo que variam de mata, a pasto limpo. A imagem obtida para a geração do NDVI possibilitou verificar também uma extensa área queimada nestes locais, mostrando a fragilidade destes pontos, vista a ausência total de vegetação.

Têm-se grandes áreas de baixa fragilidade localizadas, especialmente, no Chapadão da Canastra, como nas sub-bacias Ribeirão Fundo (0,215ravinas/Km²), Nascente do Rio Araguari (0,166ravinas/Km²), Córrego da Boa Vista (0,460ravinas/Km²) e Córrego dos Côchos (0,476ravinas/Km²). Nelas, observam-se baixas densidades de lineamentos estruturais, áreas de pasto limpo como principal uso e baixos declives.

Há também, áreas menos frágeis nas bordas do extremo sudeste do parque, onde se encontram áreas de mata densa, como o Córrego da Picada (0,076ravinas/Km²), Córrego da Prata (0,194ravinas/Km²), Rio São Francisco (0,386ravinas/Km²) e Ribeirão Turvo (0,352ravinas/Km²) e Ribeirão da Capetinga (0,334ravinas/Km²). Ressalta-se que as sub-bacias citadas com baixa fragilidade, possuem valores de densidade de ravinas menores que o do parque como um todo (0,644ravinas/Km²).

Deve-se destacar ainda que, as sub-bacias com maiores densidades de processos, tais como Ribeirão do Engenho (3,942ravinas/Km²), Ribeirão Bom Jesus (1,718ravinas/Km²), Rio Santo Antônio (1,453ravinas/Km²) e Córrego do Coelho (1,447ravinas/Km²), não são aquelas com maiores áreas frágeis. Além disso, mesmo que em sua grande parte, os processos ocorram em locais de média-alta ou alta fragilidade, alguns são também verificados em pontos de baixa.

O fenômeno citado ocorre, principalmente, em áreas não regularizadas, tardiamente regularizadas ou nas bordas do parque, onde há criação de gado e acesso dos mesmos. Verificam-se, nestas áreas, rastejos e trilhos formados por estes animais, os quais, com a ocorrência de chuvas, aprofundam-se e tornam-se ravinas. Diversas ravinas foram também localizadas em baixas fragilidades no extremo sudeste do parque, estando relacionadas aos impactos das atividades mineratórias, mapeadas no capítulo 1, tópico 6.2.

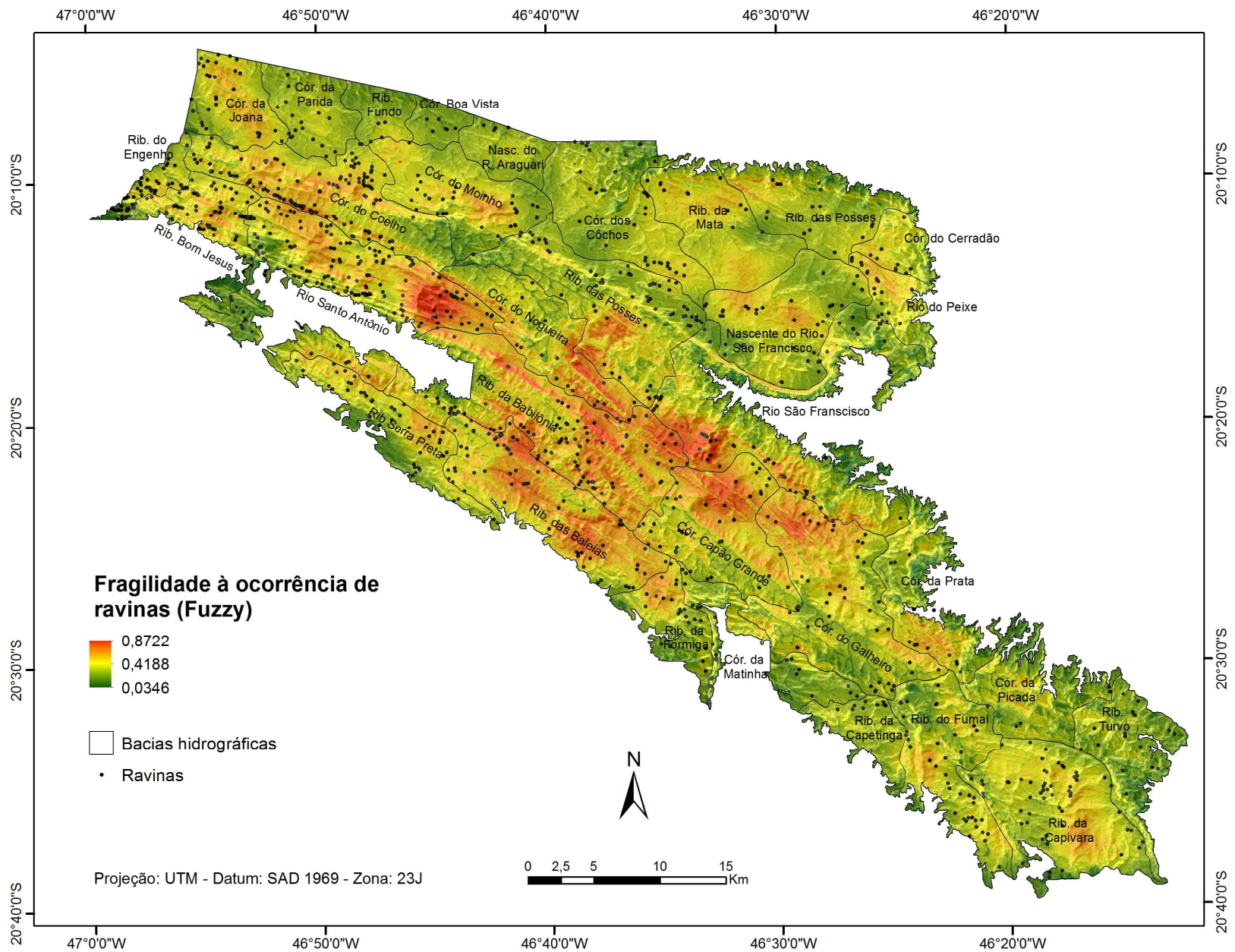


Figura 3.8: Fragilidade à ocorrência de ravinas no PNCS

5.4 Fragilidade Ambiental à ocorrência de voçorocas

Mapearam-se 74 voçorocas na zona do parque, o que representa uma densidade de 0,037voçorocas/Km². Para este processo, o maior peso encontrado pelo teste *Kolmogorov-Smirnov* trata da declividade, sendo então as características topográficas as de maior importância para a evolução.

As voçorocas observadas no parque são, em sua grande parte, processos conectados à rede hidrográfica, localizados na baixa encosta, onde há baixa declividade. Desta forma, os locais de baixa declividade, associados a baixa cobertura vegetal e alta densidade de lineamentos estruturais, configuram-se, no PNSC, como áreas vulneráveis à evolução de voçorocas. Deve-se ressaltar que, mesmo ocorrendo em locais de baixa declividade, estes processos são de grande magnitude, como afirma Seixas (1985), deslocando enormes volumes de terra, formando assim depressões de grande extensão.

De acordo com Guerra (2012), o desmatamento, pisoteio do gado, uso agrícola e queimadas são responsáveis diretos do surgimento de voçorocas, juntamente à chuva e às propriedades do solo. Desta forma, as extensas áreas ocupadas por vegetação de baixa biomassa, tais como pasto limpo, associadas ao fogo, atividade conflitante geradora de grande impacto no parque, são propensas à evolução deste processo, que se encontra distribuído por todo o parque.

Além disso, a estruturação do relevo é também importante para a evolução de voçorocamentos, especialmente devido à profundidade atingida pelos processos. Para Soares e Fiori (1978), as zonas de falha são facilmente atacadas pelos processos erosivos. Sendo assim, devido à profundidade que as voçorocas podem alcançar, a evolução das mesmas pode seguir as falhas.

As vias de circulação, por sua vez, apresentaram baixo peso, não sendo tão representativas ao se tratarem de voçorocas. As chuvas devem ser também relacionadas, mesmo que não tenham sido atribuídas ao mapeamento, por fatores já relatados, visto que, por estudos de Morgan (1986), a perda de solos é diretamente proporcional à intensidade da chuva, sendo que quanto mais intensa, maior perda de solo.

Observa-se, pelo mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de voçorocas (Figura 3.9), que estas ocorrem por todas as áreas do parque. O Chapadão da Canastra, caracterizando-se, de modo geral, pela presença de vegetação de baixa densidade e declives pouco acentuados, apresenta-se,

em sua grande área, com médio a alto grau de fragilidade. Devido à regularização desta área, não são permitidas atividades agropecuárias e há maior controle do fogo, o que pode evitar evolução e formação de novos processos.

As áreas mais frágeis são localizadas no Chapadão da Babilônia, especialmente as sub-bacias do Ribeirão da Babilônia (0,031voçorocas/Km²), Ribeirão das Baleias (0,118voçorocas/Km²) e Córrego do Nogueira (0,086 voçorocas/ Km²) – todas apresentando alto número de processos observados, próximos ou superiores ao do parque (0,037voçorocas/Km²). Os processos ocorrem em fundos de vale planos, com baixa declividade, alta densidade de lineamentos e, como uso do solo, pasto sujo e áreas queimadas. Destacam-se ainda as sub-bacias do Córrego da Joana (0,175voçorocas/Km²), Ribeirão do Engenho (0,143voçorocas/Km²) e Nascente do Rio Araguari (0,166voçorocas/Km²), as quais possuem extensas áreas de média-alta fragilidade, assim como elevada densidade de processos.

No extremo sudoeste do parque, onde se localizam sub-bacias como Ribeirão da Capetinga, Ribeirão do Fumal, Ribeirão Turvo e Córrego da Picada, não foram identificadas voçorocas, caracterizando-se, principalmente, com baixa ou média-baixa fragilidades. Estas áreas, as quais possuem altos declives, associados a vegetação densa, especialmente nas bordas e já uma densidade de lineamentos menor que as áreas centrais, não propiciam a evolução de voçorocas.

Como as áreas acima citadas pertencentes ao Chapadão da Babilônia, grande parte delas são recém-regularizadas ou não regularizadas. Nestes locais, observam-se atividades agrícolas, pecuária, mineração e acesso livre, facilitando a incidência de queimadas. Todos estes fatores são agravantes à evolução de voçorocas, visto que o pisoteio do gado, a remoção da vegetação para o plantio ou pelas queimadas, desprotegendo o solo da ação da chuva, podem levar à evolução lateral ou aprofundamento do processo. Conforme Guerra (2012, p. 184), “começa, então, a ocorrer um verdadeiro colapso material, tanto nas laterais, como nas partes superiores, em direção ao topo da voçoroca. Parte deste material é transportado e depositado em áreas mais baixas [...]”.

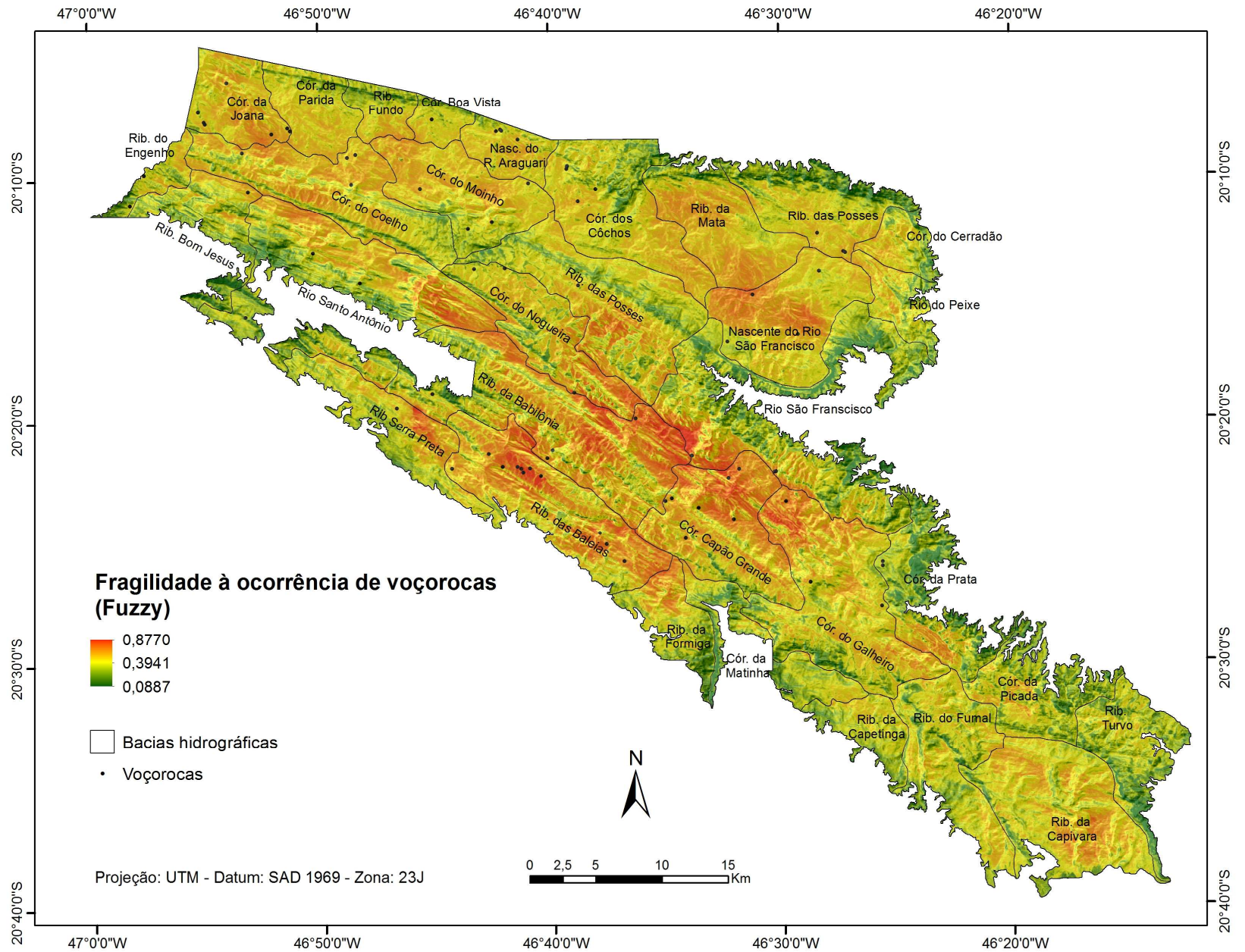


Figura 3.9: Fragilidade à ocorrência de voçorocas no PNSC

5.5 Fragilidade Ambiental à ocorrência de margens degradadas

Mapearam-se 63 pontos de degradação em margens de cursos d'água, o que representa em uma densidade de 0,031margens degradadas/Km² em todo o parque. Nos locais mapeados, observou-se o solapamento das margens côncavas das curvas e, muitas vezes, deposição deste material em pontos dos córregos e ribeirões.

“A erosão fluvial engloba os processos que resultam na retirada de detritos do fundo do leito e das margens, fazendo com que passem a integrar a carga sedimentar. Atuando em todo o curso de água, a erosão é fenômeno importante” (CHRISTOFOLETTI, 1981, p. 235). Os processos de erosão em margens estão entre os mais dinâmicos da paisagem, sendo que o grau de estabilidade nas margens está associado à velocidade do fluxo e composição das margens (ROCHA E SOUZA FILHO, 2008).

No caso das variáveis utilizadas nesta pesquisa, o maior peso foi atribuído à variável declividade, visto que os processos ocorrem em fundos de vale, os quais geralmente possuem baixa declividade. Da mesma forma, os processos foram observados, geralmente, em áreas de índices de vegetação altos ou médios, pela presença de mata ciliar ao redor dos cursos d'água, seja ela densa ou não.

No entanto, não nos restam dúvidas da importância da vegetação para a proteção das margens e, que as margens sem vegetação associada, são mais propícias à ocorrência de erosão lateral. Para Bren (1993), a zona ripária é importante para a qualidade da água e, as raízes das árvores, proporcionam reforço mecânico.

A partir do peso atribuído aos lineamentos estruturais se destacaram, então, quais as áreas de maior vulnerabilidade à ocorrência de erosão em margens. Verificou-se que os rios mais prováveis de se observarem estes processos são aqueles de padrões retangulares e em treliça, sendo estes os mais lineados estruturalmente, os quais, para Cunha (2012), são controlados por linhas tectônicas, como linhas de falhas, diáclases e fraturas.

Pelo mapa de fragilidade à ocorrência de margens degradadas (Figura 3.10), grande parte das sub-bacias se apresentaram com fragilidade próxima da média, como as localizadas a sudeste. No entanto, nestas sub-bacias, podem ocorrer faixas de baixa fragilidade, como Córrego da Parida (0,0margens degradadas/Km²), Ribeirão do Fumal (0,054margens degradadas/Km²) e Ribeirão da Capetinga (0,0margens degradadas/Km²).

