

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA ASSOCIADA AO
CRESCIMENTO DE PROCESSOS EROSIVOS LINEARES E
AOS ASPECTOS SÓCIODEMOGRÁFICOS E FÍSICO-
ESTRUTURAIS**

NATÁLIA DA COSTA SOUZA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. José Augusto de Lollo

São Carlos

2020

da Costa Souza, Natália

DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA ASSOCIADA AO
CRESCIMENTO DE PROCESSOS EROSIVOS LINEARES E AOS
ASPECTOS SÓCIODEMOGRÁFICOS E FÍSICO-ESTRUTURAIS /

Natália da Costa Souza. -- 2020.

198 f. : 30 cm.

Tese (doutorado)-Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos,
São Carlos

Orientador: José Augusto de Lollo

Banca examinadora: Prof. Dr. José Augusto de Lollo, Prof. Dr. Luiz
Eduardo Moschini, Prof. Dr. Edson Augusto Melanda, Profa. Dra. Ana Paula
Camargo Larocca, Profa. Dra. Mariana Abrantes Giannotti

Bibliografia

1. Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra. 2. Processos Erosivos. 3.
Sistemas de Informação Geográfica (SIG). I. Orientador. II. Universidade
Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Ronildo Santos Prado – CRB/8 7325



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Folha de Aprovação

Defesa de Tese de Doutorado da candidata Natalia da Costa Souza, realizada em 22/04/2020.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. José Augusto de Lollo (UNESP)

Prof. Dr. Luiz Eduardo Moschini (UFSCar)

Prof. Dr. Edson Augusto Melanda (UFSCar)

Profa. Dra. Ana Paula Camargo Larocca (USP)

Profa. Dra. Mariana Abrantes Giannotti (USP)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana.

“Quem tem consciência para ter coragem
Quem tem a força de saber que existe
E no centro da própria engrenagem
Inventa contra a mola que resiste

Quem não vacila mesmo derrotado
Quem já perdido nunca desespera
E envolto em tempestade, decepado
Entre os dentes segura a primavera”

Secos e Molhados

AGRADECIMENTOS

Muito obrigada ao meu orientador Prof. Dr. José Augusto de Lollo pela orientação, apoio, colaboração e confiança depositados para realização desta pesquisa.

A todos os professores do programa de pós-graduação em Engenharia Urbana da Ufscar (PPGEU) pelas trocas e pelas disciplinas ministradas durante todos esses anos.

Aos amigos do Carlitão, pela rotina compartilhada: Maria Eugênia, Vagner, Fábio, Monique, Vinícius e Eliane.

Muito obrigada aos técnicos do IPT: Msc. Gérson Almeida e Msc. Aranha Costa, por toda a ajuda com os dados fornecidos, apoio metodológico e fornecimento de material.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (FIPT), pelo apoio financeiro.

Aos amigos de todas as horas e para toda a vida.

Ao meu amor, pela confiança, parceria e aconchego infinitos.

À minha família, especialmente aos meus pais. Eternos e incondicionais incentivadores dos meus sonhos.

SOUZA, N. C. DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA ASSOCIADA AO CRESCIMENTO DE PROCESSOS EROSIVOS LINEARES E AOS ASPECTOS SÓCIODEMOGRÁFICOS E FÍSICO-ESTRUTURAIS 191 P. Tese (Doutorado) – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, 2020.

Novas pesquisas interdisciplinares surgiram visando compreender as múltiplas causas e consequências decorrentes das alterações nas formas de apropriação do espaço. Por isso, é frequente o desenvolvimento de abordagens analíticas que considerem variáveis espaciais, temporais e de vulnerabilidade socioambiental como suporte ao planejamento territorial. É possível elaborar previsões de cenários e prognósticos para áreas que apresentarão vulnerabilidade social e degradação ambiental, fornecendo subsídios ao ordenamento do território e ao desenvolvimento sustentado das atividades antrópicas.

Nesse contexto, justifica-se a análise da associação entre as mudanças de uso e cobertura da Terra, aspectos sócio-demográficos e físico-estruturais e o crescimento de processos erosivos lineares na região da porção média da bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu (sub-bacia hidrográfica do Rio Claro, sub-bacia hidrográfica do Córrego da Capituva e sub-bacia hidrográfica do Rio Bebedouro), entre os anos de 1990 - 2017. Tal período é marcado pela ocupação de áreas urbanas na região e consequente intensificação das alterações de forma de ocupação.

Este estudo apresenta-se como método possível de subsídio às ações de planejamento, monitoramento e de alteração das tipologias de uso e cobertura da Terra. Em linhas gerais, a principal contribuição da pesquisa dá-se no sentido de avaliar quais dimensões sociais, demográficas, físico-estruturais e ambientais estão associadas à dinâmica de transformação do espaço e como podem auxiliar na modelagem de cenários futuros de ocupação do mesmo.

Resumidamente, as etapas do processo metodológico acontecem em 9 procedimentos, que são: definição da série temporal de análise, mapeamento dos processos erosivos lineares identificados na região de estudo, análise da autocorrelação dos processos, coleta de dados de uso e cobertura da Terra, análise de mudanças temporais, seleção de indicadores e variáveis explicativas e a proposta final de modelagem da dinâmica espacial por meio do plugin MOLUSCE – QGIS 2.18.0.

Como resultados, a presente pesquisa discute as principais classes que sofreram oscilações entre aumentos e diminuições de áreas entre os anos analisados, os casos de erosão registrados durante as séries e nas transições de uso ocorridas, além de explorar como influenciam alguns elementos quando inseridos na modelagem de cenários futuros de uso e ocupação da Terra.

PALAVRAS-CHAVE: Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra; Processos Erosivos; Geoinformação; SIG.

SOUZA, N. C. LAND CHANGE COVER DYNAMICS ASSOCIATED WITH THE GULLY EROSION PROCESSES AND SOCIO-DEMOGRAPHIC, PHYSICAL-STRUCTURAL ASPECTS. 191 P. Tese (Doutorado) – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, 2020.

Interdisciplinary researches have emerged in order to understand the multiple causes and consequences resulting from changes in the forms of appropriation of surface. For this reason, it is common to develop analytical approaches that consider spatial, temporal and socio-environmental vulnerability variables as a support for territorial planning. It is possible to prepare previsions of scenarios and prognosis for areas that will present social vulnerability and environmental degradation, providing subsidies for spatial planning and the sustained development of human activities.

In this context, the analysis of the association between land use and land cover changes, socio-demographic and physical-structural aspects and the growth of gully erosion processes in Santa Rita do Passa Quatro –SP (Rio Claro, Córrego da Capituvá and Bebedouro watershed), between the years 1990 – 2017 is justified. This period is marked by the occupation of urban areas in the region and the consequent intensification of changes in the form of occupation.

This study is a possible method of subsidizing actions for planning and monitoring land use and coverage. The main contribution of the research is to assess which social, demographic, physical-structural and environmental dimensions are associated with the dynamics of transforming surface and how they can assist in the modeling of future scenarios for occupying it.

The methodological process takes place in 9 procedures, which are: definition of the analysis time series, mapping of the gully erosion processes identified in the study region, analysis of the processes autocorrelation, collection of land use and coverage data, analysis of temporal changes, selection of indicators and explanatory variables and the final proposal for modeling spatial dynamics using the MOLUSCE - QGIS 2.18.0 plugin.

As a result, the present research discusses the main classes that suffered oscillations between the years analyzed, the cases of erosion registered during the series and in the transitions that occurred, in addition to exploring how they influence some elements when inserted in the modeling future land use scenarios.

KEY WORDS: Land Change Cover dynamic; Gully Erosion; Geoinformation; GIS.

SUMÁRIO

Capítulo I - Introdução.....	8
1.1. Hipóteses	13
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivo Geral	14
1.2.2. Objetivos Específicos	14
1.3. Justificativa.....	15
Capítulo II – Referências Bibliográficas.....	16
2.1. Mudanças no Uso e Cobertura da Terra (“Land Use / Land Change Cover”): Revisão da Literatura	17
2.1.1. A Evolução dos Estudos de Mudança de Uso e Cobertura da Terra	17
2.1.2. Land Change Cover: Análise Bibliométrica.....	23
2.1.3. Mudanças No Uso e Cobertura da Terra do Brasil: Resultados, Análises e Discussões	28
2.2. Erosões Lineares, Degradação do Solo e Dinâmica Espacial do Uso E Cobertura da Terra	35
2.2.1. Processos Erosivos: Definição e Conceitos Gerais	35
2.2.2.1. Erosão Linear.....	38
2.2.3. Fatores Controladores Dos Processos Erosivos.....	47
2.2.4. Processos Erosivos e Sua Relação com os Estudos de Uso e Cobertura da Terra .	48
2.3. A Modelagem da Dinâmica Espacial como uma Ferramenta Auxiliar ao Planejamento	53
2.3.1. Sistemas de Informações Geográficas (SIG) Aplicados às Modelagens de Dinâmica Espacial	55
2.3.2. Componentes Socioeconômicos e Demográficos como Fatores Importantes Nas Modelagens de Dinâmicas Espaciais de Uso e Cobertura da Terra e Estudos Ambientais	58
2.3.3. Autômatos Celulares (CA): Definição, Propriedades e Exemplos.....	61
Capítulo III – Procedimentos Metodológicos	66
3.1. Procedimentos Preliminares: Etapa 1	69
3.1.1. Definição e Breve Caracterização da Área de Estudo.....	69
3.1.2. Definição da Série Temporal de Análise	71
3.1.3. Considerações a Respeito da Escala Cartográfica dos Dados	71
3.2. Processos Erosivos: Etapa 2.....	74
3.2.1. Mapeamento dos Processos Erosivos	74

3.2.2. Análise da Auto Correlação dos Dados de Erosão	78
3.3. Dados de Uso e Cobertura da Terra: Etapa 3	80
3.3.1. Coleta de Dados de Uso e Cobertura da Terra	80
3.3.2. Análise das Mudanças Temporais	82
3.4. Seleção das Variáveis Explicativas: Características Físico – Ambientais e Sociodemográficas: Etapa 4	84
3.4.1. Indicadores e Variáveis Físico-Ambientais:	84
3.4.2. Indicadores e Variáveis Sóciodemográficos:	88
3.4.2.1. Concentração Populacional e Densidade Urbana:	89
3.4.2.2 Índice de Carência Habitacional (ICH)	93
3.5. Análise Final: Proposta de Modelagem da Dinâmica Espacial:	98
Etapa 5	98
Capítulo IV - Resultados	101
4.1. Processos Erosivos Lineares	102
4.1.1. Registros de Processos Erosivos Lineares	102
4.1.2. Análise de Auto Correlação dos Dados de Erosão	107
4.2. Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra - Análise das Mudanças Temporais	118
4.2.1. Dados de Uso e Cobertura da Terra nas Séries Temporais	118
4.2.2. Análise das Mudanças Temporais: Mapas de Transição de Uso	124
4.3. Mapeamentos das Variáveis Físico-Ambientais e Sociodemográficas	136
4.3.1. Variáveis Físico – Ambientais	136
4.3.1.1. Regime Pluviométrico	136
4.3.1.2. Características Topográficas: Declividade e Altimetria	140
4.3.1.2. Mapas de Distância: Rodovias e Rede de Drenagem	142
4.3.2. Variáveis Econômicas e Sociodemográficas	143
4.3.2.1. Concentração Populacional	143
4.3.2.2. Densidade Urbana	143
4.3.2.3. Índice de Carência Habitacional	146
4.4. Modelagem da Dinâmica Espacial: Mapas de Probabilidade de Transição, Simulação de Cenário de Uso e Validação	149
4.4.1. Série I: 1990 – 2000	149
4.4.2. Série II: 2000 – 2010	161
4.4.3. Série III: 2010 – 2017	170

Capítulo V – Considerações Finais.....	185
5.1. Quanto A Metodologia Proposta e Resultados Alcançados:.....	186
5.2. Quanto à Relevância e Aplicabilidade do Tema:	188
Referências Biográficas	189

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: LAND CHANGE COVER: número de documentos por ano de publicação.	8
Figura 2: LAND CHANGE COVER: total anual de documentos por periódicos e ano de publicação	26
Figura 3: LAND CHANGE COVER: documentos por autor.....	27
Figura 4: LAND CHANGE COVER: documentos por país.	27
Figura 5: Mudanças na cobertura da terra no Brasil entre 2010 e 2012.	29
Figura 6: Mudanças na cobertura e uso da terra no Brasil entre 2012 e 2014.....	29
Figura 7: Mudanças no uso e cobertura da Terra entre 1985 – 2017.....	32
Figura 8: Tipos de processos erosivos	38
Figura 9: Formação de processo de sulcos em área rural no município de Cunha (SP).....	40
Figura 10: Formação de sulcos em área de entorno de sistema viário devido à falta de pavimentação no município de Porto Feliz (SP).....	41
Figura 11: Ravinamento em área rural, município de Itaquaquecetuba (SP)	42
Figura 12: Ravina desencadeada pelo lançamento das águas pluviais de área urbana no município de Presidente Venceslau (SP).	43
Figura 13: Voçoroca de evolução acelerada, Pardinho (SP).....	45
Figura 14: Formação de orifício na base do talude, devido à concentração de água do lençol freático (fenômeno de <i>piping</i>), no município de Paraguaçu-Paulista (SP).....	45
Figura 15: Escorregamentos dos taludes da boçorocsd - ação do <i>piping</i> , Bauru (SP).....	46
Figura 16: Representações das células vizinhas (cinza) para duas dimensões. À esquerda: vizinhança de Von Neumann; à direita: vizinhança de Moore.	63
Figura 17: Fluxograma do procedimento metodológico.....	68
Figura 18: Mapa de localização da área de estudo	72
Figura 19: Exemplo de identificação de processos erosivos por meio de imagens de satélite. Em destaque: voçoroca de maior extensão no município de Santa Rita do Passa Quatro.....	(SP) 75
Figura 20: Exemplo de identificação de processos erosivos por meio de imagens de satélite. Em destaque: voçoroca de maior extensão no município de Santa Rita do Passa Quatro (SP). Fonte: USGS - <i>Earth Explorer</i> (imagem Rapid Eye – baixa resolução)	76
Figura 21: Sistematização da área e estudo em quadrículas fixas de 1km ²	77
Figura 22: Fluxograma do procedimento metodológico para proposta da modelagem de dinâmica espacial com o <i>MOLUSCE</i>	100
Figura 23: Divisão da área de estudo em microbacias hidrográficas.....	104
Figura 24: Mapa dos registros dos processos erosivos identificados em cada série temporal analisada.....	106
Figura 25: Mapas binários: ocorrência ou não processos erosivos.....	109

Figura 26: Mapa de Uso e cobertura do solo – 1990. Fonte: Mapbioma, 2018.....	120
Figura 27: Mapa de Uso e cobertura do solo – 2000. Fonte: Mapbioma, 2018.....	121
Figura 28: Mapa de Uso e cobertura do solo – 2010. Fonte: Mapbioma, 2018.....	122
Figura 29: Mapa de Uso e cobertura do solo – 2017. Fonte: Mapbioma, 2018.....	123
Figura 30: Teste de validação do algoritmo de RNA para a geração dos mapas e tabelas de transição. Fonte: <i>QGis® 2.18.0, 2019 - Molusce</i>	125
Figura 31: Mapa de Transição I: de 1990 a 2000. Fonte: Molusce - QGis® 2.18.0, 2019 ...	133
Figura 32: Mapa de Transição II: de 2000 a 2010. Fonte: Molusce - <i>QGis® 2.18.0, 2019</i> ..	134
Figura 33: Mapa de Transição III: de 2010 a 2017. Fonte: Molusce - <i>QGis® 2.18.0, 2019</i> .	135
Figura 34: Mapas da variável de regime pluviométrico. Fonte: SIGRH – 2019	139
Figura 35: Mapas das variáveis de declividade e altimetria	141
Figura 36: Mapas de distâncias: rodovias e drenagem	142
Figura 37: Concentração Populacional. Fonte: IBGE, 2018.....	144
Figura 38: Densidade Urbana. Fonte: IBGE, 2018.....	145
Figura 39: Índice de Carência Habitacional. Fonte: IBGE, 2018	147
Figura 40: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Pastagem para Agricultura e Pastagem no período entre 1990 e 2000	150
Figura 41: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Floresta para Floresta Plantada no período entre 1990 e 2000.....	151
Figura 42: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da Agricultura e Pastagem para Pastagem no período entre 1990 e 2000.....	152
Figura 43: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Agricultura e Pastagem para Floresta no período entre 1990 e 2000.....	153
Figura 44: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Agricultura e Pastagem para Cultura Semi-Perene no período entre 1990 e 2000	154
Figura 45: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Agricultura e Pastagem para Floresta Plantada no período entre 1990 e 2000.....	155
Figura 46: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Floresta para Agricultura e Pastagem no período entre 1990 e 2000.....	156
Figura 47: Mapa simulado de uso e cobertura do solo para 2010. Modelo gerado com inserção de variáveis explicativas físico-estruturais	158
Figura 48: Parâmetros de validação do modelo simulado de uso e cobertura do solo de 2010. Modelo gerado COM a inserção de variáveis explicativas físico-estruturais	159
Figura 49: Parâmetros de validação do modelo simulado de uso e cobertura do solo de 2010. Modelo gerado SEM a inserção de variáveis explicativas	159
Figura 50: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Pastagem para Agricultura e Pastagem no período entre 2000 e 2010	162
Figura 51: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Agricultura e Pastagem para Cultura Semi-Perene no período entre 2000 e 2010	163

Figura 52: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe. Pastagem para Cultura Semi-Perene no período entre 2000 e 2010	164
Figura 53: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Agricultura e Pastagem para Floresta no período entre 2000 e 2010.....	165
Figura 54: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Floresta para Floresta Plantada no período entre 2000 e 2010.....	166
Figura 55: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Floresta para Agricultura e Pastagem no período entre 2000 e 2010.....	167
Figura 56: Mapa simulado de uso e cobertura do solo para 2020. Modelo gerado com inserção de variáveis explicativas físico-estruturais	169
Figura 57: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Agricultura e Pastagem para Cultura Semi-Perene no período entre 2010 e 2017	172
Figura 58: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Cultura Semi-Perene para Agricultura e Pastagem no período entre 2010 e 2017	173
Figura 59: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Pastagem para Agricultura e Pastagem no período entre 2010 e 2017	174
Figura 60: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Agricultura e Pastagem para Floresta no período entre 2010 e 2017.....	175
Figura 61: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Floresta para Agricultura e Pastagem no período entre 2010 e 2017.....	176
Figura 62: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da Agricultura e Pastagem para Pastagem no período entre 2010 e 2017	177
Figura 63: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Floresta para Floresta Plantada no período entre 2010 e 2017.....	178
Figura 64: Mapa simulado de uso e cobertura do solo para 2025. Modelo gerado com inserção de variáveis explicativas físico-estruturais	180

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: <i>LAND CHANGE COVER</i> : número de documentos por periódicos e/ou congressos/simpósios. Fonte: SCOPUS, 2018.....	25
Tabela 2: Variação de uso e cobertura da terra dos biomas brasileiros durante o período de 1985 a 2017, em três principais classes de uso. Fonte: MapBiomias, 2018	32
Tabela 3: Classificação da erosão pelos fatores ativos (Carvalho et al., 2006).....	37
Tabela 4. Características dos dados espaciais utilizados	72
Tabela 5: Tipos de relação horizontal presentes em um mapa binário e suas principais características de contiguidade. (FERREIRA, 2014)	79
Tabela 6: Definição das classes de uso: o campo “New ID” traduz os códigos correspondente no banco de dados das bases georreferenciadas na plataforma. Fonte: Mapbiomas, 2018	81
Tabela 7: Padrões para cálculo de densidade urbana por microbacia – Área de estudo (hab./km ²). Fonte: Adaptado de CODEPLAN (Companhia de Planejamento do Distrito Federal), 2017	92
Tabela 8: Definição das condições de adequação e inadequação do ICH. Fonte: IPPUR / IBGE, 2010 (censo)	94
Tabela 9: Variáveis selecionadas (inadequação) para a composição do (ICH).....	95
Tabela 10: Variação do número de processos erosivos registrados por micro bacias e por série temporal de análise	105
Tabela 11: Contagem das junções entre polígonos de microbacias, segundo tipo de relação horizontal de contiguidade observada no mapa binário de ocorrência de processos erosivos nas séries temporais analisadas.....	108
Tabela 12: Sequenciamento do cálculo de k.....	110
Tabela 13: Procedimento utilizado para cálculo do parâmetro m a partir dos dados da Tabela 9.....	114
Tabela 14: Quantificação das classes em área (km ²), e a diferença entre os períodos, em percentuais.	119
Tabela 15: Dados das transições de uso ocorridas na Série I: 1990 – 2000	126
Tabela 16: Dados das transições de uso ocorridas na Série II: 2000 – 2010.....	127
Tabela 17: Dados das transições de uso ocorridas na Série III: 2010 - 2017	128
Tabela 18: Dados das principais transições de uso ocorridas entre as séries temporais analisadas.....	130
Tabela 19: Dados das transições que cada feição teve como predominante (De – Para)	130
Tabela 20: Dados de processos erosivos registrados associados às áreas de transições nos períodos analisados	132
Tabela 21: Valores das médias finais dos postos pluviométricos utilizados para interpolação dos dados na Série I	137
Tabela 22: Valores das médias finais dos postos pluviométricos utilizados para interpolação dos dados na Série II.....	137
Tabela 23: Valores das médias finais dos postos pluviométricos utilizados para interpolação dos dados na Série III.....	138
Tabela 24: Distribuição dos domicílios nas áreas classificadas em relação às condições de saneamento básico nas séries temporais II e III.....	146
Tabela 25: Percentual de classes de uso do solo.....	160
Tabela 26: Percentual de classes de uso do solo.....	168

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A forma como se dá a expansão e ocupação das cidades por meio das transformações de uso e cobertura da terra revela as particularidades de como cada sociedade se organiza no território constituindo-se, na maioria dos casos, na mais significativa transformação do ambiente natural. Determinada pela demanda de áreas e pelas restrições políticas que direcionam o uso da terra, essas transformações estão fortemente associadas à vulnerabilidade da população, uma vez que, em muitos casos, esses avanços se dão em direção a ambientes frágeis como florestas, encostas e mananciais.

Na era da globalização, a habilidade de adaptação dos espaços produtivos às demandas supranacionais ocorre, muitas vezes, sem comprometimento com a escala local, onde as pessoas vivem e realizam suas atividades. Esse processo transforma os espaços de forma aguda e contribui para o aumento dos riscos pré-existentes e para o surgimento de novos. (NUNES, 2015).

Ainda que a globalização transforme o ambiente em mercadoria agregadora de valor, a relação entre globalização, urbanização e transformação das formas de ocupação da terra é direta, porém conturbada e desigual com desconsideração total ou parcial dos ritmos dos processos físicos, profundas implicações na suscetibilidade dos lugares e na vulnerabilidade das pessoas. Os riscos e desastres representam forte modificação e, por vezes, rupturas das funcionalidades do território, sendo o ápice de um processo contínuo. Suas consequências negativas podem estar mais relacionadas às formas como acontece a ocupação do espaço pela sociedade do que à magnitude do fenômeno desencadeador (NUNES, 2015).

Dessa forma, é possível afirmar que os riscos não são frutos de características ambientais somente, mas da relação entre o meio natural e a (des)organização e (des)estruturação da sociedade no território. Tampouco são meramente conjunturais ou excepcionais, pois refletem as formas como a sociedade se organiza no substrato físico e o tipo de desenvolvimento que somente visa o atendimento de demandas externas, sem considerar os custos socioambientais das transformações que promovem (NUNES, 2015).

No Brasil, a segunda metade do século XX marcou a aceleração do processo de urbanização, acarretando, principalmente, a formação de regiões metropolitanas, a verticalização e o adensamento das áreas já urbanizadas e a expansão urbana para as áreas periféricas.

Um dos principais impactos socioambientais deste processo de intensa urbanização é a apropriação de novos espaços e as transformações de uso e cobertura da terra. Internacionalmente, os efeitos dessas transformações tornaram-se reconhecidos ao longo das últimas décadas como importantes fatores associados às mudanças ambientais globais e estão

interligados de muitas maneiras com as alterações climáticas e ciclo do carbono, perda de biodiversidade, a sustentabilidade da agricultura e o fornecimento de água potável (TURNER, 2002; LAMBIN et al., 2003).

É nesse cenário que novas pesquisas interdisciplinares surgiram, visando compreender as múltiplas causas e consequências decorrentes das alterações nas formas de apropriação do espaço. Por consequência, os conhecimentos do modo e do ritmo de mudança das formas de ocupação da terra constituem um apoio fundamental ao gerenciamento dos recursos naturais e às pesquisas que acompanham as mudanças climáticas (IBGE, 2016). Seus resultados, além de permitirem o monitoramento das mudanças das formas de ocupação e de organização do espaço, possibilitam a detecção de alterações ao longo de determinado período e fornecem importantes subsídios aos estudos que tem como objetivo contribuir para o alcance da sustentabilidade.

De acordo com o Relatório de Mudanças na Cobertura e Uso da Terra no Brasil 2000/2010 – 2012/2014, desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), este assunto está inserido no contexto das Conferências Mundiais sobre Meio Ambiente, da implantação do Sistema de Contas Econômicas Ambientais e recebeu destaque recentemente na elaboração dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS, cuja proposta contém 17 objetivos e 169 metas, envolvendo temáticas diversas que visam a construção da nova agenda de desenvolvimento a ser seguida pelas Nações Unidas.

Há vários exemplos de estudos e bases de dados resultantes das rápidas mudanças de uso e cobertura da terra e dos consequentes desequilíbrios em ecossistemas de importantes regiões do mundo. Turner et al. (2007) afirmou que grande parte do trabalho até os anos 2000 concentraram-se em questões metodológicas e tecnológicas de software e desenvolvimento de *hardware*, melhorando drasticamente a documentação e monitoramento das mudanças de uso da terra e as ferramentas de modelar e projetar as mudanças observadas. Ainda para o autor, o Estado da Arte em "Ciência Terrestre Integrada" evoluiu rapidamente, permitindo avaliações das principais tendências, causas e desenvolvimentos de método de modelo.

Lambin *et al.* (2003) também alertam para o progresso significativo na quantificação e compreensão do uso e cobertura da terra alcançadas na última década. Para Lepers *et al.* (2005), porém, há uma emergência pungente de bons dados de inventários e estatísticas sobre mudanças de uso e cobertura da terra em diversas escalas, aumentadas pela insuficiência de indicadores de condição, status e tendências do ambiente global.

A literatura recente indica que para além das necessidades científicas do desenvolvimento de uma documentação sistemática das mudanças na cobertura da terra ao longo das últimas décadas, há uma indispensabilidade em entender essas transformações do ponto de vista das suas consequências para o bem-estar da humanidade. Em outras palavras, abordagens capazes não somente de mensurar probabilidades de ocorrência de um fenômeno ambiental que coloque em perigo uma população ou um lugar, mas que leve em conta fatores socioeconômicos e políticos que estão associados à ocorrência dos mesmos.

Para Martínez e Mollicone (2012), é preciso relacionar as alterações de uso e cobertura da terra aos motores econômicos por trás das ações humanas que promovem tais alterações. Almeida (2010) também destaca a relação entre a visão dos fatores físicos em tais pesquisas e a complexidade das ações humanas envolvidas que promovem tais alterações.

Ainda segundo o autor, o crescimento das desigualdades sociais e da segregação socioespacial advinda do trinômio capitalismo-industrialização-urbanização, em correlação com a degradação do ambiente, fez surgir uma abordagem teórico-metodológica que procurou enfocar os riscos ambientais não apenas do ponto de vista de seus fatores físicos, mas considerando as populações e as dinâmicas de apropriação do meio pelo homem. Sendo assim, a caracterização do uso da terra contribui para o entendimento da distribuição das principais atividades econômico-produtivas da região e para compreensão das inter-relações entre as formas de ocupação e a intensidade dos processos responsáveis pela degradação do meio físico.

Principalmente em áreas que vivenciam altas taxas de alteração de suas formas naturais, é comum que ocorram fenômenos de riscos induzidos principalmente pela alteração na cobertura vegetal dos solos e desmatamento de áreas verdes. Dentre esses fenômenos, destacam-se os processos erosivos lineares (ravinas e voçorocas) definidos brevemente como sendo processos de desagregação e remoção das partículas do solo pela ação combinada da gravidade com a água.

Esses processos guardam estreitas relações com as transformações de uso e cobertura das regiões onde ocorrem, uma vez que a remoção da cobertura vegetal do solo favorece o aparecimento ou o aceleração desses eventos por meio da capacidade de infiltração. A infiltração diminui o escoamento superficial e, conseqüentemente, a capacidade de erosão. A participação da cobertura vegetal na caracterização morfodinâmica da unidade de paisagem está, portanto, diretamente ligada à sua capacidade de proteção.

A ocupação desordenada e o desencadeamento de processos erosivos podem ocasionar perdas significativas ao meio ambiente e às atividades econômicas, tais como:

comprometimento da produtividade dos solos, inviabilização do uso de água de reservatórios, perdas materiais, pessoas ou populações desabrigadas, e até perdas humanas irreparáveis (SOUZA, 2015).

Baseado nisso, é frequente o desenvolvimento de abordagens analíticas que considerem variáveis espaciais, temporais e de vulnerabilidade socioambiental como suporte ao planejamento territorial. Dessa forma, é possível desenvolver previsões de cenários e prognósticos para áreas que apresentarão vulnerabilidade social e degradação ambiental, fornecendo subsídios ao ordenamento do território e ao desenvolvimento sustentado das atividades antrópicas.

Inserida nesse contexto, justifica-se a análise da associação entre as mudanças de uso e cobertura da terra, aspectos sóciodemográficos e físico-estruturais e o crescimento de processos erosivos lineares na região da porção média da bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu (sub-bacia hidrográfica do Rio Claro, sub-bacia hidrográfica do Córrego da Capitiva e sub-bacia hidrográfica do Rio Bebedouro), no período 1990 - 2017. Tal período é marcado pelo aceleramento do processo de urbanização na região e consequente intensificação das alterações de forma de ocupação.

Dessa forma, este estudo apresenta-se como método possível de subsídio às ações de planejamento, monitoramento e de alteração das formas de ocupação do solo. Em linhas gerais, a principal contribuição da pesquisa dá-se no sentido de avaliar quais dimensões sociais, demográficas, físico-estruturais e ambientais estão associadas à dinâmica de transformação do espaço e como podem auxiliar na modelagem de cenários futuros de ocupação do mesmo.

1.1. HIPÓTESES

Para a presente pesquisa, duas hipóteses serão testadas:

- I). Se existem relações entre as alterações das tipologias de uso e cobertura da terra – e consequentes dos processos de ocupação da mesma - e o aparecimento de processos erosivos lineares;

- II) As transições entre diferentes classes de uso e cobertura da terra favorecem o aparecimento de processos erosivos lineares na área de estudo;

- III). Se alguns elementos das dimensões sociais, demográficas e físico-estruturais podem influenciar na geração dos modelos finais de cenários futuros de uso e ocupação da terra.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa propõe observar a variação da ocorrência de processos erosivos durante uma série temporal de 27 anos e gerar modelos dinâmicos espaciais da paisagem na região da porção média da bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu (Santa Rita do Passa Quatro – SP) para analisar os resultados obtidos a partir da inclusão de variáveis de aspectos sócio-demográficos, físico-estruturais e dos registros de erosão mapeados na elaboração desses modelos.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Registro, mapeamento e caracterização da dinâmica de ocorrência dos processos erosivos identificados nas bacias estudadas;
- Análise da existência de autocorrelação espacial dos processos erosivos registrados na área de estudo: identificação de padrões na distribuição espacial das erosões existentes;
- Identificação e mensuração das alterações nas tipologias de uso e cobertura da terra no período proposto;
- Seleção e mapeamento dos principais aspectos **sócio-demográficos, físico-estruturais** relacionados à dinâmica de ocupação do território;
- Previsão de cenários de prognósticos relacionados às formas de apropriação do território considerando os elementos estudados e a partir da modelagem dinâmica espacial baseada na metodologia de autômatos celulares e
- Fornecimento de mapas de probabilidade de transição referente as conversões das tipologias de uso analisadas.

1.3. JUSTIFICATIVA

Pode-se afirmar que há uma estreita inter-relação entre aspectos sócio-demográficos, mudanças na cobertura e uso da terra e questões e características ambientais globais e regionais.

Um dos desafios coletivos mais significativos está relacionado ao gerenciamento da transformação da superfície terrestre que ocorre devido às mudanças no uso e formas de ocupação da terra. Como resultado, esses estudos tornaram-se uma parte essencial do gerenciamento de recursos naturais, além de ser aspecto fundamental para a compreensão dos padrões de organização das sociedades.

Prever como as mudanças no uso da terra afetam a degradação da terra e a vulnerabilidade de lugares e pessoas requer uma boa compreensão da dinâmica das interações homem-ambiente associadas às formas de apropriação do espaço. Conforme exposto anteriormente, as pesquisas recentes sugerem que as análises das causas das mudanças na forma de ocupar a terra migraram de concepções simplistas para um entendimento que integra múltiplas causas e suas interações complexas.

Os processos erosivos lineares e outros fenômenos responsáveis por causarem alteração na cobertura natural do solo e consequente perda de biodiversidade, degradação ambiental e desequilíbrios hidrológicos, são influentes impulsionadores da mudança da paisagem induzida pelas atividades antrópicas. Nessas circunstâncias, acredita-se que as abordagens de estudos de riscos geológicos-geotécnicos combinadas com elementos que compõem a dinâmica de uso e cobertura da terra são capazes de contribuir com os métodos recentes de interpretação das formas de apropriação humana do território, indo de acordo com as metodologias atuais.

CAPÍTULO II

REFERENCIAL TEÓRICO_____

O levantamento bibliográfico foi realizado levando em consideração as três principais áreas do conhecimento pertinentes ao tema abordado neste trabalho. Desta forma, para a presente pesquisa, foram discutidos conceitos referentes aos chamados estudos de mudança no uso e cobertura da terra (“*land use*”, “*land cover change*”), de classificações e definições sobre processos erosivos lineares, bem como sua relação com os estudos de uso e cobertura da terra e a modelagem de dinâmicas espaciais como ferramentas de planejamento: Sistemas de Informações Geográficas (SIG), formas de aplicações, métodos de aplicação, a importância do uso de componentes sociais nas modelagens de dinâmicas espaciais e o uso de autônomos celulares: definição e propriedades do algoritmo.

2.1. MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA (“LAND USE / LAND COVER CHANGE”): REVISÃO DA LITERATURA

2.1.1. A EVOLUÇÃO DOS ESTUDOS DE MUDANÇA DE USO E COBERTURA DA TERRA

Várias são as definições para os termos solo (terra), uso do solo e mudanças de uso do solo, os quais variam com a finalidade de aplicação e o contexto de seu emprego (Briassoulis, 2000).

De acordo com Stewart (1968), no âmbito das ciências naturais: “o termo terra é usado em um sentido amplo, integrado, para referir-se a um vasto espectro de atributos de recursos naturais em um perfil que vai desde a atmosfera até alguns metros abaixo da superfície terrena. Os principais atributos são clima, relevo, solo, vegetação, fauna e recursos hídricos”.

Do ponto de vista da Economia, Hoover e Giarratani (1984) afirmam que terra, a princípio, denota espaço. As qualidades da terra incluem, adicionalmente, atributos como propriedades topográficas, estruturais, agrícolas e minerais; o clima; a disponibilidade de ar e água; e finalmente, uma gama de características subliminares tais como tranquilidade, privacidade, aparência estética e outras. A cobertura da terra pode ser entendida pelos atributos da superfície terrestre incluindo a biota, o solo, topografia, águas superficiais e subterrâneas e as estruturas humanas (Lambin et. al., 2003).

Turner e Meyer (1994) definem uso do solo, por sua vez, a destinação que o Homem dá à terra. Skole (1994) completa afirmando que “uso do solo é o emprego humano de uma determinada cobertura da terra, o meio pelo qual a atividade humana se apropria dos resultados

da produção primária líquida (“*Net Primary Production*” – NPP, em inglês) conforme determinado por um complexo de fatores socioeconômicos”.

Já FAO/IIASA (1993) apud Almeida (2004) afirmam que “uso do solo diz respeito à finalidade para a qual a terra é usada pela população humana local e pode ser definida como as atividades humanas que estão diretamente relacionadas à terra, fazendo uso de seus recursos ou tendo um impacto sobre eles”

Por fim, para Briassoulis (2000) o termo mudança de uso do solo significa, da forma mais simples possível de ser explicada, transformações quantitativas na área (aumento ou diminuição) de um dado tipo de uso do solo. Jones e Clark (1997) completam dizendo que ela pode envolver a conversão de um uso em outro, ou a modificação de um certo tipo de uso.

Para (Briassoulis, 2000), essas diversidades de conceitos revelam como diferentes disciplinas teorizam e modelam mudanças de uso da terra.

De acordo com Turner (2002), o interesse sobre as mudanças na cobertura do solo e na forma como as pessoas usam a terra se tornaram mais significativamente reconhecidas nas últimas quatro décadas como importantes mudanças ambientais globais diante da preocupação com a degradação das florestas tropicais, sendo estas consideradas os ecossistemas mais ricos e valiosos da superfície terrestre. Por esse motivo, as abordagens relacionadas a esse tema estão interligadas de muitas maneiras com outras questões como com as mudanças climáticas e o ciclo do carbono, com a perda de biodiversidade, com a sustentabilidade da agricultura e com o fornecimento de água potável segura.

Lambin et al. (2003) complementam afirmando que as preocupações sobre a mudança de uso e cobertura da terra surgiram na agenda de pesquisa sobre mudança ambiental há várias décadas com a percepção de que os processos das alterações na superfície da terra influenciam o clima. Mais especificamente, os autores detalham que em meados da década de 1970 foi reconhecido que a mudança da cobertura da terra modifica o albedo da superfície e, portanto, as trocas de energia têm impacto no clima regional. No início dos anos 80, ecossistemas terrestres como fontes e sumidouros de carbono foram destacados; isso ressaltou o impacto da mudança de uso e cobertura da terra no clima global através do ciclo do carbono.

Mais tarde, novas formas de impactos da mudança de uso e cobertura da terra nos bens e serviços ecossistêmicos foram identificados. Ainda de acordo com Lambin et al. (2003) uma das principais preocupações eram os impactos na diversidade biótica em todo o mundo, a degradação do solo, a capacidade dos sistemas biológicos para apoiar as necessidades humanas, a vulnerabilidade de lugares e de pessoas a perturbações climáticas, econômicas ou sociopolíticas. Resumidamente, a ideia é de que, quando agregados globalmente, as alterações

nas formas de uso e ocupação da terra afetam significativamente aspectos centrais do funcionamento do sistema terrestre.

Côrtes e D'Antona (2014) destacam que a investigação sobre as mudanças no uso e na cobertura da terra foram fortemente conduzidas ao longo da década de 1980 por diversas disciplinas, mas de modo não integrado. Tal deficiência justificou a criação do projeto *Land-use and Land-cover Change* (Mudança de cobertura e uso da terra, em português) (LUCC), pela *International Human Dimensions Programme* (Programa Internacional das Dimensões Humanas das Mudanças Ambientais Globais, em português) (IHDP) em 1994. Os objetivos eram responder como as ações antrópicas e biofísicas comprometem o uso e a cobertura da terra e quais os impactos ambientais e sociais dessas alterações a partir de análises comparativas, observações empíricas e formulações de modelos integrados regionais e globais (SHERBININ, 2002). Em 2006 foi lançado o livro *Land-use and land-cover change: local process and global impacts*, organizado por Eric Lambin e Helmut Geist, considerado um produto final do Projeto LUCC – encerrado em 2005. Da mesma cooperação institucional, nasceu o Global Land Project cuja atual sede é no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no Brasil. O projeto sequencial foi conduzido pela constatação das relações entre tomada de decisão, serviços ecológicos e mudança ambiental, em um sistema retroalimentar entre população e ambiente, em escalas local, regional e global.

Ainda nesse contexto, diversos pesquisadores melhoraram as técnicas de medições de mudanças o que favoreceu o estabelecimento de uma rede de cientistas em todo mundo para realizar pesquisas interdisciplinares sobre as mudanças globais e sobre o sistema terrestre com o objetivo de entender e fornecer respostas sobre as alterações ambientais em curso no planeta. Exemplo disso foi o *International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change* (IHDP), um programa de pesquisa que estudou os aspectos humanos e sociais do fenômeno da mudança global, com sede nos Estados Unidos. Esse tenha sido, talvez, o maior exemplo de projeto mundial no tema de “*Land Use*” que possibilitou a forma de pensar a dinâmica da forma de ocupação e alteração da cobertura da terra no planeta.

Também recentemente, foi criado o MapBiomas no Brasil: uma iniciativa multi-institucional envolvendo universidades, ONGs e empresas de tecnologia que juntas contribuem para o entendimento das transformações do território brasileiro a partir do mapeamento anual da cobertura e uso do solo no país. O projeto gerou um mapa anual de cobertura e uso da terra para cada ano entre 1985 e 2017 com resolução de 30 metros em todo território brasileiro.

Até a década de 1990, muitos pensavam que as formas de alteração consistiam principalmente na conversão de florestas virgens para usos agrícolas (desmatamento) ou

destruição da vegetação natural pelo pastoreio, o que leva a condições de deserto (desertificação). Essas conversões foram consideradas muitas vezes irreversíveis.

Pesquisas mais recentes dissiparam essas simplificações e as substituíram por uma representação de processos muito mais complexos. A compreensão das causas de mudança no uso e cobertura da terra mudou de representações simplistas para um entendimento muito mais profundo que envolve interações específicas da situação entre um grande número de fatores em diferentes escalas espaciais e temporais. A riqueza das explicações aumentou, muitas vezes, à custa da generalidade das mesmas.

Na última década (2000), a literatura indica que, no que se refere aos estudos de alterações das mudanças de uso e cobertura, as principais contribuições foram no campo da compreensão das causas das mudanças e da capacidade da geração de modelos preditivos das dinâmicas de alteração (Lambin et al., 2013). Ao final da década de 1990, sugere-se a coexistência de duas e divergentes perspectivas explicativas: uma derivava de um modelo unidimensional e simples; e outra originada de um modelo multidimensional e complexo. A primeira compreendia o crescimento populacional, a pobreza e a agricultura itinerante dos pequenos produtores (*shifting cultivation*) como as causas primárias do desmatamento. Para a segunda, o desmatamento era consequência do arranjo de variados fatores, locais e escalas espaciais (Côrtes e D'Antona, 2014).