Por outro lado, a noroeste da área de estudo, verificam-se sub-bacias de média-alta fragilidade, como a do Córrego da Joana (0,025margens degradadas/Km²), do Coelho (0,011margens degradadas/Km²), do Ribeirão Bom Jesus (0,075margens degradadas/Km²) e do Rio Santo Antônio (0,058margens degradadas/Km²), tendo sido observados processos em todas estas bacias. Destacam-se também, com médio-alto grau, sub-bacias localizadas no Chapadão do Diamante – porção leste do Chapadão da Canastra, tais como Ribeirão das Posses (0,040margens degradadas/Km²), Córrego do Cerradão (0,248margens degradadas/Km²), Nascente do Rio São Francisco (0,051margens degradadas/Km²) e Ribeirão da Mata (0,0margens degradadas/Km²).

As áreas mais frágeis à ocorrência de margens degradadas no parque são as centrais, onde são observadas altas densidades de lineamentos estruturais, como as sub-bacias do Ribeirão da Babilônia (0,023margens degradadas/Km²), Ribeirão das Baleias (0,118margens degradadas/Km²) Córrego Capão Grande (0,074margens degradadas/Km²) e Córrego do Nogueira (0,0margens degradadas/Km²). As margens do Ribeirão das Baleias se configuram como as de maior número de processos observados, além de possuir alta densidade de processos, apresentando, além dos inúmeros pontos de erosão, deposição de material por toda sua extensão.

Deve-se relacionar ainda que, estas sub-bacias centrais, são altamente influenciadas por fatores antrópicos, por não serem regularizadas: observa-se supressão da vegetação nativa, alta densidade de estradas, criação de gado e práticas agrícolas. Bren (1993) defende que estas práticas interferem na evolução dos processos discutidos, quando afirma que não é difícil mostrarem exemplos de degradação ciliar causada por práticas florestais pobres, mineração e pastagem do gado. Esta degradação pode incluir a entrada de sedimentos – originadas de estradas e atividades desenvolvidas por máquinas, de água poluída e modificação inadequada da vegetação.

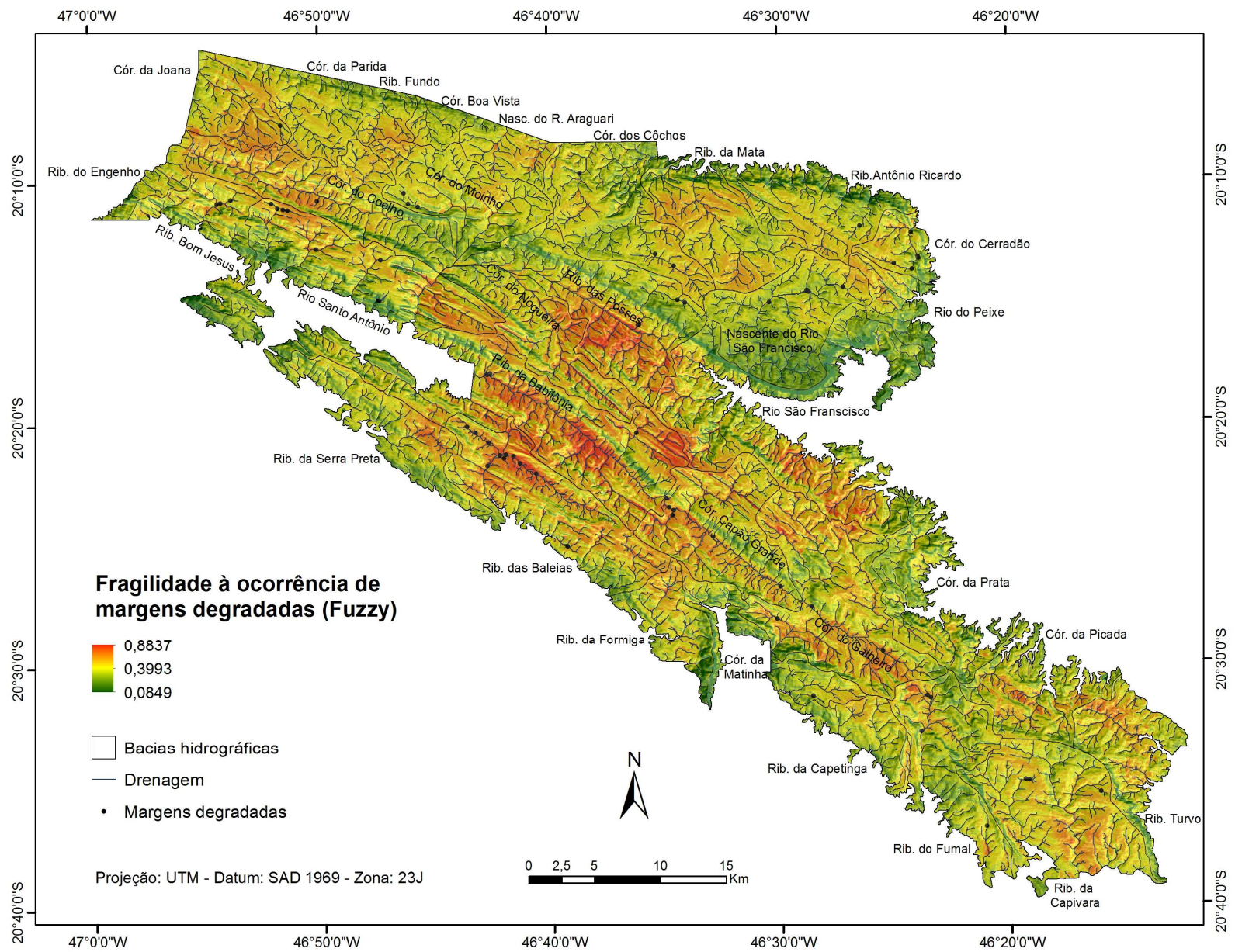


Figura 3.10: Fragilidade à ocorrência de margens degradadas no PNSC

5.6 Fragilidade Ambiental à ocorrência de escorregamentos

Configurando-se como movimentos rápidos, de porções do terreno, que se deslocam sob ação da gravidade, para baixo e para fora da vertente (TOMINAGA, 2012), os escorregamentos são movimentos de massa menos expressivos na área de estudo. Foram encontrados 38 pontos de escorregamentos em todo o parque, o que equivale a uma densidade 0,019escorregamentos/Km², estando relacionados, principalmente, à topografia.

A maior vulnerabilidade à ocorrência de escorregamentos ocorre em áreas mais íngremes, devido a uma maior ação da gravidade sob o terreno. Grande parte dos deslizamentos ocorrem na classe 4 de declividade, sendo os locais mais declivosos. Estes resultados corroboram com pesquisas de Ramos *et. al.* (2002), as quais possibilitaram que os autores afirmassem que o parâmetro topográfico, como a declividade, é elemento indispensável para metodologias com a finalidade de prever riscos a deslizamentos. Contudo, segundo Fernandes *et. al.* (2001), é evidente que há relações entre a declividade e outros parâmetros, tais como a espessura do solo, foliação metamórfica e fraturas de alívio de tensão.

Desta forma, outro importante fator associado aos escorregamentos se trata da densidade de lineamentos estruturais, visto que a maior parte dos processos ocorrem em locais de alta densidade de lineações. Highland e Bobrouscky (2008) afirmam que, além dos parâmetros já acima citados, as falhas geológicas e abalos sísmicos também são fatores importantes na ocorrência destes movimentos de massa rápidos. Rocha *et. al.* (2003) atribuíram também importância para a intensidade de lineamentos e declividades, visto que, em seus estudos, verificou-se que em locais de baixo índice de risco a escorregamentos, têm-se baixas declividades e baixa intensidade de lineamentos. Da mesma forma, em áreas de alto risco, encontram-se altas declividades e alta intensidade de lineamentos.

Rocha *et. al.* (2003), estudando o município de Juiz de Fora – MG, afirmam que um dos grandes problemas ambientais nas encostas são os escorregamentos. Conforme os autores, estes vêm sendo agravados pela ação antrópica, como a remoção da vegetação, queimadas e cortes irregulares. Observou-se que, no PNSC, a cobertura vegetal é tida fator importante no caso dos escorregamentos, mas não preponderante. Neste caso, apenas a classe 4, a qual apresenta vegetação densa, mostrou baixos números de ocorrência de escorregamentos. Por sua vez, tanto locais de baixa biomassa vegetal, como áreas queimadas e solo exposto, como em locais de

densidade intermediária, como áreas de pasto sujo e pasto limpo, verificou-se a ocorrência destes movimentos em números semelhantes.

Por fim, a densidade de vias de circulação, mesmo que com peso menor que as outras variáveis, demonstraram-se importantes no que diz respeito à ocorrência de deslizamentos. Para Bigarella (2007), o que leva ao desequilíbrio entre a gravidade e a resistência do solo, quando se diz respeito a causas externas, são escavações ou cortes no sopé do talude. Desta forma, a construção de estradas rurais podem causar este desequilíbrio, permitindo-nos visualizar cicatrizes de deslizamento ao longo das mesmas.

Verificou-se que no Chapadão da Canastra, área regularizada, encontraram-se poucas cicatrizes de escorregamentos, apenas nas sub-bacias do Córrego dos Côchos ($0,047$ escorregamentos/ Km^2), Córrego do Moinho ($0,015$ escorregamentos/ Km^2) e Ribeirão das Posses ($0,010$ escorregamentos/ Km^2) – as duas últimas, já nas bordas da escarpa. Estes escorregamentos são encontrados, no mapeamento da fragilidade (Figura 3.11), em pequenas faixas de média a alta fragilidade no interior das sub-bacias. Pode-se observar que, grande parte do Chapadão da Canastra, possui baixa fragilidade, devido à predominância de baixas declividades e baixa densidade de lineamentos.

Os escorregamentos ocorrem, de forma expressiva, no Chapadão da Babilônia, onde poucas áreas são regularizadas. Devido a isto, observa-se alta densidade de vias de circulação, desenvolvimento de práticas agrícolas e pecuária, queimadas de forma indiscriminada, seja de forma natural ou antrópica – considerando-se ainda, as declividades elevadas e a alta densidade de lineamentos estruturais.

As maiores ocorrências, assim como as zonas mapeadas com maior susceptibilidade aos escorregamentos, tratam-se das áreas centrais do Chapadão da Babilônia. Sub-bacias como Córrego da Nogueira ($0,033$ escorregamentos/ Km^2), Ribeirão da Babilônia ($0,039$ escorregamentos/ Km^2), Ribeirão das Baleias ($0,054$ escorregamentos/ Km^2) e trechos do Rio São Francisco ($0,044$ escorregamentos/ Km^2), apresentam-se como as mais vulneráveis, especialmente nas encostas mais íngremes das serras, estruturadas no sentido NW-SE.

Destacam-se ainda as altas densidades de escorregamentos nas sub-bacias do Ribeirão Bom Jesus ($0,126$ escorregamentos/ Km^2) e Ribeirão Turvo ($0,058$ escorregamentos/ Km^2), os quais apresentam áreas de média alta a alta fragilidade, onde foram mapeados estes movimentos de massa.

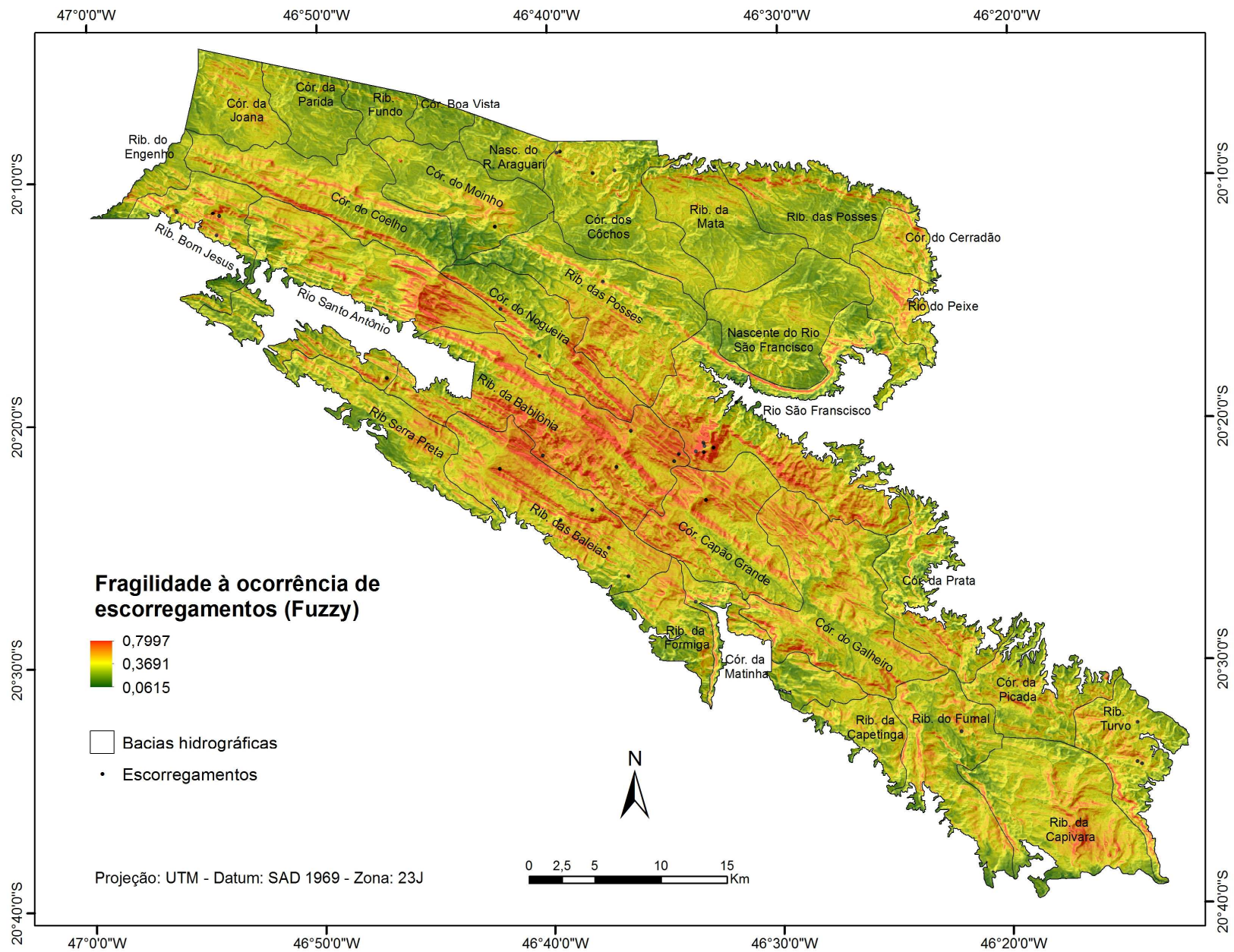


Figura 3.11: Fragilidade à ocorrência de escorregamentos no PNSC

5.7 Fragilidade Ambiental à ocorrência de rastejos

Os rastejos são movimentos de massa lentos e contínuos, envolvendo, geralmente, grande volumes de solos (TOMINAGA, 2012). Sendo expressivos na área de estudo, localizaram-se 345 pontos de ocorrência de rastejos, obtendo-se uma densidade de 0,174rastejos/Km². Para estes eventos, a cobertura vegetal é fator preponderante em sua ocorrência na área do PNSC, mas tem-se ainda as declividades e densidades de vias de circulação como variáveis influenciadoras.

Christofoletti (1980), cita que as causas dos rastejamentos podem ser o pisoteio do gado, crescimento das raízes e escavamento de buracos por animais. A partir da observação das imagens para o mapeamento e pela verificação em campo, pôde-se perceber que, os rastejos, estão relacionado ao pisoteio do gado. Isto pode ser constatado pois, sua ocorrência está sempre associada a caminhos preferenciais destes animais, os quais formam sulcos e, em muitos casos, evoluem em ravinas após eventos chuvosos. Isto explica o fato da densidade de lineamentos estruturais não se relacionar à evolução dos rastejos, já que o principal fator é o uso antrópico.

Pode-se inferir que as áreas caracterizadas por apresentarem baixos índices de vegetação são, além de desprovidas da proteção natural do solo, pela cobertura vegetal, aquelas de acesso mais fácil do gado. As áreas de pastagem são as preferenciais para permanência do gado, utilizadas em sua alimentação. Corroborando com esta afirmação, Barcellos (1996) estima que 80% das áreas de pastagem nos cerrados brasileiros, apresentam algum estágio de degradação.

Santos (2004) cita que o rastejo apresenta intensidades proporcionais à inclinação e, pelos dados quantitativos obtidos, tem-se valores expressivos na classe 3 de declividades. As vias de circulação também estão associadas, visto que possibilitam o acesso antrópico às áreas de pastagem e a solta do gado. Isto ocorre especialmente nas áreas não regularizadas, como as do Chapadão da Babilônia, visto que apresentam alta densidade de vias e declives acentuados.

Constatou-se, pelo mapeamento da fragilidade à ocorrência de rastejos (Figura 3.12), que o Chapadão da Canastra se apresenta com áreas de baixa a média-baixa fragilidade à ocorrência deste movimento de massa. Há baixa densidade de processos em sub-bacias deste local, como Córrego da Parida (0,055rastejos/Km²) e Córrego do Moinho (0,0rastejos/Km²), Córrego da Boa Vista (0,0rastejos/Km²). O fundamental para entendermos a não ocorrência nestes locais, é que, desde a criação do parque, houve a regularização dos mesmos e, na categoria Parque Nacional, as atividades antrópicas não são permitidas. Portanto, desde esta época, o pisoteio do gado não se

configura como agravante à ocorrência de rastejos, mantendo o Chapadão da Canastra como local praticamente desprovido destes eventos.

Deve-se ressaltar que, observam-se expressivos números de rastejos nas bordas do Chapadão da Canastra, principalmente ao norte e ao leste. No mapa de fragilidade, são observadas manchas constando média-alta ou alta fragilidade nos locais exatos em que foram mapeados estes rastejos, devido a declives acentuados. Ainda, estas borda não se encontram regularizadas, logo, observam-se atividades antrópicas, as quais agravam a evolução de rastejamentos, especialmente o gado. São observadas expressivas densidades de eventos nas sub-bacias do Córrego dos Côchos ($0,584\text{rastejos/Km}^2$), Ribeirão da Mata ($0,138\text{rastejos/Km}^2$), Ribeirão das Posses ($0,120\text{rastejos/Km}^2$) e Córrego do Cerradão ($0,942\text{rastejos/Km}^2$).

As zonas de depressão intermontana, entre o Chapadão da Babilônia e as serras do Chapadão da Canastra, assim como o vale formado na sub-bacia do Rio São Francisco ($0,0\text{rastejos/Km}^2$), englobam as áreas menos frágeis, devido às baixas declividades e alta densidade de vegetação em inúmeros pontos. Há, como exceção, certas zonas da sub-bacia do Ribeirão das Posses ($0,120\text{rastejos/Km}^2$), próximo do interflúvio com o Córrego do Nogueira. Este local, por apresentar declives acentuados, assim como alta densidade de vias de circulação, se mostra como frágil e é observada a ocorrência de vários pontos de rastejo.

Por sua vez, as áreas centrais são as mais frágeis, com destaque para as sub-bacias do Ribeirão da Babilônia ($0,235\text{rastejos/Km}^2$), Córrego Capão Grande ($0,024\text{rastejos/Km}^2$), Ribeirão das Baleias ($0,086\text{rastejos/Km}^2$). Seguindo em direção a sudeste, tem-se também áreas frágeis, mas em menor intensidade, consideradas de média-alta vulnerabilidade. Estes locais apresentam também ravinas e, em campo, observou-se a presença do gado.

Por fim, reparou-se que, a oeste do parque, na borda sul, foram mapeados inúmeros rastejos próximos de áreas de baixa ou média-baixa vulnerabilidade, nas bacias do Ribeirão do Engenho ($1,290\text{rastejos/Km}^2$) e Bom Jesus ($0,884\text{rastejos/Km}^2$). Este é um exemplo claro de que o pisoteio do gado é grande influenciador para a ocorrência destes movimentos no parque, já que, pelas imagens utilizadas para o mapeamento, são observados, em grande intensidade, caminhos preferenciais desenvolvidos pelo pisoteio. Desta forma, fica claro que não se pode deixar de relacionar, ao mapa de fragilidade, os locais de acesso destes animais, os quais geram pressão e compactam o solo, acelerando a ocorrência de rastejos.

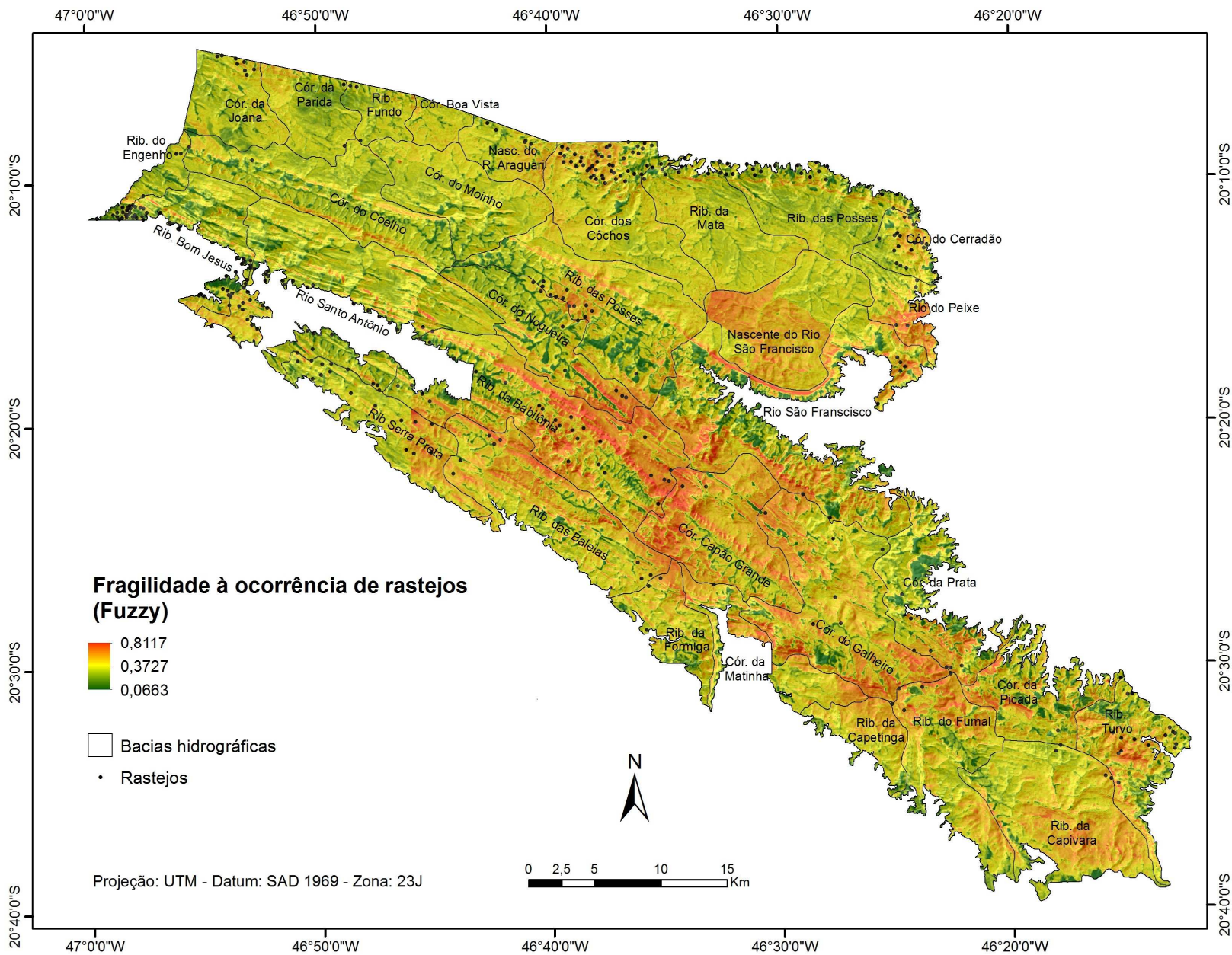


Figura 3.12: Fragilidade à ocorrência de rastejos no PNCS

6. VERDADE TERRESTRE: O RECONHECIMENTO DA ÁREA DE ESTUDO EM CAMPO

6.1 Contextualização

Ao se construírem mapas temáticos, utilizam-se técnicas para se alcançar a visualização e comunicação de fenômenos geográficos. Cada mapa possui um objetivo específico, devendo cumprir sua função de dizer o quê, onde e como ocorre determinado fenômeno (ARCHELA E THÉRY, 2008). A elaboração dos mesmos inicia pela delimitação de uma realidade a ser problematizada, buscando respostas a questões colocadas, o que seria chamado de tema. Parte de dados que interessam à abordagem de certo tema, levam em conta o aspecto direto – contato do pesquisador com a realidade e indireto – exploração de documentos, os quais podem incluir dados numéricos, imagens, gráficos e mapas (MARTINELLI, 2003).

As representações ocupam interfaces: entre o sujeito e o objeto; a presença e a ausência; o vivido e o concebido. Os mapas, por sua vez, são meios e instrumentos das representações humanas. No entanto, as representações não podem ser substitutivas do real, pois o conhecimento deve ir além do que está representado (MARTINELLI, 2009). Por isto, é necessário que o Geógrafo saiba estudar objetos nas representações produzidas, tais como cartas, fotos aéreas ou imagens de satélite. Contudo, o confronto com o campo é necessário, seja para identificar os objetos ou para avaliar precisamente as informações representadas (TRICART, 2006).

Tendo como finalidade visualizar *in loco* os dados mapeados em gabinete, da mesma forma que constatar a veracidade das informações, realizou-se trabalho de campo no Parque Nacional da Serra da Canastra. A autorização para a execução de atividades de pesquisa, assim como o acesso ao parque, foram concedidos pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade – SISBIO, de número 42804-2, no dia 26/03/2014.

6.2 Preparação de dados e materiais para a execução do trabalho de campo

O trabalho de preparação dos dados e materiais para o campo foi executado no Laboratório de Análise Espacial e Geoprocessamento, do Instituto de Geociências – Unicamp, no qual foram gerados mapas com informações da área de estudo. Além disso, adquiriram-se cartas topográficas na escala 1:50.000, disponíveis na mapoteca da Universidade Estadual de Campinas e Universidade Federal de Alfnas (Tabela 3.16).

Tabela 3.16: Materiais cartográficos utilizados na execução do trabalho de campo

Material cartográfico	Articulação	Escala / Resolução	Ano	Executor
Carta topográfica Chapadão da Zagaia	SF-23-V-A-III-1	1:50.000	1971	IBGE
Carta topográfica Serra da Canastra	SF-23-V-A-III-2	1:50.000	1971	IBGE
Carta topográfica São Roque de Minas	SF-23-V-B-I-1	1:50.000	1970	IBGE
Carta topográfica Rio Ajudas	SF-23-V-B-I-2	1:50.000	1970	IBGE
Carta topográfica Delfinópolis	SF-23-V-A-III-3	1:50.000	1971	IBGE
Carta topográfica Serra da Guarita	SF-23-V-A-III-4	1:50.000	1971	IBGE
Carta topográfica Vargem Bonita	SF-23-V-B-I-3	1:50.000	1970	IBGE
Carta topográfica Rio Piuí	SF-23-V-B-I-4	1:50.000	1970	IBGE
Carta topográfica Cássia	SF-23-V-A-IV-1	1:50.000	1971	IBGE
Carta topográfica Passos	SF-23-V-A-IV-2	1:50.000	1971	IBGE
Carta topográfica Furnas	SF-23-V-B-IV-1	1:50.000	1971	IBGE
Carta topográfica Capitólio	SF-23-B-IV-2	1:50.000	1970	IBGE

A principal base cartográfica gerada se trata de um mapa síntese, impresso em papel tamanho A0, contendo informações importantes para a validação dos dados em campo, tais como: fragilidade ambiental a todos os processos, vias de circulação, drenagem, bacias hidrográficas, pontos de erosão e movimentos de massa. Atribuíram-se grades de 2Km² e coordenadas em UTM, com a finalidade de facilitar a localização dos pontos selecionados, nas cartas topográficas.

Neste mapa, selecionaram-se 20 pontos a serem visitados em campo, os quais mostram locais de baixa a média-baixa fragilidades e áreas de média-alta a alta fragilidades (Figura 3.13). Ademais, foram impressos, em papel A3, os mapas de fragilidade ambiental dos processos de forma individual – ravinhas, voçorocas, rastejos, margens degradadas e deslizamentos, assim como as variáveis geoambientais utilizadas – NDVI, declividades, densidade de vias de circulação, densidade de lineamentos e probabilidade de ocorrência de chuvas intensas.

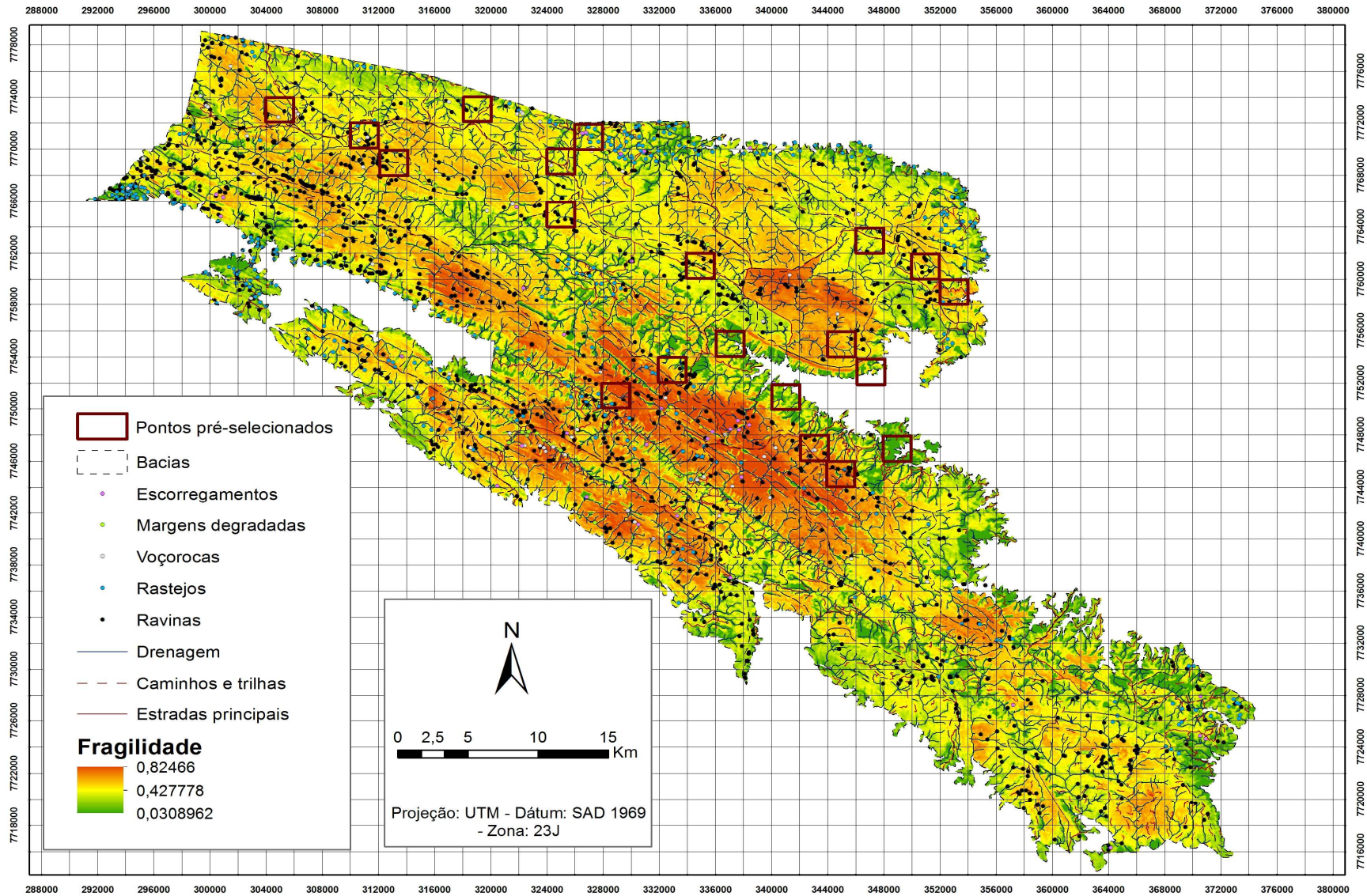


Figura 3.13: Áreas pré-selecionados para a execução do trabalho de campo

6.3 Execução do trabalho de campo

Buscando melhor analisar e descrever as informações mapeadas, assim como correlacioná-las com a realidade em campo, formou-se uma equipe, contendo professores e pesquisadores de diferentes áreas. Além do autor da pesquisa, participaram do trabalho de campo:

- Professor Dr. Marcos César Ferreira: professor associado MS-5.2, do Instituto de Geociências, da Universidade Estadual de Campinas. Atuação: em áreas como Sistemas de Informação Geográfica, Sensoriamento Remoto, Análise Espacial, Cartografia Temática e Processamento Digital de Imagens Orbitais.
- Professora Dra. Marta Felícia Marujo Ferreira: professora adjunta do Instituto de Ciências da Natureza, da Universidade Federal de Alfenas. Atuação: Geomorfologia, Morfotectônica, Planejamento Territorial, Recursos Hídricos e Análise Ambiental.
- Danilo Francisco Trovó Garófalo: estudante de doutorado do programa de pós-graduação em Geografia, do Instituto de Geociências, da Universidade Estadual de Campinas. Atuação: Geografia Física, Teledeteção Espacial e Mapeamento Terrestre.

O trabalho de campo foi executado entre os dias 28 e 29 de março de 2014, tendo sido visitadas, neste período, áreas do Chapadão da Canastra e Chapadão da Babilônia. A ideia inicial seria percorrer, no primeiro dia, os pontos selecionados nas zonas regularizadas, do Chapadão da Canastra, seguindo a estrada principal desta área. No segundo dia, visitar-se-iam pontos do Chapadão da Babilônia, de mais difícil acesso e poucas áreas são regularizadas.