Baseado em Agarwal et. al (2000), uma leitura dos principais tipos de análises e métodos empregados nos estudos das alterações de uso e cobertura da terra foram resumidos em uma revisão teórica-metodológica intitulada “*A Review and Assessment of Land-Use Change Models: Dynamics of Space, Time, and Human Choice*”. Os autores apresentam um estudo em formato de relatório de diferentes tipos de modelos como meio de explorar a funcionalidade e capacidade de diferentes abordagens.

Inicialmente, examinam um conjunto de 250 citações relevantes em toda literatura internacional e desenvolvem uma seleção de 136 documentos. Desses 136 artigos, um conjunto de 19 modelos de uso da terra foi revisado representando um conjunto mais amplo de modelos identificados a partir de parâmetros espaciais, temporais e escalas de tomada de decisão: (1) resolução espacial e extensão, (2) tempo e duração, e (3) agente de decisão e domínio.

De acordo com os autores, esses métodos selecionados são resultados das influências na pesquisa e no desenvolvimento de ferramentas avançadas para modelagem e análise, dos desafios ambientais globais que levaram a um crescente interesse na política ambiental e ao interesse que estimulou o aumento do apoio à pesquisa interdisciplinar. Além disso, ferramentas sofisticadas para modelagem de simulação, incluindo sistemas de informações

geográficas (SIG) e software de modelagem matemática foram desenvolvidos. Em conjunto, muitos modelos teóricos de tomada de decisão humana e comportamento também foram lançados.

Abaixo serão listados os 19 mais relevantes modelos selecionados e publicados na literatura elencados pelo estudo de Agarwal et. al (2000). Eles incluíram modelos de Markov, modelos de função logística, modelos de regressão, modelos econométricos, modelos de sistemas dinâmicos, modelos de simulação espacial, modelos de planejamento linear, modelos de planejamento matemático não linear, modelos GIS mecanicistas e autômatos celulares. São eles:

1. General Ecosystem Model (GEM) (Fitz et al. 1996)
2. Patuxent Landscape Model (PLM) (Voinov et al. 1999)
3. CLUE Model (Conversion of Land Use and Its Effects) (Veldkamp and Fresco 1996a)
4. CLUE-CR (Conversion of Land Use and Its Effects – Costa Rica, Veldkamp and Fresco 1996b)
5. Area base model (Hardie and Parks 1997)
6. Univariate spatial models (Mertens and Lambin 1997)
7. Econometric (multinomial logit) model (Chomitz and Gray 1996)
8. Spatial dynamic model (Gilruth et al. 1995)
9. Spatial Markov model (Wood et al. 1997)
10. CUF (California Urban Futures) (Landis 1995, Landis et al. 1998)
11. LUCAS (Land Use Change Analysis System) (Berry et al. 1996)
12. Simple log weights (Wear et al. 1998)
13. Logit model (Wear et al. 1999)
14. Dynamic model (Swallow et al. 1997)
15. NELUP (Natural Environment Research Council [NERC] – Economic and Social Research Council NERC/ESRC Land Use Programme [NELUP]) (O’Callaghan 1995)
16. NELUP - Extension, (Oglethorpe and O’Callaghan 1995)
17. FASOM (Forest and Agriculture Sector Optimization Model) (Adams et al. 1996)
18. CURBA (California Urban and Biodiversity Analysis Model) (Landis et al. 1998)
19. Cellular automata model (Clarke et al. 1998, Kirtland et al. 1994)

Sendo assim, de acordo com Parker (2004), podemos resumir os 19 mais importantes modelos em sete principais aplicações, que são:

- Modelos baseados em equações;
- Técnicas estatísticas;
- Modelos baseados em consultas de especialistas;
- Sistemas de autômatos celulares e cadeias de Markov;
- Sistemas híbridos e
- Sistemas multi-agentes.

A partir dos anos 2000, destaca-se a redefinição teórica e metodológica nos estudos sobre mudança no uso e cobertura da terra. Por conta da variabilidade e complexidade do seu objeto o campo se fortaleceu como multidisciplinar e, essencialmente, aberto às análises multiescalares (Côrtes e D'Antona, 2014).

Considera-se que o presente trabalho propõe analisar os padrões de uso e mudança da terra acompanhando a evolução desses estudos e aplicação do tema em áreas multidisciplinares. Dessa forma, os modelos gerados e a inserção de variáveis sócio-demográficas, físico-estruturais e ambientais (mapeamento das feições erosivas) revela a características de uma pesquisa que considera a complexidade do tema, que envolve interações específicas da situação entre um grande número de fatores em diferentes escalas espaciais e temporais.

2.1.2. LAND CHANGE COVER: ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A busca por instrumentos de avaliação que expressem o padrão de excelência de publicações para algum campo de interesse específico da ciência, vem crescendo ano após ano. Com vista a esse fato, tem se multiplicado o número e o tipo de indicadores para mensurar a qualidade dos materiais divulgados, por exemplo, os indicadores bibliométricos (ANDRADE, 2012).

De acordo com Andrade (2012), a comunidade científica passou a apresentar discussões sobre a acessibilidade das informações fiáveis, idealizando desde aplicações para mensurar a qualidade destas informações, teorias ou “normas” que favorecessem a produção do conhecimento até métodos que facilitariam identificar, caracterizar ou recuperar informações. Assim, desenvolveu-se a bibliometria como uma importante ferramenta para mensurar de forma matemática e estatística a comunicação escrita.

Devido ao contínuo crescimento da produção de informações, a bibliometria facilita a identificação do estado da arte das pesquisas científico-tecnológicas contando com diversos insumos que fornecem dados para a estratificação de indicadores da memória intelectual existente: análise de produtividade de autores, de citação, de referência, de frequência de palavras, entre outros. A aplicação de procedimentos e técnicas bibliométricas sobre o perfil de autores que disponibilizam seus resultados em periódicos científicos pode contribuir para a melhoria do processo de produção, gestão e disseminação dos conhecimentos, destacando pesquisas e dando visibilidade aos trabalhos. E de forma evidente vem tornando-se uma importante ferramenta para aumentar a representatividade das pesquisas brasileiras junto às publicações internacionais (FERREIRA, 2010).

Para a obtenção dos dados a serem analisados sobre as publicações relacionadas ao tema *LAND USE/LAND CHANGE COVER*, foi utilizada o banco de dados da Scopus que, de acordo com a Elsevier (2017), é a maior base de dados de resumos e citações de literatura científica revisada por pares. Essa base oferece ferramentas para rastrear, analisar e visualizar pesquisas nas áreas de ciência, tecnologia, medicina, ciências sociais, artes e humanidades.

A pesquisa foi realizada no mês de outubro de 2018, utilizando como palavra chave o termo “LAND COVER CHANGE”, em áreas diversas da ciência, tais como engenharia, geologia, geografia, agronomia, demografia, sistemas de informações geográficas, etc. Foram considerados artigos publicados em periódicos, conferências, revisões bibliográficas, capítulos de livros e artigos já aceitos por periódicos e que estão em processo de publicação. Baseado no histórico sobre o desenvolvimento do tema no campo acadêmico, a pesquisa realizou a busca

de trabalhos publicados entre os anos de 1970 a 2018, de forma a se obter um panorama geral referente aos estudos realizados no mundo ao longo dos últimos 40 anos.

Os gráficos e tabelas (Tabela 1 e Figuras de 1 a 4) a seguir discutem e sintetizam o material encontrado.

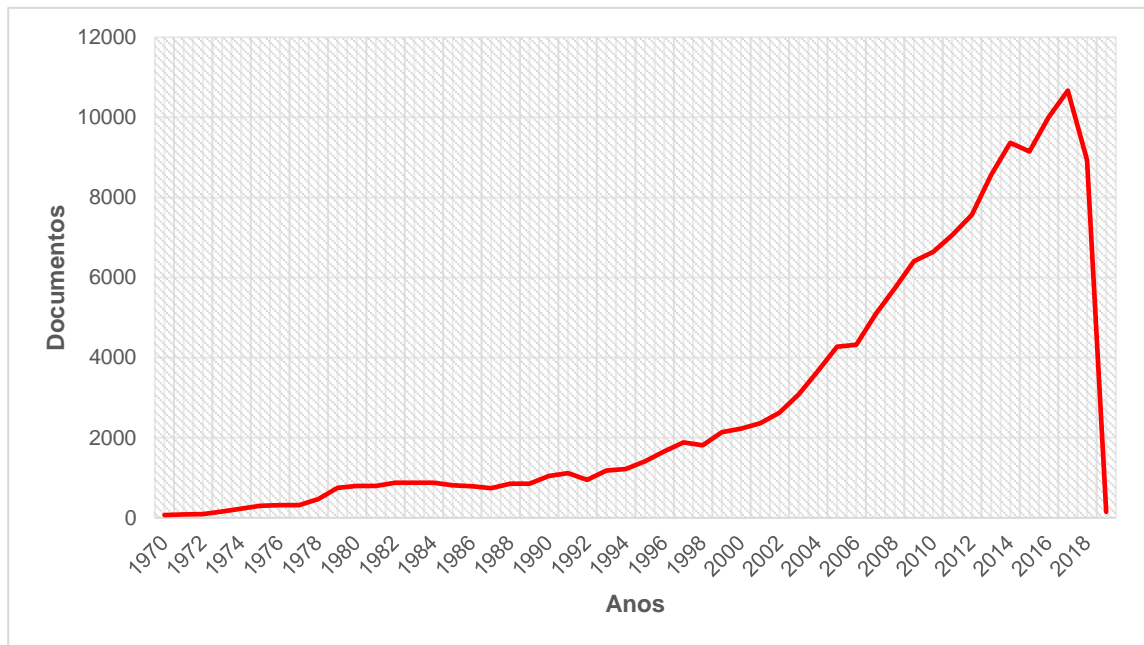


Figura 1: LAND CHANGE COVER: número de documentos por ano de publicação. Fonte: SCOPUS, 2018

O gráfico da Figura 1 representa o total de publicações por ano. Por meio dele é possível observar que o período que caracteriza o “boom” das pesquisas sobre mudanças de uso e cobertura no mundo, coincidindo, como dito anteriormente, com as novas abordagens metodológicas proporcionadas a partir dos anos 2000, entre outros elementos, pela demografia e estudos populacionais. Entre os anos de 2014 a 2018 o número de publicações sobre o tema atingiu seu pico máximo, chegando a mais 10.000 anuais pelo mundo todo.

Tabela 1: *LAND CHANGE COVER*: número de documentos por periódicos e/ou congressos/simpósios. Fonte: SCOPUS, 2018

Periódicos	Total de documentos
International Geoscience And Remote Sensing Symposium IGARSS	2.183
Land Use Policy	1.843
Science Of The Total Environment	1.680
Proceedings Of SPIE The International Society For Optical Engineering	1.679
International Journal Of Remote Sensing	1.498
Landscape And Urban Planning	1.175
Agriculture Ecosystems And Environment	1.075
Remote Sensing Of Environment	1.075
Environmental Management	1.046
Environmental Monitoring And Assessment	1.006
Journal Of Environmental Management	1.005
Transactions Of The Chinese Society Of Agricultural Engineering	998
Plos One	998
Journal Of Hydrology	931
Forest Ecology And Management	905
Remote Sensing	858

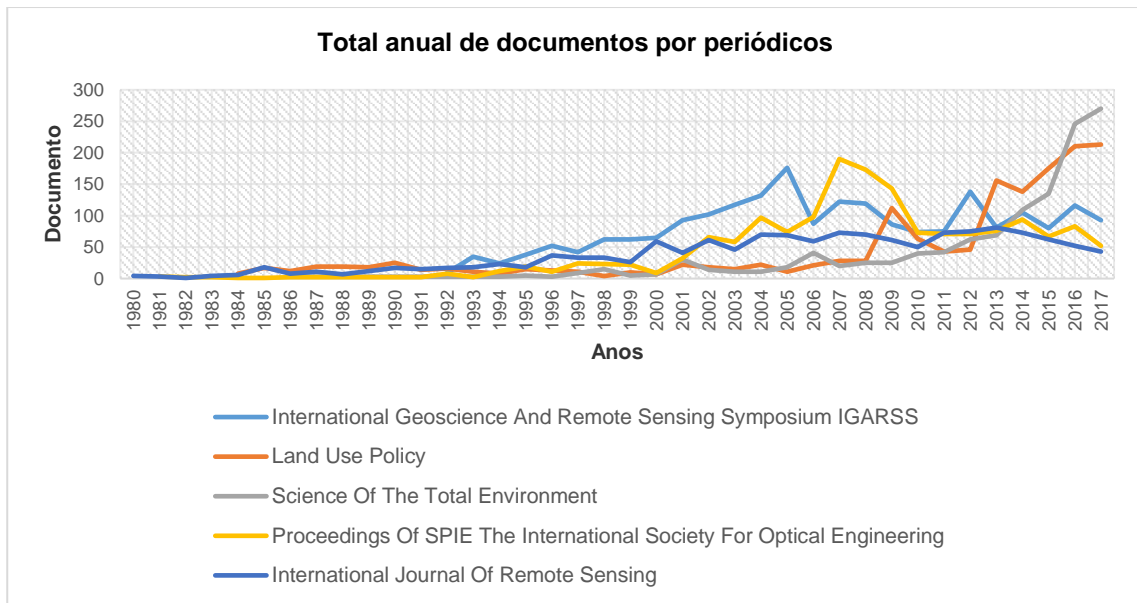


Figura 2: LAND CHANGE COVER: total anual de documentos por periódicos e ano de publicação. Fonte: SCOPUS, 2018

A Tabela 1 e o gráfico da Figura 2 apresentam os principais periódicos e congressos mundiais relacionados ao tema, além do total anual de documentos por periódicos e ano de publicação. Como destaque de maior produção, o congresso *International Geoscience And Remote Sensing Symposium IGARSS* aparece em primeiro lugar, com mais de 2.000 abordagens sobre o tema, seguido da revista *Land Use Policy* (1.843 documentos publicados).

Do total das principais revistas/órgãos/instituições da área, a grande maioria pertence ao campo das Geociências, com exceção da SPIE, a Sociedade Internacional de Ótica e Fotônica (SBFoton), que ganha destaque no campo de publicações do tema na área de Sensoriamento Remoto (*Journal of Applied Remote Sensing – SPIE Journal*).

Por fim, os gráficos das Figuras 3 e 4 ilustram a relação dos documentos por autor (autores mais citados e com maiores publicações) e o número de publicações por país.

Estados Unidos e China lideram o ranking de publicações, seguidos por Reino Unido, Alemanha e Canadá. O Brasil é o único país tropical que aparece na lista dos maiores países com número de publicações, e ocupa as mesmas posições de Índia, Itália, França e Holanda.

Acredita-se que a pesquisa aqui desenvolvida contribua para o fortalecimento do tema principalmente no campo das Geociências, destacando a abordagem das novas metodologias, principalmente com o uso de informações espaciais, modelagens, análises multiescalares e temporais, sobretudo a partir do final da década de 2010.

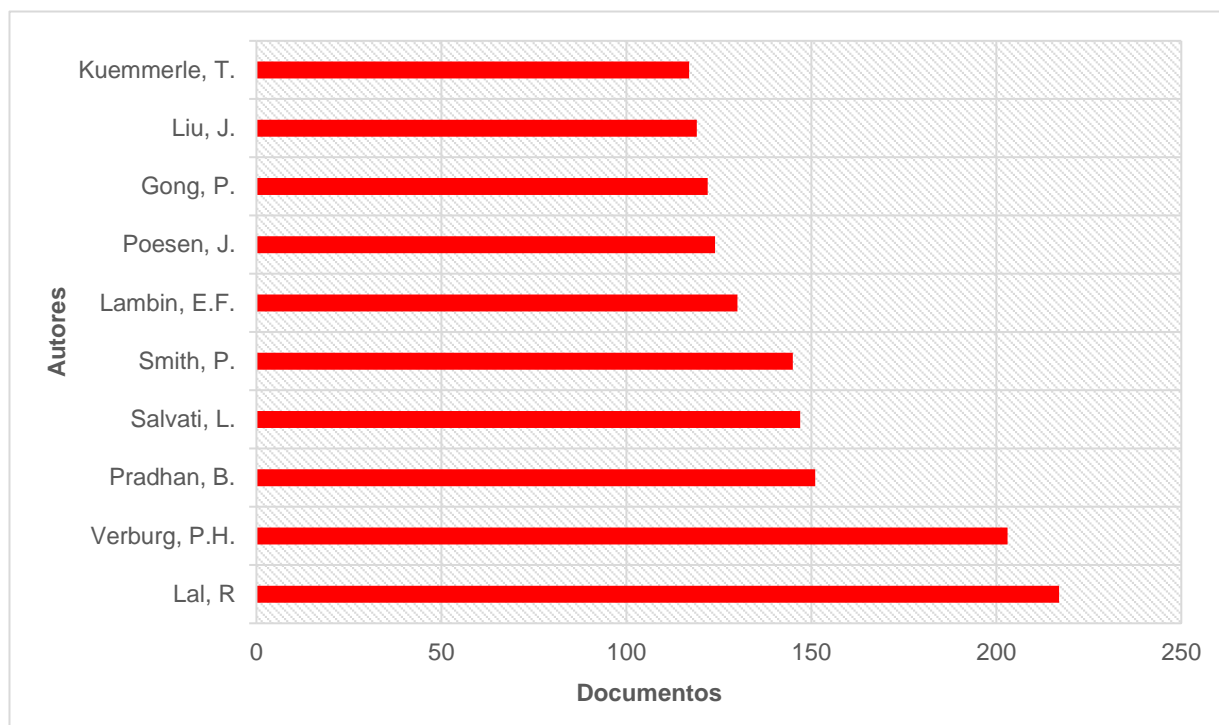


Figura 3: LAND CHANGE COVER: documentos por autor. Fonte: SCOPUS, 2018

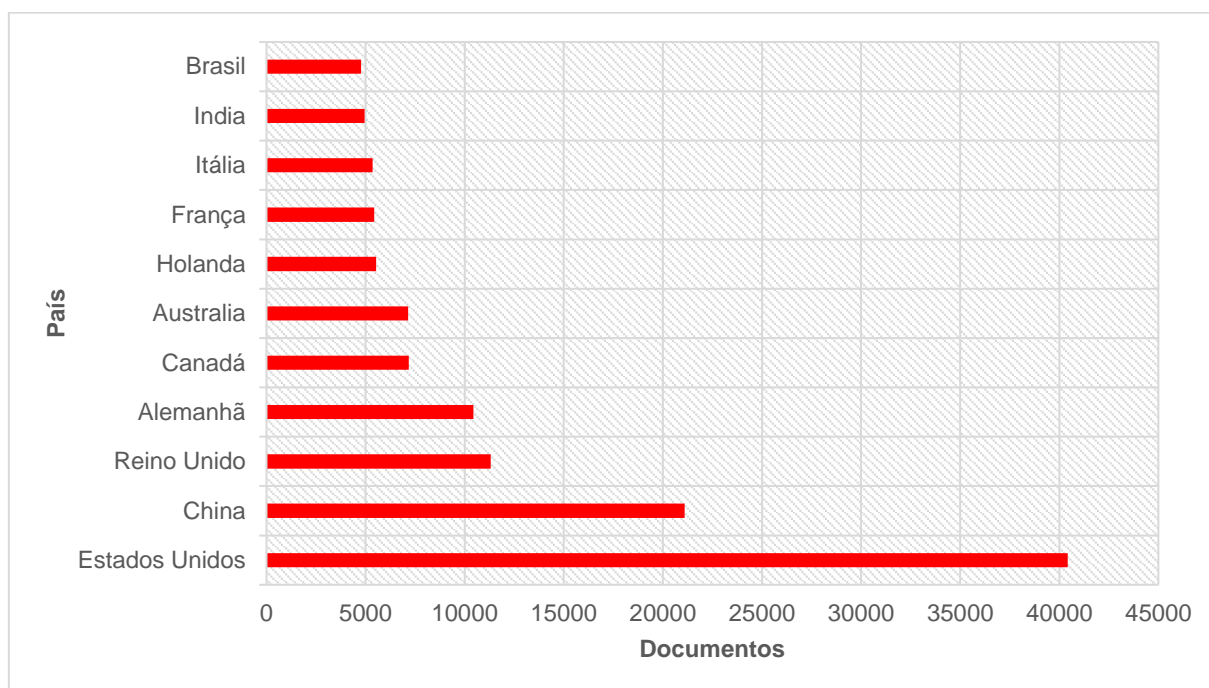


Figura 4: LAND CHANGE COVER: documentos por país. Fonte: SCOPUS, 2018

2.1.3. MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA DO BRASIL: RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÕES

Diversas temáticas envolvendo a produção de dados sobre mudanças e as estimativas das alterações nas formas de uso e ocupação da terra estão inseridas no contexto das Conferências Mundiais sobre Meio Ambiente, da implantação do Sistema de Contas Econômicas Ambientais e recentemente receberam destaque na elaboração dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, mais especificamente no objetivo número 15, cuja proposta é “proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade.

O mapeamento da cobertura e uso da terra, repetido em intervalos de tempo regular, permite a detecção de alterações na dinâmica das formas de ocupação e de organização do espaço. Do mesmo modo, esses resultados, traduzidos em valores numéricos agregados, fornecem importantes subsídios aos estudos que avaliam o estado dos ecossistemas, permitindo a mensuração de seus estoques em termos de área existente, apontando os principais fluxos de alteração e os principais vetores indutores das pressões exercidas pela atividade humana sobre a utilização desses recursos naturais (IBGE, 2016).

O texto a seguir apresenta os resultados mais recentes das alterações ocorridas no Brasil. Os dados são resultados dos estudos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, que publicou uma análise exclusiva das mudanças na cobertura e uso da terra do Brasil nos entre os períodos de 2000, 2010, 2012 e 2014. A publicação de 2016 é parte do projeto com objetivo de sensibilizar o Brasil e os países da América Latina sobre a importância da integração das estatísticas econômicas e ambientais, com a implementação de um quadro de referência comum: o Sistema de Contabilidade Econômico-ambiental (*International Seminar on Accounting Environment Statistics and Environmental-Economic*). Como complemento às informações publicadas pelo IBGE, o item apresenta também dados trazidos pela plataforma MapBiomass, com ilustrações em forma de infográfico sobre as principais mudanças ocorridas em território brasileiro em um período de mais de 30 anos.

De acordo com o IBGE, no período 2012-2014 cerca de 4,6 % do território brasileiro sofreram algum tipo de alteração. Esta taxa de mudança é ligeiramente maior que a observada no período anterior, que foi de 3,5 %. Parte desta diferença deve-se a revisões motivadas pela disponibilização de novos insumos, como os novos mapeamentos estaduais de vegetação e de

uso da terra, publicados pelo IBGE, e as imagens de satélite LANDSAT 8, cujo comissionamento ocorreu em 2013. Entretanto, a maior parte desta diferença está diretamente relacionada às alterações nas formas de cobertura e uso da terra.

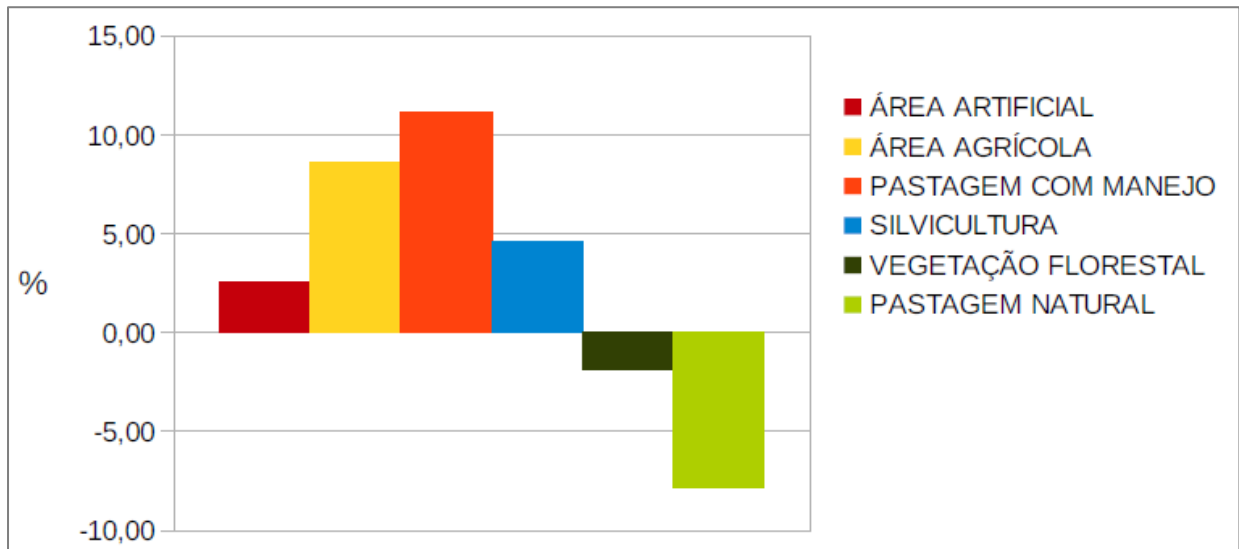


Figura 5: Mudanças na cobertura da terra no Brasil entre 2010 e 2012. Fonte: IBGE, 2016

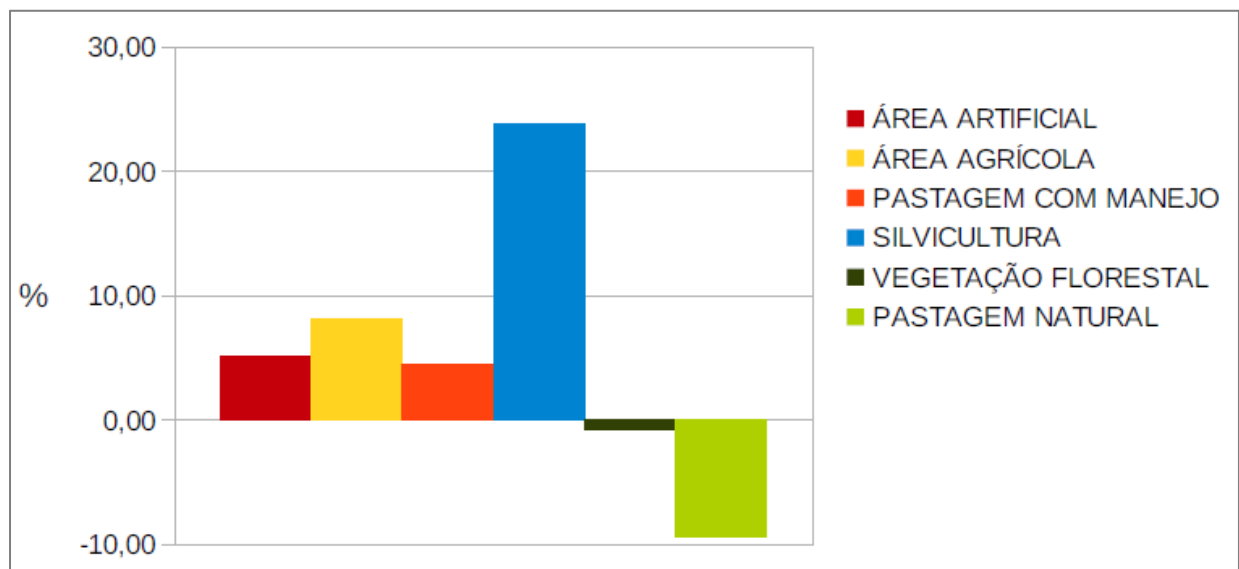


Figura 6: Mudanças na cobertura e uso da terra no Brasil entre 2012 e 2014. Fonte: IBGE, 2016

Na comparação entre estas alterações e aquelas ocorridas no período anterior (2010 – 2012) é possível destacar algumas situações, como as expansões da agricultura, das pastagens com manejo, da silvicultura e das áreas artificiais, e as reduções da vegetação florestal e dos pastos naturais (Figuras 5 e 6) (IBGE, 2016).

O IBGE também afirma que a taxa de expansão das áreas agrícolas manteve-se praticamente nos mesmos patamares: 8,6% entre 2010 e 2012, e 8,2% no período 2012-2014. Houve significativa redução nos índices de crescimento das pastagens com manejo, passando de 11,13% no primeiro período para 4,49% no período seguinte. De acordo com a pesquisa publicada, a maior parcela dessa redução deve-se à conversão das referidas pastagens em áreas agrícolas. Em menor proporção, também houve significativa transformação de pastagens com manejo em áreas de silvicultura. De forma a ilustrar as transformações em termos absolutos, no período 2012-2014 cerca de 24.400 km² de pastagens com manejo deram lugar a áreas agrícolas, e 5.200 km² foram convertidas em silvicultura.

A expansão das áreas de silvicultura foi o processo de mudança que apresentou as maiores taxas de incremento: 23,8% no período 2012-2014 contra apenas 4,6% no 2010-2012. Cabe dizer que, de acordo com o IBGE, cerca de 50% deste expressivo acréscimo deve-se aos aprimoramentos técnicos no mapeamento dos dados. Neste caso específico, houve melhora na qualidade das imagens captadas em 2014, com redução na cobertura de nuvens em algumas regiões do Brasil, como o litoral do Nordeste. As áreas de silvicultura que efetivamente cresceram, fizeram-no, especialmente, sobre os terrenos de pastagens, naturais ou com manejo.

Outro caso de aprimoramento técnico-metodológico foram as classes de áreas artificiais: com taxas passando de 2,6% entre 2010 e 2012 para 5,1% entre 2012 e 2014, elas apresentaram significativo aumento na comparação entre os dois períodos. Neste caso, mais de 70% deste acréscimo está associado a uma grande revisão das áreas urbanas nas diversas regiões do país, realizada com auxílio das imagens *LANDSAT 8* e, em alguns casos, das imagens *RapidEye*.

Quanto às reduções, merecem destaque as classes de vegetação florestal e de pastagem natural. A primeira sofreu redução de 1,8% no período 2010-2012 e de 0,8% no período 2012-2014. Os dados revelam que, apesar de continuar havendo perda de florestas, este processo tem acontecido em um ritmo menor. No caso das pastagens naturais, a redução desta cobertura se intensificou, passando de 7,8% no primeiro período para 9,4% entre 2012 e 2014. A análise destas informações permite observar uma tendência de expansão das áreas agrícolas e das pastagens com manejo preferencialmente sobre as pastagens naturais (áreas de vegetação

natural não-arbórea sujeitas ao pastoreio, que predominam nos biomas cerrado, caatinga e pampa).

É importante ressaltar que as mudanças na cobertura e uso da terra não acontecem de forma homogênea em todo território nacional. Há locais mais estáveis, nos quais não ocorrem alterações significativas ao longo dos períodos estudados; locais que passam por pequenas modificações, e regiões extremamente dinâmicas, cujas formas de ocupação estão em constante mudança (IBGE, 2016).

O infográfico da Figura 7 é o resultado das transformações ocorridas em território brasileiro de 1985 a 2017, publicados pela MapBiomas e utilizados na presente tese como base de dados de uso e cobertura da terra na geração da modelagem proposta.

Como indica a ilustração, em 2017, o Brasil apresentava 49,5% do seu território ocupado pelo bioma Amazônia, 23,8% de Cerrado, 9,8% de Caatinga, 13% de Mata Atlântica, 2,1% de Pampas e 1,8% ocupados pelo Pantanal. As formações de floresta de vegetação nativa tiveram um decréscimo de aproximadamente 71Mha, enquanto houve um aumento de 43% da área total de pastagens, o que representa, em números brutos, cerca de 41Mha. A agricultura também apresentou um aumento relevante: de 18Mha em 1985 para 54Mha em 2017 (2,9x crescimento das áreas de agricultura entre o período analisado), sendo que cerca de 28,6% dessas áreas são ocupadas, na atualidade, por usos de agropecuária.

Como forma de representar o dinamismo das diferentes regiões do território brasileiro, como mencionou o texto acima, a Tabela 2 a seguir traz o resumo dos infográficos (presentes no anexo desta pesquisa) apresentados também pelo MapBiomas, dos 5 principais biomas brasileiros. Nela, é possível encontrar a variação de uso e cobertura da terra da Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pampa e Pantanal durante o período de 1985 a 2017, em três principais classes de uso: Floresta Natural, Pastagem e Agricultura.

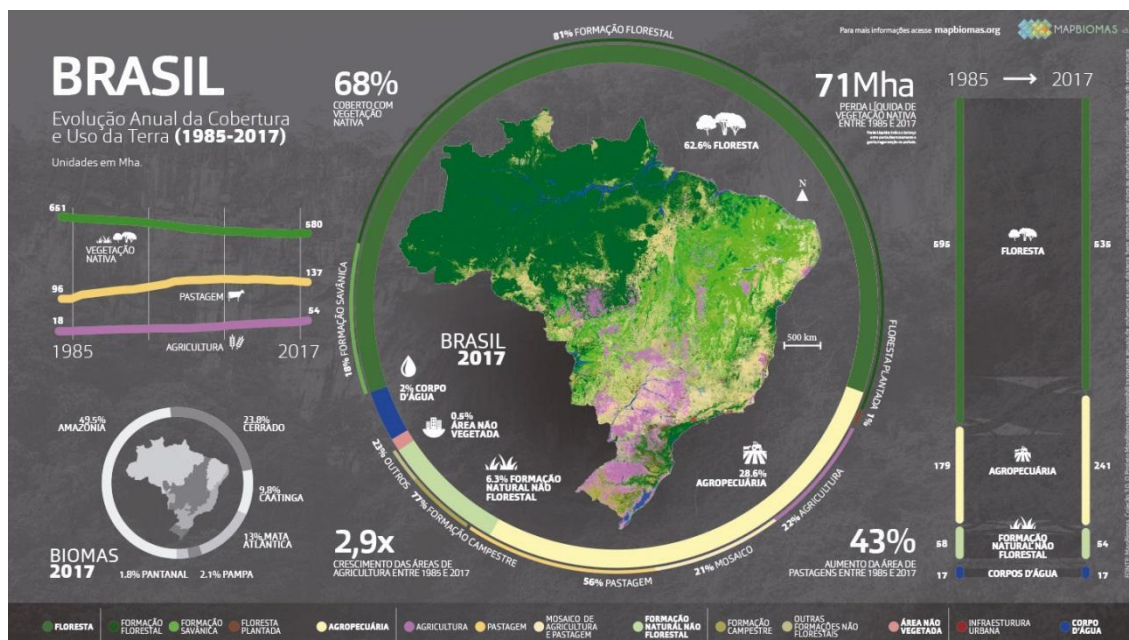


Figura 7: Mudanças no uso e cobertura da Terra entre 1985 – 2017. Fonte: MapBiomias, 2018

Tabela 2: Variação de uso e cobertura da Terra dos biomas brasileiros durante o período de 1985 a 2017, em três principais classes de uso. Fonte: MapBiomias, 2018

		Evolução da cobertura e uso da terra (1985 - 2017) (Mha)		
Biomias	Participação no território nacional (%)	Floresta Natural	Pastagem	Agricultura
Amazônia	49	385 349	13 50	< 1 4.5
Cerrado	24	136 112	37 49	5 24
Mata Atlântica	13	39 32	33 29	9 18
Caatinga	10	56 51	12 19	0.8 2.7
Pampa	2	9.2 7.3	-	4.7 6
Pantanal	2	7.8 6.9	1.1 2.5	-

Nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, especialmente nos locais inseridos no bioma Mata Atlântica, o processo de ocupação é mais antigo e as formas de cobertura e uso da terra são mais estáveis. Praticamente todos terrenos propícios à agricultura, com relevo plano, solos férteis e acesso às vias de escoamento de produção, já são destinados à atividade agrária. As mudanças mais significativas ocorridas nestas regiões são a alternância entre áreas agrícolas e pastagens com manejo e a expansão das áreas dedicadas à silvicultura. Esta expansão, que também acontece ao leste do Mato Grosso do Sul, está associada à instalação, nos últimos anos,

de um complexo industrial brasileiro de celulose, que visa a atender às demandas internas e principalmente externas (SPEROTTO, 2014).

Merece destaque a expansão agrícola que acontece no sul do Rio Grande do Sul. Desde 2013 vem sendo observado o surgimento de diversos cultivos, especialmente soja e milho, sobre as antigas pastagens naturais do bioma Pampa.

Enquanto isso, o bioma Cerrado e as bordas do bioma Amazônia continuam sendo as áreas mais dinâmicas do Brasil. No cerrado estão presentes algumas das fronteiras agrícolas mais importantes do país. No setor meridional do Mato Grosso do Sul, entre a divisa com o Paraná e a região de Dourados, terrenos propícios à agricultura, anteriormente subutilizados como pastagens, têm sido substituídos por extensos cultivos de soja, milho e, principalmente, cana-de-açúcar, cuja área plantada cresceu fortemente nos últimos anos, de acordo com Projeto CANASAT-INPE (RUDORFF et al., 2010).

Na região conhecida como MATOPIBA, que engloba 31 microrregiões inseridas nos Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, as áreas agrícolas continuam passando por um processo de expansão, ainda que este fenômeno venha acontecendo de forma menos intensa nos últimos anos. No triângulo mineiro e no sul de Goiás predominam as mudanças associadas ao rodízio entre agricultura e pecuária nos estabelecimentos rurais.

A borda da Amazônia estende-se desde o Acre, passando por Rondônia, Mato Grosso, Tocantins e Maranhão até o leste do Pará. No Acre e em Rondônia as alterações são pouco significativas, representadas pela expansão das pastagens com manejo preferencialmente ao longo dos eixos rodoviários, sobretudo aqueles recentemente pavimentados, no padrão de ocupação popularmente conhecido como espinha de peixe. Ao norte do Mato Grosso, no contato entre os biomas Amazônia e Cerrado, prossegue o avanço da fronteira agrícola em direção aos ambientes florestais amazônicos, predominando o plantio de grãos como soja e milho. Em menor proporção, também há o avanço das pastagens com manejo ligadas à pecuária bovina. Já na borda leste da Amazônia, ao longo da divisa entre Tocantins e Pará, continua o avanço das pastagens com manejo preferencialmente em direção ao oeste, contornando terras indígenas e áreas de proteção ambiental como a Floresta Nacional de Carajás. Na porção nordeste do Pará, próximo à divisa com Maranhão, antigas pastagens têm dado lugar ao cultivo de soja e a extensas plantações de dendezeiros, do qual é extraído o óleo utilizado na produção de biodiesel, alimentos e cosméticos. (IBGE, 2016).

Nos biomas Pantanal e Caatinga também ocorrem mudanças, ainda que de forma menos significativa quando comparadas às outras regiões do país, fato que pode ser explicado tanto por razões físicas quanto por motivos econômicos e históricos (IBGE, 2016).

Como resultados mais relevantes, podemos destacar do relatório do IBGE (2016) sobre as recentes alterações de uso e cobertura do solo do Brasil os seguintes pontos:

- Além de confirmar algumas situações já conhecidas e amplamente divulgadas, este levantamento divulgado pelo IBGE em 2016 também tem revelado fenômenos de ocorrência mais recente que ainda não foram objeto de estudos mais detalhados, como o avanço da agricultura no MS e no RS e a expansão da silvicultura;
- A forte dinâmica territorial ao longo das bordas do bioma amazônico vem sendo estudada, mapeada e divulgada por diversas instituições nacionais e internacionais ao longo das últimas décadas (principalmente 2000 e a atual). Já a expansão da agricultura no sul do Mato Grosso do Sul e principalmente no sul do Rio Grande do Sul são fenômenos relativamente recentes, assim como o expressivo aumento das áreas de silvicultura em diversas regiões do Brasil, um processo conhecido, mas que necessita de melhor quantificação em termos territoriais;
- Cabe ressaltar que toda essa dinâmica espacial, representada principalmente pela expansão das áreas agrícolas, das pastagens e da silvicultura, traz impactos econômicos e ambientais ao território e à população de nosso país. Estes impactos, positivos ou negativos, constituem um desafio a ser estudado e gerenciado por nossas instituições de pesquisa e pelos órgãos de planejamento e controle.
- As causas específicas das mudanças na cobertura e uso da terra no Brasil, tanto nos períodos anteriores quanto no período 2012 - 2014, são complexas e estão relacionadas a fatores físicos, bióticos, econômicos e históricos.

2.2. EROSÕES LINEARES, DEGRADAÇÃO DO SOLO E DINÂMICA ESPACIAL DO USO E COBERTURA DA TERRA

2.2.1. PROCESSOS EROSIVOS: DEFINIÇÃO E CONCEITOS GERAIS

A palavra “erosão” vem do latim “*erosio*”, que significa corroer, separar. Estudos iniciados principalmente na década de 1980 (IPT, 2013), ligados às Ciências da Terra, assinalam que o termo é aplicado aos processos de desgaste da superfície terrestre pela ação da água, do vento, do gelo e de organismos vivos (plantas e animais), além da ação do homem.

Originalmente, o termo “erosão” foi utilizado pela área da Geologia, a fim de descrever a desagregação de material sólido pela ação das águas de rio (Zachar, 1982). Para Leinz e Leonardos (1977), no sentido lato, erosão é o efeito combinado de todos os processos degradacionais terrestres, incluindo intemperismo, transporte, ação mecânica e química da água corrente, vento, gelo etc.; no sentido estrito, é o desgaste gradativo das rochas sólidas pela ação dos rios, ventos, geleiras e mar. Kirkby e Morgan (1980) classificam a erosão como um grupo definido de forma ampla dos processos que envolvem a movimentação de solo e rocha, sendo um dos aspectos do desenvolvimento normal da paisagem.

No Brasil, O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) é um dos maiores responsáveis pelo desenvolvimento de pesquisas e análises referentes ao desenvolvimento de processos erosivos, principalmente no Estado de São Paulo. A década de 1980 foi marcada por uma série de estudos e projetos que tiveram como objetivo principal identificar áreas com maior potencial ao desenvolvimento de processos erosivos para subsidiar ações de governo no sentido do controle destes processos. O próprio IPT (1980) definiu erosão como um processo de desagregação e remoção das partículas do solo pela ação combinada da gravidade com a água, gelo, vento e/ou organismos, e abrange dois eventos principais:

- o impacto das gotas de chuva na superfície do solo;
- o escoamento superficial das águas (*runoff*).

De acordo com Ponçano e Prandini (1987), a maior parte da literatura que se propôs a contribuir para o conhecimento das erosões, principalmente as voçorocas, tendeu a tratar do assunto de maneira global, ou seja, buscando explicá-las por meio da interação de vários fatores, notadamente a ação das águas, o tipo de substrato, e a intervenção humana. No entanto, estudos mais recentes vêm tornando mais precisos alguns aspectos previamente abordados de

modo genérico, destacando-se a realização de balanços hídricos e a caracterização geotécnica dos materiais das áreas afetadas por boçorocas (IPT, 2013).