Confrontando-se com a realidade local, não foi possível realizar o trabalho em todas as áreas amostradas. Nas áreas do Chapadão da Canastra, percorreram-se os pontos selecionados até 2 horas antes do fechamento do parque, para se retornar à portaria. No Chapadão da Babilônia, a grande dificuldade foi o acesso aos locais, vista a má qualidade das vias, muitas situadas em locais íngremes, apresentando pontos com erosão profunda e rocha exposta, não permitindo o acesso com o carro disponibilizado pela Unicamp.

Percebeu-se também a necessidade de se executarem pontos na zona de amortecimento, no vale do Rio São Francisco, após a queda da cachoeira Casca D'Anta. Esta área está fora dos limites do parque, no entanto apresenta inúmeros pontos de erosão e movimentos de massa em diferentes estágios e, mesmo não tendo sido mapeada a fragilidade desta área, destacaram-se algumas zonas neste local.

6.4 Pontos reconhecidos em campo

6.4.1 Área delimitada pelo PNSC

Ponto 1

Coordenadas do ponto de observação: 354.288,55m E / 7.759.114,17m N

Altitude do ponto de observação: 1064m

Bacia observada: Rio Peixe

Grau de fragilidade do local observado: médio-alto a alto (todos os processos) / alto (Rastejos)

Regularização do local: não regularizado

Descrição do local observado: o ponto se localiza na borda do parque, próximo à portaria de acesso do município de São Roque de Minas. Este trecho da estrada dá acesso ao chapadão do Diamante, porém se encontra não regularizado. Observaram-se rastejos, localizados em relevo colinoso, com média declividade e pasto limpo (Figura 3.14). Os processos foram intensificados pelo pisoteio do gado, formando caminhos preferenciais, os quais podem vir a evoluir em ravinas. O local possui alta fragilidade à ocorrência de rastejos, em seu mapa específico.

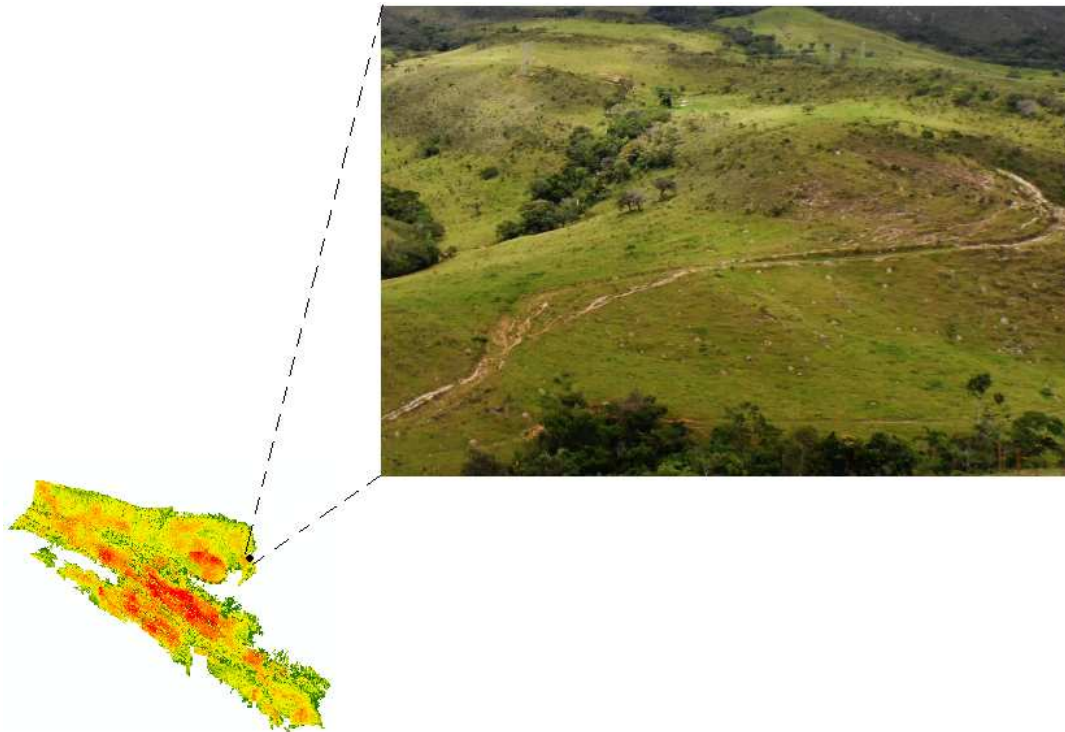


Figura 3.14: visualização de rastejos observados no ponto 1 em campo. Fonte: arquivo pessoal (2014)

Ponto 2

Coordenadas do ponto de observação: 350.757,12m E / 7.759.639,95m N

Altitude do ponto de observação: 1394m

Bacia observada: Rio do Peixe, em direção ao interflúvio com o Rio São Francisco

Grau de fragilidade do local observado: baixo (todos os processos)

Regularização do local: regularizado

Descrição do local observado: verificaram-se áreas de campo limpo e vegetação densa nos fundos de vale, em amplas colinas de baixa declividade. Não foram observados processos erosivos e movimentos de massa, constatando a estabilidade da área mapeada (Figura 3.15).

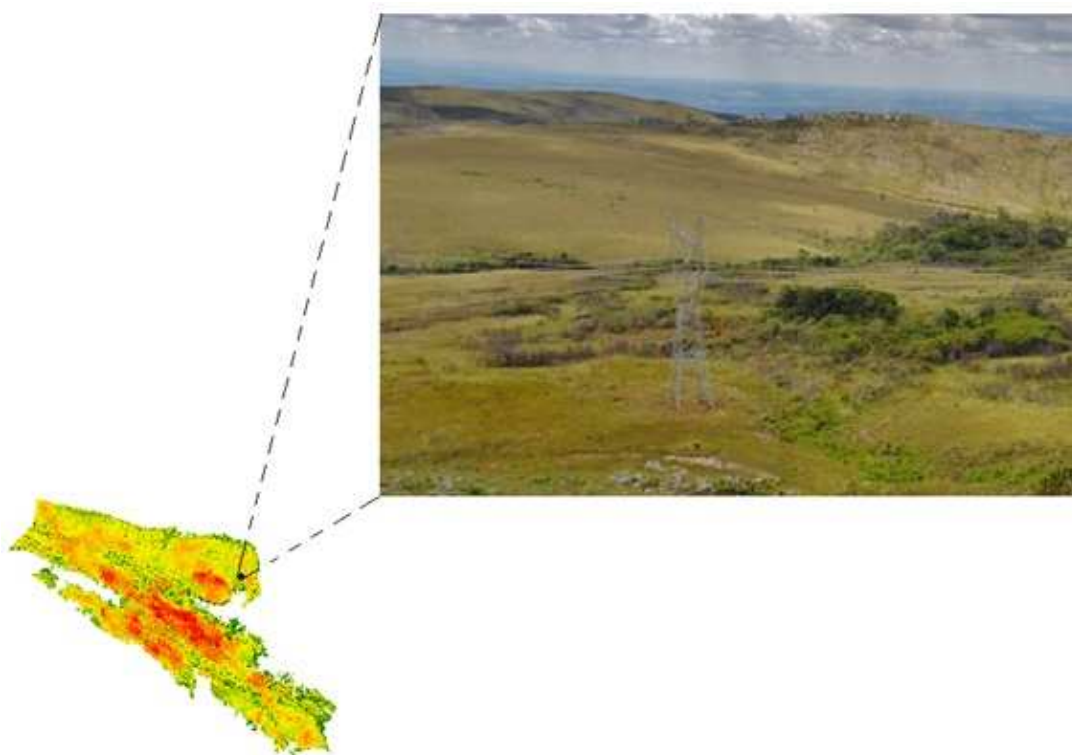


Figura 3.15: visualização da ausência de processos observados no ponto 2 em campo. Fonte: arquivo pessoal (2014)

Ponto 3

Coordenadas do ponto de observação: 350.468,31m E / 7.760.082,06 m N

Altitude do ponto de observação: 1389m

Bacia observada: Nascente do Rio São Francisco

Grau de fragilidade do local observado: médio-baixo a baixo (todos os processos)

Regularização do local: regularizado

Descrição do local observado: a nascente do Rio São Francisco se encontra em uma área de relevo de colinas, com baixa declividade e mata ciliar associada e campo limpo no entorno. Não foram observados processos e, relacionando isto ao mapa de fragilidade, podemos inferir que o local está preservado, o que é essencial para a perenidade do rio, que possui uma importância em âmbito nacional (Figura 3.16).

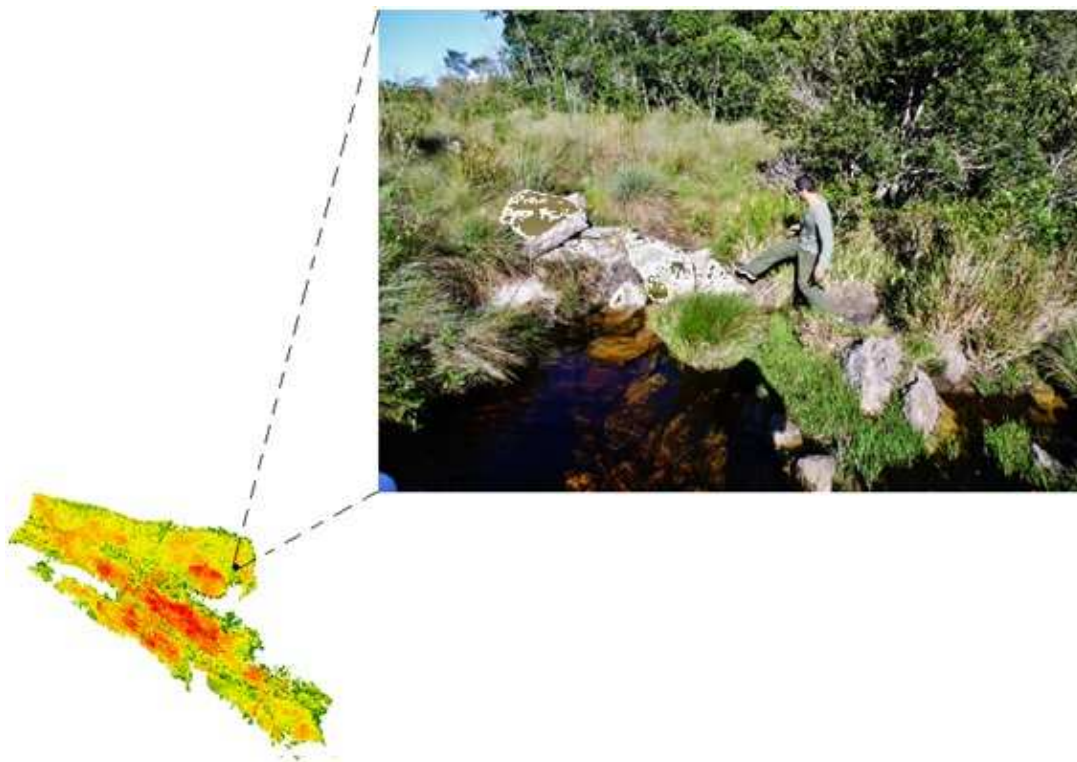


Figura 3.16: visualização da ausência de processos observados no ponto 3 em campo. Fonte: arquivo pessoal (2014)

Ponto 4

Coordenadas do ponto de observação: 347.028,72m E / 7.763.223,99m N

Altitude do ponto de observação: 1500m

Bacia observada: Nascente do Rio São Francisco

Grau de fragilidade do local observado: médio-baixo (todos os processos) / alto (voçorocas)

Regularização do local: regularizado

Descrição do local observado: foi possível observar a ocorrência de voçoroca, localizada em colina de baixa declividade e pasto limpo (Figura 3.17). Embora o mapa de fragilidade ambiental a todos os processos tenha apresentado uma área de média-baixa fragilidade, o mapa de fragilidade à ocorrência de voçorocas apresenta a área frágil, mostrando que o local está vulnerável à evolução destes processos.

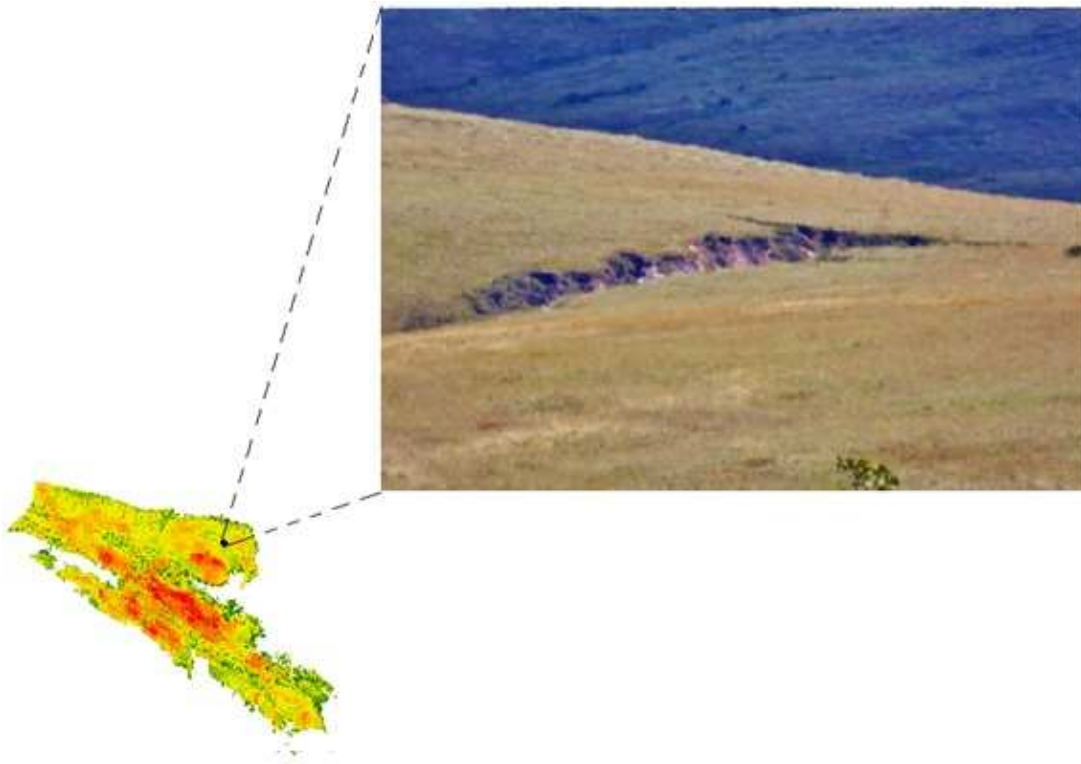


Figura 3.17: visualização de voçoroca no ponto 4 em campo. Fonte: arquivo pessoal (2014)

Ponto 5

Coordenadas do ponto de observação: 335.717,76m E / 7.760.512,01m N

Altitude do ponto de observação: 1380m

Bacia observada: Ribeirão das Posses

Grau de fragilidade do local observado: médio-baixo a baixo, com alguns pontos de alto (todos os processos) / alto (margens degradadas)

Regularização do local: regularizado

Descrição do local observado: Observou-se que há mata ciliar no entorno do rio e campo limpo no entorno, no entanto, há pequenos pontos de degradação da margem. Não foram observados outros processos, portanto, a área é apenas vulnerável à ocorrência de degradação nas margens (Figura 3.18).

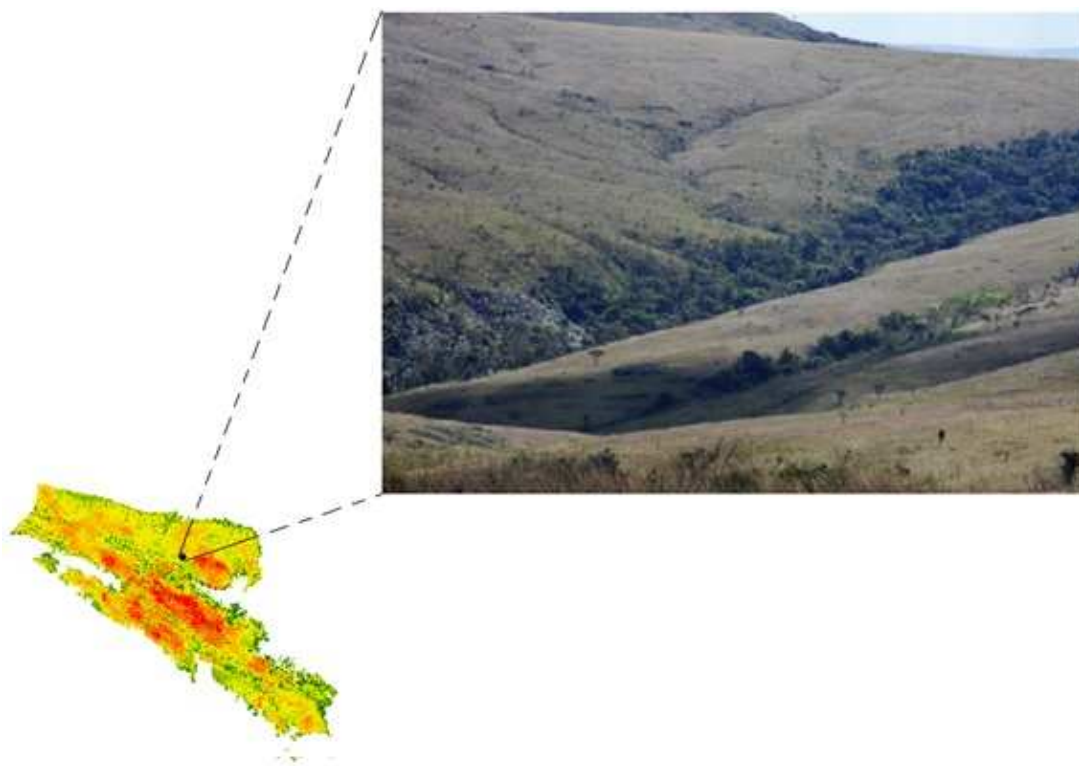


Figura 3.18: visualização de degradação nas margens no ponto 5 em campo. Fonte: arquivo pessoal (2014)

Ponto 6

Coordenadas do ponto de observação: 335.138,98m E / 7.760.660,83m N

Altitude do ponto de observação: 1362m

Bacia observada: Ribeirão das Posses, em direção ao interflúvio com o Córrego dos Côchos

Grau de fragilidade do local observado: médio-alto a alto, com locais de baixo grau próximo dos córregos (todos os processos / ravinas)

Regularização do local: regularizado

Descrição do local observado: pôde-se verificar que, no sentido do fluxo de escoamento superficial de chuva, ao lado da estrada, há o desenvolvimento de uma grande ravina (Figura 3.19). Além disso, próximo ao interflúvio, com a bacia do Córrego dos Côchos, observaram-se duas outras ravinas, em uma área de campo limpo e média declividade. Não foi possível avançar o trabalho nos pontos posteriormente planejados, devido ao horário de fechamento do parque e o retorno até a portaria de São Roque de Minas. Potanto, percorreu-se no primeiro dia, somente o Chapadão do Diamante, não sendo possível acessar o Chapadão da Zagaia.

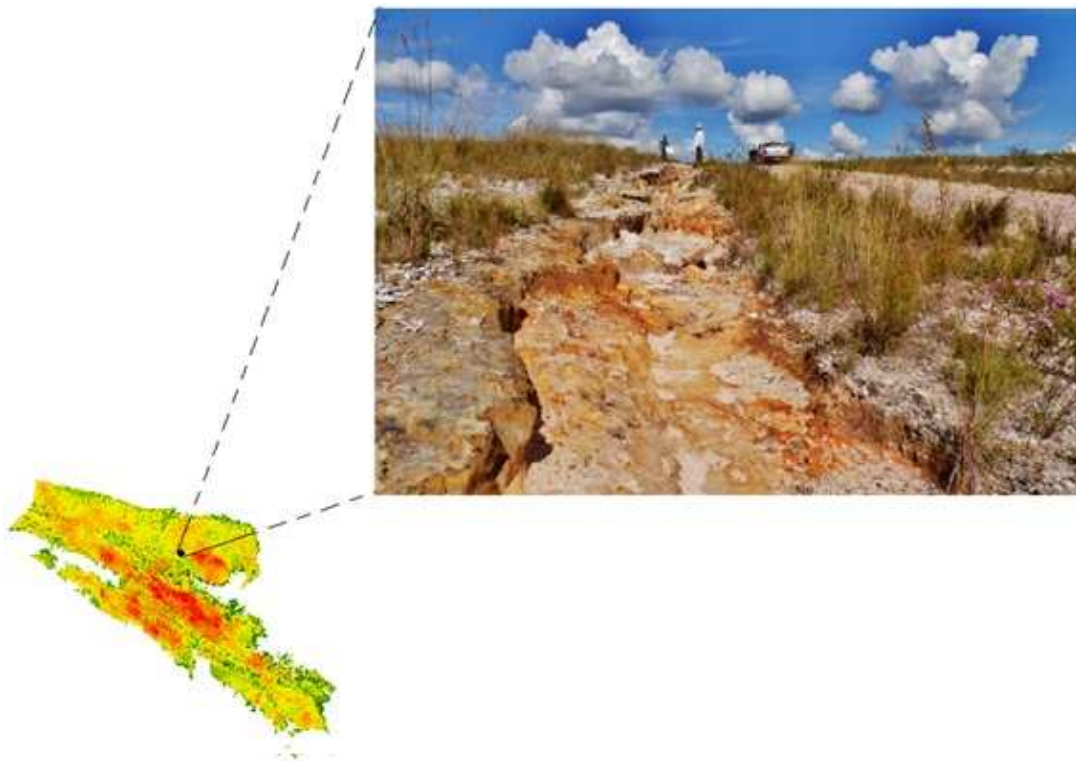


Figura 3.19: visualização de ravina no ponto 6 em campo. Fonte: arquivo pessoal (2014)

Ponto 7

Coordenadas do ponto de observação: 340.083,39m E / 7.752.227,22m N

Altitude do ponto de observação: 911m

Bacia observada: Vale do Rio São Francisco

Grau de fragilidade do local observado: médio-baixo a baixo (todos os processos / deslizamentos)

Regularização do local: não regularizado

Descrição do local observado: mesmo em uma área de médio-baixo grau de fragilidade, verificou-se a ocorrência de deslizamentos próximo da estrada, no limite do parque (Figura 3.20). Pode-se associar este movimento de massa, além do corte da estrada, à baixa cobertura vegetal no local, onde há pasto limpo.

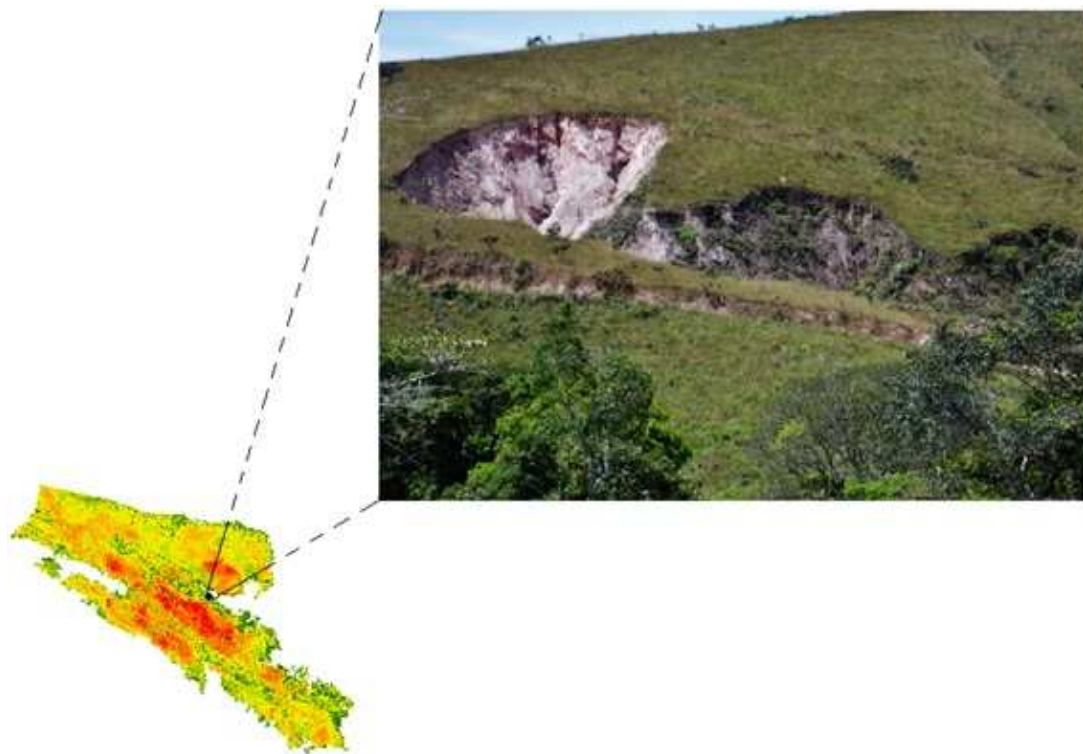


Figura 3.20: visualização de deslizamentos no ponto 7 em campo. Fonte: arquivo pessoal (2014)

Ponto 8

Coordenadas do ponto de observação: 334.262,93m E / 7.752.819,13m N

Altitude do ponto de observação: 1231m

Bacia observada: Ribeirão das Posses

Grau de fragilidade do local observado: médio-alto a alto (todos os processos / ravinas)

Regularização do local: não regularizado

Descrição do local observado: constatou-se a existência de vários pontos de ravinamentos, em áreas que variam de média alta a alta fragilidade. As áreas são ocupadas por pasto limpo e possuem altas declividades (Figura 3.21). A fragilidade está associada também à rocha predominante – quartzito, a qual pode ser observada nos pontos de erosão.

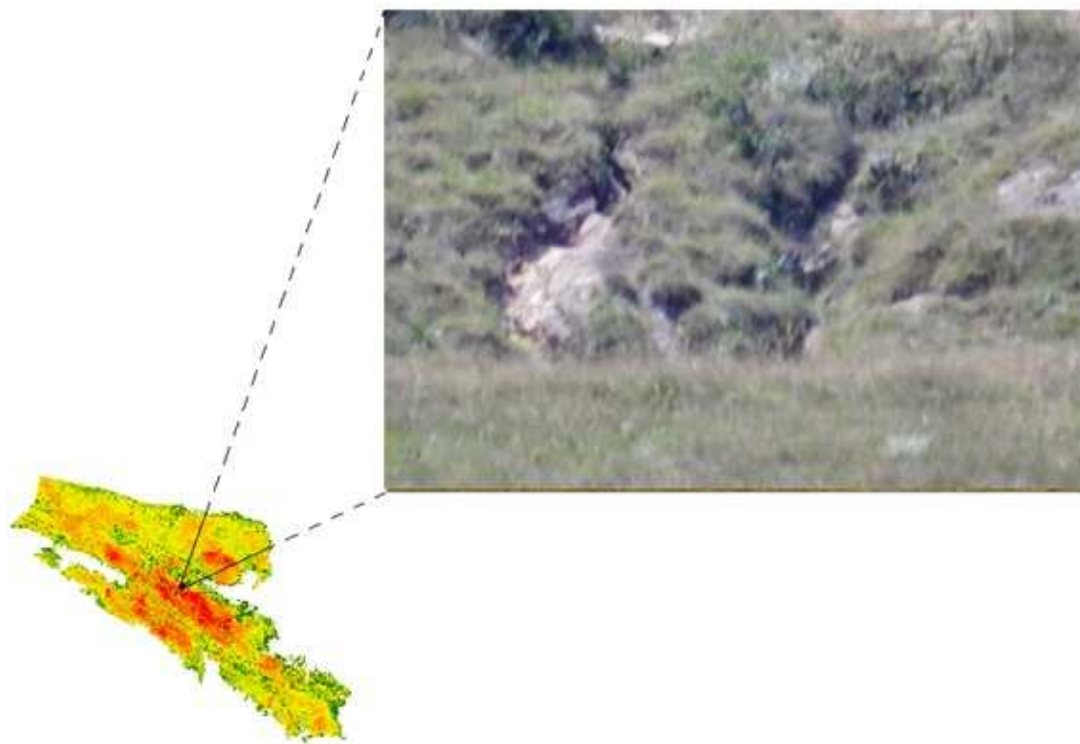


Figura 3.21 visualização de ravinamentos no ponto 8 em campo. Fonte: arquivo pessoal (2014)

Ponto 9

Coordenadas do ponto de observação: 334.114,77m E / 7.752.247,63m N

Altitude do ponto de observação: 1273m

Bacia observada: Rio São Francisco

Grau de fragilidade do local observado: médio-alto a alto (todos os processos / ravinas / rastejo)

Regularização do local: não regularizado

Descrição do local observado: em uma área de alta densidade de lineamentos estruturais, notaram-se antigos relevos dobrados – em local de alta densidade de lineamentos estruturais, nos quais são observadas ravinas, associadas a rastejo (Figura 3.22). As altas declividades, baixa densidade de cobertura vegetal e o pisoteio do gado, observado em campo, têm intensificado a evolução destes processos.

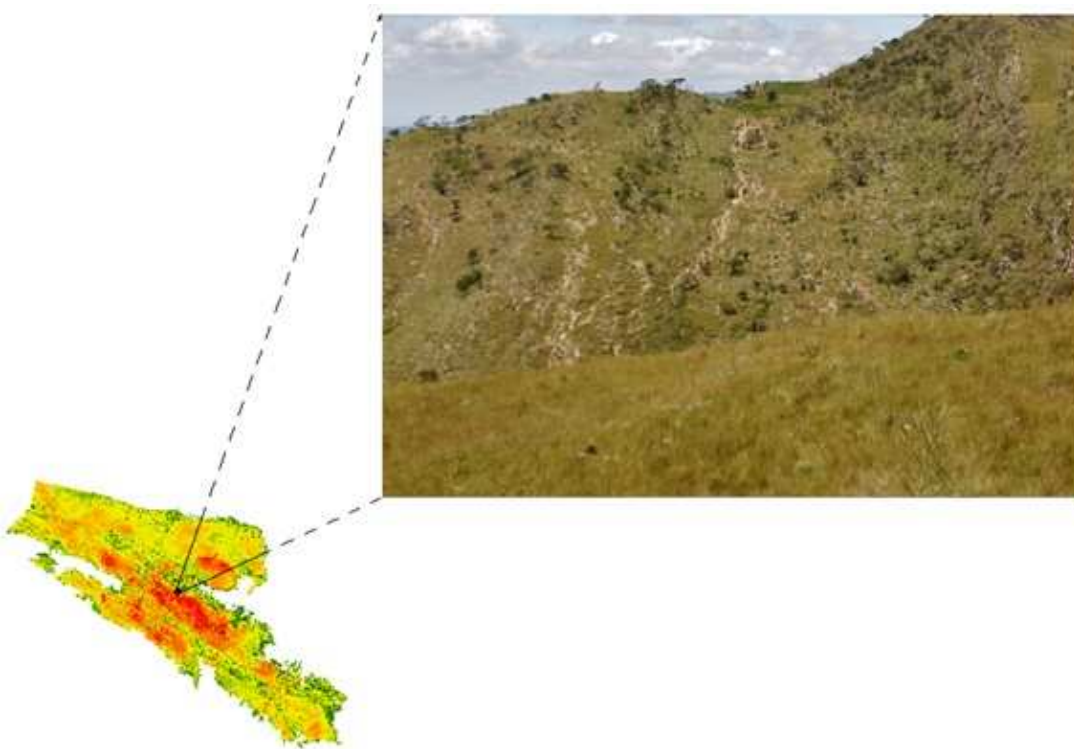


Figura 3.22: visualização de rastejos associados a ravinas no ponto 9 em campo. Fonte: arquivo pessoal (2014)

Ponto 10

Coordenadas do ponto de observação: 333.246,93m E / 7.751.803,13m N

Altitude do ponto de observação: 1334m

Bacia observada: Ribeirão da Babilônia

Grau de fragilidade do local observado: alto (todos os processos / ravinas / margens degradadas / deslizamentos)

Regularização do local: não regularizado

Descrição do local observado: local de alta fragilidade, onde ocorrem diversos processos, tais como voçoroca, ravina, deslizamento e margem degradada. Verificaram-se declividades que variam entre alta, na média vertente, a baixa, nos fundos de vale, associadas a pasto sujo e pasto limpo, alta densidade de vias de circulação e de lineamentos estruturais (Figura 3.23). Observe-se, no mapa de NDVI, que este local possui médio índice de vegetação, pela ocorrência de queimadas na época mapeada.