Uma revisão da evolução dos conceitos, a partir da década de 1970, pode ser observada em Merritt et al. (2003). Os autores também apresentam as evoluções dos modelos de predição de erosão a partir do aprofundamento do conhecimento relativo ao desenvolvimento dos processos erosivos e suas causas. Por meio da revisão citada, podemos observar que pouco evoluíram os conceitos de definição de erosão e seus diferentes tipos; o que avançou foram as formas de avaliação e os modelos desenvolvidos.

Vilar et al. (1993) definem erosão como sendo um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são desagregados, dissolvidos ou desgastados e transportados de um ponto a outro pelos agentes erosivos (geleiras, rios, mares, ventos ou chuva). Kehew (1995) define erosão como sendo o destacamento e transporte de partículas da superfície sob a ação de uma ou mais forças ou agentes intempéricos (gravidade, água, vento, gelo e ondas). Diz ainda que os materiais suscetíveis a erosão incluem não somente material residual alterado, desenvolvido a partir de rochas, como também qualquer depósito superficial inconsolidado na superfície da terra.

O mesmo autor comenta também que as erosões causadas pela água e vento são as duas principais formas de ocorrência e desenvolvimento de processos erosivos no mundo.

Guerra (1999) define erosão como a destruição das saliências ou reentrâncias do relevo, tendendo a um nivelamento. A uma fase de erosão (gliptogênese) corresponde, simultaneamente, uma fase de sedimentação (litogênese).

Em países tropicais como o caso do Brasil, análises de suscetibilidade a erosão estão contextualizadas em estudos que envolvem a problemática agrícola, por ser um problema que compromete a produtividade dos solos das regiões onde ocorrem. Para Moura (2007), erosão significa desgaste que, se continuado, ocasionará a ruína do solo agrícola. Desse ponto de vista, a erosão é o arrastamento das partes constituintes do solo através da água, colocando a terra transportada em locais onde não podem ser aproveitadas pela agricultura. Pelo processo erosivo, o solo não somente perde nutrientes nutritivos que possui, como também os constituintes do seu corpo; isso significa que um terreno fértil, em que a erosão atua acentuadamente, em breve se tornará pobre, apresentando baixa produção.

Para a presente tese, adotaram-se, como definição de erosão, os conceitos desenvolvidos pelos principais autores responsáveis pelos estudos de erosão e a consagração de metodologias de monitoramento e prevenção desses eventos, particularmente preocupados

com o desenvolvimento das erosões e perdas do solo causadas pela ação das águas da chuva (Moura, 2007; IPT, 1980 e Guerra, 1995 e 1999).

2.2.2. CLASSIFICAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS

Zachar (1982) propõe uma terminologia para a classificação dos principais tipos de erosão, enfatizando o caráter combinado entre os agentes e a ação da gravidade. A Tabela 3 mostra esta classificação com pequena modificação (adaptado de Carvalho et al., 2006). Outra abordagem é feita por Holanda (1999), que classifica os tipos de erosão considerando a sua origem e o agente erosivo, conforme mostra a Figura 8.

Tabela 3: Classificação da erosão pelos fatores ativos (Carvalho et al., 2006)

FATOR	TERMO
1. ÁGUA	Erosão hídrica
1.1. Chuva	Erosão pluvial
1.2. Fluxo superficial	Erosão laminar
1.3. Fluxo concentrado	Erosão linear (sulco, ravina e boçoroca)
1.4. Rio	Erosão fluvial
1.5. lago, reservatório	Erosão lacustrina ou límica
1.6. mar	Erosão marinha
2. GELEIRA	Erosão glacial
3. NEVE	Erosão nival
4. VENTO	Erosão eólica
5. TERRA, DETRITOS	Erosão soligênica
6. ORGANISMOS	Erosão organogênica
6.1. plantas	Erosão fitogênica
6.2. animais	Erosão zoogênica
6.3. homem	Erosão antropogênica

Segundo Carvalho et al. (2006), o mais comum é classificar a erosão em quatro grandes grupos: erosão hídrica, erosão eólica, erosão glacial e erosão organogênica.

A presente tese dará ênfase às erosões de origem hídrica geradas pela ação das águas das chuvas nas formas de fluxo concentrado (erosões lineares). Os processos erosivos desenvolvidos a partir da ação da água são geralmente classificados em dois tipos principais: a erosão superficial (laminar) e a erosão linear (sulco, ravina e voçoroca), detalhadas nos itens a seguir. Em síntese, a evolução das áreas afetadas por erosões hídricas apresentam um primeiro

estágio de erosão laminar que vai intensificando com a chuva, levando à formação de sulcos rasos e profundos. Não havendo medidas de controle, os sulcos evoluem rapidamente formando as ravinas de portes variados. Se as condições dos terrenos forem favoráveis, as ravinas podem evoluir até atingir o nível d'água subterrânea, passando a se desenvolver a voçoroca que evolui de modo acelerado e complexo em função da ação combinada das águas superficiais e subsuperficiais.

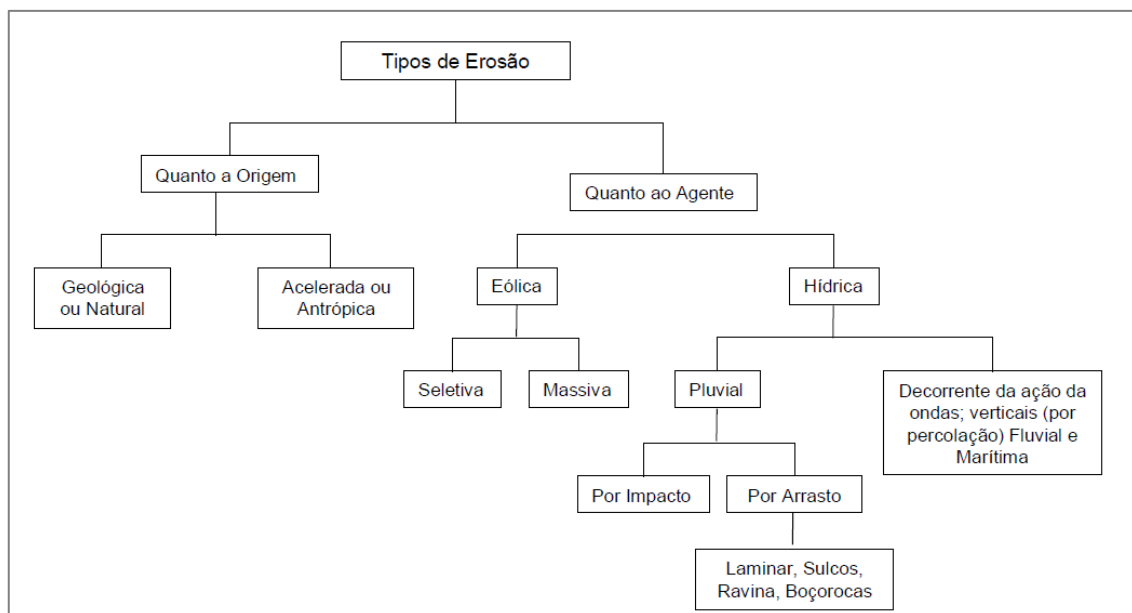


Figura 8: Tipos de processos erosivos. Fonte: Hollanda, 1999

2.2.2.1. EROSÃO LINEAR

Entre os processos erosivos de ação hídrica, a erosão linear é a que ocasiona mais danos à população, às obras públicas e ao meio ambiente, sejam em área rural ou em área urbana. O impacto ambiental gerado é flagrante e imediato devido ao grande volume de solo removido e transportado para as drenagens situadas à jusante, com conseqüente assoreamento dos corpos d'água. Outros aspectos também devem ser analisados, tais como impacto visual (degradação da área) e as dificuldades de recuperação das mesmas. A erosão linear é associada de forma mais evidente ao desequilíbrio hidrológico causado pelo homem com o desmatamento, bem como por outras formas de concentrar o escoamento, como carreadores e divisas de glebas agrícolas, estradas, ferrovias, além de outras intervenções antrópicas em áreas de expansão urbana (IPT, 2013).

Os fatores condicionantes para o desenvolvimento da erosão linear são os mesmos apontados para a erosão laminar, potencializados por todas as características que induzem ao escoamento d'água concentrado e o comportamento da água subterrânea (posição do nível d'água e infiltração da água no solo).

A erosão linear instala-se a partir do momento em que a velocidade do fluxo superficial vence a resistência mecânica do solo e consegue fazer incisões no terreno. A intensificação do escoamento superficial leva à formação de fluxo concentrado, promovendo o desenvolvimento das feições erosivas lineares de maior porte definidas neste trabalho como sulcos, ravinas e voçorocas, descritas a seguir.

SULCOS E RAVINAS

Sulcos e ravinas são normalmente diferenciados pela profundidade de penetração no solo por conta da ação da água. Em geral, são classificados segundo as dificuldades de manejo do solo, conforme os manuais de levantamento da capacidade de uso da terra disponíveis na literatura, tais como: Marques (1971); Lepsch et al. (1983); Lemos e Santos (1984), entre outros.

Bigarella e Mazuchowski (1985) definem que a erosão em sulcos sucede a laminar, podendo igualmente originar-se de precipitações muito intensas. Para Bertoni e Lombardi Neto (1990), as erosões em sulco são também formadas por concentrações do escoamento que podem formar filetes mais ou menos profundos em consequência do volume e velocidade do escoamento superficial. FAO (*Food Agriculture Organization*, 1967) declara não existir nenhum limite definido que assinale o final da erosão laminar e o começo da erosão em sulcos (linear) e a passagem de sulcos para ravinas.

Os sulcos, pertencentes às feições lineares, são pouco profundos (inferior a 50 cm), sendo que suas bordas possuem pequenas rupturas na superfície do terreno e podem ser mais facilmente corrigidos por meio da melhoria do manejo do solo. A erosão em sulcos pode passar despercebida até que comece interferir no trabalho de preparo do solo nas áreas agrícolas e na diminuição da produtividade e nas trilhas de gado (Figura 9). Nas áreas urbanas, essas feições ocorrem na fase da implantação de loteamentos, abertura de ruas, solo exposto, movimento de terra e outras intervenções antrópicas (Figura 10).

Na erosão em sulcos, o desprendimento das partículas se dá principalmente pela energia do fluxo superficial e não pelo impacto da gota de chuva, como na erosão laminar. Dessa forma,

via de regra, embora dependa de vários fatores, como do tipo de solo e declividade, o volume de material erodido é muito maior na erosão em sulcos do que na erosão intersulcos, que corresponde à erosão laminar (Prandini, 1985).



Figura 9: Formação de processo de sulcos em área rural no município de Cunha (SP). Fonte: IPT, 2013



Figura 10: Formação de sulcos em área de entorno de sistema viário devido à falta de pavimentação no município de Porto Feliz (SP). Fonte: IPT, 2013

A erosão em sulco está geralmente associada a áreas rurais e ocorre sob a forma de áreas de concentração, sendo induzidas pelos seguintes fatores:

- manejo agrícola inadequado em áreas de cultura, sem a adoção de práticas conservacionistas, como o simples plantio sem obedecer às curvas de nível e sem a implantação de terraços e canais escoadouros vegetados; solos preparados de forma inadequada e culturas de má cobertura; além de outras situações. Normalmente ocorre a formação de sulcos de forma generalizada em toda a vertente, sendo comum a evolução para ravinas e boçorocas nos pontos de concentração do escoamento superficial e
- modificação do escoamento das águas pluviais condicionado por trilhas de gado, carregadores, cercas, divisas antigas e áreas de empréstimo, que aduzem e concentram as águas pluviais.

Já a ravina dá-se pelo aprofundamento das feições de sulco provocado pela ação erosiva da água de escoamento superficial concentrado, e que não pode ser combatido pelos métodos

simples de conservação do solo. O processo de ravinamento é definido pela erosão causada simplesmente pela concentração do escoamento superficial, processo este que, na maioria das vezes, coroa a degradação do solo iniciada pela erosão laminar. As ravinas são feições de maior porte, profundidade variável (acima de 50 cm), de forma alongada e não atingem o nível d'água subterrânea, onde atuam mecanismos de desprendimento de material dos taludes laterais e transporte de partículas do solo (IPT, 2013) (Figuras 11 e 12).



Figura 11: Ravinamento em área rural, município de Itaquaquecetuba (SP). Fonte: IPT, 2013



Figura 12: Ravina desencadeada pelo lançamento das águas pluviais de área urbana no município de Presidente Venceslau (SP). Fonte: IPT, 2013

De acordo com Cavaguti (1994), Canil et al. (1995) e Almeida (2000) a ravina é um tipo de erosão que não pode ser extinta por operações normais de preparo do solo, desencadeando entre os eixos de drenagens associadas a estradas, trilhas de gado e carreadores. As ravinas urbanas estão associadas principalmente ao processo desorganizado de urbanização que se concentram, em geral, nas áreas periféricas das cidades.

Imeson e Kwaad (1980) notam que as feições de ravinamento são muito semelhantes em várias partes do mundo, o que leva à necessidade de examinar conjuntamente morfologia e processos atuantes ao se analisarem essas feições. Ainda neste trabalho, os autores se propõem a equacionar a complexidade de mecanismos de evolução de ravinas, o que é normalmente omitido na bibliografia nacional e internacional. Admitem ainda, a profundidade mínima para as ravinas (em torno de 50 cm).

VOÇOROCAS OU BOÇOROCAS

Quando o processo do ravinamento atinge um limite, que é o nível de base local, atuam processos ligados à circulação das águas subterrâneas, fazendo com que o ravinamento atinja grandes dimensões, originando as boçorocas ou voçorocas.

As voçorocas representam a forma de erosão mais complexa e mais destrutiva no quadro evolutivo da erosão linear. A bibliografia é quase unânime em associar o surgimento das voçorocas às alterações no equilíbrio morfo-hidro-pedológico, causadas por intervenções humanas, especialmente por meio do desmatamento, atividades agrícolas e urbanas (IPT, 2013).

De acordo com Prandini (1985), essa denominação é atribuída no Brasil a toda forma de ravina de dimensões descomunais. As voçorocas ocorrem de forma acentuada em regiões tropicais com variações pluviométricas bem definidas (contraste entre a estação seca e chuvosa), afetando principalmente o oeste paulista (paisagem de cerrado). São mais frequentes nas encostas convexas. Nas mais comuns, a profundidade varia entre 15 e 30 metros, podem alcançar centenas de metros de comprimento e apresentam perfil transversal em forma de “V” (Figura 13). O desenvolvimento desse fenômeno apresenta velocidades muito aceleradas, resultando normalmente em um sistema erosivo ramificado, podendo envolver, assim, áreas consideráveis que apresentam contornos elíptiformes, estreitos a jusante, alargando-se a montante.

Já de acordo com IPT (1986), voçorocas são formas de ravinamento ocasionadas pela articulação entre erosão ocasionada por escoamento d’água superficial concentrado, e subsuperficial, com erosão interna (*piping*) provocada pela concentração de água do nível freático que se caracteriza pelo avanço para o interior do solo na forma de tubos (Figura 14).

Os vazios destes tubos, ao se tornarem significativos, originam colapsos do terreno, com desabamentos que alargam a boçoroca ou criam novos ramos. Durante os processos de erosão interna, ocorrem os descalçamentos e solapamentos da base das paredes da boçoroca, provocando liquefação de areia, desmoronamentos e escorregamentos de solo, principalmente em cabeceiras de drenagens, onde há uma convergência e concentração natural dos fluxos d’águas superficiais e águas subterrâneas, favorecendo o desenvolvimento de processos que caracterizam esse tipo de erosão (Figura 15).



Figura 13: Voçoroca de evolução acelerada, Pardinho (SP). Fonte: IPT, 2013



Figura 14: Formação de orifício na base do talude, devido à concentração de água do lençol freático (fenômeno de *piping*), no município de Paraguaçu-Paulista (SP). Fonte: IPT, 2013

Conforme IPT (2013), a maioria dos autores concordam em apontar que as boçorocas atuam preferencialmente sobre depósitos arenosos (semi ou inconsolidados) cenozoicos que apresentam profundos desenvolvimentos pedológicos, sendo que a fase inicial do ravinamento atinge de preferência solos com horizonte B textural, do tipo Argissolos (Podzólicos, na

classificação antiga). O caráter arenoso destes solos e sua baixa compacidade favorecem os fenômenos de erosão superficial e interna. Uma vez implantada, a boçoroca pode evoluir afetando toda a espessura de rocha alterada (inclusive abaixo da formação cenozóica). Ramificam-se, podendo atingir mais de 50 metros de profundidade, poucas dezenas de metros de largura e comprimento que pode ultrapassar quilômetros. No estado de São Paulo, o Oeste Paulista é a região mais afetada pelas boçorocas, ocorrendo ainda em alguns setores da Depressão Periférica paulista e algumas ocorrências no Planalto Cristalino de São Paulo (IPT, 2013).



Figura 15: Escorregamentos dos taludes da boçoroca - ação do *piping*, Bauru (SP). Fonte: IPT, 2013

As causas das voçorocas estão relacionadas a fatores antrópicos e naturais. Como fatores antrópicos têm-se o uso e ocupação irregular do solo: desmatamentos, cultivos inadequados, sistemas de transportes lineares mal planejados, expansão urbana desordenada, etc. Sobre este cenário “catastrófico”, formado pela ação antrópica, atuarão os fatores naturais: chuva, relevo, solos, rocha e vegetação, que controlarão a intensidade do processo erosivo.

Um dos maiores impactos das boçorocas é o assoreamento formado pelo material proveniente das erosões. A quantidade de material pode ser tão significativa que chega a constituir extensos bancos de areia (depósitos) ao longo dos cursos d’água. Dessa forma, ressalta-se a importância do controle dos processos erosivos durante a sua fase “primária”, ou seja, enquanto a erosão ainda é laminar. Tal controle deve ter como princípio minimizar o

impacto das gotas das chuvas e a energia da água no processo de escoamento superficial (IPT, 2013).

2.2.3. FATORES CONTROLADORES DOS PROCESSOS EROSIVOS

Os fatores controladores são aqueles que determinam as variações nas taxas de erosão. Por conta da interação desses fatores, certas áreas erodem mais do que as outras.

De um modo geral, as pesquisas sobre erosão do solo consideram como sendo fatores dos processos erosivos a erosividade da chuva, as propriedades dos solos, cobertura vegetal e características das encostas (Morgan, 1986; Ellison, 1993; Guerra, 1999). A intervenção do homem pode alterar esses fatores e, conseqüentemente, acelerar ou retardar o surgimento de processos erosivos. Como afirma Morgan (1986), é necessário estudar esses fatores com bastante detalhe para se compreender como, onde e por que a erosão ocorre.

De acordo com o IPT (2013), no Brasil a precipitação pluviométrica é reconhecida como o principal agente deflagrador dos processos de erosão dos solos e movimentos de massa. Os efeitos observados estão fortemente ligados às características físicas do meio e à associação dessas características com ações antrópicas, geralmente as ocupações de encostas íngremes com lavouras, pastagens ou moradias. Iwasa (1998) inclui o desmatamento, cultivo de terras, corte de estradas e expansão de cidades como algumas das ações antrópicas deflagradoras do processo erosivo, que é então influenciado pela água e pelas condições naturais do terreno (cobertura vegetal, topografia e tipo de solo).

Bertoni e Lombardi Neto (1990) ressaltam que os processos erosivos são decorrentes dos seguintes fatores: declividade, pluviosidade, comprimento da encosta, capacidade de absorção da água pelo solo, resistência do solo à erosão e densidade da cobertura vegetal, sendo a água o mais importante agente erosivo e o escoamento concentrado ocasiona entalhes profundos, bem como o movimento de grandes massas de solo. Já para Cooh (1995) a erosão de uma superfície é uma função das características do solo, quantidade de chuva, tipo de vegetação, forma da encosta, ventos e uso da terra.

Pejon (1998) enfatiza que os processos erosivos dependem de uma série de fatores naturais, tais como: clima, geomorfologia, natureza do terreno (substrato rochoso e tipo de solo) e cobertura vegetal. Estes fatores podem ser modificados pelo homem, gerando uma mudança nos processos erosivos de uma determinada região, geralmente intensificando-os.

Grande parte dos estudos de erosão dos solos é oriunda de trabalhos empíricos, nos quais vasta gama de dados sobre perda de solo e agentes controladores é coletada. As análises

finais são baseadas em ponderações estatísticas dos fatores analisados, realidade de campo e experiências de especialistas da área. Em função disso, uma grande quantidade de variáveis é apontada, nas diversas partes do mundo, como sendo significativas para explicar e prever o processo erosivo (Souza, 2015).

2.2.4. PROCESSOS EROSIVOS E SUA RELAÇÃO COM OS ESTUDOS DE USO E COBERTURA DA TERRA

A geração de cenários por meio da modelagem envolvendo a mudança da paisagem configura importante fonte de informação para auxiliar na gestão ambiental e no planejamento do uso do solo podendo, portanto, subsidiar políticas públicas e evitar impactos como: deterioração dos recursos hídricos, mudanças climáticas e degradação do solo (Turner et al., 2007).

Dentre os processos mais comuns de degradação do solo, as erosões lineares estão entre as principais causas da degradação das terras agrícolas e posam como uma ameaça à integridade dos ecossistemas aquáticos devido aos processos de desprendimento e arraste das partículas do solo por meio da ação do vento (erosão eólica) e da água (erosão hídrica) (Bertoni & Lombardi Neto, 1999).

Dessa forma, os estudos de mudança de uso e cobertura da terra, associado às condições climáticas e geomorfológicas das regiões estão diretamente relacionados às formas e causas de degradação do solo.

Os planejamentos ambientais de bacias hidrográficas que envolvem a modelagem de uso e cobertura por meio de simulações e análises temporais, possibilitam compreender não só as dinâmicas territoriais relacionadas às formas de apropriação do solo, mas também de perceber os possíveis danos e planejar melhor as mudanças de uso, com o intuito de proporcionar um impacto ambiental menor.

A literatura é vasta na produção de materiais científicos envolvendo a interação entre os dois temas. Alguns exemplos de pesquisas realizadas seguem descritas abaixo.

Andres e Werlang (2016), com o objetivo de verificar a influência do uso da terra sobre os processos erosivos na porção oeste do município de Pirapó (Rio Grande do Sul, Brasil), estabeleceram a correlação entre o índice de concentração de nascentes (ICN) e de voçorocas (ICV), considerando áreas de pastagens e lavouras em geral. Também para esse caso, foi estabelecida a correlação entre o ICN e o ICV das microbacias tomadas como amostra. A

correlação obtida foi de 0,986. Esse valor indica forte correlação entre esses índices nas classes de uso estudadas.

Leh et. al (2013) destacam a interação das mudanças no uso da terra com o potencial de erosão do solo. Afirmam que a identificação das alterações nas formas de ocupação é um requisito crítico para a avaliação de impactos ambientais e desenvolvimento de estratégias de planejamento e gestão eficazes. Os autores discutem o impacto da rápida mudança do uso da terra na formação de processos erosivos e de sedimentação em uma área de uso urbanizada de Ozark Highlands, nos EUA. A pesquisa combina uma abordagem de modelagem de erosão de solo baseada em sistema de informação geográfica com detecção de mudança de uso da terra para quantificar a influência das mudanças sobre os riscos de erosão. Como resultado, o modelo gerado previu que o número total de erosão das áreas urbanas deveria aumentar em seis vezes entre 1986 e 2030 com base no uso da terra projetado para o mesmo período.

Alkharabsheha et al. (2013) avaliaram o impacto das mudanças de uso e cobertura da terra no risco de erosão do solo em áreas agrícolas no norte da Jordânia entre os anos de 1992 e 2009, região dominada por ecossistemas áridos que são vulneráveis a intervenções e atividades humanas. A metodologia geral envolveu o uso do modelo RUSLE (equação geral de perda dos solos revisada) em ambiente SIG para criar e comparar mapas de erosão do solo da série temporal definida, visando a identificação de processos erosivos que ocorreram devido à mudança de uso e cobertura da terra. Os autores discutiram as diferentes perdas de solo entre classes de uso e cobertura e as consequência disso nas taxas risco de erosão do solo em 1992 e 2009.

Pelos resultados apresentados, há uma indicação clara de que as mudanças no tipo de uso e cobertura da terra afetam consideravelmente a taxa de erosão do solo: A classe “áreas misturadas de sequeiro” foi uma das principais coberturas de alta e muito alta erosão em 1992, e era a classe dominante na parte sudoeste da área de estudo. Em 2009, na mesma área, o alto e muito alto risco de erosão diminuíram notavelmente com o declínio dessa classe de uso. Por outro lado, o baixo e moderado risco de erosão aumentaram na parte leste da área de estudo em 2009, devido à alta dinâmica de transformação de tipos uso nessas áreas.

Com a aplicação das mesmas técnicas de estimativa de perda do solo, uso de geotecnologias e análise das transformações de cobertura da terra também para fins de planejamento em áreas agrícolas, Sharma et al. (2011) provaram que a média e o potencial de erosão do solo de uma bacia hidrográfica da região de Jharkhand, na Índia, aumentou ligeiramente de 12,11 t/ha para 13.21 t/ha de 1989 para 2004. A análise espacial revelou que o desaparecimento de manchas florestais de áreas relativamente planas aumentou em terrenos

baldios em declive íngreme, e a intensificação da prática de cultivo em solo relativamente mais propenso a erosão foram os principais fatores que contribuíram para o aumento do potencial de erosão do solo da bacia hidrográfica durante o período do estudo. Os resultados indicaram que a transição de outras categorias de cobertura do uso da terra para terras agrícolas foi a mais prejudicial para a bacia hidrográfica em termos de perda de solo, enquanto a floresta atuou como a barreira mais eficaz para a perda de solo.

Kijowska-Strugała et al. (2017) estudaram como os impactos a longo prazo das mudanças no uso e cobertura da terra afetam o desenvolvimento de erosões lineares em uma bacia hidrográfica nos Cárpatos da Polônia Ocidental. Os autores observaram que a mudança do preparo do solo da vegetação natural para as áreas de agricultura em áreas montanhosas normalmente acelera drasticamente as taxas de erosão do solo se a terra for usada para a produção agrícola. Três variantes com diferentes fatores, erosividade da chuva-*run-off* (R), suporte à prática (P), e LULC (*land use land cover*), foram analisadas para investigar quais tiveram maior impacto sobre a erosão do solo ao longo dos últimos 160 anos. Um aumento na área florestal (em 67,81%) e decréscimo em terras cultivadas (em 91,94%) foram observados, principalmente devido ao colapso do sistema comunista.

Os autores concluíram que as mudanças de longo prazo nas taxas de erosão do solo e sua distribuição espacial estão associadas principalmente à transformação de terras cultivadas em florestas ou pastagens. Outro dado importante levantado pela pesquisa foi a constatação que, nos últimos 160 anos, as mudanças de precipitação média e máxima anual também foram estatisticamente insignificantes. Os resultados revelam um papel dominante do impacto humano, particularmente no que diz respeito às mudanças de erosão do solo em áreas de meia-montanha.

Wang et al. (2016) aplicaram uma abordagem empírica empregada para monitorar as mudanças no estado de erosão do solo na China, incorporando relevo, declividade, cobertura de vegetação, uso e cobertura da terra e interpretação de imagens de sensoriamento remoto. Os autores construíram um Banco de Dados Nacional de Erosão do Solo da China (NSED-C) na escala 1: 100.000, contendo dados de erosão chinesa em cinco períodos distintos (final dos anos 1980, 1995, 2000, 2005 e 2010) e estabeleceram as relações entre o aparecimento de erosão e as mudanças de uso e cobertura desde a década de 80.

Os resultados mostram que a erosão hídrica é o tipo de mais amplamente distribuído, afetando 56% da área terrestre da China, seguida pela eólica e erosão congelamento-degelo. Nessa pesquisa, a maior parte da mudança na erosão do solo concentrou-se nas regiões do norte da China que possuem ecossistemas frágeis, como o Planalto de Loess, Mu Sandy Land,

Hunshandake Sandy Land, Horqin Sandy, Xianghai Wetland e a bacia hidrográfica do rio Tarim. As regiões montanhosas no sul da China também foram amplamente afetadas. Como conclusão, os autores observaram que a erosão do solo na China aumentou antes de 2000, depois da qual melhorou subsequentemente. No entanto, uma série de medidas de proteção ambiental implementadas depois de 2000 não recuperou o impacto negativo anterior, de modo que a situação geral do solo na China em 2010 é pior do que no final dos anos 80.

Em consonância com os estudos de risco de erosão, as análises referentes às estimativas de produção de sedimentos e sua relação com parâmetros de degradação do solo em bacias hidrográficas também é bastante comum. Galharte et al. (2014) estudam a produção de sedimentos em cenários da microbacia hidrográfica do ribeirão das Guabiobas, localizada no município de São Carlos, SP. Os autores aplicaram o modelo de simulação espacial CLUE-S (*Conversion of Land Use and its Effects at Small Region Extent*), com o objetivo de gerar cenários para o ano de 2025 da área de estudo. *A posteriori*, estimaram a produção de sedimentos desses cenários com o auxílio do modelo de simulação SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). Dois cenários foram simulados: expansão da cana-de-açúcar e expansão da laranja. Por meio das diferentes demandas por áreas inseridas no CLUE-S foi possível gerar cenários da microbacia hidrográfica do ribeirão das Guabiobas para o ano de 2025 e, com o auxílio do SWAT, estimar a produção de sedimentos nos diferentes usos do solo e verificar que a cultura da cana-de-açúcar foi mais significativa.

Da mesma forma, Souza (2010) realiza uma análise integrada das condições físico-ambientais da sub-bacia hidrográfica do rio Capivari (RJ) por meio de um diagnóstico geomorfológico e ambiental que aborda o estudo dos sedimentos em suspensão da bacia hidrográfica, a caracterização de propriedades morfométricas, o mapeamento do estado atual de cobertura vegetal e padrões de uso da terra e as relações estabelecidas entre a produção de sedimentos, o tipo de cobertura e ocupação da área e a caracterização hidro-geomorfológica de sua rede de drenagem.

Fato curioso da citada pesquisa é que as características morfométricas pouco se relacionaram com o transporte de sedimentos e, somente 3 dos parâmetros abordados (área, comprimento total dos canais e gradiente do canal principal) estiveram forte e diretamente relacionados com o carreamento de sedimentos registrados pelos canais. Apenas a declividade mostrou ter possível correlação com o aporte sedimentar em questão, enquanto que as características de uso e cobertura vegetal explicam em até 72.53% os sedimentos em suspensão registrados nos meses com eventos pluviométricos mais expressivos. O mapeamento do uso e cobertura da bacia hidrográfica do Capivari mostrou-se bastante útil para a compreensão dos

resultados: do total das áreas das sub-bacias analisadas, todas, sem exceção, apresentaram menos de 45% de suas áreas ocupadas por florestas, o que possibilitou dizer que o percentual de áreas desmatadas, pode explicar, em grande parte, a produção de sedimentos no interior da bacia hidrográfica. A autora também ressaltou que o modo como foi ocupado o solo da região e as atividades existentes na área da bacia hidrográfica contribuem ainda mais para a produção e aporte sedimentar nos canais de drenagem.

Ainda com abordagem parecida, Alatorre (2012) analisa o potencial de erosão e geração de sedimentos uma pequena bacia hidrográfica experimental nos Pireneus Centrais Espanhóis. Por meio do modelo chamado WATEM/SEDEM (desenvolvido pela *Physical and Regional Geography Research Group* - K.U.Leuven, Bélgica) de previsão de erosão e estimativa de carga sedimentar, dois cenários foram então modelados para reproduzir o uso da terra no início do século XX e um cenário futuro hipotético. Os resultados mostram uma redução de cerca de uma ordem de magnitude na erosão bruta (3180 a 350 mg ano⁻¹) e carga de sedimentos (11,2 a 1,2 mg ano⁻¹ ha⁻¹) durante as últimas décadas como resultado do abandono do tradicional usos da terra (principalmente agricultura) e subsequente recolonização da vegetação.

2.3. A MODELAGEM DA DINÂMICA ESPACIAL COMO UMA FERRAMENTA AUXILIAR AO PLANEJAMENTO

Várias disciplinas já se utilizaram de modelos para descrever a evolução de padrões espaciais, como por exemplo: a Geografia, Ecologia, Demografia e Hidrologia. Os modelos atuais de paisagem incluem ou são derivados da experiência prévia dessas disciplinas na arte de modelar as feições do espaço geográfico (SOARES-FILHO, 1998).

As modelagens de simulação de sistemas ambientais, em particular, auxiliam na compreensão de seu funcionamento e evolução e com isso nos permitem prognosticar os impactos e implicações, para a sociedade e para a natureza, de possíveis trajetórias assumidas sob determinados conjuntos de condições circunjacentes, as quais se traduzem por cenários socioeconômicos, políticos e ambientais (SOARES-FILHO, 2008)

Em consonância com a citação anterior, de forma bastante ampla, Christofolletti (1999) define modelos como sendo estruturas simplificadas da realidade que apresentam, de forma generalizada, características ou relações importantes e podem assumir formulação qualitativa ou quantitativa, expressas em termos lógicos ou matemáticos com significância também para diagnósticos ou previsão, tornando-se básicos aos procedimentos de simulação. Portanto, para a realidade da pesquisa, podemos definir a modelagem da dinâmica espacial de uso e cobertura da terra como sendo uma tentativa da representação simplificada entre a interação dos comportamentos dos componentes ambientais, sociais, demográficos e socioeconômicos da área de estudo.

De acordo com Soares-Filho et al. (2007), os componentes básicos de qualquer modelo de mudança da paisagem consistem em (1) uma configuração inicial, (2) função de mudança e (3) configuração de saída. Os autores descrevem a configuração inicial como, por exemplo, um mapa da paisagem ou de uso e cobertura da terra, derivados de dados de sensoriamento remoto. A função de mudança pode usar ambas as matemáticas contínuas ou discretas, envolvendo desde uma equação linear diferencial, no caso de o tempo ser considerado como uma variável contínua, ou exemplos mais complexos, como a utilização de sequências de regras de decisão (SOARES-FILHO et al., 2007).

Os modelos de um sistema podem se comportar como modelos de mudança discreta em que as variáveis dependentes mudam discretamente em pontos específicos do tempo simulado, ou contínuos, no qual as variáveis dependentes mudam continuamente ao longo do tempo simulado. O tempo, na maioria das simulações, é a principal variável independente. As outras

variáveis incluídas na simulação são funções do tempo e, portanto, são variáveis dependentes (SOARES, 1992).

O primeiro componente da construção de uma função de mudança envolve sua quantificação, e o segundo irá operar sobre os mapas de probabilidades de transição para alocação espacial dessas mudanças (SOARES-FILHO et al., 2007). Para os autores, as matrizes de transição são elementos de quantificação das transições.

A discretização de modelos de simulação passa pela seleção de variáveis explicativas e pelo cálculo de seus efeitos nas mudanças, resultando em um mapa de favorabilidade ou probabilidade de mudança (SOARES-FILHO et al., 2007).

Kawashima (2015) completa afirmando que a seleção de variáveis explicativas determina as relações de influência com a variável dependente, definindo as células com maior ou menor probabilidade de transição de cobertura da terra. As variáveis explicativas utilizadas na modelagem podem ser discriminadas em variáveis proximais e causais. As variáveis proximais explicam as influências regionais na configuração espacial dos padrões de mudanças, como, por exemplo, distâncias às estradas e à rede de drenagem, e consequentemente, a análise de seu efeito resulta no mapa de favorabilidade ou probabilidade de mudança. Já as variáveis causais explicam as forças subjacentes ou motivadoras das mudanças, sendo muitas vezes consideradas como variáveis de contorno ou exógenas ao modelo espacial, a exemplo de modelos climáticos, demográficos, econômicos e político-econômicos e seus efeitos na dinâmica do sistema estudado.

De acordo com Almeida (2003), que apresenta uma extensa revisão literária sobre a evolução de modelagens urbanas, a mais extensiva categorização de modelos genéricos de mudanças de uso do solo é apresentada por Briassoulis (2000). Segundo a autora, “os modelos podem ser classificados em vista de seus aspectos metodológicos e funcionais em estatísticos ou econométricos; modelos de interação espacial; modelos de otimização (que incluem programação linear, dinâmica, hierárquica e não-linear assim como modelos de maximização de utilidades e modelos multi-critérios de tomada de decisão); modelos integrados modelos de gravidade, de simulação e de entrada-saída); modelos baseados em ciências naturais; modelos baseados em GIS e modelos baseados na cadeia de Markov”.

2.3.1. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) APLICADOS ÀS MODELAGENS DE DINÂMICA ESPACIAL

Historicamente, classificação do uso e cobertura da terra e de suas mudanças tem se mostrado um tópico recorrente em meio à comunidade científica que utilizam das geotecnologias como o sensoriamento remoto e as plataformas SIG nos últimos anos. As demandas por estudos neste sentido podem ser justificadas pelo ritmo, magnitude e grandeza espacial sem precedentes que as alterações na biosfera terrestre alcançaram a partir do século XX (LAMBIN et al., 2001).

Como completam Liverman et al., (1998), os sistemas ambientais possuem expressão territorial, em que os modelos de simulação em questão configuram representações espaço-temporais desenvolvidas sobre plataformas de sistemas de informação geográfica – SIG. Portanto, daí advém a importância do geoprocessamento e dos produtos de sensoriamento remoto como instrumentos transdisciplinares e meios de integração multidisciplinar com aplicação não só nas ciências naturais, mas também com crescente popularização nas ciências humanas e sociais.

Na medida em que os processos do sistema terrestre a serem modelados se tornam mais complexos devido à necessidade de representar múltiplas escalas, as diferentes interações entre os processos, a necessidade de considerar processos antrópicos e a maior disponibilidade de dados, faz-se necessária à utilização de diferentes técnicas e ferramentas (LIMA, 2010).

No campo das Geociências, há uma variedade das aplicações de *softwares* para estudo das dinâmicas de uso e cobertura da terra. Entre eles, os mais conhecidos são: Idrisi® (TerrSet - *software* integrado para modelagem e monitoramento geoespacial para o desenvolvimento sustentável) que realiza as operações de modelagem por meio do *plugin* LCM (*Land Change Modeler*) e o DINÂMICA EGO, uma ferramenta livre desenvolvida pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (CSR – UFMG), que tem sido frequentemente usado para modelar fenômenos como desmatamentos, dinâmicas intraurbanas, avaliação de propostas de zoneamento ecológico-econômico e de regeneração florestal (KAWASHIMA, 2015).

Como exemplos, podemos citar a aplicações de Almeida (2003) e Kawashima (2015). Em ambos casos, embora as modelagens sejam realizadas no DINÂMICA EGO, as autoras geram simulações e cenários para áreas urbanas utilizando propriedades de ambos os *softwares*, principalmente em etapas que requerem o preparo e adequação da base de dados.

Almeida (2003) realizou experimentos de mudanças de uso do solo para duas cidades – Bauru e Piracicaba, – utilizando um modelo de autômatos celulares, alimentado por parâmetros obtidos através de dois métodos estatísticos empíricos (pesos de evidência e regressão logística), bem como por informação espacial extraída de imagens do Landsat 5 (TM – 5); de mapas digitais de uso do solo, densidade de ocupação, infra e super-estrutura; e de fotos aéreas digitais. Dessa forma, a modelagem proposta identificou, por meio de análises multitemporais de processos de mudanças de uso do solo observados nas duas cidades, o exato papel das variáveis biofísicas e socioeconômicas na configuração da forma urbana.

Kawashima et al. (2015) verificou as mudanças históricas na paisagem entre três períodos, de 1985 até 1995, de 1995 até 2005 e de 2005 até 2013 na análise temporal da cobertura do solo na área portuária de Santos. Padrões espaciais de mudança na cobertura do solo foram analisados a partir da modelagem de dinâmica espacial. Os autores concluíram que a modelagem final pôde descrever fatores que influenciaram mudanças territoriais, bem como permitir a estimativa de impactos futuros sobre o ambiente simulado. As variáveis explicativas relacionadas às estradas secundárias e à distância a classe urbana foram as principais variáveis que calcularam a média dos pesos das evidências positivas nas transições.

Já o plugin Molusce, parte do software QGIS, utilizado na presente pesquisa, foi desenvolvido pela Asia Air Survey Co., Ltd. (AAS), que desde 2012 tem direcionado seus esforços para o incentivo ao *software* de fonte aberta, tornando-se o primeiro patrocinador ouro do QGIS em todo o mundo. De acordo com o desenvolvedor:

“O MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation - Módulos de Avaliação de Mudanças no Uso do Solo) é concebido para analisar, modelar e simular mudanças no uso e cobertura do solo. O plug-in incorpora algoritmos bem conhecidos, que podem ser utilizados na avaliação de mudanças no uso e cobertura do solo, análise das variações do uso e ocupação do solo em áreas urbanas, bem como em aplicações e projetos de cunho florestal.”

Ibrahim e Ludin (2015), com o uso das propriedades do Molusce, analisam a dinâmica da ocupação urbana na região de Iskandar, Malásia. O resultado mostra que há mudanças significativas no uso da terra na área de estudo, especialmente no declínio das terras agrícolas e naturais que foram convertidas em usos da terra urbana. Áreas residenciais e industriais

substituíram amplamente a agricultura e as áreas naturais, particularmente ao longo da zona costeira da região.

Rahman (2017) et al. (2017), utilizando o Molusce, estudaram a dinâmica temporal da mudança do uso e cobertura da terra e sua previsão usando o modelo rede neural artificial para o sudoeste de Bangladesh. Como resultado principal das análises da dinâmica espacial, os autores diagnosticaram fortes correlações com diferentes fatores socioeconômicos, em especial fatores relacionados a migrações impulsionadas pelo clima local.

Como último exemplo, Habel et al. (2018) documentam as mudanças na cobertura da terra ao longo dos rios no sudeste do Quênia utilizando fotografias, arquivos históricos e fotos aéreas provenientes de drones. Com esses materiais, os autores avaliam a qualidade dos matagais ribeirinhos ao longo dos rios em 1961, 1980 e 2015. Os dados mostram que os efeitos da pressão demográfica gerou o aumento do número de assentamentos humanos em 425% de 1961 para 2015 (ou seja, de 36 para 189 assentamentos) e que 58,5% da superfície terrestre originalmente coberta por florestas ribeirinhas intocadas foi transformada em campos descobertos.

2.3.2. COMPONENTES SOCIOECONÔMICOS E DEMOGRÁFICOS COMO FATORES IMPORTANTES NAS MODELAGENS DE DINÂMICAS ESPACIAIS DE USO E COBERTURA DA TERRA E ESTUDOS AMBIENTAIS

Os itens anteriores contextualizam os estudos de uso e cobertura da terra e como se deram o progresso das pesquisas. Como relatado, o avanço do campo da área decorreu, principalmente, da preocupação quanto à intensificação do desmatamento das florestas tropicais a partir de 1970. Assim, inicialmente voltada para identificação das causas do desmatamento, hoje o tema caracteriza-se pela ampliação de seu escopo.

O reconhecimento das relações multidimensionais entre mudança ambiental, desenvolvimento, questões sociais e políticas atraiu estudiosos de diversas ciências, marcando o caráter multidisciplinar do campo (Côrtes e D'Antona, 2014). Da necessidade de pensar de forma integrada sobre a relação população-ambiente, a inserção de componentes socioeconômicos e demográficos como fatores importantes nas modelagens de dinâmicas espacial de uso e cobertura da terra tornaram-se importantes contribuições e desafios da Demografia nos últimos anos (D'Antona e VanWey, 2007; Lambin e Meyfroidt, 2010; Kloster et al., 2011; Côrtes e D'Antona, 2014; Mello e Sathler, 2015; Quintas-Soriano et al., 2016)

De acordo com Côrtes e D'Antona (2014), ao final da década de 1990 sugere-se, para as pesquisas de uso e cobertura da terra, a coexistência de duas e divergentes perspectivas explicativas: uma derivava de um modelo unidimensional e simples; e outra originada de um modelo multidimensional e complexo. Impulsionados pelo segundo grupo, os componentes da dinâmica populacional tornaram-se cada vez mais reconhecidos como fatores importantes, indicando também um marco metodológico.

Enquanto que, na arena internacional, os demógrafos que tratavam das questões ambientais tinham como objeto o desmatamento, a biodiversidade e a degradação do solo; no Brasil, apenas se tangenciava o campo das mudanças do uso e cobertura da terra. Cientistas brasileiros se dedicavam, prioritariamente, ao estudo das relações de população e ambiente a partir da perspectiva do desenvolvimento no contexto urbano (HOGAN, 1992). A ênfase no tratamento dos assuntos ambientais ocorria em torno das questões da chamada “agenda marrom” urbana, como, por exemplo, a poluição e seus efeitos sobre a saúde. O fortalecimento da área de População e Ambiente, no Brasil, reforçou o campo ambiental nas ciências sociais e abriu espaço para os estudos sobre uso e cobertura da terra no país (CÔRTESE D'ANTONA, 2014).

A inclusão de demógrafos brasileiros na temática “Uso e Cobertura da terra X População” aconteceu por meio de dois caminhos, de acordo com Côrtes e D’Antona (2014): participando de projetos de pesquisa com objetivos relacionados ao tema desmatamento, fundamentalmente financiados por instituições internacionais e trabalhando a partir da perspectiva da agenda marrom, que, embora tivesse outro enfoque temático, fomentou a discussão sobre como melhor abordar a relação população-ambiente, colaborando de forma indireta para o campo das mudanças no uso e cobertura da terra.

O interesse crescente no papel da população incorporou dados demográficos aos estudos de uso e cobertura da terra, relacionando-os às análises de imagens de satélites. A tecnologia do sensoriamento remoto, que já auxiliava as investigações da paisagem, passou a ser associada com dados correspondentes a unidades administrativas e recortes menores. A técnica permitiu identificar padrões na paisagem, relacionando-os com o comportamento domiciliar, aspectos econômicos, demográficos e biofísicos (D’ANTONA e VANWEY, 2007; CÔRTEES E D’ANTONA, 2014).

Guedes et al. (2017) discutem a importância da mudança na composição demográfica domiciliar sobre a demanda e o uso da terra em fronteiras agrícolas. Os autores examinam os efeitos da composição demográfica domiciliar (ciclo de vida domiciliar) e do tempo na propriedade (ciclo no lote) sobre a dinâmica de uso do solo em pequenas propriedades rurais em Machadinho d’Oeste, Rondônia. Foram utilizados dados de uma pesquisa censitária sobre os colonos do projeto de assentamento original, para 1987 e 1995. Discutiu-se como mudanças no ciclo de vida domiciliar e no ciclo do lote influenciam a demanda por terra (desmatamento) e a dinâmica do uso do solo entre pequenos agricultores.

Observou-se que a relação entre composição demográfica domiciliar e uso do solo é complexa, embora significativa. Algumas variáveis foram selecionadas e analisadas: a idade do proprietário mostrou-se negativamente associada à proporção desmatada do lote, sugerindo que a experiência agrícola do agricultor reduz a necessidade de extensificação. A oferta de trabalho familiar, por outro lado, mostrou-se positivamente relacionada com o desmatamento e as culturas anuais, especialmente entre os domicílios com idosos. Observou-se também um efeito não linear para o ciclo no lote, em que o desmatamento é maior nos domicílios com menos tempo na fronteira e diminui entre os domicílios estabelecidos. De acordo com os autores, esse efeito, consistente ao longo do tempo e resistente à renovação fundiária, parece condizer com a hipótese de *learning-by-doing* (capital específico da terra), também sugerido e observado em outros estudos citados na pesquisa (GUEDES et al., 2017; BARBIERI et al., 2005; BRONDIZIO et al., 2002).

Em outro exemplo, D'Antona e Vanwey (2007) discutem a polarização da estrutura fundiária como uma expressão mais completa das dinâmicas fundiárias de uso e cobertura da terra na Amazônia. A metodologia contou com o levantamento realizado no entorno de Santarém-PA em 2003 nos locais de 587 lotes rurais selecionados aleatoriamente por amostragem estratificada de 5.086 lotes existentes em mapas da década de 1970. O georreferenciamento permitiu comparar a estrutura fundiária em dois momentos distintos e relacionar variáveis sociodemográficas e biofísicas dos estabelecimentos encontrados. Entre outros resultados não menos importantes, os autores concluíram que quanto aos efeitos da estrutura fundiária sobre usos e coberturas da terra, a existência de relevantes padrões especificamente associáveis aos pequenos e aos médios estabelecimentos revela que a agricultura em larga escala nas grandes unidades coexiste com a desigual distribuição de áreas residenciais - inclusive aquelas em franco processo de urbanização -, de áreas com agricultura familiar e dos estoques de floresta. A produção para mercados locais e a diversidade de usos e cobertura da terra estão nos estabelecimentos médios. Os remanescentes de floresta e as áreas em regeneração estão nos estabelecimentos maiores e nos médios.

Por fim, o trabalho de Sathler (2014) discute, de forma bastante ampla, as contribuições da Demografia para a questão ambiental como um todo, não apenas para as de dinâmicas de uso e cobertura da terra. A essa corrente, Sather (2012) dá o nome de Demografia Ambiental.

De acordo com o autor, dos anos 1990 e até atualmente os estudos sobre população e ambiente passaram a incorporar, sobretudo, as seguintes preocupações ambientais além da temática de uso e cobertura: emissão de gases estufa e a poluição do ar; desmatamento, desastres ambientais e migração. Quanto aos componentes sociais e demográficos associados aos temas ambientais, o autor destaca alguns, que são: os impactos da transição demográfica e da transição urbana no modo de vida nas cidades e nas alterações nos padrões de consumo; as implicações da explosão do consumo, agora visto como algo mais temido do que a explosão demográfica; as transformações na estrutura etária da população e as mudanças na composição domiciliar (menores unidades com maior consumo energético); a cidade como forma de organização espacial da população, etc.

2.3.3. AUTÔMATOS CELULARES (CA): DEFINIÇÃO, PROPRIEDADES E EXEMPLOS

De acordo com Almeida (2004) os modelos envolvendo mudanças de uso e cobertura da terra desenvolvidos no final dos anos 1950 até a metade dos anos 1980, de uma maneira geral, não operavam sobre uma dimensão espacial. Quando isso acontecia, o espaço urbano era desagregado em unidades (usualmente zonas de origem-destino ou definidas de acordo com distritos censitários ou outros critérios afins), mas o resultado destes modelos não podia ser visualizado espacialmente. Para a autora, efetivos avanços na representação espacial desses modelos ocorreram apenas no final dos anos 1980, quando modelos de autômatos celulares (CA) começaram a ser utilizados em larga escala.

A habilidade dos CA em representar sistemas complexos com comportamentos espaço-temporais a partir de um conjunto de regras tem se mostrado uma interessante técnica para geógrafos e profissionais de outras áreas do conhecimento, e o CA tem sido utilizado para modelar uma vasta gama de fenômenos, de incêndios florestais a epidemias, simulações de tráfego regional e urbanização, integração de modelos socioeconômicos e de sistemas naturais (PINTO; ANTUNES, 2007).

Para Almeida (2004), autômatos celulares podem ser considerados como uma categoria de modelos espacialmente explícitos (ou mais genericamente, modelos dinâmicos espaciais). O termo “espacialmente explícito” não é novo, mas ainda é empregado para caracterizar modelos que procuram descrever e prever a evolução de Briassoulis (2000) subdivide estes modelos em espacialmente explícitos integrais (georreferenciados) e espacialmente explícitos parciais (não-georreferenciados).

Para Soares-Filho et al. (2002), os modelos dinâmicos consistem em analisar e reproduzir, em ambiente computacional, os padrões espaciais resultantes das alterações da paisagem. Nessa classe, os modelos de simulação espacialmente explícitos podem estar baseados no modelo dos autômatos celulares (Cellular Automata - CA) (SOARES-FILHO, 2002).

A abordagem por autômatos celulares compreende um arranjo de células regulares com n-dimensão, no qual o estado de cada célula depende de seu estado prévio e de um conjunto de regras de transição, de acordo com um arranjo específico de certa vizinhança, sendo todas as células atualizadas simultaneamente a passos de tempo discretos (SOARES-FILHO et al., 2007).

Na pesquisa científica sobre AC, o matemático Stephen Wolfram (1983) é um dos responsáveis por uma extensa e importante pesquisa sobre o tema para explorar como suas

diferentes configurações podem evoluir a partir de simples conjuntos de parâmetros e regras. Segundo o autor,

“autômatos celulares (CA) são abstrações matemáticas de sistemas físicos em que o espaço e o tempo são discretos, e os atributos assumem valores também discretos. Um autômato celular é baseado em uma grade regular de células uniforme, geralmente infinito em sua extensão, com uma variável discreta em cada localidade (célula). O estado de um autômato celular está completamente especificado pelos valores das variáveis em cada célula. Um autômato celular evolui em intervalos de tempo discretos, com o valor da variável em uma célula sendo afetado pelos valores das variáveis nas células vizinhas encontrados no passo de tempo anterior. A vizinhança de uma célula é tipicamente formada pela própria célula em consideração e todas as demais células localizadas nas suas adjacências imediatas. As variáveis em cada célula são atualizadas simultaneamente (‘sincronicamente’), baseando-se nos valores das variáveis da sua vizinhança no passo de tempo precedente, e de acordo com um conjunto pré-definido de ‘regras locais’”.

Resumidamente, Singh (2003), apud Kawashina (2015), definiu que um modelo de autômato celular convencional é composto por cinco elementos:

- Um espaço celular composto por células individuais, que quando em formato quadrangular pode representar um espaço similar a um raster.
- Um conjunto discreto de estados: o estado de cada célula pode representar qualquer variável espacial, como, por exemplo, diversos tipos de cobertura da terra.
- Intervalos constantes e regulares de tempo, isto é, não fracionado sendo que, em cada passo, o estado das células é atualizado simultaneamente baseado nas regras de transição.
- Regras de transição universais, isto é, aplicáveis em todo o sistema de CA, e de ação local, fundamentais na evolução dinâmica do CA. Estas regras de transição normalmente especificam o estado da célula antes e depois da atualização baseada na condição das células vizinhas.

- Uma vizinhança de células estacionária de tamanho e forma definida, sendo inalterável ao longo de toda a execução do CA. Um CA com apenas uma dimensão, cada célula possui dois vizinhos. Quando passa a ter duas dimensões, existem duas maneiras de definir sua vizinhança, como a vizinhança de Von Neumann com quatro células vizinhas (a), e a vizinhança de Moore, representada com oito células (b), como exemplificado na Figura 16.

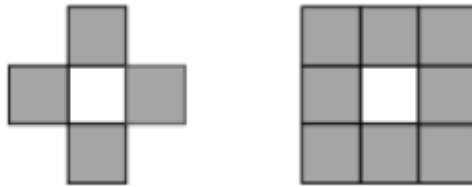


Figura 16: Representações das células vizinhas (cinza) para duas dimensões. À esquerda: vizinhança de Von Neumann; à direita: vizinhança de Moore. Fonte: Singh (2003) apud Kawashima (2015)

No trabalho desenvolvido por Furtado et al. (2009) é possível revisar conceitos e aplicações principais da utilização de autômatos celulares e modelos baseados em agentes no âmbito da problemática regional e urbana. Neste sentido, fenômenos urbanos e regionais são entendidos aqui essencialmente como questões multidimensionais, nas quais a simples decomposição estática de suas partes não permite compreensão do todo.

A ideia central da utilização de modelagem para análise de fenômenos urbanos e regionais é a possibilidade de entender as relações de sistemas complexos e, com isso, obter ferramental para fazer inferências sobre mudanças futuras (Furtado et al., 2009).

Ainda baseado em Furtado et al. (2011), em termos de análise urbana, regional e de transportes, um dos artigos de referência é o de White e Engelen (1993) apud Furtado et al. (2011), que serviu de base conceitual para uma série de desenvolvimentos. De acordo com os autores,

“o sistema denominado Metronamica (RIKS, 2005) é um desenvolvimento do modelo proposto por White, Engelen e Uljee (1997) e é utilizado para explorar os efeitos e as alternativas de políticas públicas nos aspectos socioeconômicos e ambientais e uso do solo urbano. O sistema computacional Metronamica supõe alta resolução socioespacial na qual a interação principal é entre agentes (uso

do solo) em uma dada vizinhança. Há vários usos do solo (vazio, residencial, industrial e comercial) e as células são convertidas de um uso para outro de acordo com regras de transformação (RIKS, 2005). A taxa de crescimento (conversão) de células é determinada exogenamente e a vizinhança considerada é aquela constante de um raio de seis células. A transição entre as classes de uso do solo é influenciada por variáveis endógenas de potencial do uso do solo que é calculado para cada célula e todas as classes de uso do solo.

Neste tipo de modelo, a vizinhança de cada célula inclui a localização da própria célula. Isto permite a modelagem de efeitos de inércia e sucessão espacial. A interação entre a demanda exógena por uso do solo e o potencial de uso do solo calculado é feita por meio do mecanismo de alocação. Este mecanismo busca iterativamente a célula (cujo uso do solo ainda não houve alocação) com maior potencial para qualquer uso do solo (para o qual ainda há demanda) e designa tal célula para aquele uso do solo específico. Por meio dessa modelagem, é possível simular o padrão de uso do solo que conforma a estrutura urbana”.

Também citada na revisão de Furtado *et al.* (2011), outro modelo de simulação do uso do solo disponível definido pelos autores como uma aplicação no campo do Urbanismo é o chamado *UrbanSim*, exemplificados nos trabalhos de Waddell, 2002; Waddell; Ulfarsson, 2003 e Waddell *et al.*, 2007. De acordo com os autores:

“O objetivo principal do modelo é simular os efeitos de sistemas de transporte no uso do solo e os subsequentes efeitos nos sistemas de transporte. O sistema é desenhado no intuito de subsidiar a agência de planejamento metropolitano de Utah, nos Estados Unidos. Ao fazê-lo, os autores do modelo propunham-se a reduzir os vieses contidos nos modelos de transporte que não incorporam os efeitos de retroalimentação. No intuito de modelar o processo como um todo, o sistema inclui cinco submodelos que simulam fatores específicos tais como: urbanização, preço da terra, acessibilidade, localização de empregos e de domicílios, que, por sua vez, se conectam com dois modelos exógenos: um modelo macroeconômico e um modelo de demanda de viagens. Modelos de escolha discreta baseados nos modelos de Random Utility Maximization

(RUM)21 são aplicados à escolha da localização residencial, da produção de habitações e da localização de empregos. Catorze setores, distribuídos em básico (5), varejo (3) e serviços (6), e oito níveis de densidade residencial são descritos no modelo.

...O modelo de preço da terra segue a literatura consolidada em economia urbana). Com isso, a proposta do modelo UrbanSim faz a regressão do valor agregado de venda da célula nas características dos domicílios, acessibilidade e amenidades de cada célula Assim, pode-se dizer que os autores realizam estimações do tipo cross-section nas quais as variáveis independentes são atualizadas a cada ano de acordo com os parâmetros dos outros submodelos”.

O espaço no modelo *UrbanSim* é subdividido em células de 150 x 150 metros. Cada célula representa o agregado dos indivíduos, domicílios, empregos e firmas daquele espaço. A base de dados disponível no sistema é vasta e inclui informações fiduciárias e estatais, emprego e desemprego, bases comerciais e dados do censo. Todas as informações estão integradas em um sistema georeferenciado (WADDELL *et al.*, 2007).

CAPÍTULO III

PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS_____

Os procedimentos metodológicos dividem-se em cinco etapas distintas, conforme ilustra o fluxograma a seguir (Figura 17). Os materiais utilizados e a descrição de cada etapa seguem definidos nos próximos subitens.

Resumidamente, as etapas acontecem em 9 principais procedimentos, que são: definição da série temporal de análise, mapeamento dos processos erosivos lineares identificados na região de estudo, análise da autocorrelação dos processos, coleta de dados de uso e cobertura da terra, análise de mudanças temporais, seleção de indicadores e variáveis explicativas e a proposta final de modelagem da dinâmica espacial.

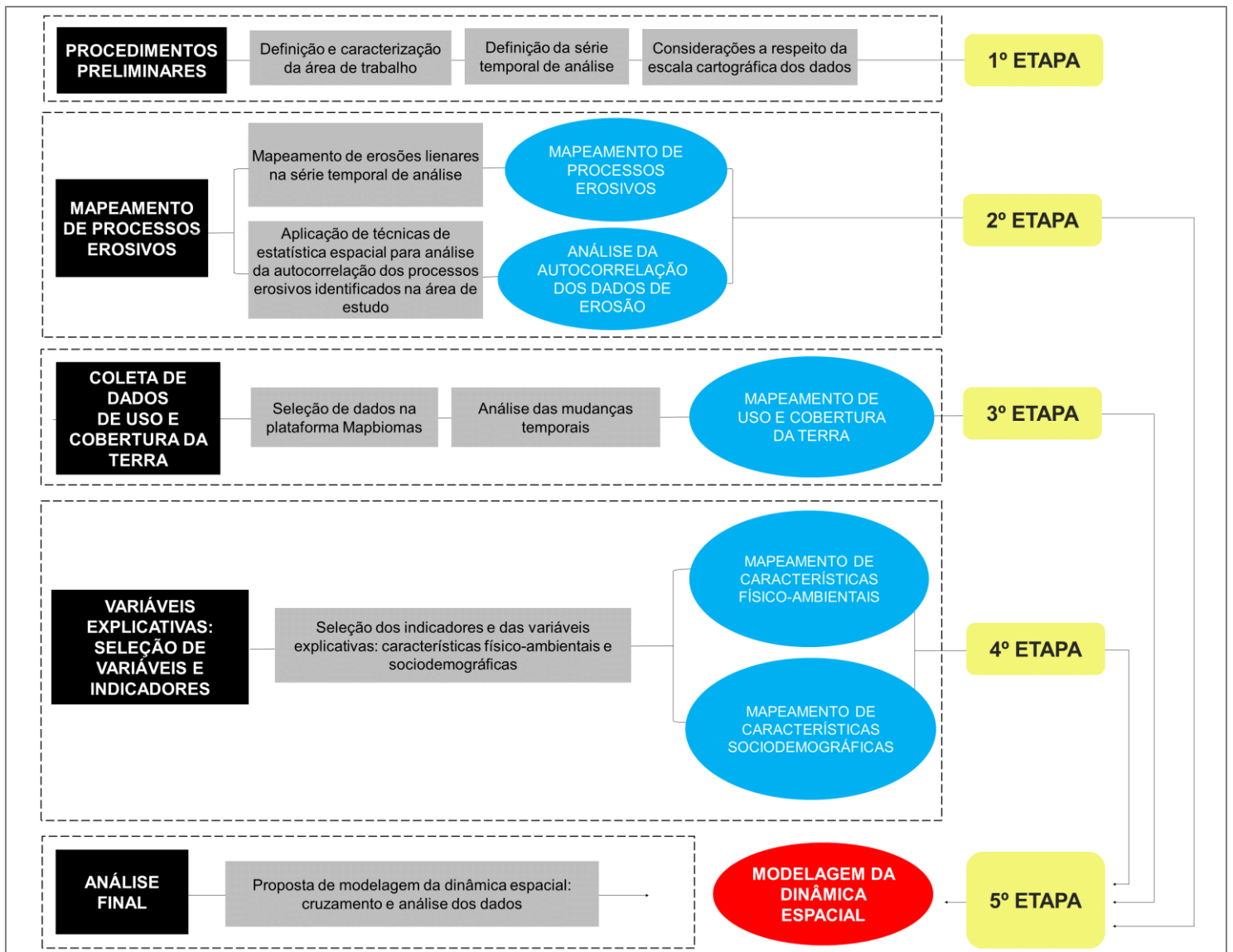


Figura 17: Fluxograma do procedimento metodológico. Fonte: Natália da Costa Souza, 2018

3.1. PROCEDIMENTOS PRELIMINARES: ETAPA 1

A etapa 1 engloba os procedimentos preliminares, que são: definição da área de trabalho, da série temporal de análise e considerações sobre a escala dos dados espaciais utilizados. A descrição de cada um segue nos itens abaixo.

3.1.1. DEFINIÇÃO E BREVE CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do presente trabalho está localizada na porção do Médio-Mogi (município de Santa Rita do Passa Quatro, nordeste do Estado de São Paulo, Brasil). As análises foram realizadas nas áreas das bacias hidrográficas do rio Claro (251,88km²), do rio Bebedouro (390,00km²) e do Córrego da Capituva (30,76km²), todas situadas na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 09 - UGRHI (Mogi Guaçu) – Figura 18.

O município de Santa Rita do Passa Quatro (27.590 habitantes – Prefeitura de Santa Rita do Passa Quatro, 2017) é parte da Região Metropolitana de Ribeirão Preto (RMRP), que tem 14.787,890 km² de área (5,96% do Estado de SP), cerca de 1,68 milhão de habitantes (3,7% do Estado e 0,81% do país) e Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 55,1 bilhões estimado em 2015 (2,96% do PIB do Estado e 0,97% do PIB brasileiro) (IBGE, 2017).

Na região há uma área de aterro controlado de resíduos sólidos localizado a aproximadamente 10 km da área urbana do município, na porção Norte da área de estudo, uma estação de tratamento de esgoto, áreas de mineração de materiais para a construção civil e uma dutovia que transporta etanol e derivados do petróleo. A área de estudo apresenta parte da Unidade de Conservação Parque Estadual do Vassununga, Gleba “Pé de Gigante” e também uma parcela da “Zona de Amortecimento do Parque Estadual do Vassununga”.

O clima local é classificado como temperado macrotérmico, quente de inverno seco e não rigoroso. A temperatura média anual é de 21.1°, com a média mínima de 17.5° e média máxima de 23.5°, com uma precipitação média anual é de 1506.8mm. Segundo as normais climatológicas do Inmet (1990), os ventos na região têm direção predominante para noroeste.

Na área são encontrados depósitos do período Quaternário, as formações geológicas Pirassununga, Santa Rita do Passa Quatro, Intrusivas Básicas Tabulares, Botucatu (friável e silicificado), Pirambóia e Corumbataí, sendo a Formação Pirambóia a que apresenta maior ocorrência. O uso na bacia é predominantemente agropastoril, com grande expressividade do cultivo de cana de açúcar e pastagens.

Os critérios selecionados para escolha da área de estudo foram:

a) Alta intensidade de ocorrência de processos erosivos:

Baseado na distribuição espacial de processos erosivos mapeados pelo IPT/DAEE (2013) foram identificadas áreas de alta intensidade de processos erosivos em diversas regiões do estado de São Paulo. A área de estudo apresentava, em 2013, 242 registros de processos erosivos lineares (0,96/km²). Conforme descrito nos itens a seguir, tais registros foram atualizados, o que aumentou, portanto, o número de processos identificados na região.

b) Conhecimento prévio da região e disponibilidade de dados:

A região também foi escolhida por ser uma área já previamente conhecida pelos autores da pesquisa, com dados primários (produzidos) disponíveis e compatível com a escala de planejamento e mapeamento regional (1:50.000) (LORANDI e LOLLO, 2016).

3.1.2. DEFINIÇÃO DA SÉRIE TEMPORAL DE ANÁLISE

A série temporal analisada para elaboração da proposta final compreende os anos entre 1990 e 2017. Serão observados os fenômenos de erosões lineares, a dinâmica de uso e cobertura da terra e a variação de características sociodemográficas e físico-ambientais.

A série temporal indicada compreende períodos de importantes alterações na dinâmica de ocupação da região, significativas transformações de uso e consequente aumento do número de processos erosivos registrados.

Além disso, o período em questão conta com a disponibilidade gratuita de importantes fontes de dados para a realização da pesquisa, tais como: produtos sensores (imagens de satélite de média e alta resolução, dados topográficos e modelos de elevação), dados de censos demográficos dos anos 2000 e 2010, do PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, plataformas digitais de visualização e consulta de dados espaciais e alfa-numéricos (DataGeo, Projeto Mapeia São Paulo – Emplasa, UrbanData Brasil, Seade – Portal de Estatísticas do Estado de São Paulo, CPLA – Sistema Ambiental Paulista, Geobank – CPRM, MMA – Ministério do Meio Ambiente.

A série, que contempla um total de 27 anos, foi dividida em três períodos de análise: i) 1990 a 2000; ii) 2000 a 2010 e iii) 2010 a 2017.

A proposta final, descrita detalhadamente na última etapa desse capítulo, é resultado da comparação dos fenômenos observados resultantes dos produtos intermediários ilustrados no fluxograma metodológico (Figura 1, página 59). Ou seja, para cada período indicado, as características socioeconômicas, ambientais, demográficas e as transformações de uso e cobertura da terra foram associadas às ocorrências de processos erosivos registrados na área de estudo.

3.1.3. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA ESCALA CARTOGRÁFICA DOS DADOS

Priorizou-se o uso e fornecimento de mapeamentos das variáveis explicativas ambientais nas escalas entre 1:50.000 e 1:150.000, classificadas por Ross (1994) como sendo escalas aplicadas a estudos regionais. De modo geral, os dados utilizados ficaram dentro do intervalo cartográfico sugerido. Especialmente para os dados de regime pluviométrico foram

utilizadas técnicas de geoprocessamento conhecidas na literatura da ciência da informação geográfica e cartografia digital, de forma a alcançar a menor escala entre o intervalo proposto.

A tabela X a seguir resume as características de todos os dados espaciais utilizados.

Tabela 4. Características dos dados espaciais utilizados

Nome do dado	Escala	Tipo de dado	Fonte e data
Uso e cobertura da terra - Série I	1:50.000	Raster	MapBiomass, 2018
Uso e cobertura da terra - Série II e III	1:50.000	Raster	MapBiomass, 2018
Dados de erosão - Série I	1:50.000	Vetorial (pontos)	Imagem Landsat (USGS - Earth Explorer)
Dados de erosão - Série II e III	1:6.000	Vetorial (pontos)	Imagem Rapid Eye (USGS - Earth Explorer)
Rodovias e Vicinais	1:6.000	Vetorial (linhas)	Open Street Map, Qgis, 2018
Rede de Drenagem	1:50.000	Vetorial (linhas)	Projeto GISAT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)
Características Topográficas	1:50.000	Vetorial (linhas)	Projeto GISAT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)
Concentração populacional	Setores Censitários IBGE	Vetorial (polígonos)	
Densidade urbana	2010: áreas urbanas: 1:2.000 a 1:10.000 ; áreas	Vetorial (polígonos)	Censo Demográfico IBGE, 2010
Índice de carência habitacional (ICH)	rurais: 1:25.000 a 1:250.000	Vetorial (polígonos)	

Fagundes (2013), especialmente, afirma que, frente à problemática da disponibilidade de dados em escalas diversas para a aplicação de modelos ambientais, os mapeamentos finais (e também os objetivos específicos relacionados à questão da escala) devem admitir a limitação dos produtos gerados e a necessidade de checagem, em campo, para verificação da base cartográfica gerada. Por conta da diversidade de dados fornecidos e, frente à dificuldade de trabalho em uma única escala, admitiu-se, como escala final do mapa de suscetibilidade gerado, a de menor detalhamento oriunda dos mapeamentos intermediários.

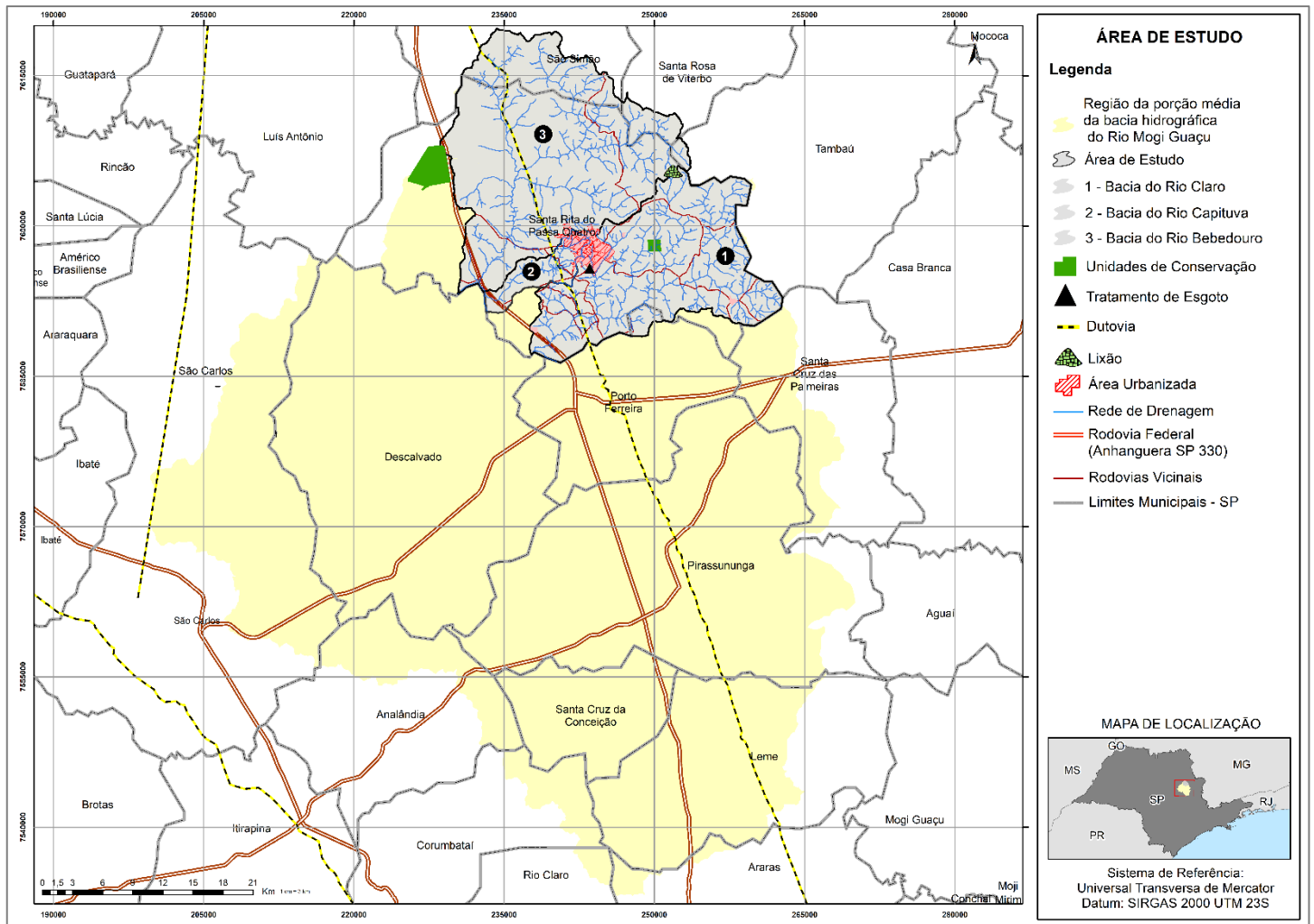


Figure 18. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Natália da Costa Souza, 2018

3.2. PROCESSOS EROSIVOS: ETAPA 2

A etapa 2 corresponde ao mapeamento dos processos erosivos identificados na região de estudo. Por meio desta etapa, obtiveram-se dois produtos intermediários importantes para a proposta metodológica final: o mapeamento total de erosões dentro da série temporal analisada e o estudo de autocorrelação dos registros identificados.

3.2.1. MAPEAMENTO DOS PROCESSOS EROSIVOS

O registro dos processos baseou-se no método desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), publicado em 2013. O método de mapeamento consiste, basicamente, no reconhecimento visual das feições erosivas lineares, facilmente identificadas por meio de imagens de satélite de alta resolução.

A identificação de todos os processos erosivos existentes na área foi feita por meio do uso de imagens de satélite disponíveis gratuitamente em plataforma digitais online SIG (software ArcGis 10.5), Google *Earth Pró* e por meio das imagens acessíveis no catálogo da USGS - *Earth Explorer*. A seleção baseou-se no critério de resolução espacial das imagens disponíveis, ou seja, produtos sensores capazes de oferecer uma resolução satisfatória para o reconhecimento dos processos erosivos presentes na região.

Com exceção da imagem utilizada para análise e mapeamento dos processos erosivos da primeira série temporal de análise, as bases de dados citadas apresentam mosaicos de imagens de sensores com resoluções espaciais de até 60 cm, o que possibilitou a identificação de feições erosivas de tamanho superior a 0,6 metros e a geração de uma base de dados espaciais de pontos de erosão na escala 1:3.000. As imagens da Figura 19 exemplificam o procedimento de identificação dos processos via imagens de satélite. Já a Figura 20 é a imagem Landsat utilizada para reconhecimento das feições da I série temporal de análise (1990 – 2000).

Para facilitar o processo de identificação das feições, a área de estudo foi sistematizada em quadrículas de tamanho fixo (1 km²). A análise aconteceu na extensão total das áreas das bacias, totalizando 756 quadrículas (Figura 21).

Baseado na série temporal definida, o segundo período de análise (2000 a 2010) considerou os registros já mapeados e disponíveis pelo IPT, publicado em 2013 e com data deregistro dos processos ocorridos até 2010. Já para o primeiro (1990 a 2000) e terceiro período (2010 a 2017), foram analisadas as imagens citadas, de forma que, considerando o período de

cada série, as imagens utilizadas foram sempre as do último ano de cada série, ou seja: 2000 (série I) e 2017 (série III).

Ao final do processo, os dados registrados foram inseridos em ambiente SIG (*software* ArcGis 10.5®), em formato *shapefile* (pontos), no sistema de referência Projeção Transversa de Mercator (UTM), Fuso 23S, datum SIRGAS 2000.



Figura 19: Exemplo de identificação de processos erosivos por meio de imagens de satélite. Em destaque: voçoroca de maior extensão no município de Santa Rita do Passa Quatro (SP). Fonte: Plataforma online de imagens ArcGis® 10.5 – 2018 (imagem Rapid Eye – alta resolução)

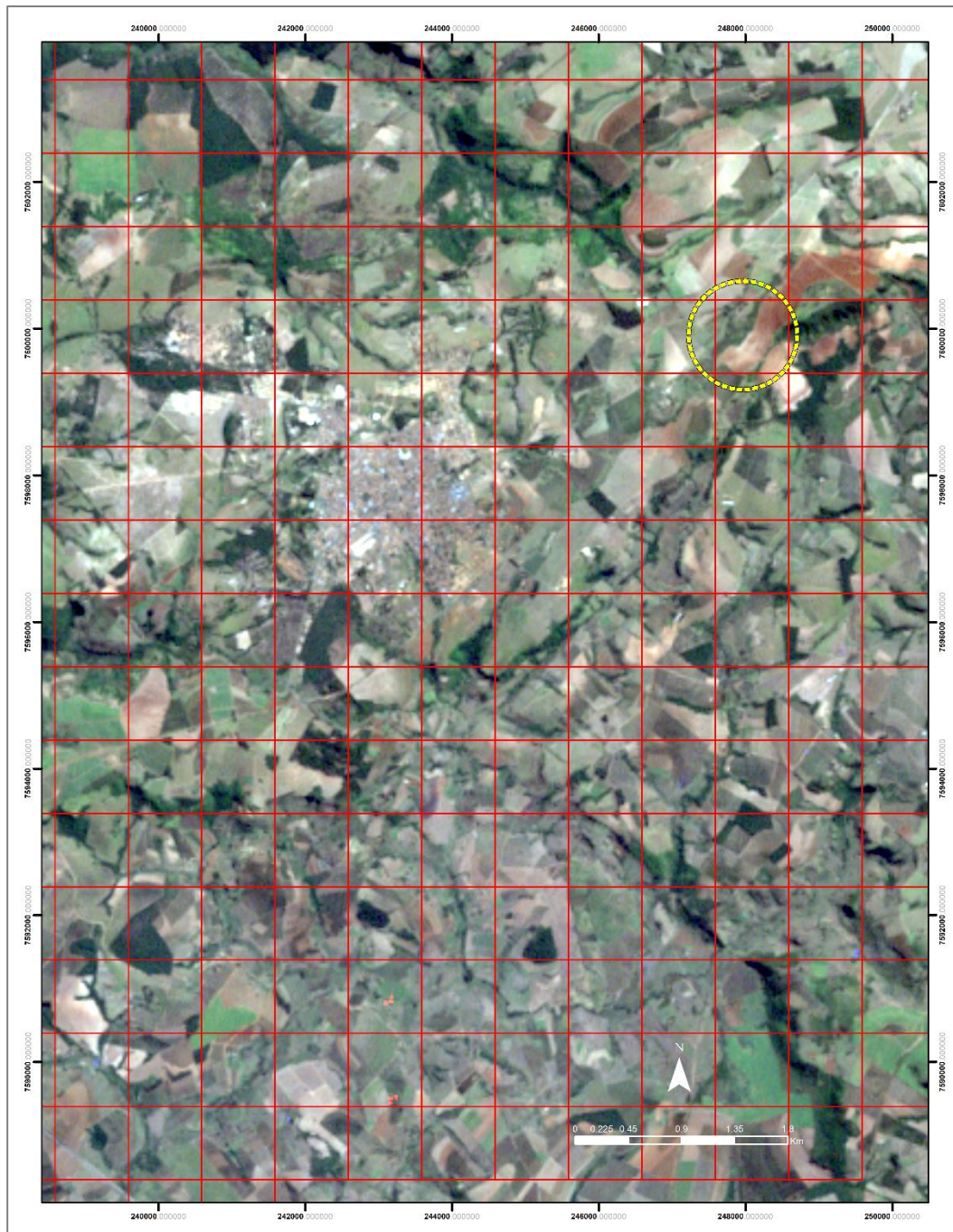


Figura 20: Exemplo de identificação de processos erosivos por meio de imagens de satélite. Em destaque: voçoroca de maior extensão no município de Santa Rita do Passa Quatro (SP). Fonte: USGS - *Earth Explorer* (imagem *Landsat* – baixa resolução)

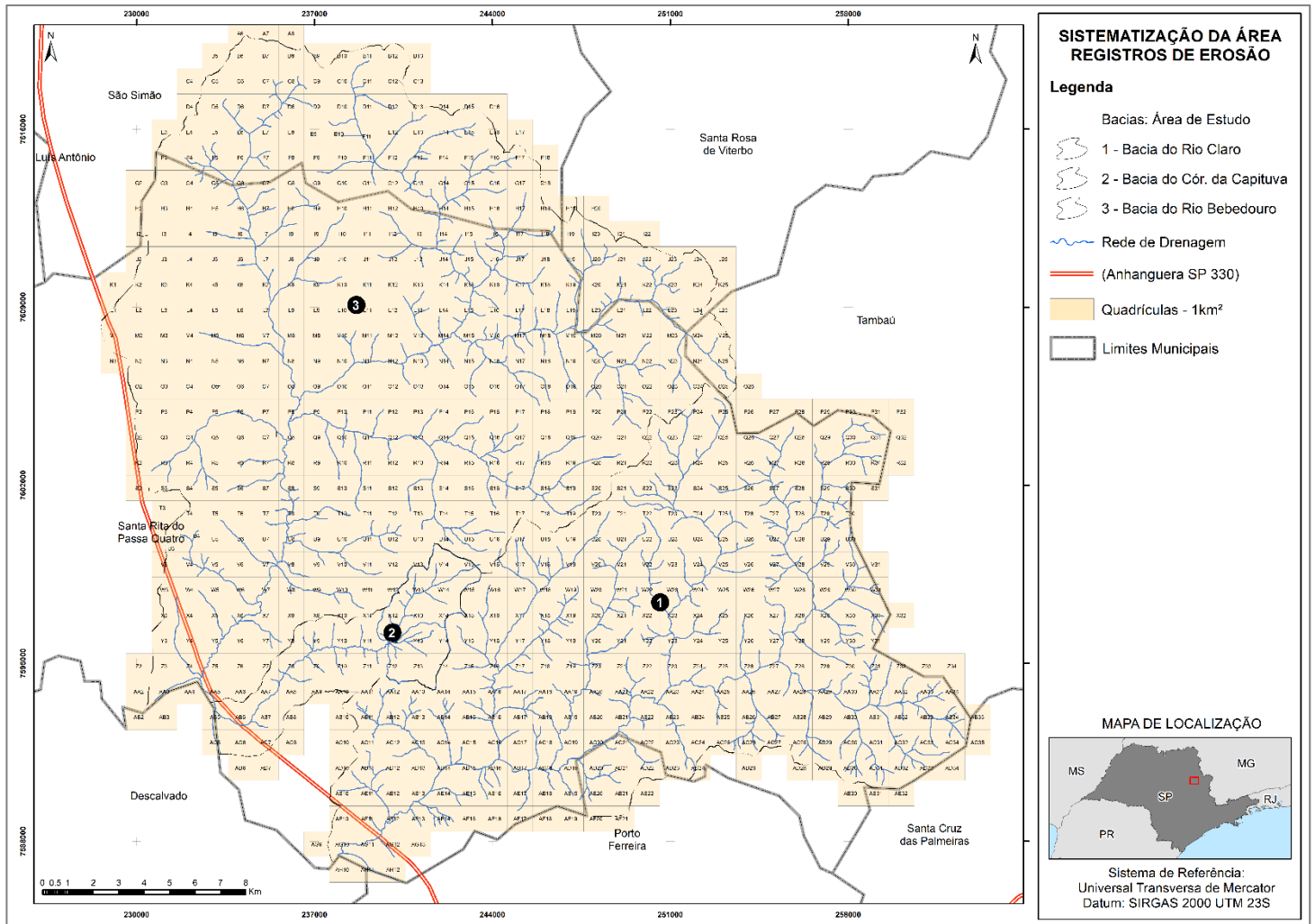


Figura 21: Sistematização da área e estudo em quadrículas fixas de 1km². Fonte: Natália da Costa Souza

3.2.2. ANÁLISE DA AUTO CORRELAÇÃO DOS DADOS DE EROSÃO

Desse item resultam os produtos de interpretação da autocorrelação dos dados de processos erosivos por meio de técnicas de estatística espacial de mapas binários.