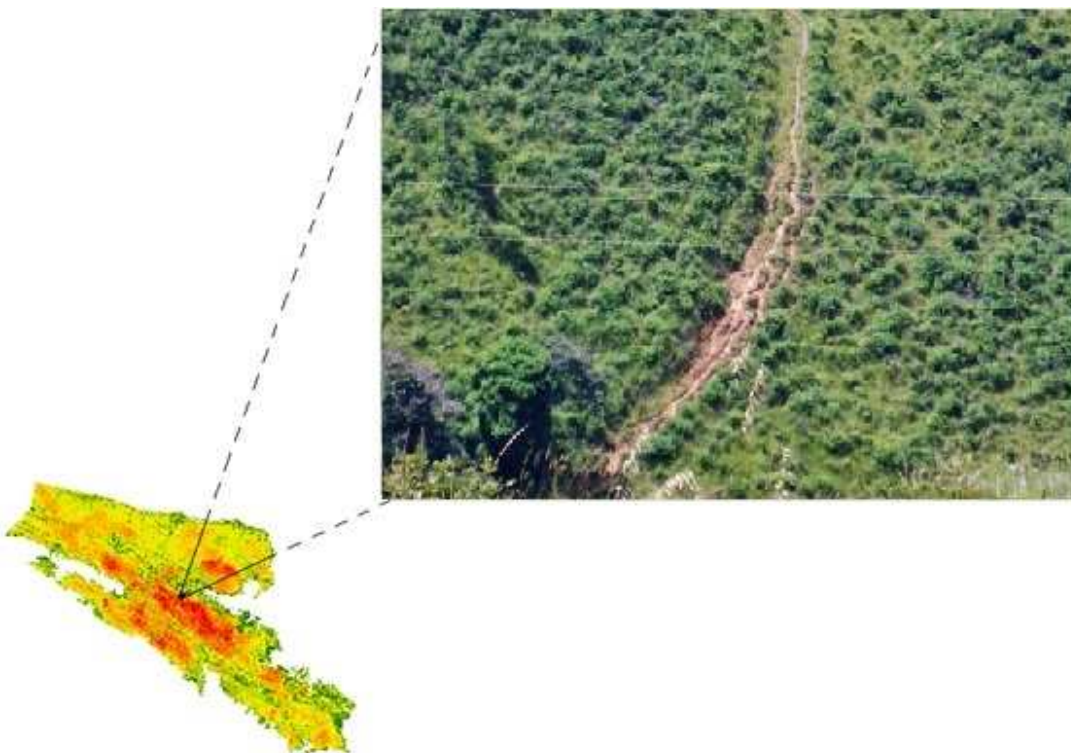


Figura 3.23: visualização de ravinas no ponto 10 em campo. Fonte: arquivo pessoal (2014)

Ponto 11

Coordenadas do ponto de observação: 332.458,80m E / 7.752.171,00m N

Altitude do ponto de observação: 1349m

Bacia observada: Córrego do Nogueira

Grau de fragilidade do local observado: alto (todos os processos / ravinas)

Regularização do local: regularizado

Descrição do local observado: área recentemente regularizada no Chapadão da Babilônia, mas com alta fragilidade. Observou-se a presença de uma ravina, que segue da estrada até o fundo de vale, associada a pasto limpo, média declividade e alta densidade de lineamentos estruturais e vias, especialmente trilhas (Figura 3.24). Não foi possível avançar a verificação em campo a partir deste local, devido à má qualidade das trilhas, pontos de alta declividade, quartzito exposto e carro não apropriado para acesso nestas condições.

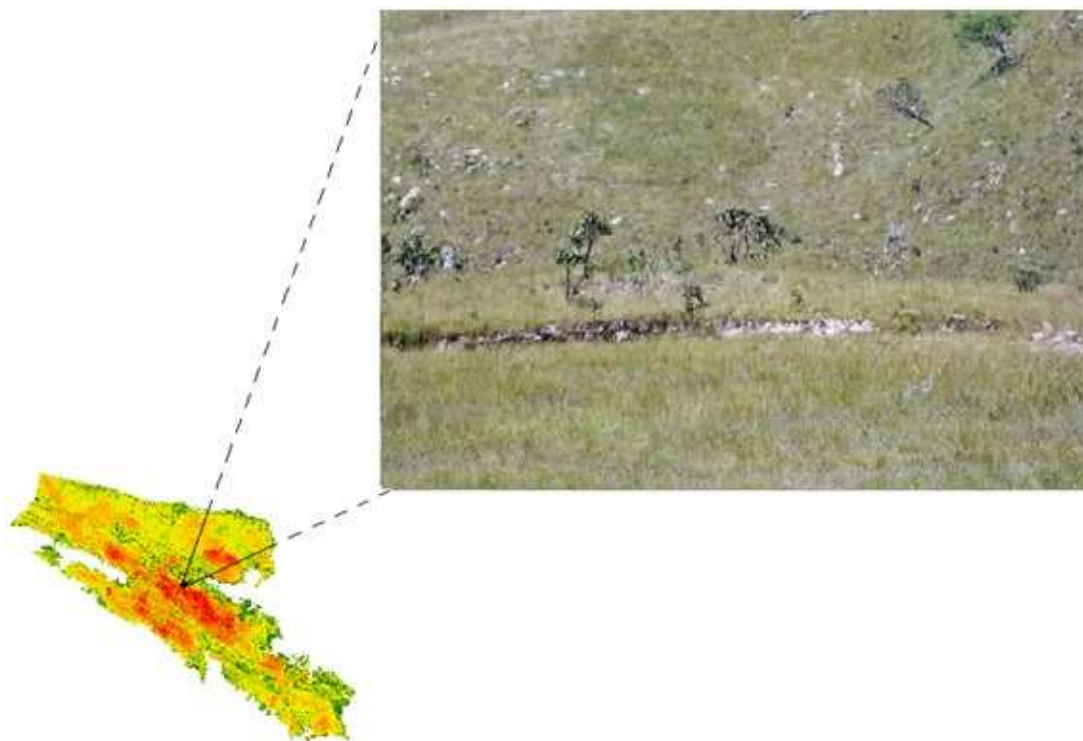


Figura 3.24: visualização de ravina no ponto 11 em campo. Fonte: arquivo pessoal (2014)

Ponto 12

Coordenadas do ponto de observação: 347.539,66m E / 7.752.052,83m N

Altitude do ponto de observação: 880m

Bacia observada: Rio São Francisco

Grau de fragilidade do local observado: baixo a médio-alto (todos os processos)

Regularização do local: não regularizado

Descrição do local observado: nas bordas do parque, abaixo da escarpa do Chapadão do Diamante, atentou-se para a ocorrência de solos arados, sendo preparados para a agricultura (Figura 3.25). Estes se localizam em uma área de antigos depósitos de tálus, formados por sedimentos provenientes das zonas mais altas. Estes podem ser hoje considerados estáveis, devido à alta densidade de vegetação em grande parte. No entanto, há pontos de baixa densidade, normalmente relacionados a áreas agrícolas ou pastagens, levando então, a graus de fragilidade que variam entre alto e baixo. A remoção desta vegetação original pode levar a uma futura evolução de processos erosivos nas bordas do parque, a qual se encontra ainda não regularizada.

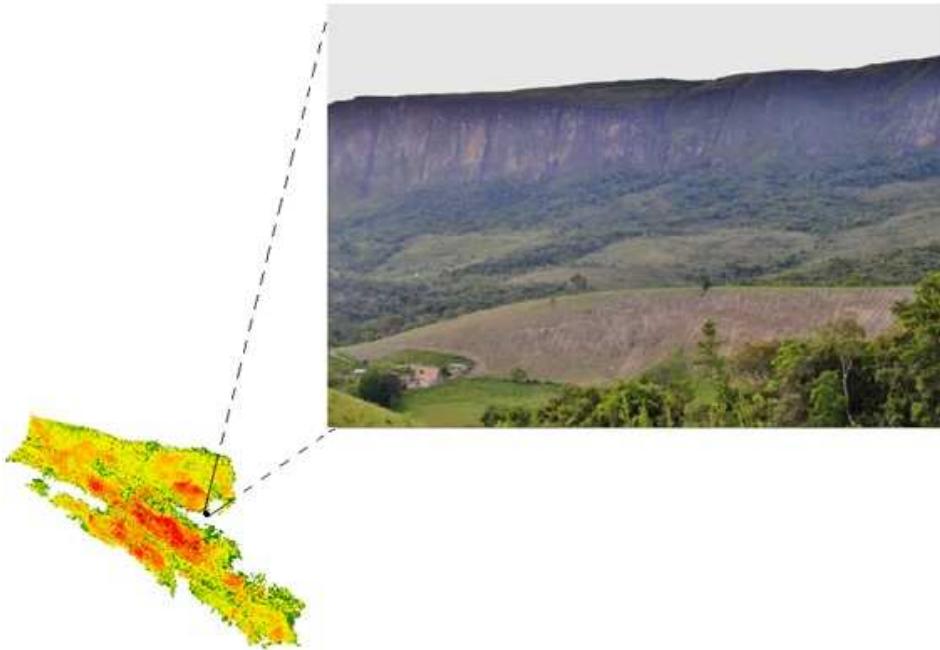


Figura 3.25: visualização de solos arados por agricultura no ponto 12 em campo. Fonte: arquivo pessoal (2014)

Ponto 13

Coordenadas do ponto de observação: 348.641,29m E / 7.752.65,65m N

Altitude do ponto de observação: 841m

Bacia observada: Rio São Francisco

Grau de fragilidade do local observado: baixo (todos os processos)

Regularização do local: não regularizado

Descrição do local observado: área de depósito de tálus estável, com vegetação associada e média declividade. Não foram observados processos erosivos e movimentos de massa associados, porém a não regularização da área permite que haja propriedades particulares em locais bem próximos e acesso do gado, podendo levar a consequências futuras (Figura 3.26).

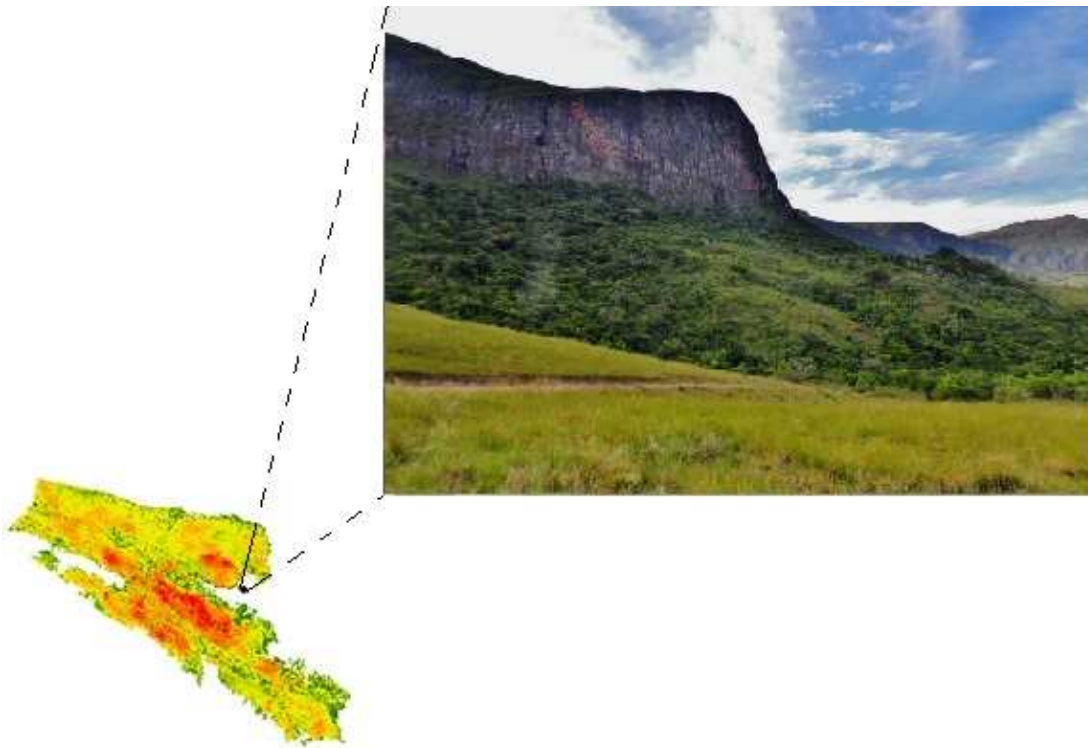


Figura 3.26: visualização da ausência de processos no ponto 13 em campo. Fonte: arquivo pessoal (2014)

6.4.2 Bacia do Rio São Francisco na zona de amortecimento do PNSC

Ponto 14

Coordenadas do ponto de observação: 356.704,18m E / 7.751.259,08m N

Altitude do ponto de observação: 829m

Descrição do local observado: na área urbana do município de São Roque de Minas, pôde-se ver a instalação de um loteamento, em topo de morro. Observaram-se pontos de deslizamento e formação de sulcos erosivos, evoluindo em ravinas, mostrando a instabilidade da alta à média encosta – a qual se apresentam cobertas por pastagens (Figura 3.27). Isto pode levar a consequências futuras, tanto para a proteção da área, como para a população que irá se instalar futuramente.

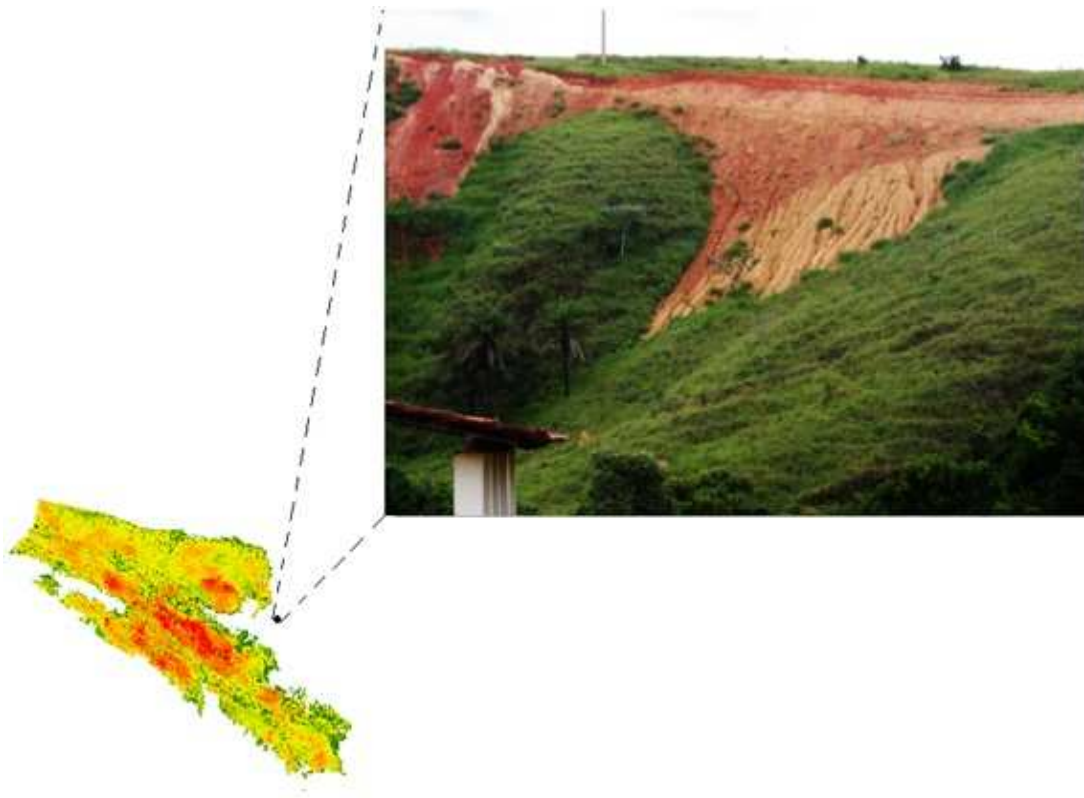


Figura 3.27: visualização de deslizamentos associados a sulcos e ravinas no ponto 14 em campo. Fonte: arquivo pessoal (2014)

Ponto 15

Coordenadas do ponto de observação: 350.310,52m E / 7.750.505,01m N

Altitude do ponto de observação: 631m

Descrição do local observado: neste local, ocorrem voçorocas, ravinas, rastejos. As voçorocas ocorrem em relevos de colinas, com baixas declividades e baixa densidade de vegetação, como pastos limpos. Há voçoroca com vegetação densa associada (Figura 3.28A), o que mostra que há certa estabilidade. Por outro lado, há também o mesmo processo apresentando sinais de perda de solo (Figura 3.28B), assim como sulcos erosivos no entorno, podendo-se inferir que o processo está ainda ativo. As ravinas e rastejos ocorrem em médias e altas declividades e baixa densidade de vegetação. Alguns pontos de rastejo estão ainda associados a erosão laminar, havendo perda superficial de solo.