Baseado em Souza et al. (2018), a técnica de estatística espacial de mapas binários foi empregado para análise da autocorrelação dos registros de erosão presentes na área de estudo. O mapa binário é um instrumento de representação e comunicação de dados geográficos capaz de revelar arranjos espaciais que podem ou não ocorrer em cada uma das unidades geográficas do mapa. A autocorrelação espacial, quando aplicada a este tipo de mapa, permite-nos identificar o grau de organização espacial de uma variável geográfica em uma área ou região. Entre outros fatores, este grau de organização depende dos graus de contingência e vizinhança entre eventos binários (FERREIRA, 2014).

Dentro da proposta da tese aqui apresentada, a pertinência da aplicação dessas ferramentas decorre do fato de o espaço geográfico ser uma dimensão dinâmica, resultante de interações complexas entre os diversos fatores que definem a sua organização, constituindo o componente intrínseco das condições de vida.

Baseado nisso, a aplicação da seguinte técnica trata-se de uma análise preliminar da existência de autocorrelação espacial do número de processos erosivos registrados na área de estudo (para os três períodos de análise), ou seja, da identificação de padrões na distribuição espacial das erosões existentes, capaz de indicar como sua variabilidade espacial pode (ou não) estar correlacionada às características estudadas nos itens subsequentes. O uso das informações da variabilidade espacial de processos erosivos pode ser de grande utilidade para se conhecer características específicas desses eventos, capazes até de explicar as relações de causa e efeito, podendo ser pontos-chave na inclusão de modelos de predição.

A medida de autocorrelação por meio da aplicação de mapas binários é feita a partir das propriedades de conectividade e contiguidade dos eventos S (sim) e N (não). A partir disso, identificam-se três tipos de relação horizontal (RH) ou ligação entre unidades geográficas, tomando-se como base a informação binária (Tabela 4). A partir da distribuição espacial dos três tipos de RH, avalia-se o grau de autocorrelação espacial (ρ) entre os eventos de erosão na região composta de n microbacias para constatar se os processos erosivos estão espacialmente correlacionados ($\rho > 0$).

Tabela 5: Tipos de relação horizontal presentes em um mapa binário e suas principais características de contiguidade. (FERREIRA, 2014)

Tipo de relação horizontal (RH)	Característica da relação
S-S	Ocorreram casos em dois municípios contíguos
N-N	Não ocorreram casos em dois municípios contíguos
S-N	Ocorreram casos em um dos municípios contíguos

Se no mapa a relação horizontal do tipo S-S predominar sobre a S-N, então $p > 0$; se, em contrapartida, for preponderante a ocorrência de S-N, então $p < 0$.

A metodologia mais utilizada para determinarmos se há autocorrelação espacial positiva entre os eventos inicia-se na contagem de quantidade de relações do tipo S-S, N-N e S-N presentes no mapa binário. Em seguida, as quantidades observadas para estes três tipos de relação são comparadas à quantidade esperada de relações e, partir daí, decide-se se será aceita a hipótese nula (*H0 – não correlação espacial*) ou a hipótese alternativa (*H1 - de autocorrelação espacial positiva*) entre os dados (FERREIRA, 2014).

Todo o processo de produção e análise dos mapas binários foram realizados no *software* ArcGis® 10.3. Para a presente pesquisa, adotaram-se como unidade geográfica de análise de contiguidade os polígonos referentes às microbacias das bacias hidrográficas definidas como área de estudo.

Para cada tipologia identificada e em cada série temporal de análise, as unidades de análise foram classificadas como contendo processo erosivo (S) ou não contendo processo erosivo (N).

Em seguida, foram somados os totais de registros de processos presentes em cada unidade de análise. Por fim, para checagem do tipo de relação estabelecida entre cada microbacia, aplicou-se a ferramenta de análise espacial de proximidade, “polígonos vizinhos”, que estabelece a contagem total de junções por polígono e o tipo de relação estabelecida entre eles, possível através da classificação prévia do mapa binário.

Como sugere o esquema metodológico representado pela Figura 17, as análises resultantes dessa etapa foram inseridas na proposta final, ou seja, utilizadas como variáveis para compor a modelagem de dinâmica espacial que estabelece a associação entre as mudanças de uso e

cobertura da terra e aspectos sociodemográficos relacionados à dinâmica de ocupação do território e o crescimento de processos erosivos lineares.

3.3. DADOS DE USO E COBERTURA DA TERRA: ETAPA 3

A etapa 3 trata-se do procedimento de coleta de dados dos mapeamentos de uso e cobertura da terra para detecção das alterações observadas na área de estudo. Os itens que seguem detalham os procedimentos de coleta e adequação de dados, análise da classificação e análise das mudanças temporais nas séries observadas.

3.3.1. COLETA DE DADOS DE USO E COBERTURA DA TERRA

Para as séries temporais propostas, utilizou-se os dados disponíveis na plataforma MapBiomias. O MapBiomias é uma iniciativa multi-institucional envolvendo universidades, ONGs e empresas de tecnologia que se uniram para contribuir com o entendimento das transformações do território brasileiro a partir do mapeamento anual da cobertura e uso do solo no país. O projeto gerou um mapa anual de cobertura e uso da terra para cada ano entre 1985 e 2017 com resolução de 30 m em todo território brasileiro (MapBiomias, 2017).

As versões utilizadas para a seguinte tese referem-se a versão da coleção 3, cobrindo o período de 1985 – 2017 - publicada em agosto de 2018 e versão da coleção 3.1, com melhorias na classificação - publicada em abril de 2019)

A bacia hidrográfica tem sua maior parte localizada no município de Santa Rita do Passo Quatro (SP) e uma pequena área localizada no município de Porto Ferreira (SP). As imagens foram recortadas e tratadas dentro do perímetro da bacia hidrográfica do rio Claro. Foram feitas adequações para a projeção SIRGAS 2000 UTM 23S.

O processo de definição das tipologias mapeadas foi baseado na distribuição das principais feições ao longo da região de análise e, principalmente, em estudos de definição da suscetibilidade dos terrenos ao desenvolvimento de processos erosivos (Souza, 2015; Fagundes, 2013; Manfré, 2012; Spörl, 2007) e de abordagens de alterações de uso e cobertura da terra relacionados ao aparecimento de processos erosivos (Leh et. al., 2013; Mishra et. al. 2014; Amorim, 2015). Dessa forma, optou-se por manter as unidades e as legendas propostas pelo banco de dados da plataforma, que são (Tabela 5):

Tabela 6: Definição das classes de uso: o campo “New ID” traduz os códigos correspondente no banco de dados das bases georreferenciadas na plataforma. Fonte: Mapbiomas, 2018

COLEÇÃO 3 - PORTUGUÊS	COLLECTION 3 - ENGLISH	NEW ID
1. Floresta	1. Forest	1
1.1. Floresta Natural	1.1. Natural Forest	2
1.1.1. Formação Florestal	1.1.1. Forest Formation	3
1.1.2. Formação Savanica	1.1.2. Savanna Formation	4
1.1.3. Mangue	1.1.3. Mangrove	5
1.2. Floresta Plantada	1.2. Forest Plantation	9
2. Formação Natural não Florestal	2. Non Forest Natural Formation	10
2.1. Área Úmida Natural não Florestal	2.1. Wetland	11
2.2. Formação Campestre	2.2. Grassland Formation	12
2.3. Apicum	2.3. Salt flat	32
2.4. Outra Formação Natural não Florestal	2.3. Other non forest natural formation	13
3. Agropecuária	3. Farming	14
3.1. Pastagem	3.1. Pasture	15
3.2. Agricultura	3.2. Agriculture	18
3.2.1. Cultura Anual e Perene	3.2.1. Annual and Perennial Crop	19
3.2.2. Cultura Semi-Perene	3.2.2. Semi-Perennial Crop	20
3.3. Mosaico de Agricultura e Pastagem	3.3. Mosaic of Agriculture and Pasture	21
4. Área não vegetada	4. Non vegetated area	22
4.1. Praia e Duna	4.1. Beach and Dune	23
4.2. Infraestrutura Urbana	4.2. Urban Infrastructure	24
4.3. Afloramento Rochoso	4.3. Rocky outcrop	29
4.4. Mineração	4.4. Mining	30
4.5. Outra Área não Vegetada	4.5. Other non vegetated area	25
5. Corpos D'água	5. Water	26
5.1 Rio, Lago e Oceano	5.1. River, Lake and Ocean	33
5.2 Aquicultura	5.2. Aquaculture	31
6. Não observado	6. Non Observed	27

3.3.2. ANÁLISE DAS MUDANÇAS TEMPORAIS

Por meio da comparação dos mapas de uso e cobertura gerados (etapa 2.3.1) para os períodos indicados na série temporal definida, foram elaboradas matrizes de transição entre os períodos de análise e mapas de detecção de mudanças.

De acordo com Dimuro et al. (2002), as matrizes de transição podem ser utilizadas na predição de cenários futuros e calculam a probabilidade de transição das classes analisadas em função da sua variação no tempo. Dessa forma, foram considerados os mapas classificados a partir das imagens de satélite dos anos de 1990, 2000, 2010, e 2017.

Os dados são analisados pelo processo de sobreposição de arquivos raster (matrizes). Como resultado, são exibidos por meio de uma tabela cruzada que mostra a possibilidade de transformação de cada uso da terra para outros usos. Além disso, o mapa de mudança criado indica a localização das alterações da área e representa a distribuição das conversões com informações detalhadas sobre seus atributos. A tabela de saída é exportada para o *Microsoft Excel* para a possibilidade de preparação de gráficos.

As simulações foram realizadas baseando-se nas taxas de transição calculadas nas probabilidades de transição das células (*“Modeling Transition Potention”*). Para tais simulações, foi utilizado o algoritmo de Rede Neural Artificial (ANN), que respondeu melhor aos modelos de dados inseridos. Os parâmetros de ajuste dos cálculos de transição são tratados a seguir.

Essas definições serão as mesmas usadas no procedimento de geração das modelagens de previsão geradas:

1. Vizinhança (Neighbourhood): define a quantidade de pixels vizinhos ao pixel corrente. Tamanho = 1 significa 9 pixels (matriz 3x3); tamanho = 2: 25 pixels (matriz 5x5), e assim sucessivamente.

2. Taxa de aprendizagem (Learning rate) e Interações Máximas (Momentum e Maximum iterations): definem os parâmetros da aprendizagem. Grande taxa de aprendizagem permite uma aprendizagem rápida, mas instável (picos no gráfico); taxa de aprendizagem pequena e dinâmica significa uma aprendizagem estável, porém lenta.

3. Camadas Ocultas (Hidden Layers): é o local de entrada para uma lista de números (n_1, n_2, \dots, n_k), onde n_1 é o número de neurônios na primeira camada oculta, n_2 o número de neurônios na segunda, seguindo até n_k , que é o número de neurônios na última camada oculta (camada k th). Portanto, se o usuário digita "2" será criada uma rede com apenas uma

camada escondida com 2 neurônios. Para criar uma rede com duas camadas ocultas o usuário deve inserir 2 números, por exemplo 10 e 2, em que 10 será o número de neurônios da primeira camada oculta e 2 o número de neurônios da segunda camada oculta.

Dado isso, os seguintes resultados são propostos:

a.) A área gráfica contém os conjuntos de erros de treinamento e de validação. Representa a principal informação do processo de aprendizagem.

b.) O campo "Validação Global do Erro Mínimo" (Min Validation Overall Error) contém informação sobre o erro mínimo encontrado na validação do conjunto de amostras.

c.) O campo "Variação da Precisão Global" (Overall Accuracy) mostra a diferença entre o erro encontrado e o erro atual.

d.) O campo "Validação Kappa Atual" (Current Validation Kappa) mostra o valor kappa.

O algoritmo do processo de aprendizagem analisa a precisão alcançada nos conjuntos de amostras de treinamento e validação e armazena a melhor rede neural na memória. O processo termina quando a melhor precisão possível é atingida.

Por fim, foram elaborados os mapas de alterações ("Create change map"), considerando os períodos de 1990 a 2000, 2000 a 2010 e 2010 a 2017.

Os produtos das simulações foram continuamente calibrados até se atingirem resultados satisfatórios, que foram constantemente validados.

3.4. SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS: CARACTERÍSTICAS FÍSICO – AMBIENTAIS E SOCIODEMOGRÁFICAS: ETAPA 4

Chamaram-se de indicadores e variáveis explicativas as características físico-ambientais e sociodemográficas selecionadas para compor a modelagem, ou seja, particularidades que foram associadas às transformações de uso e cobertura da terra e à dinâmica de evolução de aparecimento de processos erosivos durante as séries temporais analisadas.

Toda seleção foi baseada em estudos já publicados de dinâmica espacial de uso e cobertura, mas em especial os que trataram de abordagens direcionadas à compreensão de modelos envolvendo a ocorrência de eventos geodinâmicos (Spörl, 2007; Manfré et al., 2012; Leh et. al, 2013; Mishra et. al., 2014; Amorim, 2015; Kawashima, 2015; Souza, 2015).

3.4.1. INDICADORES E VARIÁVEIS FÍSICO-AMBIENTAIS:

Além de características ambientais, como é o caso do regime pluviométrico e dados de erosão, na categoria de indicadores e variáveis físicos-ambientais estão também incluídos componentes de atributos físico-estruturais, como modais de transporte (distância de rodovias e vicinais relevantes) e rede de drenagem (distância às redes de drenagem principal), declividade e altimetria.

Essas 4 variáveis são bastante comuns em modelagens de dinâmicas espaciais de uso e cobertura da terra, apresentando grande influência na maioria dos modelos e prognósticos desenvolvidos nas últimas décadas. De modo geral, são tratadas como principais vetores de expansão em modelagens de dinâmica espacial e urbanas.

A base das rodovias foi obtida pelo *plugin* gratuito disponível no QGIS 3.0 do OSM (Open Street Map) e atualizada para cada período de simulação por meio do auxílio de imagens de satélite de alta resolução de livre acesso na plataforma do Google Earth Pro , do ArcGis online 10.5 e das imagens da Embrapa referentes ao projeto Mapeia SP.

Os mapas de distâncias das rodovias e vicinais relevantes e da rede de drenagem foram feitos por meio de ferramentas de cálculo de distância euclidiana e *buffers* múltiplos. A geração dos mapas considerou as distâncias de 1, 3, 5, 10, 15 e 20 km a partir das rodovias e linhas de drenagem, quando o caso.

Para mapeamento das características topográficas utilizou-se a base de dados gratuita fornecida pelo Instituto de Pesquisas Espaciais – IPT. Foram utilizadas informações

referentes à hidrografia, pontos cotados de altimetria e curvas de nível oriundos de cartas de mapeamentos sistemáticos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Geográfico Geológico (IGG) e Departamento de Serviços Geográficos do Exército, na escala 1:50.000 (projeto GISAT).

Para geração do mapa de declividade, foi gerado, a partir das curvas de níveis, pontos cotados e rede de drenagem, um MDT (Modelo Digital de Terreno), com resolução de 50 m² (grid de 25x25m) no programa ARCGIS 10.5 (Topo to Raster). Segundo Rabaco (2005), esse módulo possui como principais vantagens a coerência nas análises hidrológicas e a continuidade da superfície, ausente nos demais métodos (ex. krigagem), resultando em uma estrutura de drenagem conectada e produzindo alta acurácia na superfície. Ainda segundo Guimarães (2000), este módulo utiliza também uma técnica de interpolação de interação de diferenças finitas, combinando a eficiência de uma interpolação local com métodos de interpolação global, os quais utilizam uma superfície de continuidade, como o interpolador Kriging. Além disso, segundo o mesmo autor, esse tipo de interpolação gera uma estrutura de drenagem hipotética, eliminando depressões que não estão de acordo com o fluxo gravitacional.

Para geração das classes de declividade, aplicou-se, ao MDT gerado, a ferramenta Slope (módulo 3D Analyst – Surface – Slope).

Também nessa categoria de seleção de variáveis, foram utilizadas medições das médias de chuvas da área de estudo para as séries temporais propostas. Acredita-se que a variação do regime pluviométrico, por estar associado diretamente à ocorrência dos processos erosivos lineares, pode influenciar na dinâmica de alteração dos tipos de uso e cobertura e conseqüentemente na ocorrência de processos erosivos lineares. Na literatura, é recorrente o uso dessas informações para modelagens ambientais de suscetibilidade de terrenos à erosão (SOUZA, 2015).

Quanto ao processo de mapeamento, para o caso das análises de características climáticas, a geração de dados por do uso de técnicas de geoestatística é bastante comum. Uma vez calculados ou estimados valores pontuais, mapas de regimes pluviométricos podem ser obtidos através de métodos de interpolação que usam os valores amostrados para estimativas de valores em locais com ausência ou informações restritas de precipitação.

O processo de interpolação é comumente realizado utilizando métodos que consideram as informações uniformemente distribuídas na região de interesse ou que consideram apenas os dados pontuais mais próximos, ignorando outros efeitos que podem

interferir na distribuição das chuvas. Uma revisão dos principais métodos utilizados pode ser observada nos trabalhos realizados por Montebeller, 2007; Viola, 2010; Sediyaama, 2006; Assad, 2003; Carvalho, 2012 e Wanderley, 2013.

Em geral, os trabalhos focam-se na comparação de métodos interpoladores para geração de análises espaciais e leitura de dados de pluviometria.

Para geração do mapeamento de comportamento pluviométrico da área de estudo foram aplicadas técnicas simples de interpolação por meio da aplicação da técnica de Ponderação do Inverso das Distâncias (IDW). A Ponderação do Inverso das Distâncias (*Inverse Distance Weighting*) implementa explicitamente o pressuposto de que as coisas mais próximas entre si são mais parecidas do que as mais distantes. Para prever um valor para algum local não medido, o IDW usará os valores amostrados à sua volta, que terão um maior peso do que os valores mais distantes, ou seja, cada ponto possui uma influência no novo ponto, que diminui na medida em que a distância aumenta, daí seu nome (Jacob e Young, 2006). Sua fórmula de cálculo é:

$$\hat{Z}(s_0) = \frac{\sum_{i=1}^N w_i Z(s_i)}{\sum_{i=1}^N w_i}, \text{ em que:}$$

$\hat{Z}(s_0)$ é o valor a ser predito para o local S_0 ;

N é o número de pontos observados a serem usados ao redor do valor a ser predito;

w_i são os pesos colocados para cada ponto observado a ser utilizado;

$Z(s_i)$ é o valor observado no local s_i .

A fórmula para determinar os pesos é a seguinte: $w_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}}$; sendo $\sum_{i=1}^N w_i = 1$

Na medida em que a distância aumenta, o peso é reduzido por um fator de “p”. O valor “p” é determinado minimizando o erro médio quadrático da predição (RMSPE), que é a estatística calculada por um procedimento de validação cruzada (*cross-validation*). Na validação cruzada, cada ponto observado é removido e comparado com o predito para aquele local. O RMSPE é a estatística resumo do erro desta superfície de predição. Pode-se tentar diferentes valores de “p” para identificar o que produz o menor RMSPE.

A coleta da série histórica dos postos disponíveis para consulta foi feita através do banco de dados pluviométricos do Estado de São Paulo disponibilizados em conjunto pela ANA e DAEE (SIGRH – Estado de São Paulo). Os dados foram organizados em planilhas

(*software* Microsoft Excel) e a determinação dos valores para interpolação de pontos não-amostrados foi o resultado da divisão das médias anuais referentes aos registros dos anos referente às séries temporais e aos anos de funcionamento dos postos.

Cabe dizer que, para o último período de análise (2010 – 2017), considerou-se os registros dos anos mais recentes disponíveis, uma vez que nem todos os postos do estado apresentam a disponibilidade de dados atualizados. Todos os postos localizados na área de estudo, sua localização geográfica, os anos de funcionamento e seus respectivos códigos serão indicados no item de apresentação dos resultados. Importante dizer também que, para a região de estudo, existem disponíveis mais algumas unidades de postos de medidas, porém, os anos de medição não contemplavam os anos das séries analisadas. Dessa forma, foram escolhidos os postos possíveis de representarem as características pluviométricas dos anos em questão.

Todos os processos envolvidos na geração do mapeamento de comportamento pluviométrico, no ajuste e análise dos dados foram processados no *software* ArcGis® 10.5 (módulo *Geostatistical Analyst*).

Por fim, a categoria de variáveis físico-ambientais contará com os mapeamentos descritos na etapa 2.2.2, referente às análises de autocorrelação dos **dados de erosão**.

3.4.2. INDICADORES E VARIÁVEIS SÓCIODEMOGRÁFICOS:

São várias as definições do conceito de indicadores sociais. Em geral, tais definições são resultados de reflexões que dão suporte a objetivos específicos de tradução sistemática da realidade estudada. De acordo com Jannuzzi (2012) um indicador social é uma medida, em geral, quantitativa, dotada de significado social substantivo, usado para substituir, quantificar ou operacionalizar um conceito social abstrato, de interesse teórico (para pesquisa acadêmica) ou programático (para formulação de políticas públicas). É um recurso metodológico, empiricamente referido, que informa algo sobre um aspecto da realidade social ou sobre mudanças que estão se processando na mesma. Para a pesquisa acadêmica, o indicador social é o elo entre os modelos explicativos da Teoria Social e a evidência empírica dos fenômenos sociais observados. Ainda de acordo com o mesmo autor, em uma perspectiva programática, o indicador social é um instrumento operacional para monitoramento da realidade social para fins de formulação e de reformulação de políticas públicas.

Como já mencionado, os componentes da dinâmica populacional e socioeconômica tornaram-se cada vez mais reconhecidos como fatores importantes nas modelagens de dinâmica espacial, indicando também um marco metodológico. Portanto, as justificativas para utilização dessas variáveis foram baseadas em estudos de demografia que abordam questões envolvendo a relação população-ambiente dos estudos sobre dinâmica populacional e mudança no uso e cobertura da terra (item 2.3.2).

A seleção de variáveis e indicadores sociodemográficos baseou-se na identificação de características habitacionais, de infraestrutura urbana, populacionais e de vulnerabilidade social da região de estudo, sendo eles:

- Concentração populacional;
- Densidade urbana e
- Índice de carência habitacional (ICH)

As características populacionais, habitacionais e de infraestrutura urbana foram representadas por meio do mapeamento da variável de densidade demográfica (razão entre o número habitantes/km²), densidade urbana e o índice de carência habitacional (ICH).

A manipulação de todas as variáveis e indicadores selecionados envolve a utilização dados oriundos dos Censos Demográficos (IBGE) referentes a cada série temporal definida [ii] 2000 a 2010 – Censo 2000 e [iii] 2010 a 2017 – Censo 2010), coletadas e agregadas no nível de setores censitários (as informações disponíveis para o Censo de 1990 não supriu a necessidade do método aplicado para os tipos de variáveis selecionadas).

Um ponto importante do processo metodológico nessa etapa é que, por conta da indisponibilidade de dados (censo de 1990 e não-existência de aglomerados de informações e traçado de setores censitários para a área de estudo), as variáveis explicativas de características sócio-demográficas selecionadas somente foram consideradas nas duas últimas séries temporais de análise (séries II e III).

3.4.2.1. CONCENTRAÇÃO POPULACIONAL E DENSIDADE URBANA:

A **concentração populacional** expressa, além do crescimento ou decréscimo populacional ao longo dos anos analisados, as faixas de concentrações de moradores áreas específicas da região analisada. É um indicador bastante conhecido em estudos populacionais e demográficos, de fácil compreensão e cálculo.

Já a **densidade urbana**, de acordo com Acioly & Davidson (1998), é um dos mais importantes indicadores e parâmetros de desenho urbano a ser utilizado no processo de planejamento e gestão dos assentamentos humanos e gestão do uso do solo. Esses autores a consideram um referencial importante para avaliar tecnicamente e financeiramente a distribuição e consumo de terra urbana, infraestrutura e serviços públicos em áreas residenciais. De acordo com Jatobá (2017), há um consenso entre especialistas de que as cidades mais compactas e densas são mais ecoeficientes, seja em função do menor custo de implantação de infraestruturas e dos serviços urbanos, da redução de distâncias e maior eficiência para implantação de sistemas de transportes coletivos ou da menor expansão urbana sobre os espaços naturais. Por outro lado, maiores densidades estão associadas a congestionamentos de trânsito, sobrecarga das infraestruturas e redução da qualidade ambiental.

Na literatura, a aplicação do indicador de densidade urbana está relacionada principalmente aos estudos de cidades compactas e urbanização dispersa, adensamento urbano, áreas degradadas e bem-estar urbano (BHATTA, 2010; RAGAZZO e LIMA, 2015; JATOBÁ, 2017).

Ojima (2007) considera que a densidade, por si só, não é um indicador suficiente para definir a existência de urbanização mais dispersa, pois se duas cidades têm uma mesma população distribuída em uma mesma área, elas terão densidades idênticas, mas a maneira como essa população está distribuída no território pode variar de uma forma mais compacta até uma forma mais dispersa. Isto caracterizaria a fragmentação, um indicador referente ao padrão de ocupação do espaço, que associado à densidade, melhor caracteriza a dispersão urbana.

O Censo 2010 (IBGE) indica que 89% da população de Santa Rita do Passa Quatro reside em áreas urbanas. Portanto, faz sentido pensar em um cálculo de densidade que considere a população urbana e a superfície territorial por ela efetivamente ocupada.

Dessa forma, o emprego da variável na modelagem aqui proposta está relacionado à compreensão da expansão da mancha urbana da região de estudo e da ocupação dessas áreas por parte da população residente, na tentativa de correlacionar supostos aumentos ou diminuições de população (em determinadas áreas) ao surgimento de fenômenos erosivos e transformações específicas de uso e ocupação da terra.

Para o mapeamento da variável de concentração da população, utilizou-se o método de interpolação de dados por meio do algoritmo de densidade de pontos, baseado em Amaral et al. (2012), que descreve detalhadamente técnicas de interpoladores espaciais para geração de superfícies de densidade populacional. Os autores discutem técnicas mais comuns aplicadas à geração de mapeamentos de dados socioeconômicos e demográficos, principalmente a agregação dos dados individuais por unidades de área, que é a abordagem mais comum onde se incluem as representações temáticas de dados censitários:

“A associação geográfica por área é a mais utilizada para manipular dados de população e assume que o fenômeno ocorre em regiões discretas onde as unidades de coleta de dados são internamente homogêneas. As unidades de coleta de dados são normalmente arbitrárias, como no caso dos setores censitários e não podem ser diretamente relacionados com a distribuição espacial de uma variável analisada. A representação através de modelos de superfície é uma tentativa de contornar a restrição dos limites de área, gerando superfícies para representar a população. A concentração da população é considerada um fenômeno contínuo no espaço, e o objetivo é estimar sua distribuição geográfica, no maior detalhamento possível. Algumas vantagens resultantes desta representação são as

possibilidades de manipulação e análise independentemente de qualquer unidade de área pré- fixada. O uso de superfícies de concentração populacional, onde os valores encontram-se representados em uma grade regular, supera esta restrição (a do limite territorial), facilitando a implementação de modelos espaciais, uma vez que os processos são registrados e analisados em células de resolução espacial fixa (AMARAL et al., 2012)”

Ainda de acordo com os autores, no interpolador proposto por Tobler (1979) denominado picnofilático, a questão do volume final na superfície é resolvida através de uma técnica de construção de superfície baseada nos centroides geométricos das zonas ou unidades censitárias. Este método é uma extensão da ponderação pela área, onde os valores da grade são ponderados pela distância ao centroide. A superfície interpolada é suave e a soma (ou a massa) dos valores é mantida consistente com os dados originais. A geração de superfície de densidade a partir do interpolador picnofilático de Tobler promove a suavização dos limites entre as unidades, semelhante ao efeito da aplicação de um filtro de média. O interpolador assume que a função de densidade populacional é concêntrica em torno do centroide geométrico de cada zona e compartilha a característica dos outros modelos ao indicar a presença de população em todas as localidades no plano. Ou seja, não há células sem população, não há pontos na grade com valores zero para a interpolação. Apresenta a vantagem de manter corretamente o total de população regional e de usar não apenas os centroides, mas os limites regionais, levando em consideração os valores de áreas geográficas adjacentes.

Sendo assim, para as séries II e III, as malhas referentes aos setores censitários (*shapefile* de polígonos) foram convertidos em vetores de pontos (*shapefile* de pontos – centroides dos polígonos), com os valores de população total referente aos setores. A partir daí, no módulo *Spatial Analyst do ArcGis® 10.5*, foi utilizada a ferramenta *point density* para criação dos mapas de concentração da população da área de estudo.

Já a **densidade urbana** foi calculada levando em conta não a área total da região de estudo, mas a área urbana efetivamente ocupada ou construída, entendida como aquela que inclui as áreas formais regularizadas e as áreas em regularização. Dessa forma, foram assumidas as seguintes definições conceituais:

- **Densidade urbana** - razão entre a população urbana estimada pelas Pesquisas Censitárias e a área com ocupação urbana. **População urbana:** total de pessoas residentes em setores definidos como urbano (tipo: urbano; definição do censo demográfico) ou em áreas classificadas como áreas de ocupação urbana.
- **Área com ocupação urbana** - porção territorial que tem ocupação com características urbanas, formal e informal. Incluindo além da área residencial, os demais usos (comercial, institucional e industrial) e as áreas comuns. A extração dessas áreas levou em consideração as delimitações dos setores censitários urbanos definidos pelo Censo Demográfico e o mapeamento de Uso e Cobertura produzidos e utilizados na respectiva série.

Para cada série temporal considerada, o cálculo da densidade urbana foi realizado considerando os padrões apresentados na Tabela 6, baseados nas unidades espaciais definidas pelo limite das microbacias da área de estudo (as mesmas utilizadas na etapa 2.2.2):

Tabela 7: Padrões para cálculo de densidade urbana por microbacia – Área de estudo (hab./km²). Fonte: Adaptado de CODEPLAN (Companhia de Planejamento do Distrito Federal), 2017

Microbacia	População - 1	População - 2	Taxa de Crescimento Proporcional	Área com Ocupação Urbana	Densidade Urbana
	<i>(ano inicial da série)</i>	<i>(ano final da série)</i>	<i>(diferença entre população final - população inicial)</i>	<i>(em km²)</i>	<i>(hab/km²)</i>

3.4.2.2 ÍNDICE DE CARÊNCIA HABITACIONAL (ICH)

O **índice de carência habitacional** está inserido no quadro dos sistemas de indicadores utilizados para mensurar as condições de saneamento básico dos municípios brasileiros. Proposto pelo Instituto de Pesquisa de Planejamento Urbano e Regional (IPPUR – RJ) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em parceria com o Observatório das Metrópoles, do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT), o índice foi criado a partir de metodologias já difundidas pelos institutos através de estudos sobre Necessidades Habitacionais e Moradias Populares, com a proposta de oferecer uma alternativa de organização e resumo de resultados que se pautem por padrões de oferta de serviços essenciais à habitação. Em outras palavras, a partir da definição de critérios que subsidiariam a construção de indicadores da oferta dos serviços de saneamento básico, o objetivo a ser alcançado pelo índice é de ser um instrumento sintético que se presta a formalizar os resumos e tabulações a respeito das condições de moradia da população (IPPUR, 2003). Os estudos apresentados referentes a utilização do Índice variam entre diagnósticos urbano-habitacionais (para a definição de políticas públicas) e aplicações da metodologia do indicador para análise das condições dos serviços de saneamento básico relacionadas a outros indicadores de qualidade de vida de uma determinada região.

A construção do ICH baseia-se, exclusivamente, nas variáveis que tratam da oferta dos serviços de infraestrutura básica oferecidos nos domicílios, que são: tipos de abastecimento de água, presença de banheiro ou sanitário e os tipos de escoadouro disponíveis e o destino do lixo dos domicílios particulares permanentes. Cabe lembrar que domicílios particulares permanentes são aqueles definidos como sendo de utilização exclusiva para fins de moradia de uma ou mais pessoas, em que os “relacionamentos entre os seus integrantes são ditados por laços de parentesco, de dependência doméstica ou por normas de convivência” (Censo Demográfico, IBGE, 2010).

Baseadas em componentes de indicadores sobre estudos abordando metodologias para análise de Necessidades Habitacionais, foi definido, para cada variável sugerida (água, lixo e esgoto), uma condição da qualidade dos serviços oferecidos que classificam os domicílios em adequados e inadequados. Tal condição de adequação/inadequação aparece descrita na Tabela 7, a seguir:

A construção do índice é focada na tentativa de mensuração da abrangência na **prestação inadequada** de serviços de abastecimento de água, tipo de escoadouro sanitário e destino do lixo. Para tanto, na composição do índice sintético, foram selecionadas, em cada temática, as variáveis que indicam **inadequação** dos serviços existentes. A Tabela 8 aponta a descrição e identificação de cada uma delas. Cabe dizer que a descrição e os códigos utilizados no modelo da tabela exposta são referentes ao último Censo (2010), portanto, para o Censo de 2000, foram utilizadas as variáveis próximas, mesmo que houvesse variação nos códigos ou na forma de descrição dos textos explicativos.

Tabela 9: Variáveis selecionadas (inadequação) para a composição do (ICH)

TEMÁTICA	CÓDIGO IBGE	DESCRIÇÃO
ABASTECIMENTO DE ÁGUA	V013	Abastecimento de Água de Poço ou Nascente na Propriedade
	V014	Abastecimento de Água da Chuva Armazenada em Cisterna
	V015	Outra forma de Abastecimento de Água
ESGOTAMENTO SANITÁRIO	V019	Existência de Banheiro e Esgotamento Sanitário Via Fossa Rudimentar
	V020	Existência de Banheiro Esgotamento Sanitário Via Vala
	V021	Existência de Banheiro e Esgotamento Sanitário Via Rio, Lago ou Mar
	V022	Existência de Banheiro e Esgotamento Sanitária Via Outro Escoadouro
COLETA DE LIXO	V038	Lixo Queimado na Propriedade
	V039	Lixo Enterrado na Propriedade
	V040	Lixo Jogado em Terreno Baldio ou Logradouro
	V041	Lixo Jogado em Rio, Lago ou Mar
	V042	Outro Destino do Lixo

Somadas, cada subconjunto de variáveis apresenta o percentual de domicílios que contam com oferta de serviços inadequados. O valor do percentual de inadequação encontrado em cada temática (água, lixo e esgoto) é utilizado, primeiramente, para o cálculo individual de ICH de cada indicador. A equação tem como parâmetros a formulação utilizada para cálculo do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH):

$$\text{Em que: Índice (IDH)} = \frac{\text{Valor Observado} - \text{Pior Valor}}{\text{Melhor Valor} - \text{Pior Valor}}$$

Valor Observado	corresponde ao percentual encontrado de domicílios com determinado atributo
Melhor Valor	corresponde a situação onde nenhum domicílio tem o atributo, ou seja, 0%
Pior Valor	corresponde a situação onde todos os domicílio têm o atributo, ou seja 100%

Tal equação tenta captar a razão entre a cobertura do serviço analisado e a amplitude total do indicador. Como os resultados tratam sobre percentuais de oferta de serviços, essa amplitude varia de 0% a 100%. Matematicamente, isso significa que é possível que se encontre espaços onde nenhum domicílio se enquadra na definição de inadequação, ou ainda, todos os domicílios podem se enquadrar nela. Dessa forma, quanto menor o percentual de domicílios em uma situação inadequada, melhor está a situação do recorte espacial analisado (IPPUR, 2003)

O cálculo de índice sintético, envolvendo o ICH de cada temática (água, lixo e esgoto) é calculado a partir da equação que segue, considerando a ponderação dos pesos dado a cada variável:

$$\sum_{1}^{i} ICH_i(p)$$

em que em que $i = ICH$ parcial de cada temática e $p =$ peso equivalente de cada ICH parcial

ICH Parcial	Peso (Relevância)
Água	3,0
Esgotamento Sanitário	2,0
Lixo	1,0

O valor do ICH varia de zero (0,0) a um (1,00). Quanto mais próximo de zero, maior é o grau de carência na oferta de serviços básicos de saneamento. De forma que, ao contrário, valores mais próximos de 1 indicam que a oferta desses serviços está mais próxima da adequação.

Por fim, a classificação final do Índice de Carência Habitacional estabelece 3 categorias: **Extremo Índice de Carência** (ICH de 0 a 0,5), **Alto Índice de Carência** (ICH de >0,5 até 0,8) e **Baixo Índice de Carência** (ICH de >0,8 a 1).

A principal justificativa para o uso desse indicador baseia-se no fato de as condições de habitação e saneamento serem um dos principais indicadores aplicados nas abordagens sobre degradação ambiental, de riscos e desastres associados a porções de área urbana ocupadas por populações de grupos minoritários de pessoas, sejam étnicos, raciais ou de classe, expostos a uma parcela desproporcional das consequências ambientais negativas das operações econômicas, políticas e administrativas dos lugares que ocupam (GOMES, 2008; PORTO e FINAMORE, 2012; FRACALANZA et al., 2013).

A intenção em se discutir a inserção dessas variáveis através da associação de temas como modelagem de uso e ocupação da terra é indicar como a dinâmica espacial na sociedade contemporânea perpetua a desigualdade no acesso a recursos básicos e naturais. Podemos dizer que, no caso das condições de habitação relacionadas ao saneamento básico, as situações desiguais de adequação não só acentuam as dificuldades de uso por uma parte da população, como também resultam em situações de maiores danos ambientais associados ao uso do território para fins de moradia.

3.5. ANÁLISE FINAL: PROPOSTA DE MODELAGEM DA DINÂMICA ESPACIAL: ETAPA 5

Na Figura 22 é apresentado o esquema metodológico que sintetiza os procedimentos realizados na construção da modelagem da dinâmica espacial e construções dos cenários futuros de uso e ocupação da terra.

Conforme sugere a sequência, o primeiro passo para a construção do modelo da dinâmica espacial é o mapeamento dos padrões mutáveis da cobertura da terra na região de análise, obtidos por meio dos mapas de uso e cobertura e a quantificação dessas mudanças.

Junto a esse processo, foram definidas também as variáveis e indicadores físico-ambientais e sociodemográficas que iriam compor a modelagem, classificadas aqui como variáveis explicativas.

Importante dizer que, antes que se proceda a modelagem propriamente dita, existe uma etapa de preparação da base de dados que consiste em toda manipulação e preparo dos dados para inserção dos mesmos na plataforma: o *plugin* MOLUSCE, assim como os demais da mesma natureza, apenas opera dados em formato matricial, exigindo que todos os dados inseridos para modelagem estejam exatamente com o mesmo tamanho de pixel e mesmo número de linhas e colunas. Dessa forma, tanto os mapeamentos de uso e cobertura da terra como os mapas referentes às variáveis explicativas foram preparados e manipulados em formato raster, associados ao sistema de referência UTM 23S, SIRGAS 2000.

Os procedimentos de números 1 e 2 detalhados na Figura 5 correspondem às etapas já descritas nos itens anteriores, relativas aos processos de análise das mudanças temporais, que incluem: criação dos mapas de alteração (1) e geração das matrizes de transição através da definição do algoritmo de modelo de potencial de transição (2) – testado e ajustado.

Diferente do momento descrito no item 2.3.3, aqui também são inseridas as variáveis explicativas, que irão compor a modelagem.

O procedimento de número 3 refere-se ao uso da modelagem baseada em autônomos celulares, capazes de prever cenários futuros a partir dos dados inseridos anteriormente. Ou seja, as séries temporais representadas pelas imagens classificadas de uso e cobertura e pelas diversas variáveis referentes a cada período, uma vez inseridas, terão suas alterações modeladas a partir das taxas calculadas nas probabilidades de transição das células. Nessa etapa, é importante lembrar que, por conta da indisponibilidade de dados (censo de 1990 e não-

existência de aglomerados de informações e traçado de setores censitários para a área de estudo), as variáveis explicativas de características sócio-demográficas selecionadas somente foram consideradas nas duas últimas séries temporais de análise (séries II e III).

A partir desse modelo (que utiliza o mesmo algoritmo da etapa da geração das matrizes de transição (item 2.3.3), a modelagem de autônomos celulares gera, nessa etapa, dois novos produtos: uma análise de segurança (*“Certainty Function”*) e um mapa de simulação que corresponde a um cenário futuro (*“Simulation Result”*). Nessa etapa, é importante falar sobre o uso do algoritmo de Rede Neural Artificial, também utilizado no processo de geração das matrizes de alteração e mapa de mudanças.

A escolha do algoritmo de Rede Neural se deu por conta da facilidade de aplicação e melhores índices estatísticos observados na geração dos produtos finais, tanto das matrizes de transição e mapa de mudanças quanto das modelagens e previsões de cenários de uso e cobertura da terra. Os parâmetros de ajuste dos modelos gerados são os descritos anteriormente, no subitem 3.3.2. (análises das mudanças temporais). Mais considerações sobre as limitações e facilidades do algoritmo serão tratadas no capítulo de considerações finais, levando em consideração os produtos já finalizados e apresentados.

Para a presente tese, foram simulados cenários para os anos de 2020 (resultante da série II) e para 2025 (resultante da série III). Já na série I, a previsão gerada foi a do ano de 2010, cenário o qual foi possível aplicar a ferramenta de validação (descrita na etapa final – 4), uma vez que o mapa real de 2010 está disponível e utilizado para a série II. Como não existem mapas de referência para a validação dos cenários gerados para 2020 e 2025, os mapas de uso e cobertura previstos foram comparados com outros produtos gerados e/ou já existentes, porém apenas por meio de dados tabelados de percentual de área das tipologias analisadas.