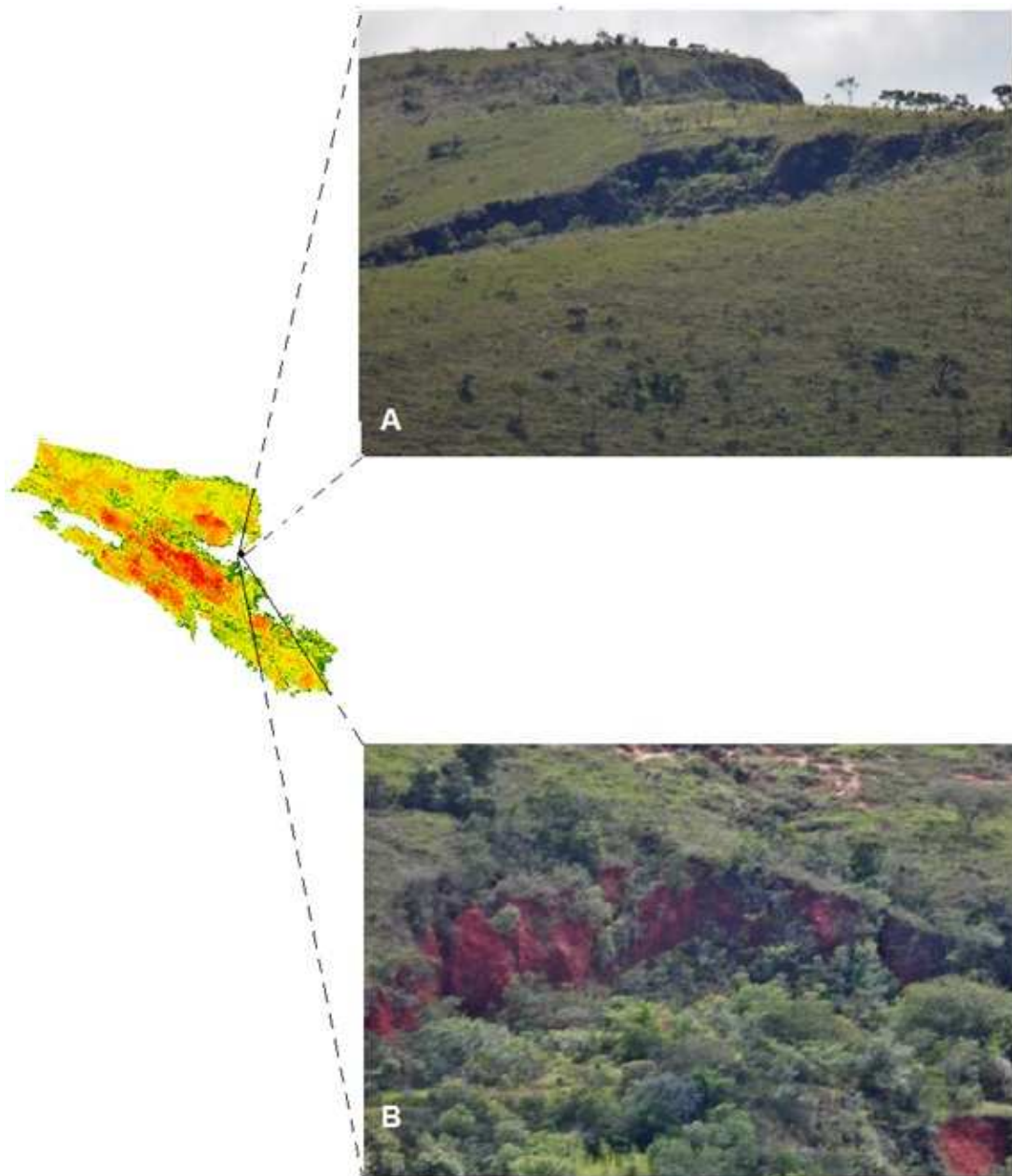


Figura 3.28: visualização de voçorocas com vegetação associada (A) e voçorocas com sulcos erosivos (B) no ponto 15 em campo. Fonte: arquivo pessoal (2014)

Ponto 16

Coordenadas do ponto de observação: 344.786,37m E / 7.750.042,93m N

Altitude do ponto de observação: 701m

Descrição do local observado: notaram-se rastejos e sulcos associados, em áreas de pasto limpo e médias declividades (Figura 3.29). O processo é formado pelo pisoteio do gado e podem evoluir, formando futuras ravinas.

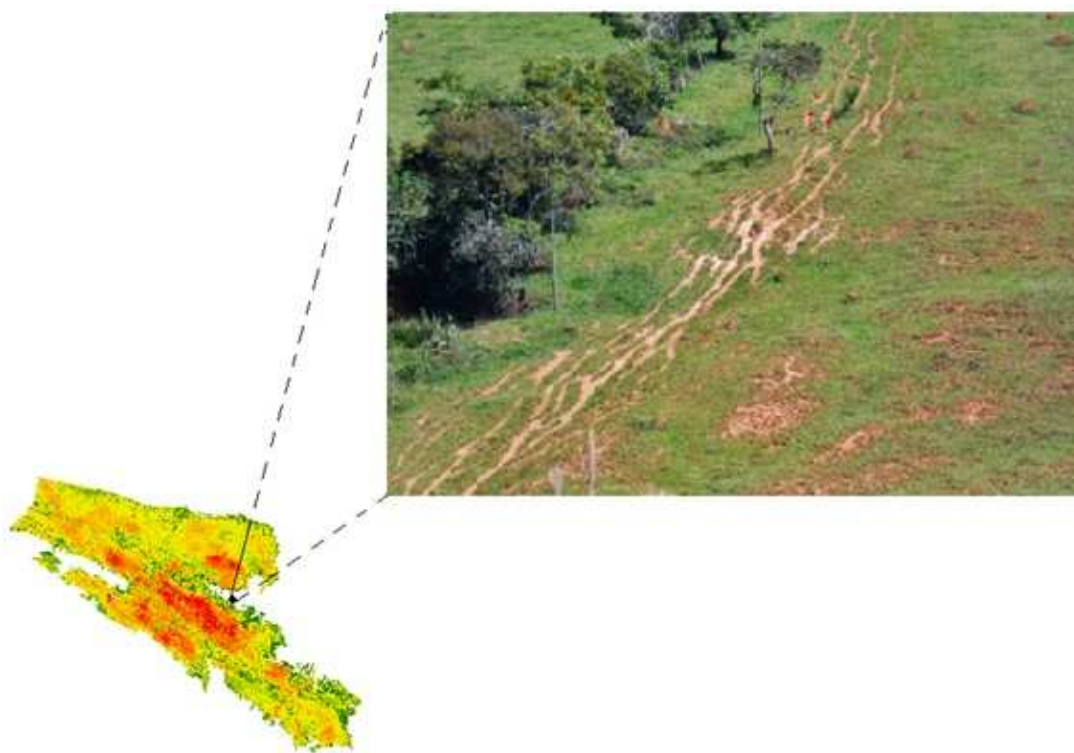


Figura 3.29: visualização de rastejos associados a sulcos no ponto 16 em campo. Fonte: arquivo pessoal (2014)

Ponto 17

Coordenadas do ponto de observação: 344.786,37m E / 7.750.042,93m N

Altitude do ponto de observação: 803m

Descrição do local observado: do ponto de observação, em direção à cachoeira Casca D'anta, notou-se uma voçoroca de grande extensão (Figura 3.30). Esta se localiza em uma ampla colina, com declividade média e pasto limpo. Há vegetação associada às áreas centrais, no entanto, as bordas possuem erosão ativa.

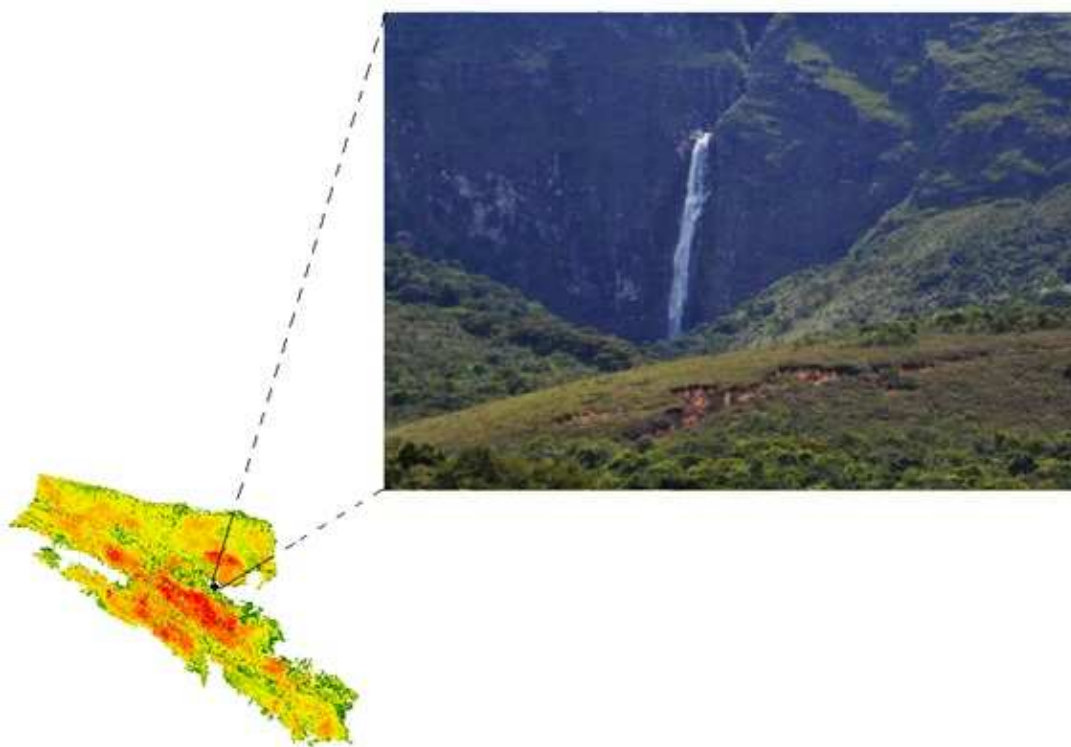


Figura 3.30: visualização de voçoroca no ponto 17 em campo. Fonte: arquivo pessoal (2014)

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCHELA, R. S. & THÉRY, H. – Orientação metodológica para construção e leitura de mapas temáticos. *In: Confins* – Revista Franco Brasileira de Geografia [Online], v. 3, 2008.

AMARAL, R.; ROSS, J. L. S. As unidades ecodinâmicas na análise de fragilidade ambiental no parque estadual do morro do diabo e entorno, Teodoro Sampaio/SP. *In.:*

GEOUSP: espaço e tempo, São Paulo, nº 26, p. 59-78, 2009

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 7ª Ed. São Paulo: Ícone, 2010. 355 pag.

BARCELLOS, A. O. Sistemas extensivos e semi-intensivos de produção: pecuária bovina de corte nos Cerrados. *In: Anais do VIII Simpósio Sobre o Cerrado e I International Symposium on Tropical Savannas*. Brasília, EMBRAPA-CPAC, 1996. p.130-136.

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 7ª Ed. São Paulo: Ícone, 2010. 355 pag.

BIGARELLA, J. J., BECKER, R. D., SANTOS, G. F. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais, v. 3. Contribuição de Maria Lúcia de Paula Herrmann... [*et. al.*]. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 2007.

BREN, L. J. Riparian zone, stream, and floodplain issues: a review. *In.: Journal of Hydrology*, Melbourne, v. 150, p. 277-299, 1993

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia, 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.

_____. Geomorfologia fluvial, v. 1 – o canal fluvial. São Paulo: Edgard Blücher, 1981. 313 p.

CONTI, B. J.; FURLAN, S. A. Geoecologia: o clima, os solos e a biota. *In.:* ROSS, J. L. S (Org). Geografia do Brasil – 6ª ed. São Paulo: Edusp, 2011. 549 p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; FILHO, P.H.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. *In.:* Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. São José dos Campos: INPE, 2001. 124 p.

DONHA, Anelissa G.; SOUZA, Luiz C. de P.; SUGAMOSTO, Maria L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. *In.:* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, v. 10, n. 1, Campina Grande, UFCG, 2006

CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. *In.*: GUERRA, A.J.T; CUNHA, S.B. da. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos – 11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2012. 472 p.

ESRI. ArcGIS Desktop 10.1 Help, 2013.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, F. R.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes Geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. *In.*: Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 2, nº 1, p. 51-71, 2001

FERREIRA, M. C. Modelagem cartográfica aplicada a mapeamentos de suscetibilidade a danos ambientais: um ensaio no SIG IDRISI. *In.*: Geociências, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 485-502, 1996

GARÓFALO, D. F. T. Mapeamento de fragilidade ambiental por meio de análise espacial: um exemplo da alta bacia dos rios Piracicaba e Sapucaí-Mirim - APA Fernão Dias – MG (dissertação de mestrado). Campinas: Unicamp, 2013. 169 p.

GUERRA, A.J.T. O início do processo erosivo. *In.*: GUERRA, C.J.T.; SILVA, A.S da; BOTELHO, R.G.M (Orgs). Erosão e conservação dos solos. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1999.

_____. Processos erosivos nas encostas. *In.*: GUERRA, A.J.T; CUNHA, S.B. da. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos – 11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2012. 472 p.

HIGHLAND, L. M.; BOBROUSKY, P. O manual de deslizamentos – Um guia para compreensão de deslizamentos. Virgínia: U. S. Geological Suvey, 2008.

JANSSON, M. B. Land erosion by water in different climates. Borgstrom Tryckeri, Motala: Uppsala University, 1982.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. *In.*: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2203-2210

KRAAK, M. J.; ORMELING, F. J. – Maps characteristics. *In.*: M.J. KRAAK & F.J ORMELING – Cartography: visualization of spatial data. Essex, Longman, 1996.

LANG, S.; BLASCHKE, T. Análise da paisagem com SIG. Tradução: Hermann Hux. São Paulo: Oficina de textos, 2009

MARTINELLI, M. Mapas de Geografia e Cartografia Temática. São Paulo: EDUSP, 2003.

_____. O atlas do estado de São Paulo: uma reflexão metodológica. *In.*: Confins [Online], v. 7, 2009

MARTINI, L. C. P.; UBERTI, A. A. A.; SCHEIBE, L. F.; COMIN, J. J.; OLIVEIRA, M. A. T. Avaliação da Suscetibilidade a Processos Erosivos e Movimentos de Massa: Decisão Multicriterial Suportada em Sistemas de Informações Geográficas. *In.*: Revista do Instituto de Geociências, v. 6, n. 1, p. 41-52, 2006

MORGAN, R.P.C. Soil Erosion and Conservation. Hong Kong: Longman Group UK Limited, 1986. 298 p.

RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; REDIVO, A. L.; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F.; CARVALHO JUNIOR, O. S. Aplicação do modelo SHALSTAB, para o mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento raso na região do Quadrilátero Ferrífero (MG). *In.*: Espaço & Geografia, Vol.5, No 1, p. 49-67, 2002

ROCHA, G. C.; LATUF, M. O.; CARMO, L. F. Z. Mapeamento de riscos ambientais à escorregamentos na área urbana de Juiz de Fora, MG. *In.*: Geografia, v. 12, n. 1, p. 509-516, 2003

ROCHA, P. C.; SOUZA FILHO, E. E. S. Erosão marginal e evolução hidrodinâmica no sistema rio-planície fluvial do alto do Paraná-Centro Sul do Brasil. *In.*: NUNES, J. O. R.; ROCHA, P. C. Geomorfologia: aplicações e metodologias – 1ª ed. São Paulo: Expressão Popular, 2008.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. *In.*: Revista do Departamento de Geografia, n°8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994

SANTORO, J. Erosão continental. *In.*: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.). Desastres naturais: conhecer para prevenir – 2ª ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2012. 196 p.

SANTOS, A. R. A grande barreira da Serra do Mar: da trilha dos Tupiniquins à rodovia dos Imigrantes. São Paulo: o Nome da Rosa, 2004. 122 p.

SEIXAS, B. L. S. Fundamentos do Manejo e da Conservação do Solo. Salvador: Centro Editorial e Didático da UFBA, 1985. 275p.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P.. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *In.*: Boletim Geográfico, Rio de Janeiro, 36 (258-259), jul./dez.m 1978.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. *In.: GEOUSP - Espaço e Tempo*, São Paulo, N° 15, pp.39-49, 2004.

TAYLOR, P. J. Inferential statistic. In: P. J. Taylor. *In.: Quantitative methods in geography*. Boston, Houghton Mifflin Co., 1977, pp. 102-123.

TOMINAGA, L.K. Escorregamentos. *In.: TOMINAGA, L.K; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs). Destrastrres Naturais: conhecer e previnir – 2ª ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2012.*

TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE, 1977

_____. O campo na dialética da Geografia. *In.: Revista do Departamento de Geografia*, v. 19, p. 104-110, 2006

WANG, F., Hall, G.B., and Subaryono, 1990. Fuzzy information representation and processing in conventional GIS software: database design and application. International Journal of Geographical Information Systems 4 (3): 261-283

VIEIRA, N. M. Estudo geomorfológico das boçorocas de Franca, SP (Tese de doutorado). Franca: UNESP, 1978. 226 p.

YOUNG, I. T. Proof without prejudice: use of the kolmogorov-smirnov test for the analysis of histograms from flow systems and other. *In.: The Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, v. 25, n. 7, p. 935-941, 1977

ZACHAR, D. Soil erosion. Bratislava: Elsevier Scientific Publishing Company, 1982. 547 p.

CONCLUSÕES

O Parque Nacional da Serra da Canastra – PNSC, mesmo se configurando como importante Unidade de Conservação brasileira, ainda hoje, apresenta inúmeras atividades conflitantes. São exemplos disso a regularização fundiária, erosão dos solos, degradação das pastagens, mineração, redução da vegetação nativa, queimadas, práticas agrícolas, livre acesso pelas estradas e pecuária. Criado no ano de 1972 com uma área de 197.797ha, tem-se hoje apenas 82.000ha regularizados. A não regularização fundiária tem gerado conflitos relacionados à população, a qual busca se manter nas áreas do parque, desenvolvendo atividades conflitantes e ameaçando a conservação da Unidade.

Este trabalho explicou a dinâmica dos processos erosivos e movimentos de massa existentes no PNSC, a partir de fatores naturais e antrópicos, além de se espacializarem, em mapas temáticos, os diferentes graus de vulnerabilidade à ocorrência dos mesmos. Para se pontuarem estes processos, utilizou-se o software Google Earth, mostrando-se eficaz, devido à alta resolução e gratuidade das imagens disponíveis.