O procedimento final, de número 4, é a aba de validação do *plugin*, (*“Validation”*), que permite ao usuário checar, validar e comparar os resultados das simulações. Para que sejam realizados os processos de validação, é necessário que estejam carregados os mapas de referência (*“Reference Map”*) e mapas simulados (*“Simulated Map”*) de uso e cobertura do solo.

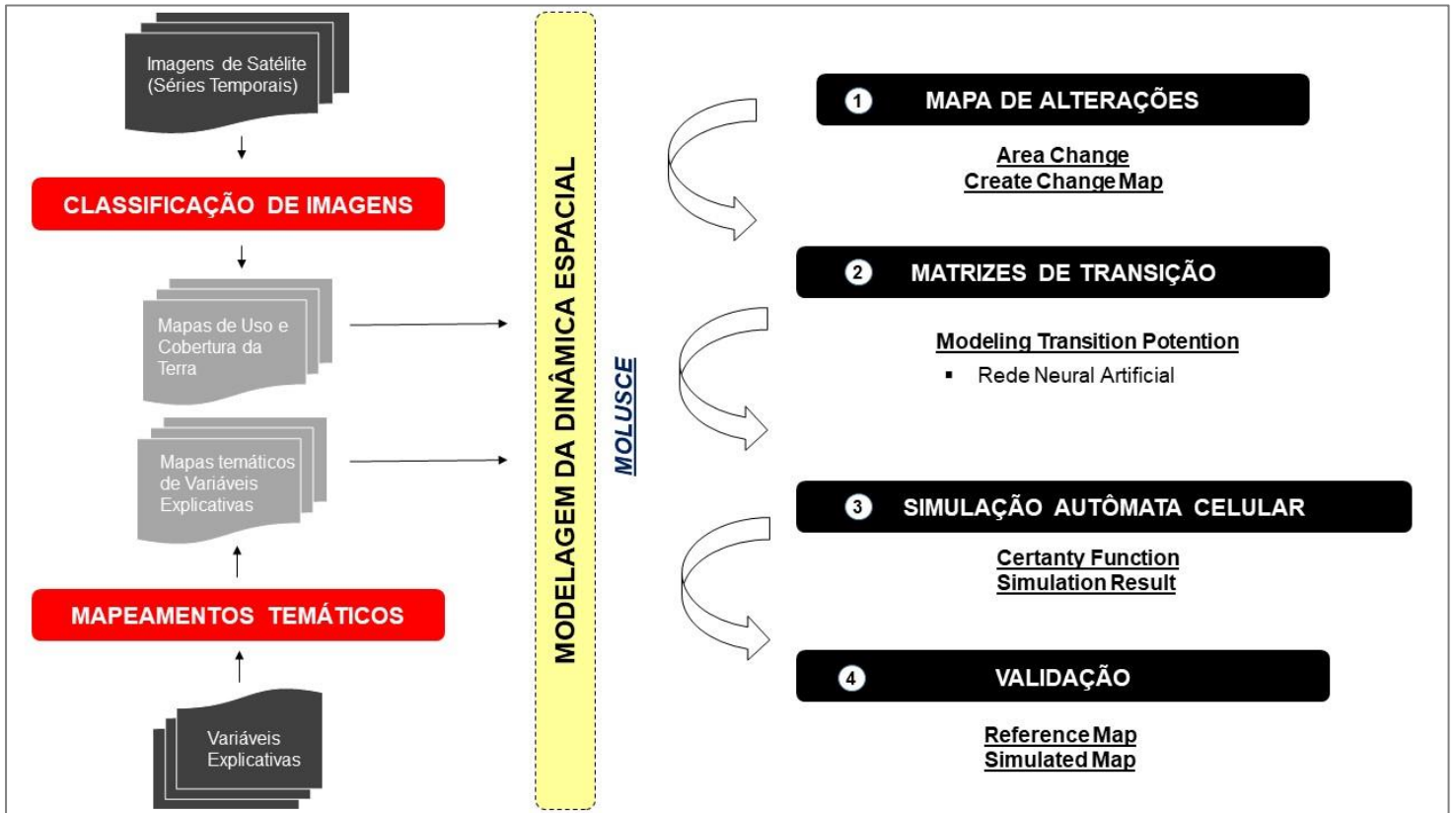


Figura 22: Fluxograma do procedimento metodológico para proposta da modelagem de dinâmica espacial com o *MOLUSCE*

CAPÍTULO IV

APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS_____

4.1. PROCESSOS EROSIVOS LINEARES

4.1.1. REGISTROS DE PROCESSOS EROSIVOS LINEARES

Quanto a variação das ocorrências de processos identificados durante as séries temporais de análises, para melhor análise e representação dos dados, foi utilizada a divisão da área de estudo em microbacias hidrográficas, a mesma listada no processo metodológico para averiguação da autocorrelação dos registros.

A Figura 23 é o mapa da divisão da área de estudo em microbacias. A Tabela 9 resume a variação do número de processos erosivos registrados por microbacias e por série temporal de análise - i) 1990 a 2000; ii) 2000 a 2010 e iii) 2010 a 2017.

Por meio da tabela, é possível notar claramente o aumento expressivo de registros de processos erosivos ao longo das séries temporais de análise. De forma geral, considerando toda a área analisada, as séries apresentaram um aumento de 46% da série I para a série II e 228% da série II para a série III. Considerando as divisões por microbacias hidrográficas, mais de 90% dos casos tiveram aumentado registrado entre uma série de análise e outra, com raras exceções em que não houveram diminuição de casos de erosão entre a série I e a série II.

Importante dizer que, além da condição natural da paisagem na série I (mais preservada e, portanto, menos vulnerável à ocorrência de erosões) que apresentou o menor número de casos de erosão (165 no total, com uma média de 0,2412 erosões/km²), o processo de coleta de dados foi consideravelmente prejudicado pela das imagens de sensores disponíveis. A imagem utilizada, exemplificada no item de procedimentos metodológicos, embora tenha atendido às condições cartográficas mínimas no que tange às propriedades das resoluções espaciais definidas na etapa metodológica, é nitidamente de qualidade inferior às imagens de alta resolução utilizadas nas séries subsequentes. Isso significa dizer que os processos registrados considerados foram exclusivamente os processos erosivos possíveis de serem reconhecidos na única imagem disponível para o processo.

A Figura 24 é o mapa dos registros dos processos erosivos identificados em cada série temporal analisada. A sub-bacia hidrográfica do rio Bebedouro, com 388,79km² de extensão e 13 microbacias, apresentou uma média de 0,26 erosões /km² nas duas primeiras séries (102 e

103 processos erosivos mapeados, respectivamente) e 0,60 erosões/km² na última série (237 processos). Já a sub-bacia do Córrego da Capituva, a de menor extensão (30,77km²), com apenas 3 microbacias, tiveram uma concentração de 0,13 erosões /km² na primeira série de análise (4 erosões mapeadas), 0,45 na segunda e 0,97 erosões/km² na terceira série de análise (14 e 30 erosões mapeadas, respectivamente).

Por fim, a sub-bacia do rio Claro (aproximadamente 265km²), com 19 microbacias, teve o maior aumento gradual da área de estudo, apresentando, entre as séries de análise, um percentual de concentração de erosão 100% maior entre uma e outra. Na primeira série, a concentração foi de 0,22 erosões/km², com 59 processos erosivos mapeados. Na segunda série, a concentração subiu para 0,46 erosões/km², com 124 registros. Já para a última série, o número de processos subiu para 283, aumentando a concentração em 1,07 erosões/km².

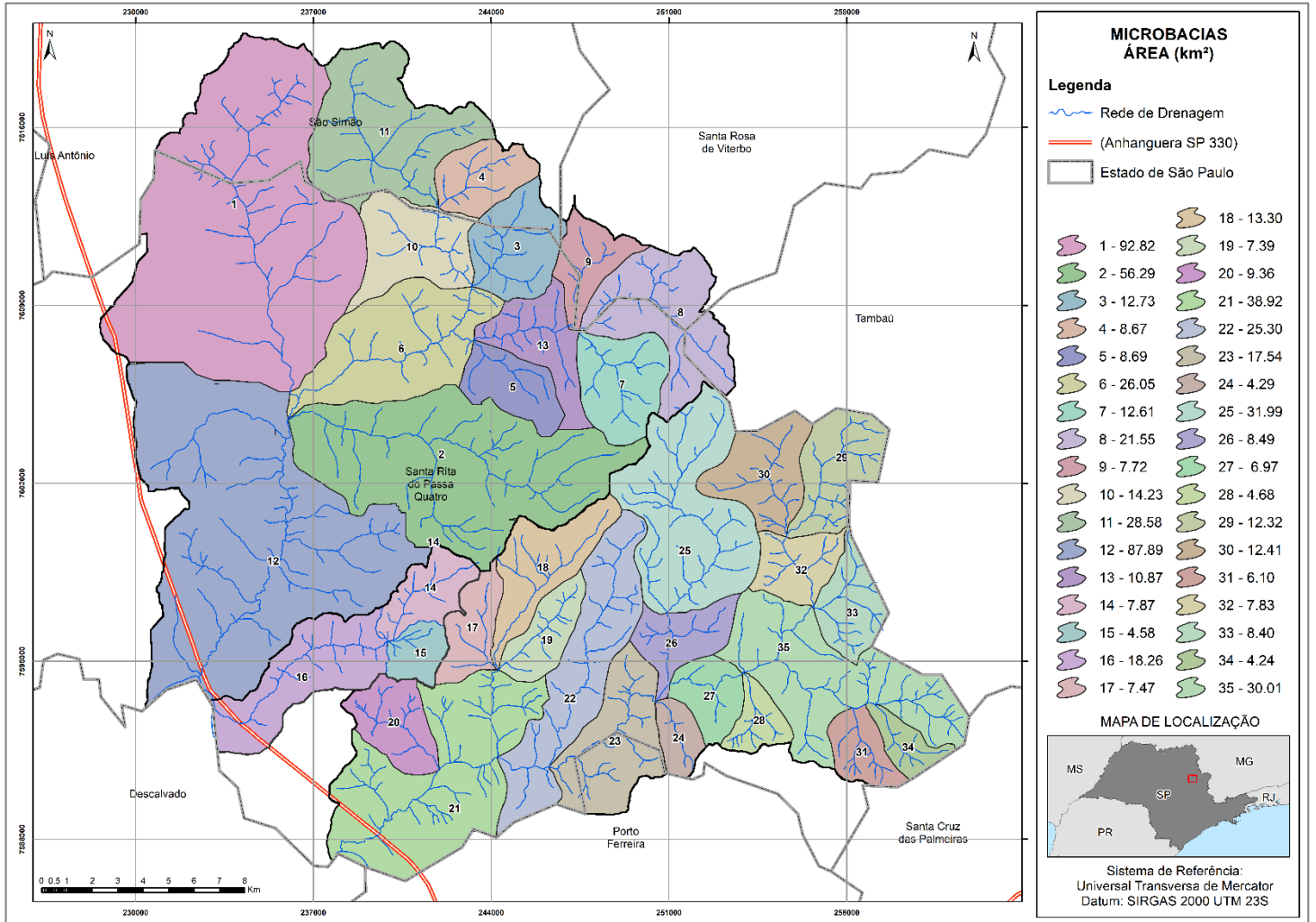


Figura 23: Divisão da área de estudo em microbacias hidrográficas. Fonte: Natália da Costa Souza, 2018

Tabela 10: Variação do número de processos erosivos registrados por micro bacias e por série temporal de análise

		PROCESSOS EROSIVOS REGISTRADOS POR SÉRIE TEMPORAL DE ANÁLISE						
SUBBACIA	MICROBACIAS	ÁREA	I - 1990 a 2000		II - 2001 a 2010		III - 2011 a 2019	
(principal)	(n° no mapa)	(km²)	(total de erosões)	(erosões/km²)	(total de erosões)	(erosões/km²)	(total de erosões)	(erosões/km²)
Rio Bebedouro	1	92.8	29	0.3125	23	0.2478	65	0.7004
	2	56.3	7	0.1243	9	0.1599	21	0.3730
	3	12.7	3	0.2362	5	0.3937	8	0.6299
	4	8.67	5	0.5787	2	0.2307	4	0.4614
	5	8.69	0	0.0000	2	0.2301	5	0.5754
	6	26.1	4	0.1533	5	0.1916	19	0.7280
	7	12.6	1	0.0794	6	0.4762	16	1.2698
	8	21.6	2	0.0926	10	0.4630	16	0.7407
	9	7.73	1	0.1294	2	0.2587	4	0.5175
	10	14.2	3	0.2113	4	0.2817	12	0.8451
	11	28.6	28	0.9790	4	0.1399	20	0.6993
	12	87.9	19	0.2162	24	0.2730	40	0.4551
	13	10.9	0	0.0000	7	0.6422	7	0.6422
Total Parcial	-----	388.79	102	0.2624	103	0.2649	237	0.6096
Córrego Capituva	14	7.88	1	0.1269	3	0.3807	9	1.1421
	15	4.59	0	0.0000	3	0.6536	1	0.2179
	16	18.3	3	0.1639	8	0.4372	20	1.0929
Total Parcial	-----	30.77	4	0.1300	14	0.4550	30	0.9750
Rio Claro	17	7.48	0	0.0000	0	0.0000	12	1.6043
	18	13.3	2	0.1504	4	0.3008	14	1.0526
	19	7.4	6	0.8108	6	0.8108	10	1.3514
	20	9.37	4	0.4289	5	0.5336	7	0.7471
	21	39.8	16	0.4020	15	0.3769	29	0.7286
	22	25.3	8	0.3162	12	0.4743	47	1.8577
	23	17.5	4	0.2286	10	0.5714	24	1.3714
	24	4.29	4	0.9324	2	0.4662	3	0.6993
	25	32.1	6	0.1869	17	0.5296	35	1.0903
	26	8.5	0	0.0000	5	0.5882	4	0.4706
	27	6.98	2	0.2865	4	0.5731	3	0.4298
	28	4.68	1	0.2137	4	0.8547	6	1.2821
	29	12.3	0	0.0000	5	0.4065	19	1.5447
	30	12.4	1	0.0806	7	0.5645	17	1.3710
	31	12.4	1	0.0806	3	0.2419	4	0.3226
	32	7.83	1	0.1277	3	0.3831	8	1.0217
	33	8.4	0	0.0000	6	0.7143	7	0.8333
	34	4.24	1	0.2368	2	0.4717	3	0.7075
35	30.1	2	0.0664	14	0.4651	31	1.0299	
Total Parcial	-----	264.37	59	0.2232	124	0.4690	283	1.0705
Total		683.93	165	0.2412	241	0.352	550	0.8041

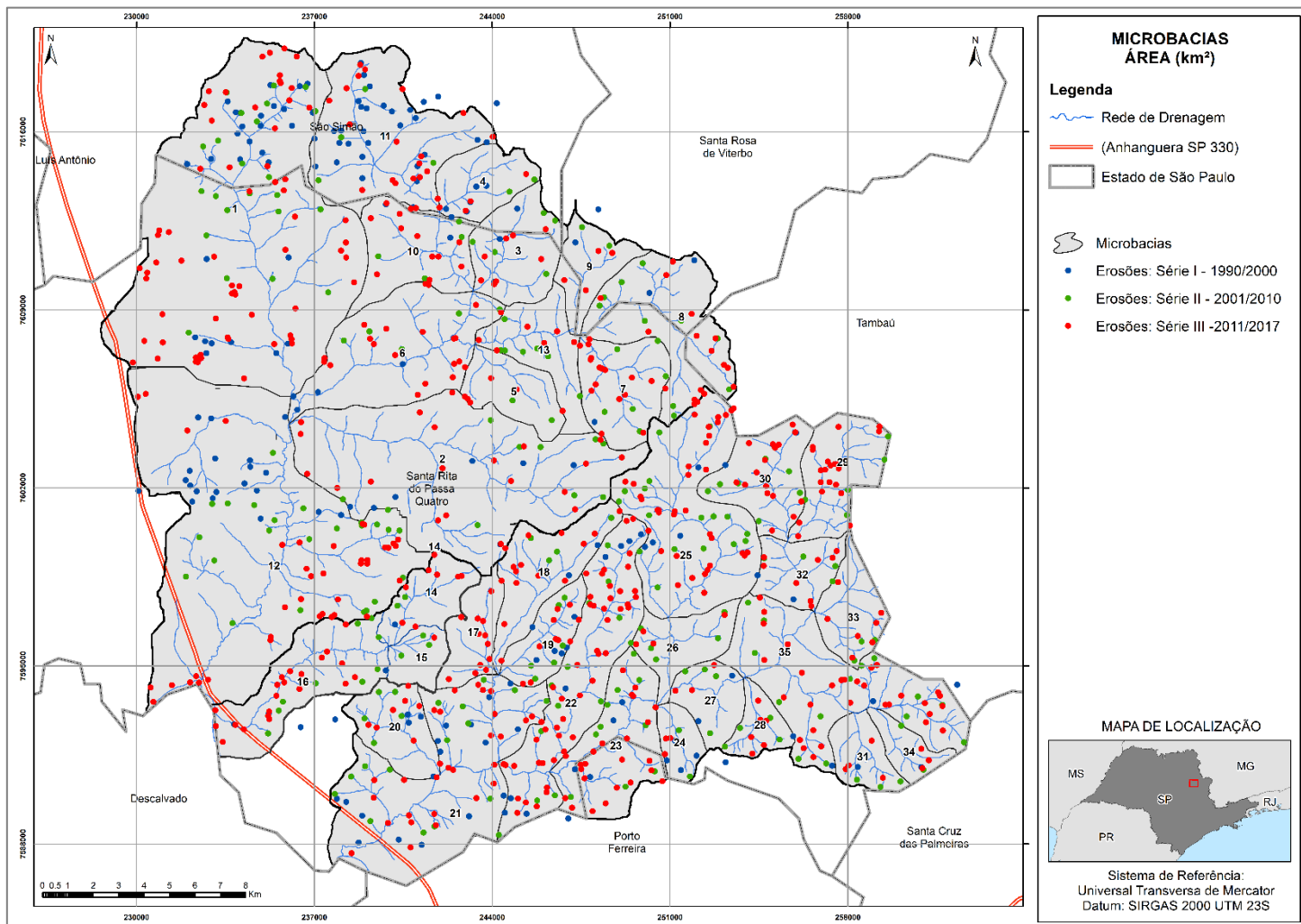


Figura 24: Mapa dos registros dos processos erosivos identificados em cada série temporal analisada.
Fonte: Natália da Costa Souza, 2018

4.1.2. ANÁLISE DE AUTO CORRELAÇÃO DOS DADOS DE EROSÃO

O passo inicial para averiguação da possibilidade de autocorrelação espacial dos processos erosivos na área de estudo foi a construção de uma tabela (Tabela 10) com a seguinte disposição: sub-bacia, microbacia, área, casos de erosão (se ocorre ou não ocorre processo erosivo), contatos com outras feições - (número total de contatos que cada polígono de microbacia faz com os outros vizinhos) e quantidade de junções por tipo de relação horizontal (RH). Todas as variáveis da tabela foram analisadas por série temporal de análise.

Na Figura 25, os mapas binários gerados ilustram os componentes da tabela e a condição de cada microbacia em função da ocorrência (ou não) de processos erosivos. É possível observar na tabela, por exemplo, que as junções do tipo S-S para ocorrência de processos erosivos aumentam ao longo das séries de análises, sendo 101 para a série I, 149 para a II e 159 para a III. Dessa forma, as junções do tipo S-N também indicam a mesma tendência, ou seja, diminuem a quantidade de casos conforme os anos das séries aumentam. Sendo assim, é possível observar o número reduzido de junções do tipo N-N, explicado pelo aumento de processos erosivos que acontece principalmente entre as séries II e III.

O passo seguinte é o cálculo do número de junções esperadas (k) para toda área de estudo, onde f_i é a frequência absoluta de microbacias por quantidade de contato, j_i é quantidade total de contatos e n é o número de microbacias da área de estudo.

A Tabela 11 mostra o sequenciamento do cálculo de k com base na Equação citada e nos dados detalhados da Tabela 10. Por exemplo, se observa nesta tabela que das 35 microbacias, 9 apresentaram 5 junções com microbacias vizinhas, outras 9 tiveram 3 junções (sendo essas as maiores quantidades por contato), 6 delas mostraram 4 junções, e o restante tiveram de 1 a 3 contatos com microbacias vizinhas.

$$k = 0,5 \sum_{i=1}^n (f_i * j_i) \text{ (equação para o cálculo de } k \text{)}$$

Tabela 11: Contagem das junções entre polígonos de microbacias, segundo tipo de relação horizontal de contiguidade observada no mapa binário de ocorrência de processos erosivos nas séries temporais analisadas

SUBBACIA	MICROBACIAS	ÁREA	Casos de erosão?			Total de contatos	Quantidade de junções por tipo de RH								
			Sim (S = 1) Não (N = 0)				S - S			S - N			N - N		
			1990 - 2000	2000 - 2010	2010 - 2017		1990 - 2000	2000 - 2010	2010 - 2017	1990 - 2000	2000 - 2010	2010 - 2017	1990 - 2000	2000 - 2010	2010 - 2017
(principal)	(nº no mapa)	(km²)				(j)									
Rio Bebedouro	1	92.8	1	1	1	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0
	2	56.3	1	1	1	8	6	8	8	2	0	0	0	0	0
	3	12.7	1	1	1	5	4	5	5	1	0	0	0	0	0
	4	8.67	1	1	1	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0
	5	8.69	0	1	1	3	0	3	3	2	0	0	1	0	0
	6	26.1	1	1	1	7	5	7	7	2	0	0	0	0	0
	7	12.6	1	1	1	5	4	5	5	1	0	0	0	0	0
	8	21.6	1	1	1	4	3	4	4	1	0	0	0	0	0
	9	7.73	1	1	1	4	3	4	4	1	0	0	0	0	0
	10	14.2	1	1	1	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0
	11	28.6	1	1	1	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0
	12	87.9	1	1	1	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0
	Córrego Capitiva	13	10.9	0	1	1	7	0	7	7	6	0	0	1	0
14		7.88	1	1	1	5	3	4	5	2	1	0	0	0	0
15		4.59	0	1	1	5	0	4	5	4	1	0	1	0	0
Rio Claro	16	18.3	1	1	1	4	3	4	4	1	0	0	0	0	0
	17	7.48	0	0	1	5	0	0	5	4	5	0	1	0	0
	18	13.3	1	1	1	5	4	4	5	1	1	0	0	0	0
	19	7.4	1	1	1	4	3	3	4	1	1	0	0	0	0
	20	9.37	1	1	1	3	2	3	3	1	0	0	0	0	0
	21	39.8	1	1	1	6	4	5	6	2	1	0	0	0	0
	22	25.3	1	1	1	6	5	6	6	1	0	0	0	0	0
	23	17.5	1	1	1	3	2	3	3	1	0	0	0	0	0
	24	4.29	1	1	1	3	2	3	3	1	0	0	0	0	0
	25	32.1	1	1	1	9	8	9	9	1	0	0	0	0	0
	26	8.5	0	1	1	6	0	6	6	6	0	0	0	0	0
	27	6.98	1	1	1	4	3	4	4	1	0	0	0	0	0
	28	4.68	1	1	1	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
	29	12.3	0	1	1	3	0	3	3	2	0	0	1	0	0
	30	12.4	1	1	1	3	2	3	3	1	0	0	0	0	0
	31	12.4	1	1	1	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
	32	7.83	1	1	1	5	3	5	5	2	0	0	0	0	0
33	8.4	0	1	1	3	0	3	3	2	0	0	1	0	0	
34	4.24	1	1	1	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	
35	30.1	1	1	1	8	6	8	8	2	0	0	0	0	0	
Total		683.93	S=28 / N=7	S=34 / N=1	S=35 / N=0	159	101	149	159	52	10	0	6	0	0

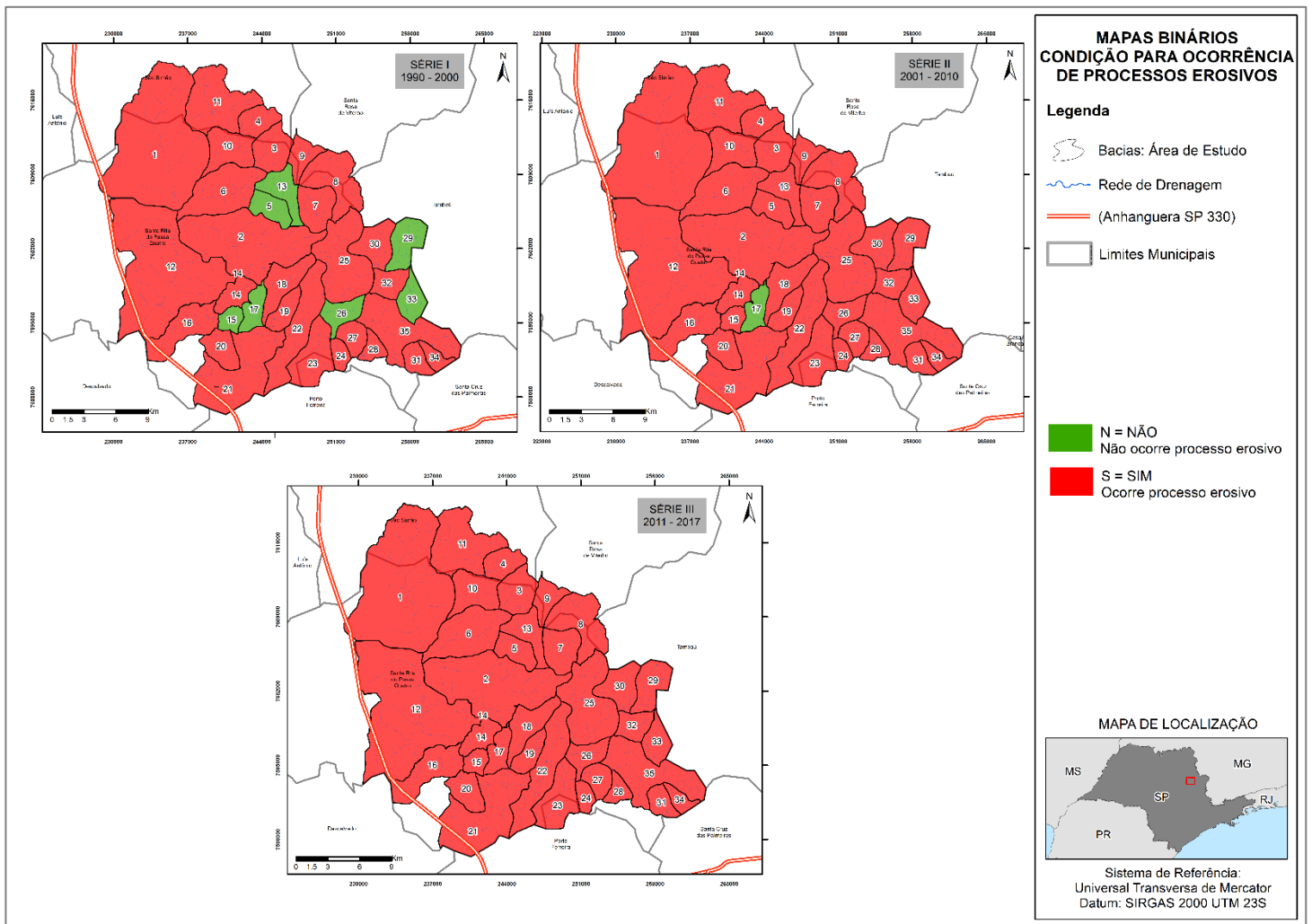


Figura 25: Mapas binários: ocorrência ou não processos erosivos. Fonte: Natália da Costa Souza, 2018

Tabela 12: Sequenciamento do cálculo de k

Quantidade de contatos (<i>ji</i>)	Quantidade de polígonos de microbacias que apresentaram esta quantidade de contato (<i>fi</i>)	[<i>fi.ji</i>]
1	0	0
2	2	4
3	9	27
4	6	24
5	9	45
6	3	18
7	2	14
8	2	16
9	1	9
		157
		$k = 0,5 \cdot (fi \cdot ji)$
		$k = 0,5 \cdot 157 = 78,5$

Com relação a Tabela 11, é possível concluir que o número esperado de contatos entre microbacias na área de estudo é de $k = 78,5$. Como são dois eventos possíveis de ocorrer no mapa - *S* (*ocorre evento erosivo*) ou *N* (*não ocorre evento erosivo*) -, estima-se a probabilidade de ocorrer erosão $P(s)$, e a probabilidade de não ocorrer erosão $P(n)$.

Seja n o número total de microbacias e $n(s)$ o número de microbacias com casos de erosão notificados (*S*). Para o cálculo das probabilidades, aplicam-se as seguintes relações, para cada série, separadamente:

$$P(s) = \frac{n(s)}{n}$$

$$P(n) = 1 - P(s)$$

Portanto, a probabilidade de ocorrência de erosão e não-ocorrência será:

▪ **Série I (1990 – 2000):**

$$P(s) = \frac{n(s)}{n} = \frac{28}{35} = 0,8$$

$$P(n) = 1 - P(s) = 1 - 0,80 = 0,2$$

▪ **Série II (2000 – 2010):**

$$P(s) = \frac{n(s)}{n} = \frac{34}{35} = 0,9714$$

$$P(n) = 1 - P(s) = 1 - 0,9714 = 0,0286$$

▪ **Série III (2010 – 2017):**

$$P(s) = \frac{n(s)}{n} = \frac{35}{35} = 1$$

$$P(n) = 1 - P(s) = 1 - 1 = 0,0$$

De posse desses valores, calcula-se a quantidade esperada de junções S-S (J_{s-s}), N-N (J_{n-n}) e S-N (J_{s-n}), definidas pelas Equações A, B e C:

Equação A:

$$J_{s-s} = k \cdot P(s)^2$$

Equação B:

$$J_{n-n} = k \cdot P(n)^2$$

Equação C:

$$J_{s-n} = 2k \cdot P(s) \cdot P(n)$$

Os resultados a seguir são as aplicações das Equações citadas para obtenção das quantidades esperadas das junções horizontais S-S, N-N e S-N nas três séries de análise:

▪ **Série I (1990 – 2000):**

$$J_{s-s} = k \cdot P(s)^2 = 78,5 \cdot (0,8)^2 = 50,24$$

$$J_{n-n} = k \cdot P(n)^2 = 78,5 \cdot (0,2)^2 = 3,14$$

$$J_{s-n} = 2k \cdot P(s) \cdot P(n) = 2 \cdot (78,5) \cdot (0,8) \cdot (0,2) = 25,12$$

▪ **Série II (2001 – 2010):**

$$J_{s-s} = k \cdot P(s)^2 = 78,5 \cdot (0,9714)^2 = 74,07$$

$$Jn - n = k.P(n)^2 = 78,5.(0,0286)^2 = 0,0642$$

$$Js - n = 2k.P(s).P(n) = 2.(78,5).(0,9714).(0,0286) = 4,36$$

▪ **Série III (2011 – 2017):**

$$Js - s = k.P(s)^2 = 78,5.(1)^2 = 78,5$$

$$Jn - n = k.P(n)^2 = 78,5.(0,0)^2 = 0,0$$

$$Js - n = 2k.P(s).P(n) = 2.(78,5).(1).(0,0) = 0,0$$

Antes da aplicação do teste de avaliação da significância da autocorrelação dos dados mapeados na Figura 25, foi necessário encontrar os valores dos desvios padrões (λ) das junções ($Js-s$), ($Jn-n$) e ($Js-n$). Ainda segundo a metodologia de Unwin (1981), o cálculo de $\lambda(s-s)$, $\lambda(n-n)$ e $\lambda(s-n)$, pode ser efetuado com base nas Equações D, E e F:

Equação D:

$$\gamma_{s-s} = [k.P(s)^2 + 2.m.P(s)^3 - (k + 2.m).P(s)^4]^{0,5}$$

Equação E:

$$\gamma_{n-n} = [k.P(n)^2 + 2.m.P(n)^3 - (k + 2.m).P(n)^4]^{0,5}$$

Equação F:

$$\gamma_{s-n} = [2(k + m).P(s)P(n) - 4(k + 2m)P(s)^2P(n)^2]^{0,5}$$

Nas Equações de A a C, o parâmetro m se assemelha a k , pois se significa também o número esperado de junções, mas este valor é ponderado pela quantidade de microbacias em contato (Equação G):

Equação G:

$$m = 0,5 \sum_{i=1}^n f_i \cdot j_i(j_i - 1)$$

O procedimento de cálculo de m é mostrado na Tabela 12:

Tabela 13: Procedimento utilizado para cálculo do parâmetro m a partir dos dados da Tabela 9

Quantidade de contatos (j_i)	Quantidade de polígonos de microbacias que apresentaram esta quantidade de contato (f_i)	$j_i(j_i-1) \cdot f_i$
1	0	1(1-1).0 = 0
2	2	2(2-1).2 = 4
3	9	3(3-1).9 = 54
4	6	4(4-1).6 = 72
5	9	5(5-1).9 = 180
6	3	6(6-1).3 = 90
7	2	7(7-1).2 = 84
8	2	8(8-1).2 = 112
9	1	9(9-1).1 = 72
		$\Sigma = 668$
		$m = 0,5 \cdot 668$
		$m = 334$

Substituindo o valor de m - calculado na Tabela 11 – nas Equações D, E e F, para todas as séries, têm-se os seguintes resultados para os desvios padrão $\lambda(s-s)$, $\lambda(n-n)$ e $\lambda(s-n)$:

- **Série I (1990 – 2000):**

$$\gamma_s - s = [k \cdot P(s)^2 + 2 \cdot m \cdot P(s)^3 - (k + 2 \cdot m) \cdot P(s)^4]^{0,5} = 9,29$$

$$\gamma_n - n = [k \cdot P(n)^2 + 2 \cdot m \cdot P(n)^3 - (k + 2 \cdot m) \cdot P(n)^4]^{0,5} = 2,69$$

$$\gamma_{s-n} = [2(k + m) \cdot P(s)P(n) - 4(k + 2m)P(s)^2P(n)^2]^{0,5} = 7,45$$

- **Série II (2000 – 2010):**

$$\gamma_s - s = [k \cdot P(s)^2 + 2 \cdot m \cdot P(s)^3 - (k + 2 \cdot m) \cdot P(s)^4]^{0,5} = 4,65$$

$$\gamma_n - n = [k \cdot P(n)^2 + 2 \cdot m \cdot P(n)^3 - (k + 2 \cdot m) \cdot P(n)^4]^{0,5} = 0,28$$

$$\gamma_{s-n} = [2(k + m) \cdot P(s)P(n) - 4(k + 2m)P(s)^2P(n)^2]^{0,5} = 4,54$$

- **Série III (2010 – 2017):**

$$\gamma_s - s = [k \cdot P(s)^2 + 2 \cdot m \cdot P(s)^3 - (k + 2 \cdot m) \cdot P(s)^4]^{0,5} = 0,0$$

$$\gamma_n - n = [k \cdot P(n)^2 + 2 \cdot m \cdot P(n)^3 - (k + 2 \cdot m) \cdot P(n)^4]^{0,5} = 0,0$$

$$\gamma_{s-n} = [2(k + m) \cdot P(s)P(n) - 4(k + 2m)P(s)^2P(n)^2]^{0,5} = 0,0$$

Por fim, de posse desses valores, é possível determinar o score z que permitirá avaliar, para cada um dos três tipos de relações, se eles excedem o valor crítico necessário para um nível de significância de 95% (considerando-se o ajuste à distribuição Normal). O *score* z leva em consideração a quantidade de junções observadas (jo), a quantidade de junções esperadas (je) e o desvio padrão dos valores esperados (γje) (Unwin, 1981) (Equação H):

Equação H:

$$z = \frac{jo - je}{\gamma je}$$

De acordo com as etapas anteriores, teremos os seguintes valores para jo e je , nas séries:

Tipo de Relação	(jo)			(je)		
	1990 - 2000	2001 - 2010	2011 - 2017	1990-2000	2001-2010	2011-2017
(RH)						
S-S	101	149	159	50,24	74,07	78,5
N-N	6	0	0	3,14	0,0642	0
S-N	52	10	0	25,12	4,32	0

Dessa forma, calcula-se os valores de z pela Equação 15 citada, para os três tipos de relação horizontal presentes no mapa da Figura 25:

▪ **Série I (1990 – 2000):**

$$Z(s - s) = \frac{jo - je}{\gamma je} = \frac{101 - 50,24}{9,29} = 5,46$$

$$Z(n - n) = \frac{jo - je}{\gamma je} = \frac{6 - 3,14}{2,69} = 4,83$$

$$Z(s - n) = \frac{jo - je}{\gamma je} = \frac{52 - 25,12}{7,45} = 3,60$$

▪ **Série II (2000 – 2010):**

$$Z(s - s) = \frac{jo - je}{\gamma je} = \frac{149 - 74,07}{4,65} = 16,11$$

$$Z(n - n) = \frac{jo - je}{\gamma je} = \frac{0 - 0,0642}{0,2816} = 0,2292$$

$$Z(s - n) = \frac{jo - je}{\gamma je} = \frac{10 - 4,32}{4,54} = 1,25$$

▪ **Série III (2010 – 2017):**

$$Z(s - s) = \frac{jo - je}{\gamma je} = \frac{159 - 78,5}{0,00} = 80,5$$

$$Z(n - n) = \frac{jo - je}{\gamma je} = \frac{0 - 0}{0} = 0$$

$$Z(s - n) = \frac{jo - je}{\gamma je} = \frac{0 - 0}{0} = 0$$

Confrontando-se os valores de $Z(s-s)$ calculados, ao $Z(\text{crítico})$ tabulado (1,69), conclui-se que é possível rejeitar a H_0 ($p > 0$), aceitar a hipótese de autocorrelação espacial H_1 e afirmar que os mapas binários da Figura 25 apresentam autocorrelação espacial positiva ($p > 0$) estaticamente significativa. Por isso, é coerente dizer que os casos de erosão registrados na área de estudo entre os anos das séries analisadas apresentaram dependência espacial associada à vizinhança entre os limites de microbacias próximas.

4.2. MAPEAMENTO DE USO E COBERTURA DA TERRA - ANÁLISE DAS MUDANÇAS TEMPORAIS

A etapa do ítem 4.2 corresponde aos processos de análise das mudanças temporais, que incluem 2 etapas: exposição dos dados de uso e cobertura da terra nas séries temporais analisadas e a criação dos mapas de alteração e a geração das matrizes de transição.

4.2.1. DADOS DE USO E COBERTURA DA TERRA NAS SÉRIES TEMPORAIS

Foram produzidos mapas de uso e cobertura da terra para preceder a análise de alterações das tipologias nas séries. Os mapas das Figuras 26, 27, 28 e 29 são as classes de uso que representam os anos das séries I, II e III. A quantificação das áreas, em km², ocupadas por cada classe nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2017, obtida dos mapeamentos temáticos de cobertura da terra, e a diferença entre os períodos, em percentuais, estão representadas na Tabela 13.

Conforme os mapeamentos expostos, a principal classe de uso do solo foram as classes mistas de Agricultura e Pastagem, ocupando quase que 40% do total da área da bacia hidrográfica do rio Claro, nas 3 séries temporais analisadas. Percebe-se também um aumento gradual da classe de infraestrutura urbana, representada, principalmente, pela área urbana do município, onde está concentrada mais de 90% da população.

Pela análise das categorias de áreas com vegetação, é possível observar que a área analisada apresentou alterações expressivas no que diz respeito à perda de áreas verdes classificadas como Formação Florestal. Já as feições representadas pelas classes de Formação Savânica, Floresta Plantada e Formação Campestre estão concentradas ao sul da área de análise e apresentaram pouco percentual de alteração. As classes de Florestas Plantadas, inclusive, registraram percentuais de aumento, provavelmente representadas por áreas de reflorestamento.

Em relação ao período global entre 1990 e 2017, notou-se o acréscimo quase 20% da classe Cultura Semi-Perene, em decorrência da redução, principalmente, das classes de Pastagens (23,83%) e Agricultura e Pastagem (5,17%).

Durante esse período, a classe referente às áreas de Mineração aparece registrada na área de estudo somente a partir de 2010, contabilizando, a partir dessa data, um aumento de 0,29 km² (0,04%) até 2017.

Tabela 14: Quantificação das classes em área (km²), e a diferença entre os períodos, em percentuais.