Os índices de vegetação, calculados com base em imagens Landsat 5TM, mostram que apenas 8% do parque é ocupado por vegetação densa. Verificam-se áreas de campos rupestres, apresentando pequenos arbustos em meio às rochas e pastos sujos, com árvores espaçadas, sendo resquícios de cerrado degradado. Área significativa do parque está associada a pasto limpo, o qual apresenta baixa biomassa, especialmente nos meses secos, sendo de notável ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa neste uso. Por fim, os menores índices de vegetação estão associados a mineração, solo exposto, afloramentos rochosos e queimadas, os quais são usos totalmente desprovidos de vegetação.

Analisou-se a topografia, pelo mapeamento da declividade, tendo como base cartográfica, o modelo ASTER. Ao longo do Chapadão da Canastra, tem-se a predominância de relevos planos a ondulados, formando extensas colinas, mas apresentando também médias declividades em locais de falhas. Às bordas deste Chapadão, tem-se um esculpamento com declividades acentuadas, onde ocorre a queda da cachoeira Casca d'Anta. Entre este esculpamento e os conjuntos de serras do Chapadão da Babilônia, observa-se uma depressão intermontana, com baixos declives, os quais aumentam à medida em que se aproxima do Rio São Francisco. Por fim, verificam-se no

Chapadão da Babilônia, declividades que variam entre altas, em locais de falhas, onde se formam conjuntos de serras, a médias e baixas, nos topos destas serras e fundos de vale.

As características litológicas tratam de importantes informações referentes à área de estudo, vista a alta densidade de lineamentos estruturais mapeados, a partir da drenagem extraída do modelo ASTER e pelo estimador *Kernel*. Como o parque está associado à faixa de dobramentos de Brasília, a estruturação do relevo e as falhas recorrentes no PNSC são de relevante importância na análise dos processos erosivos e movimentos de massa. As maiores densidades de lineamentos estruturais ocorrem no Chapadão da Babilônia, especialmente nas áreas centrais, onde seguem o sentido NW-SE. Algumas áreas do Chapadão do Diamante, parte leste do Chapadão da Canastra, também apresenta alta densidade de lineamentos.

Como variável antrópica, pode-se inferir que o PNSC apresenta uma alta densidade de vias de circulação. No Chapadão da Canastra, há um controle do fluxo de veículos, mas correm altas densidades de vias em alguns pontos, especialmente nas bordas ou cruzamentos de estradas. As maiores densidades se concentram no Chapadão da Babilônia, área de baixa regularização fundiária, a qual apresenta vias de livre acesso, o que gera impactos antrópicos diversos, tais como presença de casas, desenvolvimento de atividades agrícolas, pecuária e queimadas indiscriminadas. Deve-se ressaltar ainda que, um dos principais impactos sobre as vias de circulação, é o do uso de veículos 4x4, utilizados principalmente em atividades *Off Road*, causando compactação do solo, remoção de material e evolução de processos erosivos. Estas atividades devem ser proibidas dentro da Unidade de Conservação, não sendo permitidas na categoria Parque Nacional.

Estas variáveis geoambientais serviram como bases cartográficas para o mapeamento da fragilidade ambiental no PNSC. Para isto, apoiaram-se em técnicas de análise espacial e no método estatístico *Kolmogorov-Smirnov*, obtendo-se resultados satisfatórios na área estudada. A aplicação de pesos, considerando a distribuição de eventos pretéritos, apresentou o nível de importância de cada variável geoambiental, respeitando as características da área de estudo. A utilização de intervalos *Fuzzy*, proporcionou-nos mais precisão nos dados mapeados, por mostrarem valores intermediários, visto que o espaço real não se divide em classes fixas. Por fim, o emprego das variáveis geoambientais utilizadas, além da possibilidade de se incluírem outras que sejam relevantes, torna-se viável e eficiente, pois diante a utilização de ferramentas como

SIGs e softwares livres, podem-se obter dados precisos, reduzindo tempo, custos e evitando-se relacionar dados em escalas incompatíveis.

As ravinas são os processos erosivos mais expressivos no parque, equivalendo a, aproximadamente, 71% do total. As principais variáveis geoambientais responsáveis pela formação e evolução destes processos são densidade de lineamentos estruturais e de cobertura vegetal, mas há peso importante também da declividade. Desta forma, as áreas mais estruturadas, de vegetação menos densa e de maior declividade, são as mais vulneráveis aos processos. Estes eventos são observados por todo o parque, inclusive em áreas mapeadas com baixa fragilidade, especialmente nas zonas de borda ou não regularizadas, o que ocorre devido ao pisoteio do gado. As áreas centrais, localizadas no Chapadão da Babilônia, foram classificadas como as mais frágeis, apresentando processos por toda sua extensão.

As voçorocas, por sua vez, tem a topografia como principal fator influenciador. No entanto, ao contrário das ravinas, aquelas ocorrem em áreas de baixa declividade, caracterizando-se por se conectarem quase sempre à rede hidrográfica. Há também grande importância da vegetação para a proteção do solo, evitando não só a formação das voçorocas, mas também a evolução das paredes laterais e aprofundamento das mesmas. A densidade de lineamentos estruturais também são elementares e, em menor intensidade, a densidade de vias de circulação, onde, em ambos os casos, quanto maior a densidade, maior a vulnerabilidade. Os locais mais frágeis estão localizadas em grande parte do Chapadão da Canastra e nas áreas centrais do Chapadão da Babilônia, tendo sido mapeados processos exatamente nestes locais.

A degradação marginal de córregos e ribeirões ocorrem em áreas, geralmente, de baixo declive e vegetação associada, devido a características comuns de corpos d'água. No entanto, tem-se o fator densidade de lineamentos, os quais determinam que, grande parte dos processos, ocorram em zonas de falhas, onde os corpos d'água são mais retilíneos, seguindo as fraturas, facilmente intemperizadas. Os processos em maior expressividade, altamente relacionados às áreas mais frágeis, foram mapeados a noroeste e, principalmente, nas zonas centrais do Chapadão da Babilônia.

Os escorregamentos, movimentos de massa rápidos, são os processos menos expressivos no parque e ocorrem, principalmente, em áreas de declives acentuados, sendo a topografia o principal fator responsável. Por seguinte, tem-se a influência das falhas geológicas e a importância da cobertura vegetal para a estabilidade das encostas. A densidade de vias de

circulação é também influenciadora, mas em menor intensidade, sendo que muitos destes movimentos ocorrem devido aos cortes realizados pelas estradas. O Chapadão da Canastra não apresenta áreas de alta fragilidade em seu interior, não sendo observados também processos nestes locais, apenas nas bordas, as quais são mais íngremes. Por sua vez, as vertentes íngremes e bastante estruturadas, que seguem o Chapadão da Babilônia no sentido NO-SE, apresentam alta fragilidade e cicatrizes escorregamentos.

Já os rastejos, movimentos de massa lentos, estão relacionados especialmente às áreas de pastagens, estas quais são utilizadas para a criação de gado, especialmente nas bordas do parque e no Chapadão da Babilônia. As vias de acesso, as quais facilitam o acesso para a solta do animal, assim como o pisoteio em locais de altos declives, são também fatores importantes. Conclui-se então, que além das variáveis geoambientais utilizadas, deve-se considerar quais as áreas não regularizadas, pois estas são mais propícias à evolução de rastejos, devido ao pisoteio do gado. Isto ocorre, pois estes animais formam caminhos preferenciais, associados sempre a sulcos erosivos, que podem evoluir em ravinas. Maior parte destes movimentos de massa ocorrem nas bordas do parque, pelo acesso do gado a estes locais – mesmo alguns deles tendo sido mapeados como pouco frágeis. No entanto, há expressividade também da ocorrência nas áreas centrais do Chapadão da Babilônia, sendo estas mapeadas como as mais vulneráveis à evolução de processos de rastejo.

Observou-se que os processos erosivos e movimentos de massa se concentram, de modo geral, em áreas de alto-médio ou alto grau de fragilidade, mesmo em sub-bacias onde predomina baixo grau de fragilidade, mas que possuem pontos de alta vulnerabilidade. Da mesma forma, as sub-bacias de médio-alto e alto graus, são aquelas em que, de maneira geral, ocorre maior densidade de processos, assim como as de médio-baixa e baixo, menor densidade de processos. Percebeu-se ainda que, o mapeamento da fragilidade para cada processo de forma particular, pode explicar melhor a gênese e evolução dos mesmos. O mapa para todos os processos erosivos e movimentos de massa generaliza as informações, apresentando-se com menor detalhamento, por considerar a média entre as características de todos.

Considerando-se que as sub-bacias de menor grau de regularização pertencem ao Chapadão da Babilônia e que este local concentra as áreas mais frágeis do parque, pode-se afirmar que uma possível redução da área do parque, pelo Projeto de Lei nº 147, de 2010, apresentada por deputados, poderia levar a prejuízos não só à conservação dos solos, mas também à

biodiversidade. A alteração na legislação, transformando certas áreas em Monumento Natural, abriria espaço para a continuidade no desenvolvimento de atividades conflitantes, tais como mineração, agricultura e pecuária, as quais tem intensificado a evolução de processos erosivos no parque.

Deve-se ainda ressaltar que, pelos trabalhos de campo realizados, percebeu-se que a zona de amortecimento se encontra, da mesma forma que o parque, associada a altos estágios de degradação, visto que, neste local, verificaram-se inúmeros processos erosivos e movimentos de massa. Há a necessidade de um mapeamento detalhado referente a esta zona, incluindo-a também ao plano de manejo, devido à importância desta à proteção do parque.

Os produtos cartográficos gerados poderão ser auxílio a ações de planejamento no PNSC, por apresentarem informações relevantes, no que se referem aos aspectos físicos e, acima de tudo, por distinguir os diferentes graus de vulnerabilidade à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa. Acredita-se que, se torna imprescindível, estudar as vulnerabilidades dos ambientes, para que possa usufruir das potencialidades, utilizando os recursos naturais de modo racional e garantindo a abundância destes bens para as futuras gerações, especialmente quando se referem a Unidades de Conservação.

Deve-se ressaltar que, há necessidade de mais aplicações desta metodologia, para que se avalie o grau de sensibilidade e suas restrições. Pode-se afirmar a eficiência metodológica nesta e na pesquisa de Garofalo (2013), havendo a possibilidade de sua utilizada em outras áreas do país, especialmente em outras Unidades de Conservação.

ANEXOS

Anexo 1: Valores amostrados para as bandas 3 e 4 do satélite, em áreas comuns às duas diferentes cenas, para ajustá-las espectralmente utilizando regressão linear

Banda 4 Cena 1	Banda 4 Cena 2	Banda 3 Cena 1	Banda 3 Cena 2
39,58	42,76	29,47	33,11
43,82	46,75	34,75	38,01
40,89	48,25	31,59	37,95
41,41	44	30,53	33,21
41,95	48,09	31,91	37,74
40,03	43,59	30,98	34,16
42,74	46,68	33,22	36,53
42,55	47,39	32,48	36,31
40,88	43,64	30,95	33,42
42,57	46,37	33,84	37,4
42,91	48,7	32,35	38,25
42,86	47,44	30,95	36,18
39,62	45,13	30,28	34,87
49,95	52,15	35,88	42,83
51,69	52,85	34,57	45,83
49,43	51,25	32,81	41,65
60,51	69,81	37,97	46,02
42,94	46,27	28,43	32,33
50,59	53,65	35,63	49,09
44,22	44,62	32,83	34,84
43,85	45,3	29,92	34,25
44,01	49,21	34,12	39,91
61,51	67,94	20,34	22,61
53,48	59,82	18,75	20,11
57,28	64,98	18,81	20,2
63,45	72,21	16,84	17,84
62,67	71,32	19,66	20,99
45,25	51,79	35,04	41,06
52,74	60,9	18,24	19,24
69,89	79,7	46,07	55,44
55,06	63,35	14,87	16,05
56,2	63,38	16,72	17,72
43,23	46,68	32,89	36,44
56,43	63,6	15,51	16,43
62,74	73,35	17,08	18,22
41,38	42,45	28,93	32,26
33,31	38,31	23,05	27,07
51,27	60,85	21,37	22,87
61,09	66,28	42,51	48,46
61,65	67,6	42,34	49,38
46,91	52,12	34,22	42,53
75,34	85,05	46,23	58,14
50,22	57,06	36,01	41,03
55,38	61,78	41,89	45,72
52,06	59,28	22,31	24,65
64,42	73,47	19,75	20,78
66,9	77,76	18,24	19,58
57,91	64,84	19,03	19,09
56,73	64,3	18,74	17,92
56,75	64,77	21,21	21,08
52,61	59,34	38,5	44,19

65,68	70,38	45,66	51,46
43,26	45,36	33,7	36,37
53,38	58,55	36,25	42,11
51,16	54,42	20,89	25,07
30,65	35,68	20,57	25
48,8	54,36	33,21	44,26
60,6	67,23	43,74	50,18
64,25	65,79	41,11	46,65
43,9	49	32,35	37,55

Anexo 2: Amostragem da banda 3, mostrando os valores X e Y iniciais e o valor de X após a aplicação da regressão linear, para o ajuste espectral

Valor X inicial	Valor X ajustado	Valor Y inicial
29,47	33,78	33,11
34,75	40,44	38,01
31,59	36,45	37,95
30,53	35,12	33,21
31,91	36,86	37,74
30,98	35,68	34,16
33,22	38,51	36,53
32,48	37,57	36,31
30,95	35,65	33,42
33,84	39,29	37,4
32,35	37,41	38,25
30,95	35,65	36,18
30,28	34,80	34,87
35,88	41,86	42,83
34,57	40,21	45,83
32,81	37,99	41,65
37,97	44,49	46,02
28,43	32,47	32,33
35,63	41,54	49,09
32,83	38,02	34,84
29,92	34,35	34,25
34,12	39,64	39,91
20,34	22,28	22,61
18,75	20,28	20,11
18,81	20,35	20,2
16,84	17,87	17,84
19,66	21,42	20,99
35,04	40,80	41,06
18,24	19,63	19,24
46,07	54,70	55,44
14,87	15,39	16,05
16,72	17,72	17,72
32,89	38,09	36,44
15,51	16,19	16,43
17,08	18,17	18,22
28,93	33,10	32,26
23,05	25,69	27,07
21,37	23,58	22,87
42,51	50,21	48,46
42,34	50,00	49,38
34,22	39,77	42,53
46,23	54,90	58,14
36,01	42,02	41,03
41,89	49,43	45,72
22,31	24,76	24,65
19,75	21,54	20,78

18,24	19,63	19,58	
19,03	20,63	19,09	
18,74	20,26	17,92	
21,21	23,37	21,08	
38,5	45,16	44,19	
45,66	54,18	51,46	
33,7	39,11	36,37	
36,25	42,33	42,11	
20,89	22,97	25,07	
20,57	22,57	25	
33,21	38,49	44,26	
43,74	51,76	50,18	
41,11	48,45	46,65	
32,35	37,41	37,55	
29,80	34,20	34,16	Média

Anexo 3: Amostragem da banda 4, mostrando os valores X e Y iniciais e o valor de X após a aplicação da regressão linear, para o ajuste espectral

Valor X inicial	Valor X ajustado	Valor Y inicial
39,58	43,65	42,76
43,82	48,57	46,75
40,89	45,17	48,25
41,41	45,78	44
41,95	46,40	48,09
40,03	44,17	43,59
42,74	47,32	46,68
42,55	47,10	47,39
40,88	45,16	43,64
42,57	47,12	46,37
42,91	47,52	48,7
42,86	47,46	47,44
39,62	43,70	45,13
49,95	55,68	52,15
51,69	57,70	52,85
49,43	55,08	51,25
60,51	67,93	69,81
42,94	47,55	46,27
50,59	56,42	53,65
44,22	49,04	44,62
43,85	48,61	45,3
44,01	48,79	49,21
61,51	69,09	67,94
53,48	59,78	59,82
57,28	64,18	64,98
63,45	71,34	72,21
62,67	70,44	71,32
45,25	50,23	51,79
52,74	58,92	60,9
69,89	78,81	79,7
55,06	61,61	63,35
56,2	62,93	63,38
43,23	47,89	46,68
56,43	63,20	63,6
62,74	70,52	73,35
41,38	45,74	42,45
33,31	36,38	38,31
51,27	57,21	60,85
61,09	68,60	66,28
61,65	69,25	67,6
46,91	52,16	52,12
75,34	85,13	85,05
50,22	56,00	57,06
55,38	61,98	61,78
52,06	58,13	59,28
64,42	72,47	73,47
66,9	75,34	77,76
57,91	64,92	64,84

57,91	64,92	64,84	
56,73	63,55	64,3	
56,75	63,57	64,77	
52,61	58,77	59,34	
65,68	73,93	70,38	
43,26	47,92	45,36	
53,38	59,66	58,55	
51,16	57,09	54,42	
30,65	33,29	35,68	
48,8	54,35	54,36	
60,6	68,04	67,23	
64,25	72,27	65,79	
43,9	48,66	49	
51,08	56,99	56,65	Média

Anexo 4: CD contendo os mapas os mapas apresentados, em imagens de alta resolução