Ano	1990		2000		1990 - 2000		2010		2000 - 2010		2017		2010 - 2017		1990 - 2017	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Formação Florestal	138.28	20.44	110.85	16.38	-27.44	-4.06	117.04	17.30	6.20	0.92	113.31	16.74	-3.74	-0.55	-24.97	-3.69
Formação Savânica	3.41	0.50	9.18	1.36	5.77	0.85	8.68	1.28	-0.49	-0.07	6.97	1.03	-1.71	-0.25	3.57	0.53
Floresta Plantada	34.70	5.13	85.08	12.57	50.38	7.44	109.61	16.20	24.53	3.62	120.21	17.76	10.60	1.57	85.50	12.64
Formação Campestre	3.09	0.46	5.22	0.77	2.14	0.32	4.88	0.72	-0.34	-0.05	4.08	0.60	-0.80	-0.12	0.99	0.15
Pastagem	210.51	31.11	152.81	22.58	-57.70	-8.53	55.25	8.17	-97.56	-14.42	49.26	7.28	-5.99	-0.89	-161.26	-23.83
Cultura Anual e Perene	0.05	0.01	0.13	0.02	0.09	0.01	0.62	0.09	0.49	0.07	1.05	0.15	0.42	0.06	1.00	0.15
Cultura Semi-Perene	15.66	2.31	39.10	5.78	23.44	3.46	111.43	16.47	72.32	10.69	145.53	21.51	34.10	5.04	129.87	19.19
Agricultura e Pastagem	263.95	39.01	266.96	39.45	3.01	0.44	261.76	38.68	-5.20	-0.77	229.00	33.84	-32.76	-4.84	-34.95	-5.17
Infraestrutura Urbana	4.58	0.68	5.28	0.78	0.70	0.10	5.59	0.83	0.31	0.05	6.12	0.90	0.54	0.08	1.55	0.23
Mineração	-	-	-	-	-	-	0.04	0.01	0.04	0.01	0.33	0.05	0.30	0.04	-	-
Outra Área não Vegetada	1.68	0.25	1.38	0.20	-0.30	-0.04	1.15	0.17	-0.22	-0.03	0.06	0.01	-1.10	-0.16	-1.62	-0.24
Rio, Lago e Oceano	0.70	0.10	0.67	0.10	-0.03	0.00	0.61	0.09	-0.06	-0.01	0.76	0.11	0.15	0.02	0.06	0.01

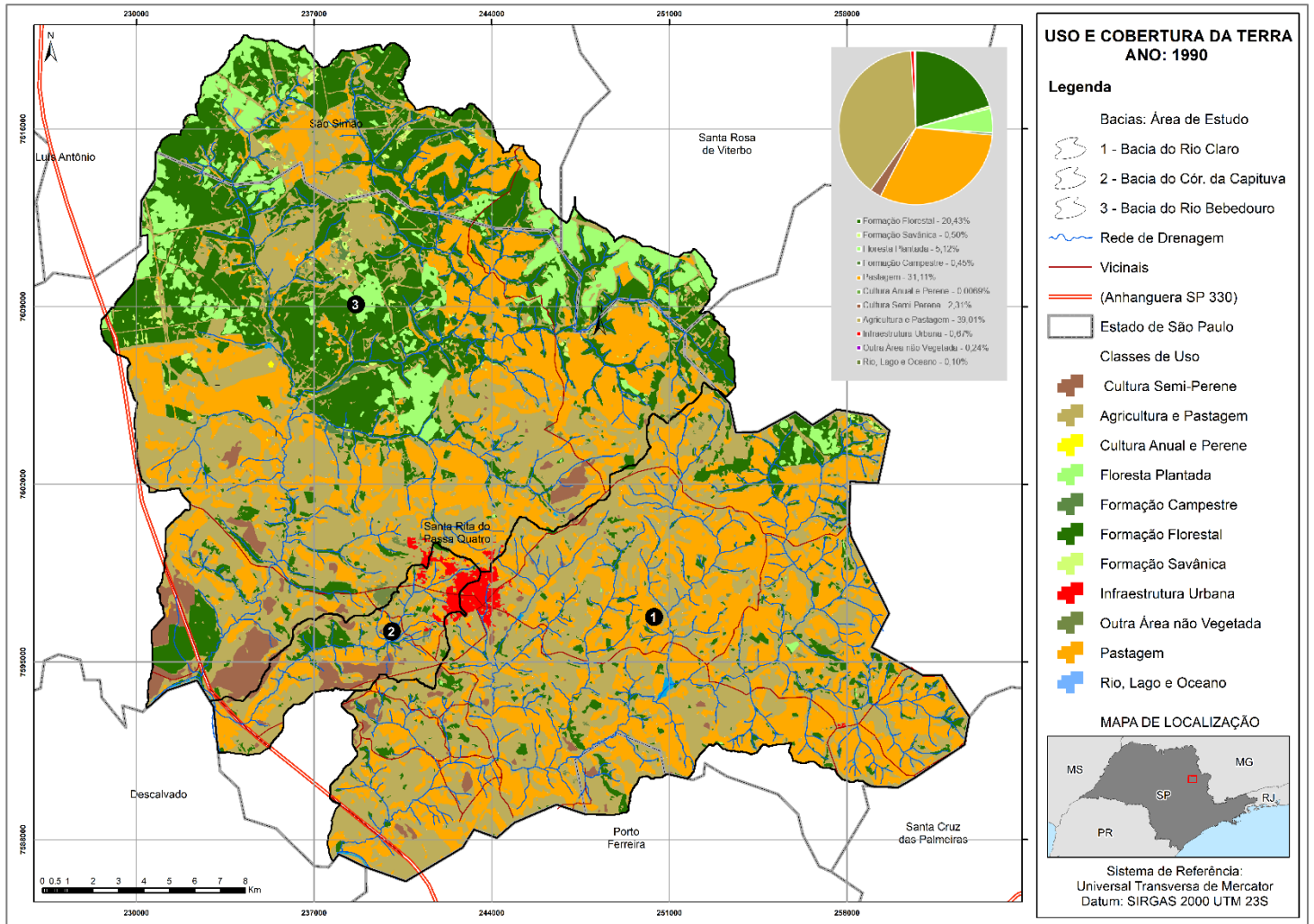


Figura 26: Mapa de Uso e cobertura do solo – 1990. Fonte: Natália da Costa Souza, 2018

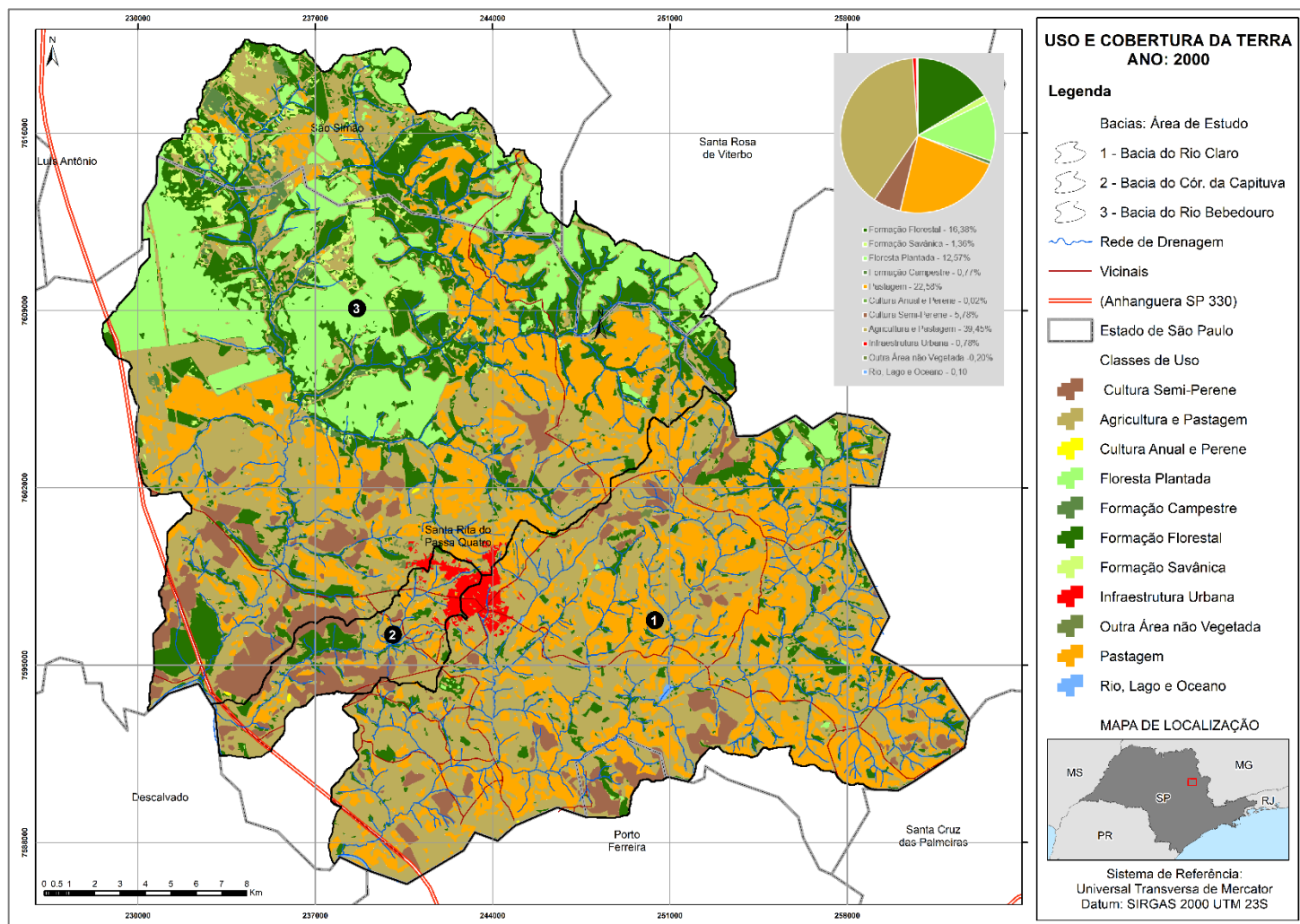


Figura 27: Mapa de Uso e cobertura do solo – 2000. Fonte: Natália da Costa Souza, 2018

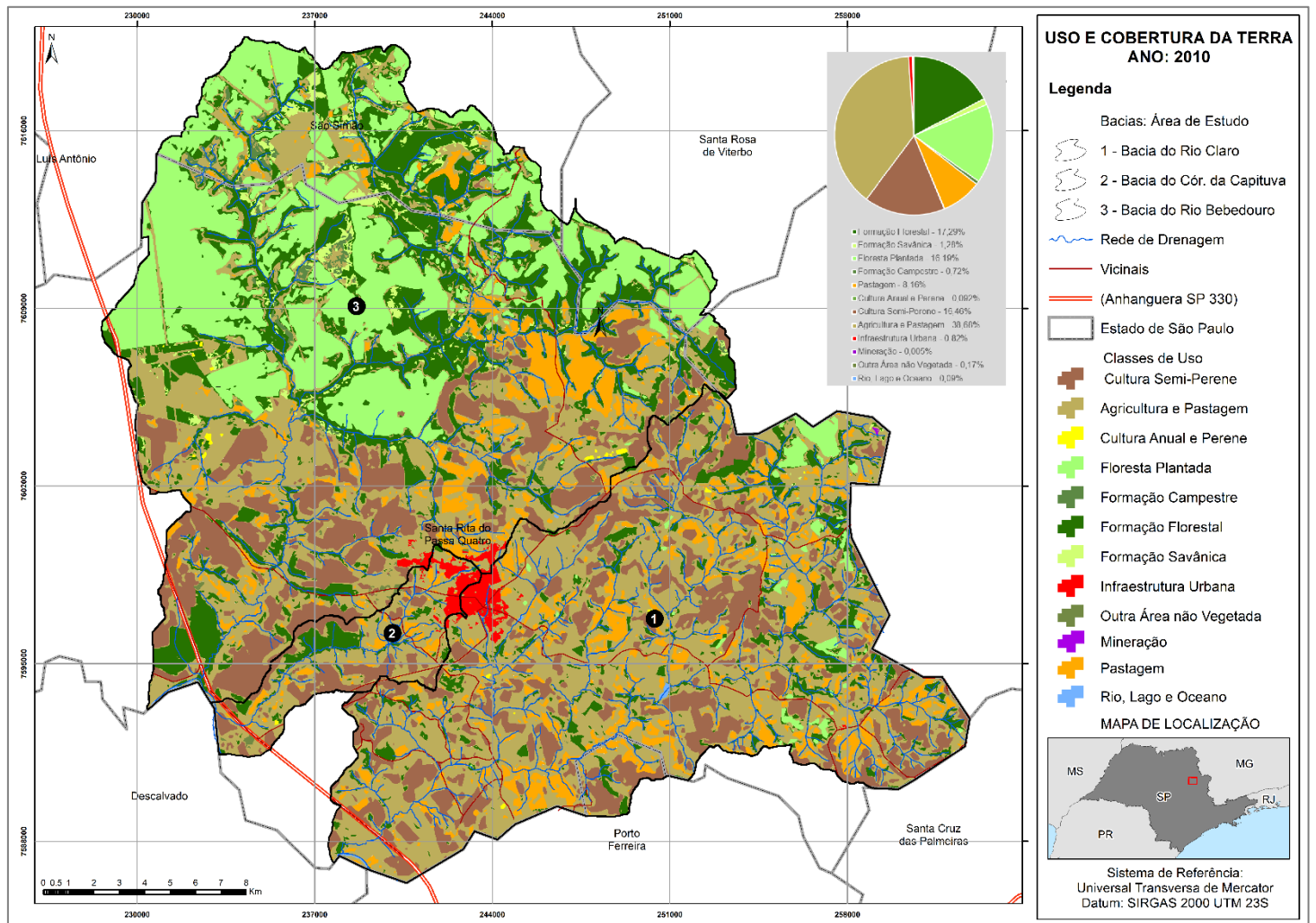


Figura 28: Mapa de Uso e cobertura do solo – 2010. Fonte: Natália da Costa Souza, 2018

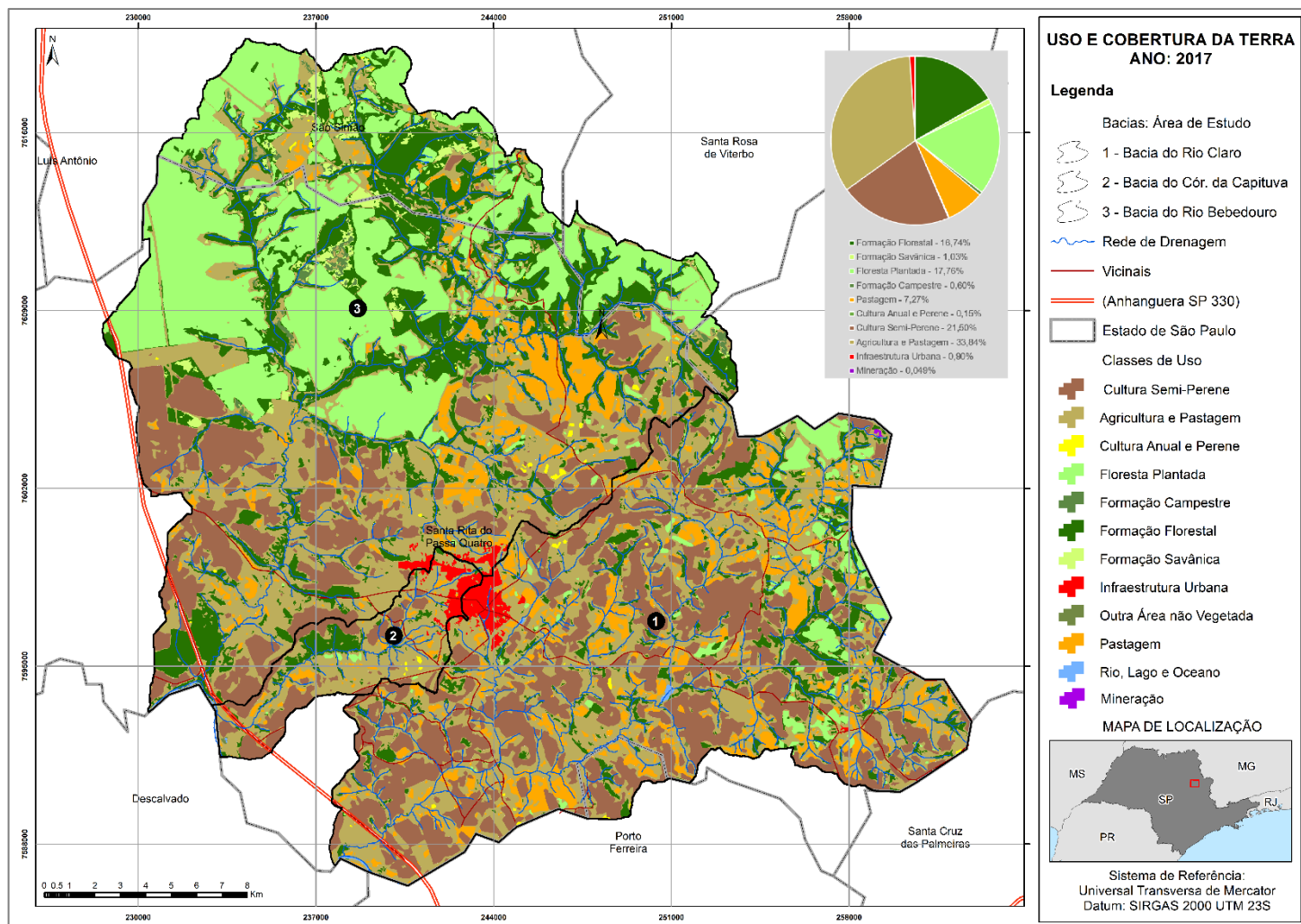


Figura 29: Mapa de Uso e cobertura do solo – 2017. Fonte: Mapbioma, 2018

4.2.2. ANÁLISE DAS MUDANÇAS TEMPORAIS: MAPAS DE TRANSIÇÃO DE USO

A etapa da criação dos mapas de alteração e a geração das matrizes de transição foram realizadas por meio de testes dos algoritmos presentes no módulo de “*Transition Potential Modeling*”, conforme descrito no processo metodológico.

Para a presente tese, o que apresentou melhor acurácia na validação foi o método de Rede Neural Artificial (RNA) (Figura 31). Esse processo possibilitou a geração dos mapas de transição (Figuras 31 a 33), que representam espacialmente as alterações de uso ocorridas na série analisada. As Tabelas 14, 15 e 16 mostram as variações das transições nas séries e sua representação em área (km²).

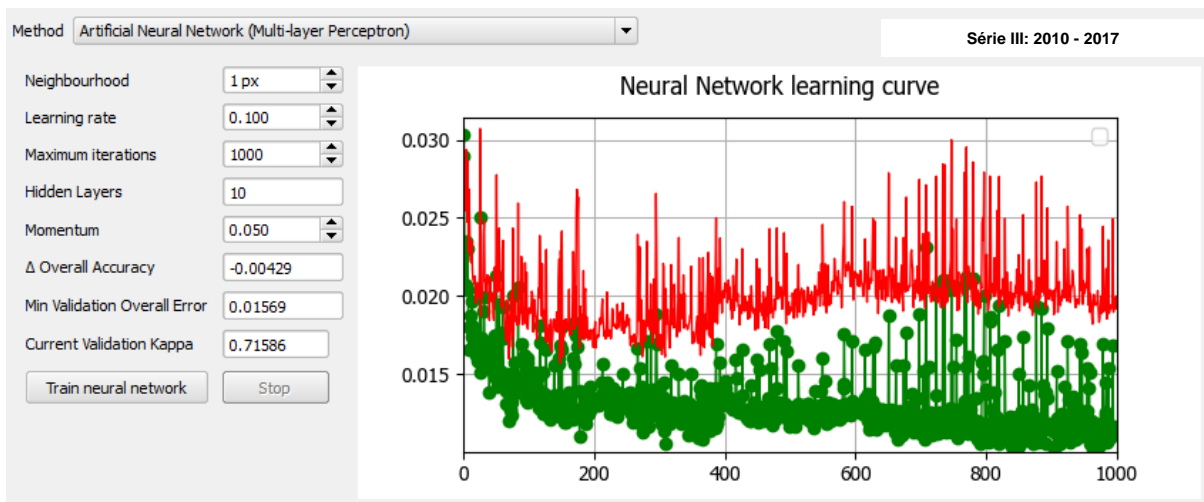
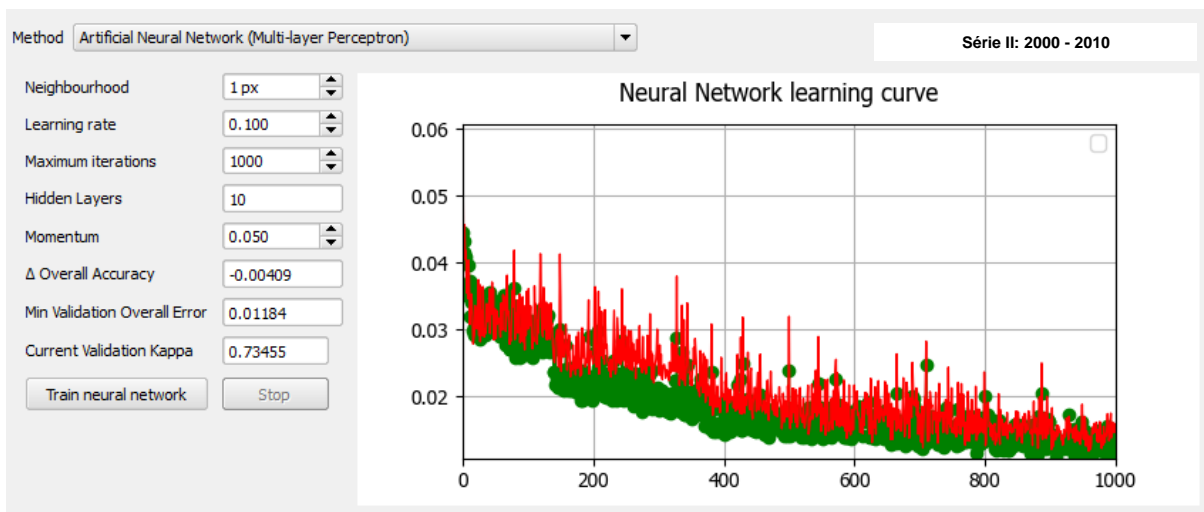
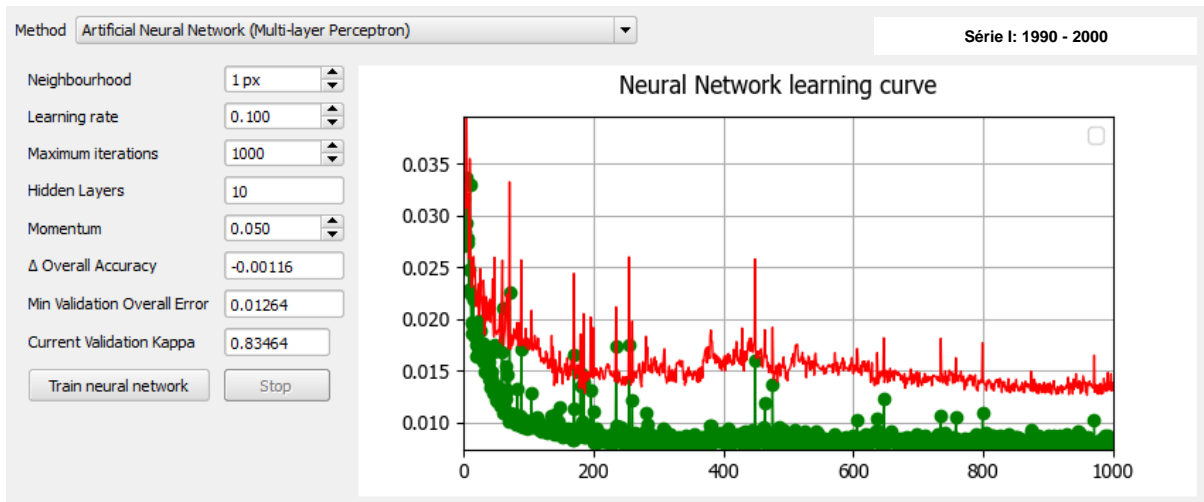


Figura 30: Teste de validação do algoritmo de RNA para a geração dos mapas e tabelas de transição. Fonte: QGIS® 2.18.0, 2019 - Molusce

Tabela 15: Dados das transições de uso ocorridas na Série I: 1990 – 2000

MATRIZ DE TRANSIÇÃO - PERÍODO: 1990 - 2000												
DE / PARA	Floresta	Savana	Plantada	Campestre	Pastagem	Cultura Anual	Semi-Perene	Agricultura e Pastagem	Urbana	Área não-vegetada	Mineração	Rio e Lago
(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)
Floresta	81.059	1.812	40.523	0.906	1.316	-	0.168	12.789	0.004	0.019	-	0.001
Savana	1.187	1.495	0.419	0.036	0.076	-	-	0.235	-	-	-	-
Plantada	3.210	0.503	27.212	1.131	0.255	-	-	2.418	-	-	-	-
Campestre	0.601	0.685	0.022	1.234	0.053	-	-	0.534	-	-	-	0.004
Pastagem	3.602	0.994	3.095	0.865	122.649	0.040	7.079	71.305	0.225	0.231	-	0.007
Cultura Anual	0.003	-	0.042	-	0.004	-	-	-	-	-	-	-
Semi-Perene	0.060	-	-	-	0.408	0.003	11.008	4.146	0.032	-	-	-
Agricultura e Pastagem	21.705	2.412	13.783	1.165	28.071	0.098	20.807	174.304	1.064	0.478	-	0.055
Urbana	-	-	-	-	0.017	-	-	0.519	3.973	0.066	-	-
Área não-vegetada	-	-	-	-	0.139	-	0.027	1.172	0.027	0.324	-	-
Lago	0.017	0.002	-	0.003	-	-	-	0.073	-	-	-	0.604

Tabela 16: Dados das transições de uso ocorridas na Série II: 2000 – 2010

MATRIZ DE TRANSIÇÃO - PERÍODO: 2000 - 2010												
DE / PARA	Floresta	Savana	Plantada	Campestre	Pastagem	Cultura Anual	Semi-Perene	Agricultura e Pastagem	Urbana	Área não-vegetada	Mineração	Rio e Lago
(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)
Floresta	86.213	2.194	12.349	1.236	0.438	0.002	0.728	7.958	-	0.004	0.002	0.009
Savana	2.198	3.508	2.517	0.382	0.032	-	0.032	0.589	-	-	-	-
Plantada	4.949	0.056	76.985	0.180	0.336	-	0.162	2.485	-	-	-	-
Campestre	1.079	0.520	1.147	1.213	0.144	-	0.098	1.053	-	-	-	-
Pastagem	2.185	0.217	7.173	0.376	46.815	0.057	33.579	61.905	0.064	0.100	-	-
Cultura Anual	-	-	-	-	0.014	-	-	0.128	-	-	-	-
Semi-Perene	0.024	-	0.005	-	0.177	0.003	33.969	4.830	-	0.085	-	-
Agricultura e Pastagem	20.244	2.309	9.488	1.522	7.436	0.556	42.494	181.297	0.678	0.705	0.028	0.031
Urbana	0.001	-	-	-	0.004	-	0.004	0.627	4.654	0.033	-	-
Área não-vegetada	0.017	0.002	0.016	-	-	0.311	-	0.626	0.205	0.206	-	-
Lago	0.013	-	-	0.001	-	-	-	0.052	-	0.033	-	0.565

Tabela 17: Dados das transições de uso ocorridas na Série III: 2010 - 2017

MATRIZ DE TRANSIÇÃO - PERÍODO: 2010 - 2017												
DE / PARA	Floresta	Savana	Plantada	Campestre	Pastagem	Cultura Anual	Semi-Perene	Agricultura e Pastagem	Urbana	Área não-vegetada	Mineração	Rio e Lago
(km²)	(km²)	(km²)	(km²)	(km²)	(km²)	(km²)	(km²)	(km²)	(km²)	(km²)	(km²)	(km²)
Floresta	94.131	0.987	7.787	0.228	0.205	0.100	1.767	12.017	-	0.001	-	0.003
Savana	3.280	4.207	0.031	0.214	0.028	-	0.085	0.896	-	-	-	-
Plantada	2.281	0.010	105.006	0.022	0.160	-	0.026	2.208	-	-	-	-
Campestre	-	0.435	0.023	2.322	0.084	-	-	1.570	-	-	-	0.001
Pastagem	0.280	-	0.292	0.186	34.208	0.012	4.427	15.647	0.076	0.002	-	-
Cultura Anual	0.003	-	0.006	-	0.011	0.007	0.281	0.310	-	-	-	-
Semi-Perene	0.127	-	0.628	0.145	3.525	0.035	84.945	21.924	-	0.032	-	-
Agricultura e Pastagem	12.632	1.365	6.471	1.034	11.107	0.862	53.462	173.563	0.665	0.180	0.029	0.133
Urbana	0.001	-	-	-	0.007	-	-	0.287	5.330	0.004	-	-
Área não-vegetada	0.001	0.027	0.023	-	-	-	0.313	0.542	0.099	0.121	-	-
Mineração	-	-	-	-	-	-	-	0.006	-	-	0.026	-
Lago	0.012	-	-	-	-	-	-	0.014	-	0.004	-	0.584

As alterações de uso do solo realizadas por meio do *plugin Molusce* foram analisadas considerando as transformações ocorridas durante um período de 27 anos, conforme procedimento metodológico citado. As variações entre as classes foram realizadas considerando as transições pixel a pixel.

No geral, verificou-se que as principais transições ocorreram nas classes que envolveram as áreas de mosaico de agricultura e pastagens e classes de áreas cultiváveis, em todas as séries analisadas. As principais transições de uso de cada mapa, que representam um total de mais 90% em áreas das bacias, estão resumidas na Tabela 17.

Para todos os períodos analisados, observa-se a predominância das mesmas classes de transição, embora elas não apareçam na mesma ordem de ocorrência.

A classe de Agricultura e Pastagem, que tiveram suas áreas diminuídas de um período para o outro, foram compensadas por áreas ampliadas de Floresta Plantada. Mais de 13km² de área de Agricultura e Pastagem foi transformado em áreas de reflorestamento nos anos entre 1990 e 2000 e mais de 10km² entre 2000 e 2010. Já na última série, quase a mesma proporção de área da mesma feição mista agropastoril foi substituída por áreas de pastagens.

Pela tabela, é possível notar que além da ampliação das áreas verdes, houve transformação significativa das feições de Agricultura e Pastagens para Floresta, representando quase 3% da área total da bacia hidrográfica do rio Claro nos dois primeiros períodos e quase 2% no último. Além disso, as mesmas áreas mistas agropastoris foram substituídas, gradativamente entre uma série e outra, por áreas exclusivamente ocupadas por culturas classificadas como Semi-Perenes que, no caso da região de estudo, são áreas de cana-de-açúcar. Tal transformação significa, em área, mais de 6% da extensão total da área das Bacias em todos os períodos de transição.

Já em relação às todas as formas de transições possíveis, as Tabelas 14, 15 16, mais completas, informam para qual tipo de feição cada alteração foi feita, nos períodos analisados.

Já a Tabela 18 é o resultado das transições que cada feição teve como predominante (De – Para), ou seja, apresentou maior ganho de área de transição de uso.

Tabela 18: Dados das principais transições de uso ocorridas entre as séries temporais analisadas

Série I: 1990 - 2000			Série II: 2000 - 2010			Série III: 2010 - 2017		
Classes de Uso	(km²)	(%)	Classes de Uso	(km²)	(%)	Classes de Uso	(km²)	(%)
1 Agricultura e Pastagem - Agricultura e Pastagem	174.304	27.88	Agricultura e Pastagem - Agricultura e Pastagem	181.297	26.79	Agricultura e Pastagem - Agricultura e Pastagem	173.563	25.65
2 Pastagem - Pastagem	122.649	19.62	Floresta - Floresta	86.213	12.74	Plantada - Plantada	105.006	15.52
3 Floresta - Floresta	81.059	12.97	Plantada - Plantada	76.985	11.38	Floresta - Floresta	94.131	13.91
4 Pastagem - Agricultura e Pastagem	71.305	11.40	Pastagem - Agricultura e Pastagem	61.905	9.15	Semi-Perene - Semi-Perene	84.945	12.55
5 Floresta - Plantada	40.523	6.48	Pastagem - Pastagem	46.815	6.92	Agricultura e Pastagem - Semi-Perene	53.462	7.90
6 Agricultura e Pastagem - Pastagem	28.071	4.49	Agricultura e Pastagem - Semi-Perene	42.494	6.28	Pastagem - Pastagem	34.208	5.06
7 Plantada - Plantada	27.212	4.35	Semi-Perene - Semi-Perene	33.969	5.02	Semi-Perene - Agricultura e Pastagem	21.924	3.24
8 Agricultura e Pastagem - Floresta	21.705	3.47	Pastagem - Semi-Perene	33.579	4.96	Pastagem - Agricultura e Pastagem	15.647	2.31
9 Agricultura e Pastagem - Semi-Perene	20.807	3.33	Agricultura e Pastagem - Floresta	20.244	2.99	Agricultura e Pastagem - Floresta	12.632	1.87
10 Agricultura e Pastagem - Plantada	13.783	2.20	Floresta - Plantada	12.349	1.83	Floresta - Agricultura e Pastagem	12.017	1.78
11 Floresta - Agricultura e Pastagem	12.789	2.05	Agricultura e Pastagem - Plantada	9.488	1.40	Agricultura e Pastagem - Pastagem	11.107	1.64
12 Semi-Perene - Semi-Perene	11.008	1.76	Floresta - Agricultura e Pastagem	7.958	1.18	Floresta - Plantada	7.787	1.15
Total	625.216	100.00	Total	613.296	90.64	Total	626.429	92.58

Tabela 19: Dados das transições que cada feição teve como predominante (De – Para)

Feição de Origem (De)	Feição de Transição (Para)		
	Série I: 1990 - 2000	Série II: 2000 - 2010	Série III: 2010 - 2017
Floresta	Plantada	Plantada	Agricultura e Pastagem
Savana	Plantada	Plantada	Floresta
Plantada	Floresta	Floresta	Floresta
Campestre	Savana	Plantada	Agricultura e Pastagem
Pastagem	Floresta	Agricultura e Pastagem	Agricultura e Pastagem
Cultural Anual	Plantada	Agricultura e Pastagem	Agricultura e Pastagem
Semi-Perene	Agricultura e Pastagem	Pastagem	Pastagem
Agricultura e Pastagem	Pastagem	Semi-Perene	Semi-Perene
Urbana	Agricultura e Pastagem	Pastagem	Pastagem
Área não-Vegetada	Agricultura e Pastagem	Agricultura e Pastagem	Agricultura e Pastagem
Mineração	-	-	Agricultura e Pastagem
Lago	Agricultura e Pastagem	Agricultura e Pastagem	Agricultura e Pastagem

Apesar do destaque para a transição de áreas verdes entre os anos de 1990 – 2000, nota-se que a classe com maior predominância em todas as séries, como é o caso das áreas mistas de Agricultura e Pastagem, são responsáveis pela maioria das transições de uso da região de estudo. Fazendo-se uma associação do crescimento de processos erosivos da área de estudo (dados da Tabela 9) com os dados de transição de uso aqui expostos, pode-se observar uma correlação da aceleração dos eventos à expansão dessas áreas, possivelmente ocasionada por práticas agrícolas e de manejo do solo.

Sendo assim, é possível também que a análise das transições de uso possa ajudar a explicar a auto correlação das bacias, uma vez que a identificação positiva das erosões, ao apresentarem dependência espacial associada à vizinhança entre os limites das micro bacias próximas, podem estar, aparentemente, relacionadas à algumas transições de uso que favorecem o aparecimento desses fenômenos erosivos.

A seguir (Tabela 19) serão apresentados dados dos registros de processos erosivos mapeados associados às áreas de transição de uso nos períodos analisados.

Tabela 20: Dados de processos erosivos registrados associados às áreas de transições nos períodos analisados

Série I: 2000 - 2010	Erosões	Série II: 2000 - 2010	Erosões	Série III: 2010 - 2017	Erosões
Agricultura e Pastagem para Agricultura e Pastagem	81	Agricultura e Pastagem para Agricultura e Pastagem	67	Agricultura e Pastagem para Agricultura e Pastagem	244
Pastagem para Agricultura e Pastagem	25	Pastagem para Agricultura e Pastagem	39	Pastagem para Pastagem	61
Pastagem para Pastagem	24	Floresta para Floresta	29	Plantada para Plantada	49
Agricultura e Pastagem para Semi-Perene	5	Pastagem para Pastagem	23	Semi-Perene para Semi-Perene	30
Floresta para Agricultura e Pastagem	4	Pastagem para Semi-Perene	18	Floresta para Floresta	27
Agricultura e Pastagem para Pastagem	4	Semi-Perene para Semi-Perene	13	Pastagem para Agricultura e Pastagem	25
Plantada para Agricultura e Pastagem	3	Agricultura e Pastagem para Semi-Perene	11	Agricultura e Pastagem para Semi-Perene	22
Floresta para Floresta	2	Plantada para Plantada	8	Agricultura e Pastagem para Pastagem	17
Plantada para Plantada	2	Floresta para Plantada	5	Semi-Perene para Agricultura e Pastagem	11
Semi-Perene para Semi-Perene	2	Agricultura e Pastagem para Floresta	4	Floresta para Agricultura e Pastagem	9
Semi-Perene para Agricultura e Pastagem	2	Savana para Agricultura e Pastagem	3	Agricultura e Pastagem para Floresta	7
Floresta para Plantada	1	Agricultura e Pastagem para Pastagem	3	Campestre para Campestre	7
Floresta para Pastagem	1	Plantada para Floresta	2	Campestre para Agricultura e Pastagem	5
Floresta para Semi-Perene	1	Campestre para Agricultura e Pastagem	2	Floresta para Plantada	5
Plantada para Floresta	1	Pastagem para Plantada	2	Agricultura e Pastagem para Plantada	3
Pastagem para Campestre	1	Agricultura e Pastagem para Campestre	2	Savana para Savana	3
Pastagem para Semi-Perene	1	Floresta para Campestre	1	Urbana para Urbana	3
Pastagem para Urbana	1	Floresta para Agricultura e Pastagem	1	Área não-Vegetada para Floresta	2
Pastagem para Área não-Vegetada	1	Savana para Floresta	1	Agricultura e Pastagem para Campestre	2
Agricultura e Pastagem para Floresta	1	Savana para Savana	1	Agricultura e Pastagem para Savana	2
Agricultura e Pastagem para Plantada	1	Campestre para Semi-Perene	1	Floresta para Semi-Perene	2
Área não-Vegetada para Agricultura	1	Pastagem para Floresta	1	Savana para Floresta	2
Total	165	Semi-Perene para Agricultura e Pastagem	1	Urbana para Agricultura e Pastagem	2
		Agricultura e Pastagem para Cultura Anual	1	Área não-Vegetada para Floresta	1
		Área não-Vegetada para Floresta	1	Área não-Vegetada para Floresta	1
		Total	240	Agricultura e Pastagem para Área não-Vegetada	1
				Agricultura e Pastagem para Urbana	1
				Floresta para Campestre	1
				Floresta para Pastagem	1
				Lago para Lago	1
				Mineração para Mineração	1
				Plantada para Agricultura e Pastagem	1
				Plantada para Floresta	1
				Semi-Perene para Pastagem	1
				Total	550

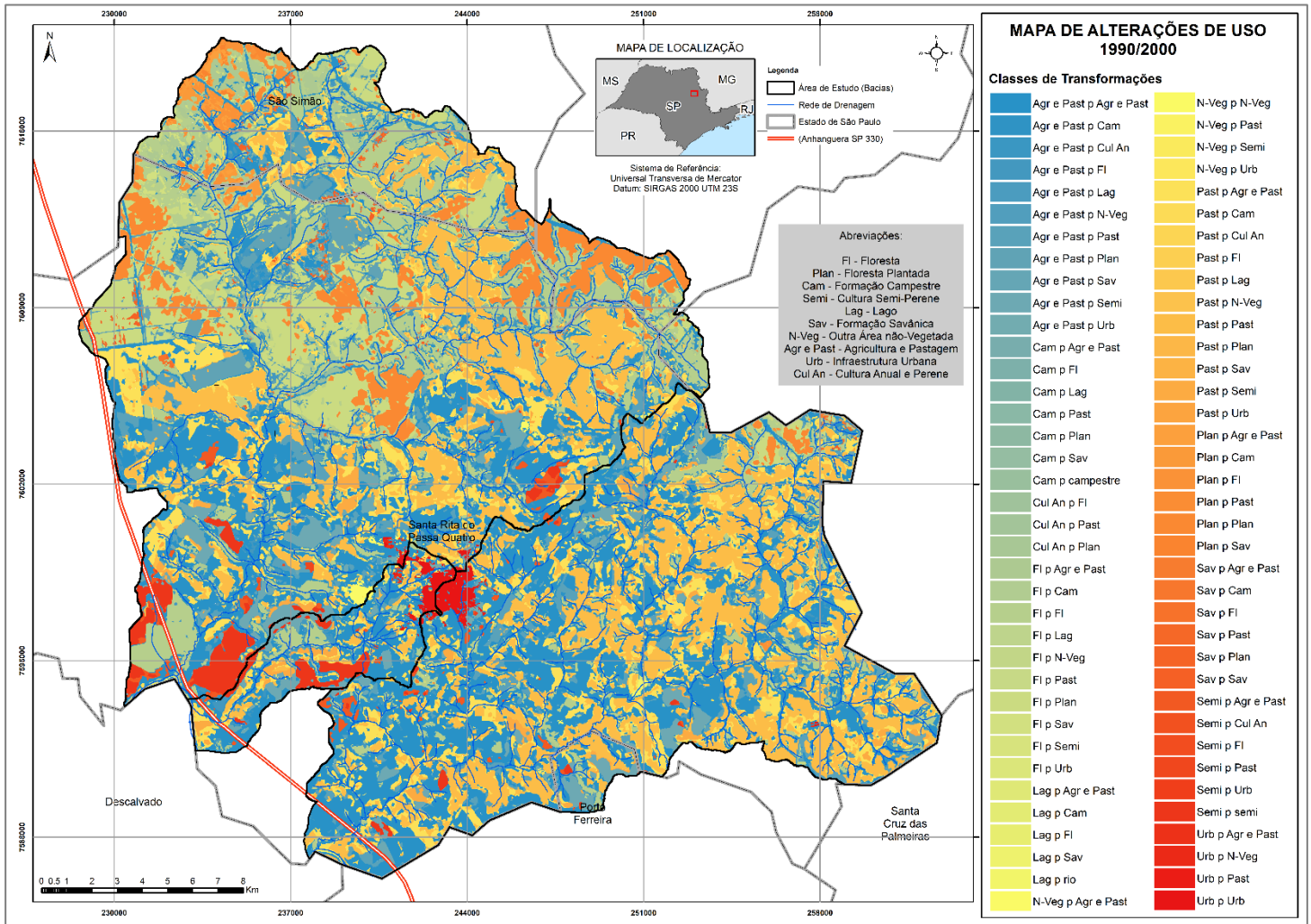


Figura 31: Mapa de Transição I: de 1990 a 2000. Fonte: Natália da Costa Souza - Molusce - QGIS® 2.18.0, 2019

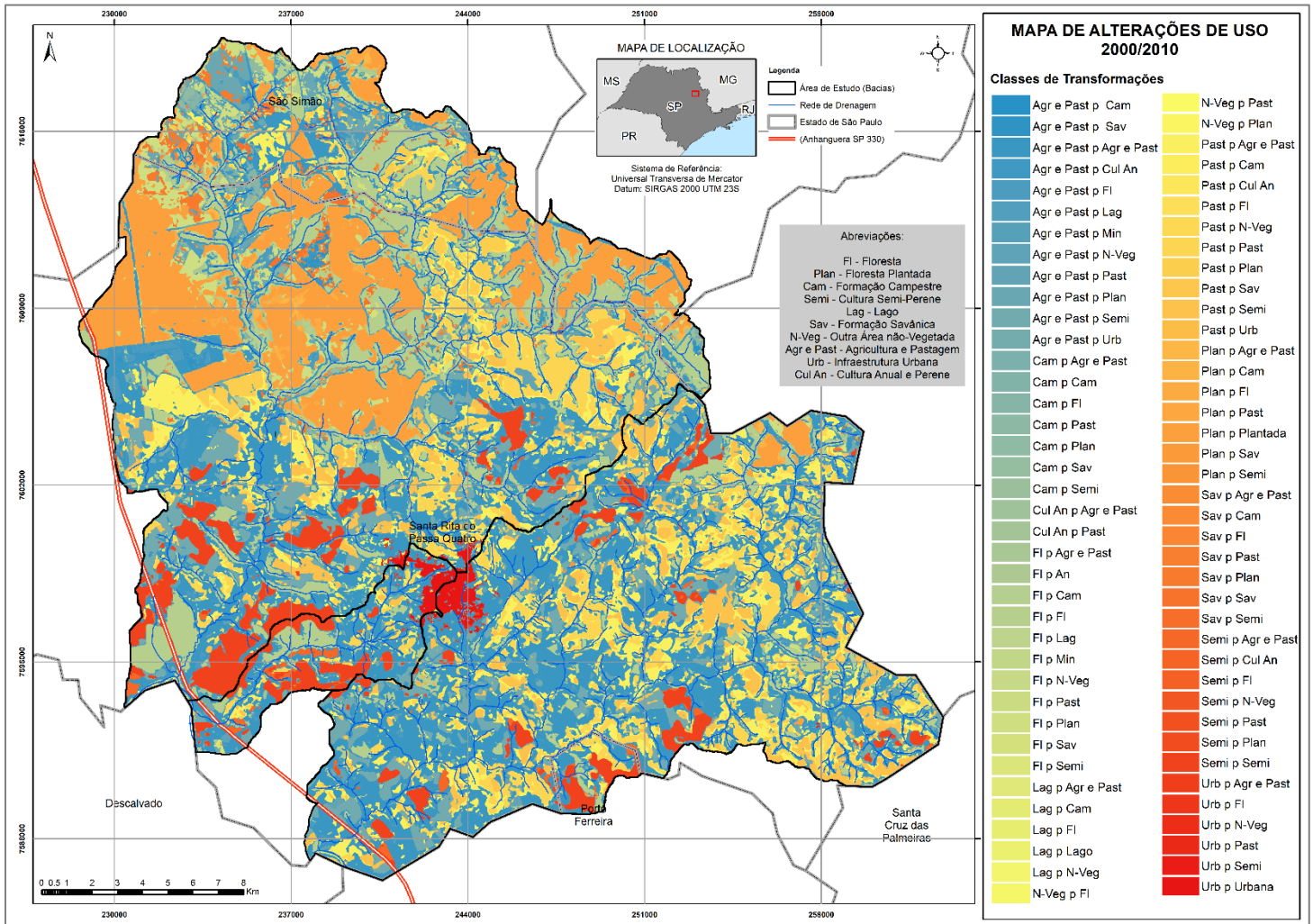


Figura 32: Mapa de Transição I: de 1990 a 2000. Fonte: Natália da Costa Souza - Molusce - QGIS® 2.18.0, 2019

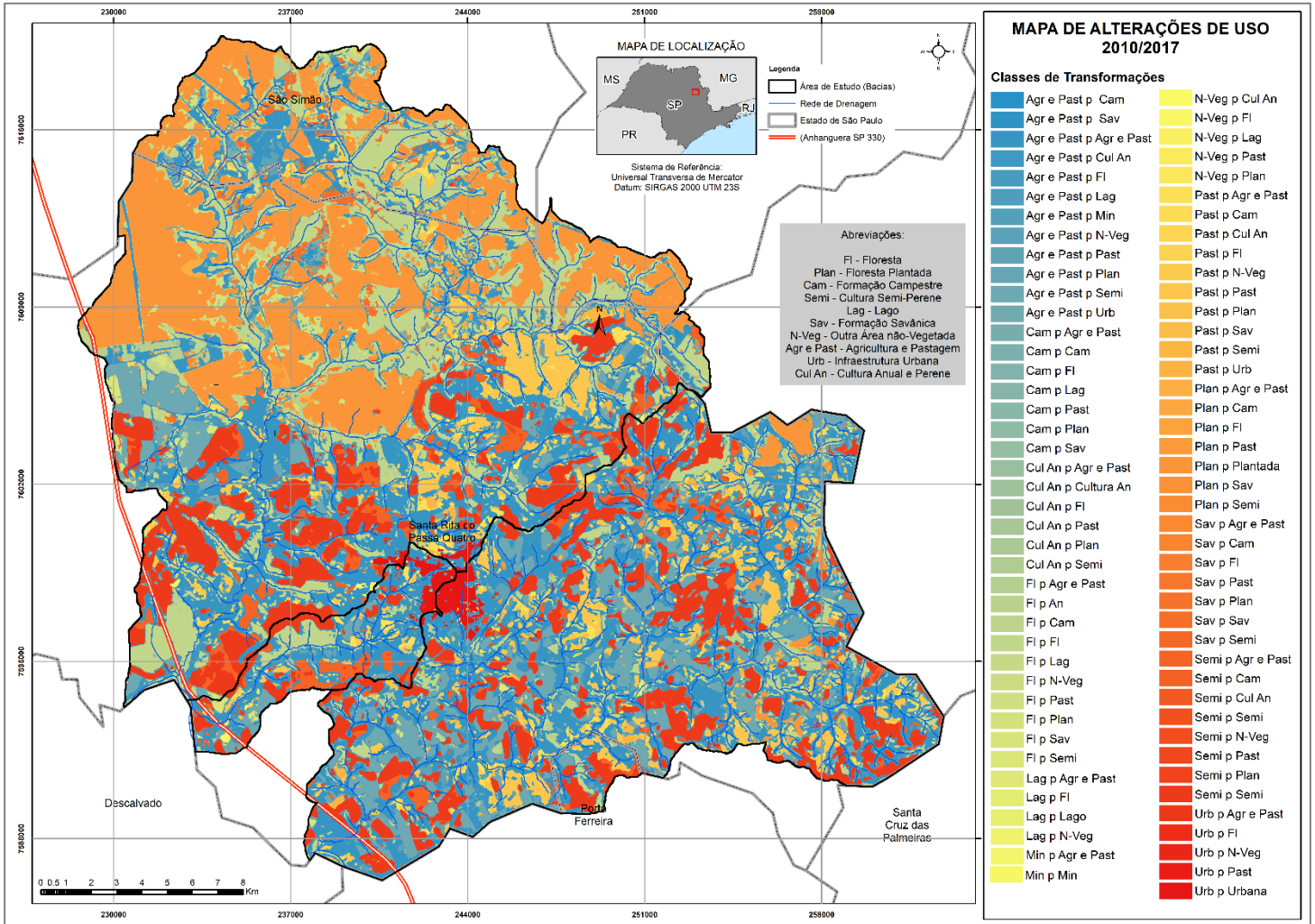


Figura 33: Mapa de Transição I: de 1990 a 2000. Fonte: Natália da Costa Souza - Molusce - QGIS® 2.18.0, 2019

4.3. MAPEAMENTOS DAS VARIÁVEIS FÍSICO-AMBIENTAIS E SOCIODEMOGRÁFICAS

4.3.1. VARIÁVEIS FÍSICO – AMBIENTAIS

Compõem essa categoria as variáveis de: regime pluviométrico, dados de erosão, distância de rodovias e vicinais relevantes, distância da rede de drenagem principal, declividade e altimetria.

Os mapeamentos que seguem (Figuras 34, 35, 36, 37 e 38) são correspondentes às situações das características selecionadas para os períodos indicados, exceto para os dados de erosão (que significa aqui os mapas binários já apresentados), apresentados detalhadamente no item anterior.

4.3.1.1. REGIME PLUVIOMÉTRICO

As Tabelas 20, 21 e 22 discriminam todos os postos localizados na área de estudo, sua localização geográfica, os anos de funcionamento dentro dos anos das séries históricas propostas e seus respectivos códigos. O mapeamento do comportamento pluviométrico e a interpolação dos dados não-amostrados, para cada série de análise, foram baseados nos valores apresentados na coluna “média final total”. O valor de “p” (*power*) ajustado foi de 2, que produziu menor erro na validação cruzada para todas as séries.

Importante dizer que, para a região de estudo, existem disponíveis mais algumas unidades de postos de medidas, porém, os anos de medição não contemplavam os anos das séries analisadas. Dessa forma, foram escolhidos os postos possíveis de representarem as características pluviométricas dos anos em questão.

Pelos mapeamentos da Figura 34, é possível notar que as médias entre as séries não revelaram alterações de grande expressividade. A série II apresentou médias superiores as outras duas, com pequenas porções da área de estudo variando acima de 130mm. A série I variou de 124mm a 128mm, enquanto que a série III, com menores médias registradas, apresentou valores entre 111mm a 120mm em toda região de análise.

Tabela 21: Valores das médias finais dos postos pluviométricos utilizados para interpolação dos dados na Série I

Município	Código ANA	Ano	SÉRIE II - 2000 - 2010												Anual Médio	Média Final
			Total Mensal (mm)													
			JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
Santa Rita	C4 - 107	2001 - 2010	2076.6	1696.9	1330.7	564.9	476.5	144.2	231.5	242.8	571.5	846.6	1234.6	1755.1		
São Simão	C4 - 087		2027.5	1826.8	1001	430.2	594.4	91.6	260.2	242.4	549.1	1218	1474.1	1661.5		
Descalvado	C4 - 071		3168.1	2321.7	2010.3	780.1	507.7	160.2	309.4	317.4	721.7	930.3	1452	2320.9		
Santa Rosa	C4 - 103		3525.3	2504.1	1738.6	738.3	744.4	92.3	231.2	258	619.3	1214.2	1888.7	2262.1		
Cajuru	C4 - 099		2124.3	1808.7	1299.2	931.8	669.8	145.5	238.6	198.5	620	960.7	1656.6	1708.9		
Casa Branca	C4 - 097		3021.2	2077	1571.1	694.1	712.4	171.3	325.8	287.2	615.6	1175.7	1851	2320.5		
Pirassununga	C4 - 033		2739.6	1998.7	1691.9	638.3	576.1	160.3	318.7	263.2	497.1	863.4	1278.2	2028.1		
São Carlos	D5 - 076		2767	1646	1300.5	779.2	587.5	222.1	307.1	340.9	523.9	1134.6	1596.3	2011		
São Carlos	C4 092		2887.6	1829.7	1741.1	605.1	543.4	175	231.8	352.2	579.9	645.1	1202.6	2257.8		
Luís Antônio	C4 - 096		2592.9	1901	1400.4	612.3	741	149.1	216.6	297.9	553.3	746.9	1384.7	1909.3		
Município	Código ANA	Série	Média Mensal (mm) da Série												Anual Médio	Média Final
			JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
Santa Rita	C4 - 107	2001 - 2010	296.657	212.113	166.338	70.613	59.563	20.600	33.071	34.686	81.643	120.943	176.371	250.729	1523.325	126.944
São Simão	C4 - 087		337.917	228.350	143.000	61.457	66.044	10.178	26.020	26.933	68.638	121.800	210.586	237.357	1538.280	128.190
Descalvado	C4 - 071		316.810	232.170	201.030	78.010	50.770	16.020	30.940	31.740	72.170	93.030	145.200	232.090	1499.980	124.998
Santa Rosa	C4 - 103		352.530	250.410	173.860	73.830	74.440	9.230	23.120	25.800	68.811	121.420	188.870	226.210	1588.531	132.378
Cajuru	C4 - 099		354.050	226.088	144.356	93.180	74.422	16.167	26.511	19.850	68.889	120.088	236.657	284.817	1665.073	138.756
Casa Branca	C4 - 097		302.120	207.700	157.110	69.410	71.240	17.130	32.580	28.720	61.560	117.570	185.100	232.050	1482.290	123.524
Pirassununga	C4 - 033		273.960	199.870	169.190	63.830	57.610	16.030	31.870	29.244	55.233	86.340	127.820	202.810	1313.808	109.484
São Carlos	D5 - 076		307.444	182.889	144.500	77.920	58.750	24.678	34.122	34.090	52.390	113.460	159.630	223.444	1413.318	117.776
São Carlos	C4 - 092		288.760	182.970	174.110	67.233	54.340	17.500	25.756	35.220	57.990	80.638	133.622	250.867	1369.005	114.084
Luís Antônio	C4 - 096		288.100	211.222	155.600	68.033	74.100	14.910	21.660	29.790	61.478	93.363	173.088	238.663	1430.006	119.167

Tabela 22: Valores das médias finais dos postos pluviométricos utilizados para interpolação dos dados na Série II

Município	Código ANA	Ano	SÉRIE II - 2000 - 2010												Anual Médio	Média Final
			Total Mensal (mm)													
			JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
Santa Rita	C4 - 107	2001 - 2010	2076.6	1696.9	1330.7	564.9	476.5	144.2	231.5	242.8	571.5	846.6	1234.6	1755.1		
São Simão	C4 - 087		2027.5	1826.8	1001	430.2	594.4	91.6	260.2	242.4	549.1	1218	1474.1	1661.5		
Descalvado	C4 - 071		3168.1	2321.7	2010.3	780.1	507.7	160.2	309.4	317.4	721.7	930.3	1452	2320.9		
Santa Rosa	C4 - 103		3525.3	2504.1	1738.6	738.3	744.4	92.3	231.2	258	619.3	1214.2	1888.7	2262.1		
Cajuru	C4 - 099		2124.3	1808.7	1299.2	931.8	669.8	145.5	238.6	198.5	620	960.7	1656.6	1708.9		
Casa Branca	C4 - 097		3021.2	2077	1571.1	694.1	712.4	171.3	325.8	287.2	615.6	1175.7	1851	2320.5		
Pirassununga	C4 - 033		2739.6	1998.7	1691.9	638.3	576.1	160.3	318.7	263.2	497.1	863.4	1278.2	2028.1		
São Carlos	D5 - 076		2767	1646	1300.5	779.2	587.5	222.1	307.1	340.9	523.9	1134.6	1596.3	2011		
São Carlos	C4 092		2887.6	1829.7	1741.1	605.1	543.4	175	231.8	352.2	579.9	645.1	1202.6	2257.8		
Luís Antônio	C4 - 096		2592.9	1901	1400.4	612.3	741	149.1	216.6	297.9	553.3	746.9	1384.7	1909.3		
Município	Código ANA	Série	Média Mensal (mm) da Série												Anual Médio	Média Final
			JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
Santa Rita	C4 - 107	2001 - 2010	296.657	212.113	166.338	70.613	59.563	20.600	33.071	34.686	81.643	120.943	176.371	250.729	1523.325	126.944
São Simão	C4 - 087		337.917	228.350	143.000	61.457	66.044	10.178	26.020	26.933	68.638	121.800	210.586	237.357	1538.280	128.190
Descalvado	C4 - 071		316.810	232.170	201.030	78.010	50.770	16.020	30.940	31.740	72.170	93.030	145.200	232.090	1499.980	124.998
Santa Rosa	C4 - 103		352.530	250.410	173.860	73.830	74.440	9.230	23.120	25.800	68.811	121.420	188.870	226.210	1588.531	132.378
Cajuru	C4 - 099		354.050	226.088	144.356	93.180	74.422	16.167	26.511	19.850	68.889	120.088	236.657	284.817	1665.073	138.756
Casa Branca	C4 - 097		302.120	207.700	157.110	69.410	71.240	17.130	32.580	28.720	61.560	117.570	185.100	232.050	1482.290	123.524
Pirassununga	C4 - 033		273.960	199.870	169.190	63.830	57.610	16.030	31.870	29.244	55.233	86.340	127.820	202.810	1313.808	109.484
São Carlos	D5 - 076		307.444	182.889	144.500	77.920	58.750	24.678	34.122	34.090	52.390	113.460	159.630	223.444	1413.318	117.776
São Carlos	C4 - 092		288.760	182.970	174.110	67.233	54.340	17.500	25.756	35.220	57.990	80.638	133.622	250.867	1369.005	114.084
Luís Antônio	C4 - 096		288.100	211.222	155.600	68.033	74.100	14.910	21.660	29.790	61.478	93.363	173.088	238.663	1430.006	119.167

Tabela 23: Valores das médias finais dos postos pluviométricos utilizados para interpolação dos dados na Série III

Município	Código ANA	Ano	SÉRIE III - 2010 - 2017													
			Total Mensal (mm)													
			JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
Santa Rita	C4 - 107	2010 - 2017	1908.1	974.7	1235.9	551.7	567.3	335.2	160.5	101.6	350.1	823.4	1434.8	1324.2		
São Simão	C4 - 087		1025.5	578	404	183.5	290	337.5	113	75	279.5	510.7	429.5	541.8		
Descalvado	C4 - 071		2114.5	1275.7	1114	558.1	664.1	427.7	202.3	126.6	515.4	665.1	1484.1	1628.1		
Santa Rosa	C4 - 103		1619.5	1314.4	1033.7	513	531.3	340.7	125.8	98.6	303.8	643.5	1327.4	1351		
Cajuru	C4 - 099		735.8	617.4	479	414.1	212.7	183.9	127.6	88.4	228.4	522.9	609.6	708.2		
Casa Branca	C4 - 097		2026.9	1089.7	876.6	448.8	416.1	281.3	154.6	99.4	354.6	736.1	1513	1276.9		
Pirassununga	C4 - 033		1932	1046.6	1170.3	514.8	655.4	318.9	138.6	112.6	319.5	776.6	1462.6	1232.9		
São Carlos	D5 - 076		1812.6	786.1	844.4	417.2	569.2	435	86.8	58.3	348.6	771.3	789.1	987.4		
São Carlos	C4 092		1657.8	833.6	1058.1	680.4	694.9	417.2	190.8	125	465.8	839.6	1560.6	1207.7		
Luís Antônio	C4 - 096		797.8	769.7	882.6	371.7	588.2	395.9	205.3	95.5	336.8	528.2	1457.2	1174.7		
Município	Código ANA	Série	Média Mensal (mm) da Série												Anual Médio	Média Final
			JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
Santa Rita	C4 - 107	2010 - 2017	272.586	139.243	176.557	78.814	81.043	47.886	22.929	14.514	50.014	117.629	204.971	189.171	1395.357	116.280
São Simão	C4 - 087		256.375	192.667	134.667	45.875	58.000	56.250	16.143	12.500	55.900	102.140	214.750	180.600	1325.866	110.489
Descalvado	C4 - 071		302.071	182.243	159.143	79.729	94.871	61.100	28.900	18.086	73.629	95.014	212.014	232.586	1539.386	128.282
Santa Rosa	C4 - 103		231.357	187.771	147.671	73.286	75.900	48.671	17.971	14.086	43.400	91.929	189.629	193.000	1314.671	109.556
Cajuru	C4 - 099		183.950	123.480	119.750	82.820	42.540	30.650	18.229	12.629	32.629	87.150	152.400	177.050	1063.276	88.606
Casa Branca	C4 - 097		289.557	155.671	146.100	74.800	69.350	40.186	22.086	14.200	50.657	105.157	216.143	212.817	1396.724	116.394
Pirassununga	C4 - 033		322.000	174.433	195.050	85.800	109.233	53.150	23.100	18.767	53.250	129.433	243.767	205.483	1613.467	134.456
São Carlos	D5 - 076		258.943	112.300	120.629	59.600	81.314	62.143	12.400	8.329	49.800	128.550	131.517	164.567	1190.090	99.174
São Carlos	C4 - 092		276.300	138.933	176.350	97.200	99.271	59.600	27.257	17.857	66.543	119.943	222.943	201.283	1503.481	125.290
Luís Antônio	C4 - 096		199.450	153.940	176.520	74.340	84.029	56.557	29.329	13.643	48.114	88.033	242.867	195.783	1362.605	113.550

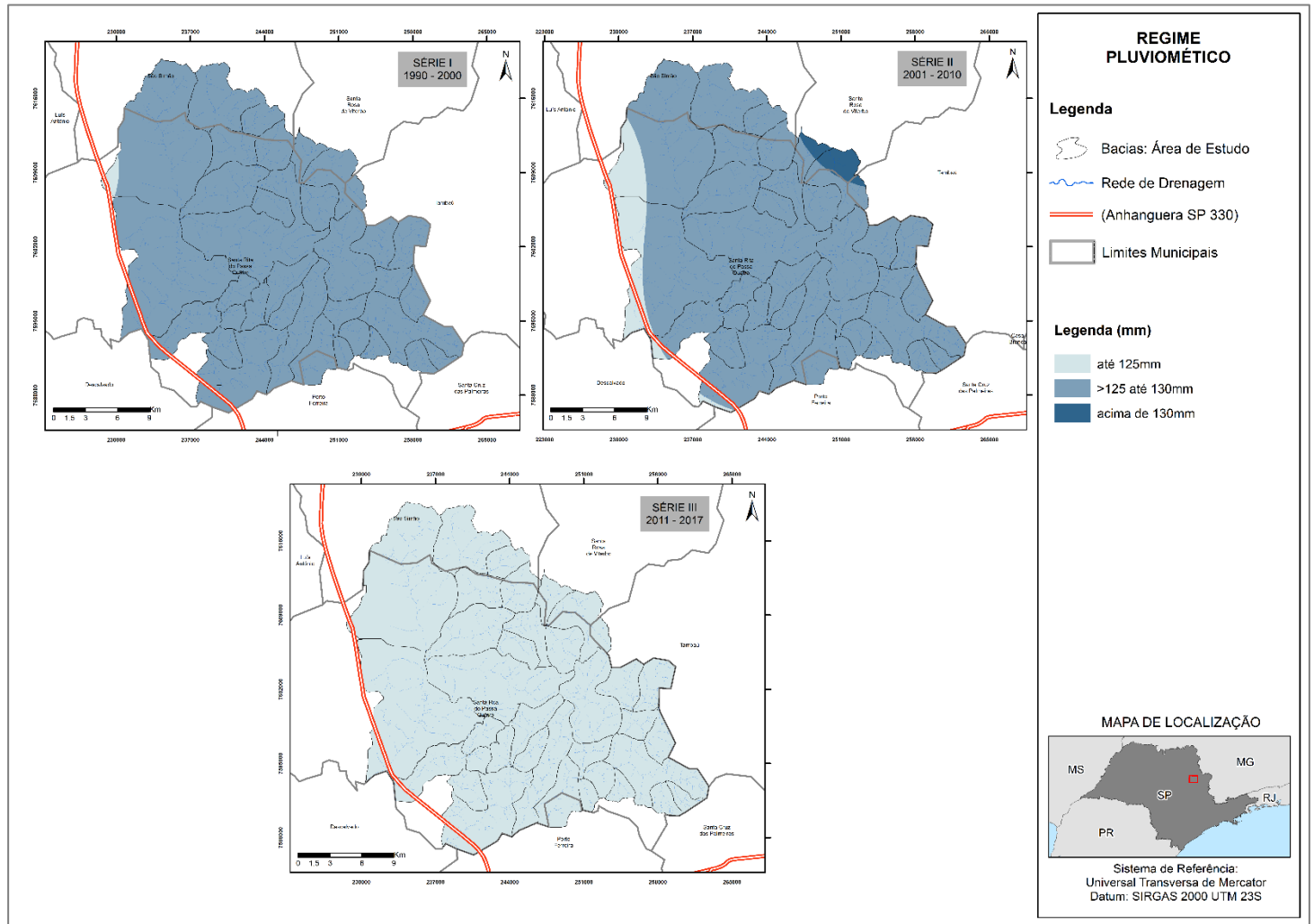


Figura 34: Mapas da variável de regime pluviométrico. Fonte: Natália da Costa Souza, SIGRH – 2019

4.3.1.2. CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS: DECLIVIDADE E ALTIMETRIA

Os resultados que seguem são referentes aos mapeamentos de declividade e altimetria, ambos relacionados às características topográficas da área de estudo (Figura 35). Para essa categoria de dados, não houveram variações entre as séries, por se tratar de uma característica ambiental que não apresenta variabilidade entre os anos de análise.

Através do mapa e dados expostos, é possível observar que a região de estudo apresenta maiores percentuais de áreas com valores de declividade até 20%, sendo uniforme a distribuição desses intervalos por toda área de análise. De modo geral, declividades de até 6° são classificadas como intervalos de terrenos propensos a níveis com fragilidade ambiental muito baixa (Ross, 1995; Crepani, 2001; Salomão, 1999). Em percentual, áreas de até 6° significam declividades de até 21,6%.

As demais classes mapeadas representam cerca de 7% da área total da bacia hidrográfica do rio Claro, e são as classificações de declividade mais acentuadas (forte ondulado e montanhoso). Os trechos com maiores declividades estão distribuídos quase uniformemente na região das 3 bacias hidrográficas e aparecem tanto em fundos de vale quanto nas montantes dos rios. De acordo com Ross (2000), classes de declividade acima 15° (acima de 54%) estão propensas às classificações de alta a muito alta fragilidade ambiental e suscetibilidade à erosão.

Em relação aos dados de altimetria, a região concentra aproximadamente 70% da área de análise considerada no intervalo de até 700 m. Assim como nos trechos com registros de maiores declividades, os registros de maiores altitudes (acima de 900 m) estão principalmente nos divisores e água entre as bacias do Rio Claro e Bebedouro.

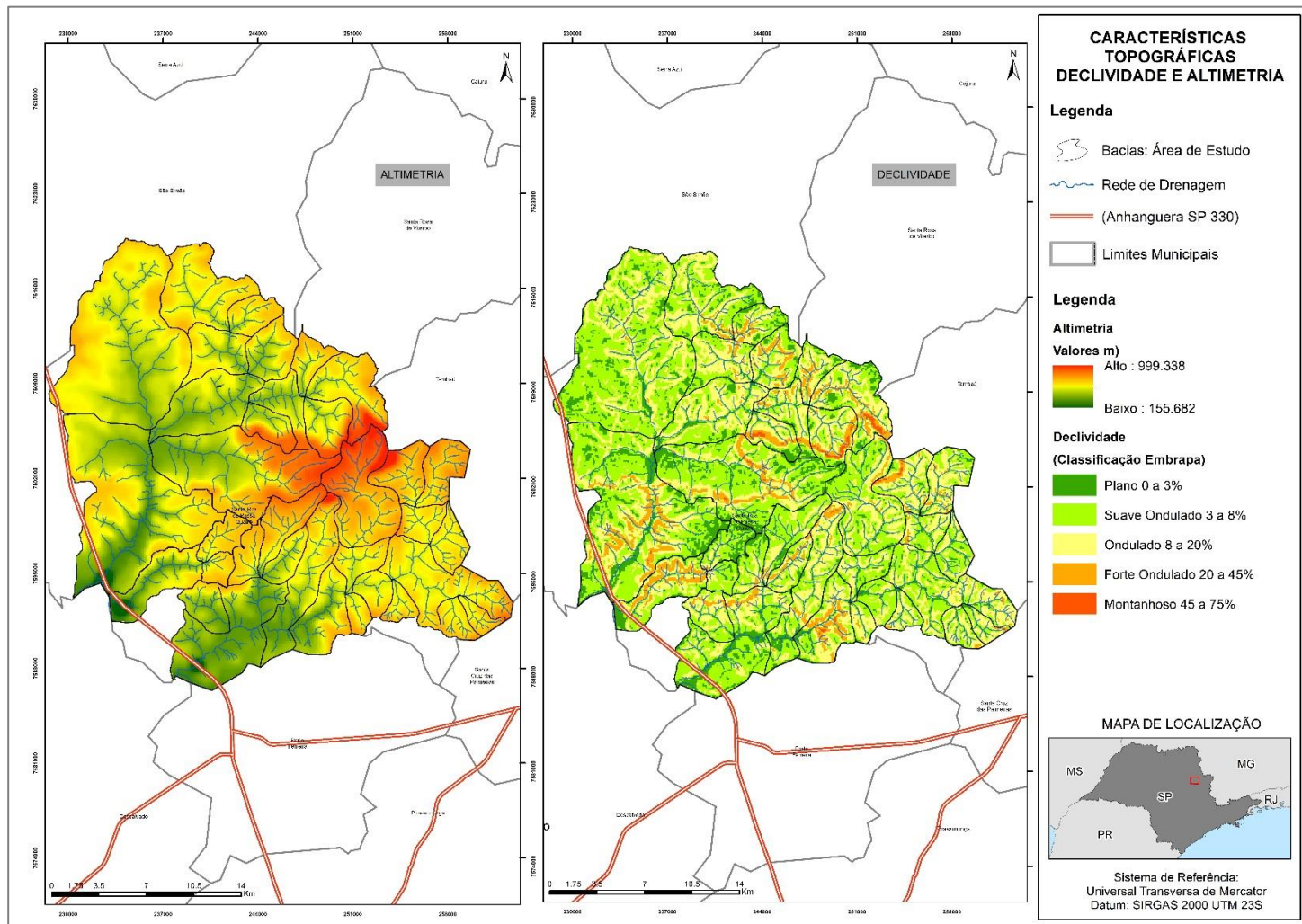


Figura 35: Mapas das variáveis de declividade (à esquerda) e altimetria (à direita). Natália da Costa Souza, 2018

4.3.1.2. MAPAS DE DISTÂNCIA: RODOVIAS E REDE DE DRENAGEM

Os mapas da Figura 36 são referentes aos mapeamentos de distâncias.

Para os dados de rodovias, são nítidas as aberturas de vicinais e acessos entre uma série e outra. Já para os dados de drenagem, também não houveram variações entre as séries, por se tratar de uma característica ambiental que não apresenta variabilidade entre os anos de análise.

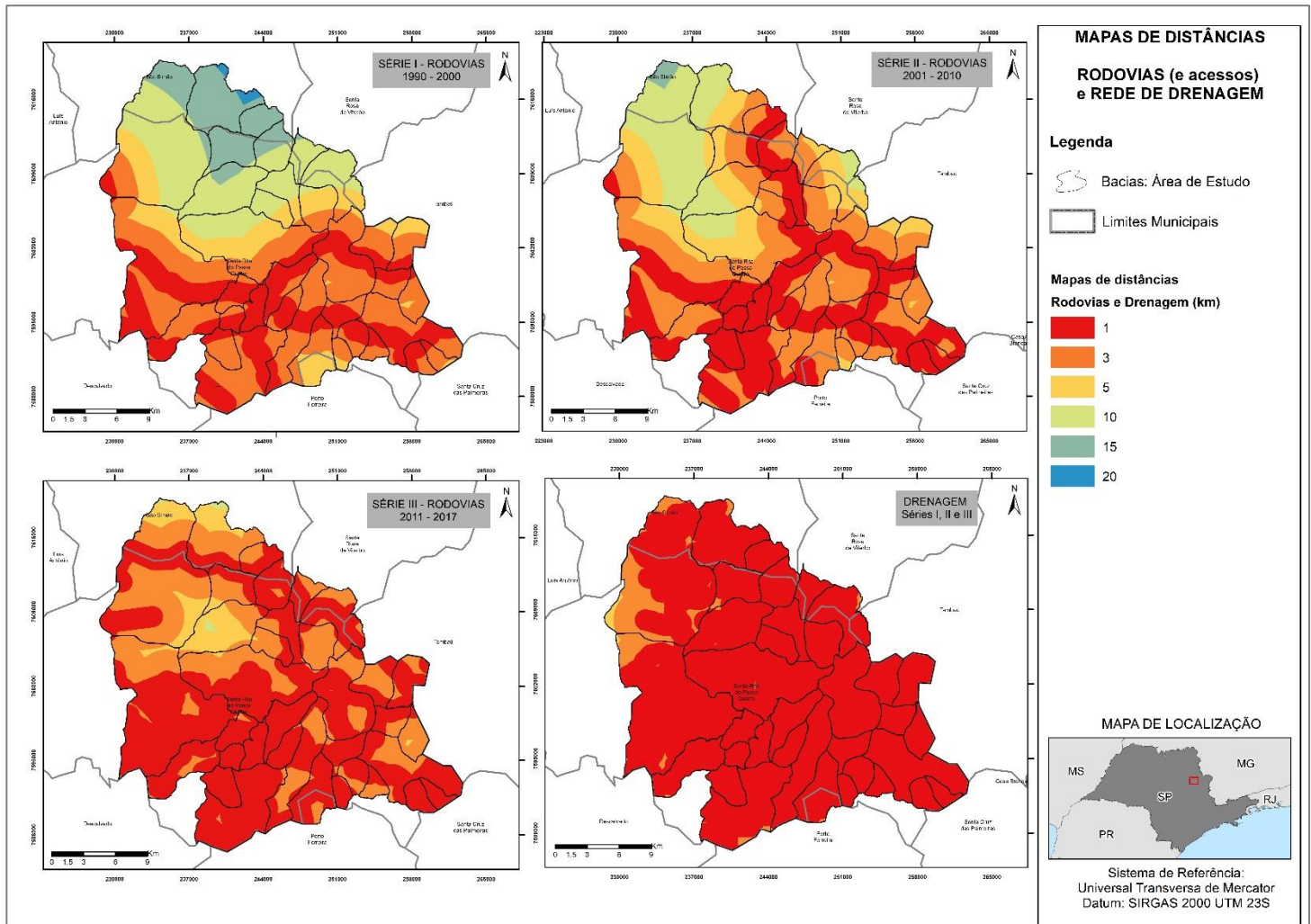


Figura 36: Mapas de distâncias: rodovias e drenagem. Fonte: Natália da Costa Souza, 2018

4.3.2. VARIÁVEIS ECONÔMICAS E SOCIODEMOGRÁFICAS

4.3.2.1. CONCENTRAÇÃO POPULACIONAL

O mapa de concentração populacional é ilustrado pela Figura 37. Através dele, além do crescimento ou decréscimo populacional ao longo dos anos analisados, é possível observar as faixas de concentrações de moradores em áreas específicas da região e nas séries em questão.

Os mapas de concentração populacional, assim como os mapas apresentados no item de índice de carência habitacional, explicam as transições da população entre uma série e outra, tendendo a se concentrarem nas áreas centrais, o que também fundamenta o crescimento dos setores urbanos na última série, tal qual o conseqüente aumento das áreas consideradas como de infraestrutura urbana (mapas de uso do solo).

Nota-se a transição das faixas de maiores concentrações populacionais em direção a Tambaú, no sentido Oeste-Leste do mapa.

4.3.2.2. DENSIDADE URBANA

O mapa de densidade urbana também relacionado à compreensão da expansão da mancha urbana da região de estudo e da ocupação dessas áreas por parte da população residente. As microbacias consideradas foram as que possuem populações predominantemente urbana, que são: 2, 12, 14, 15, 17, 18 e 31, todas também localizadas basicamente em uma mancha no centro da área de estudo.

Através do mapa da Figura 38, é possível observar que, com exceção da microbacia de número 31, todas as outras tiveram, embora não muito significativo, um aumento da densidade urbana com o passar dos anos.

As maiores densidades são as das microbacias hidrográficas 14 e 17, por apresentarem as maiores concentrações populacionais e serem áreas reduzidas em tamanho. Já as microbacias de menores densidades são de número 15 e 12, ambas por apresentarem baixa concentração de pessoas e, no caso da de número 12, ser a maior - em área - da área da região de estudo.

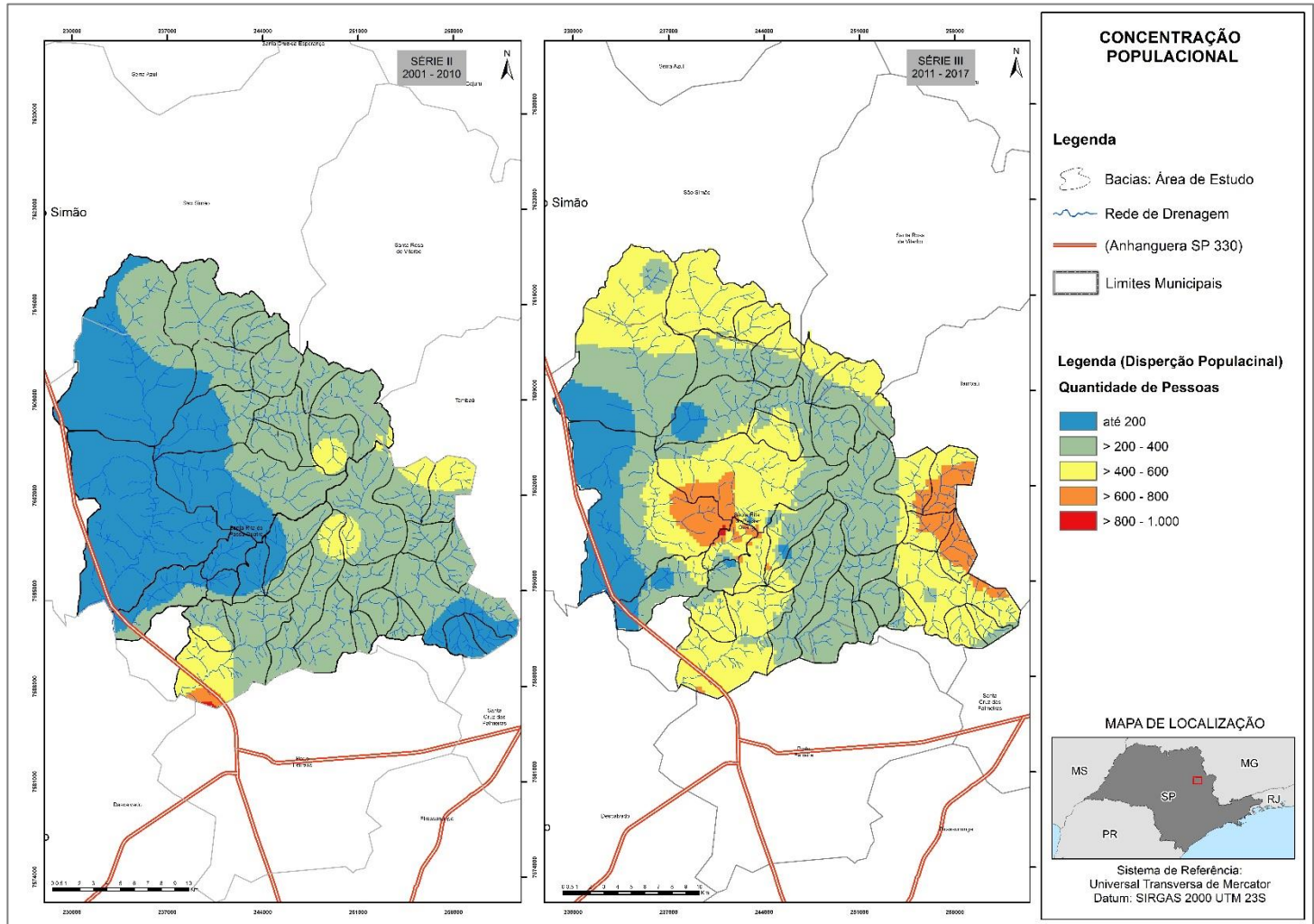


Figura 37: Concentração Populacional. Fonte: IBGE, 2018. Natália da Costa Souza, 2018

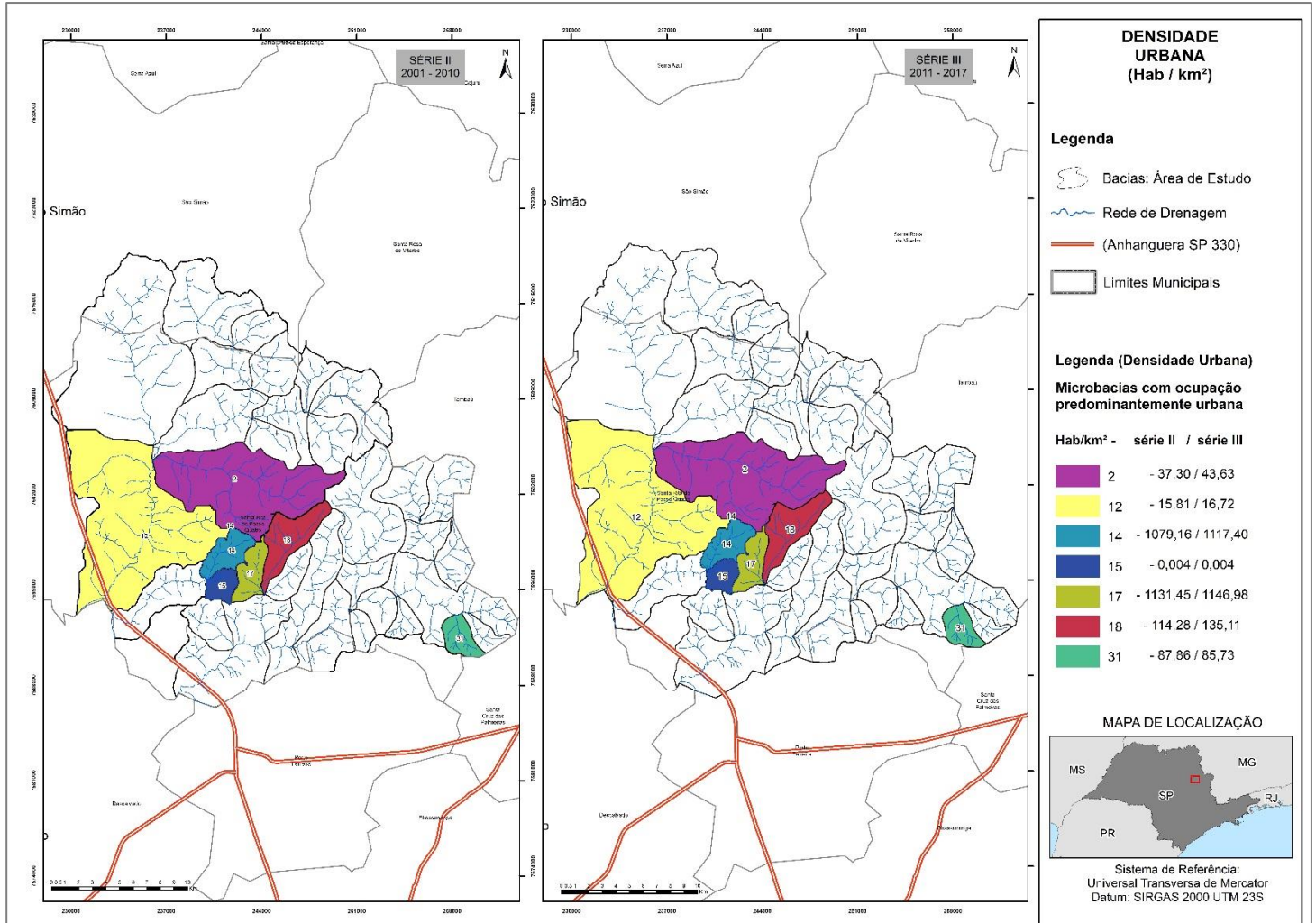


Figura 38: Densidade Urbana. Fonte: Natália da Costa Souza, IBGE, 2018

4.3.2.3. ÍNDICE DE CARÊNCIA HABITACIONAL

Como descrito na metodologia, a composição do índice de carência habitacional final é realizada através da ponderação entre os índices parciais dos percentuais de inadequação referentes à cobertura dos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de lixo.

A espacialização do resultado final do índice composto é representada pela Figura 39. Em ambas as séries, mais de 90% estão inseridos em área classificada como de Baixo Índice de Carência Habitacional. Nessas regiões, os serviços de abastecimento de água, coleta de lixo e esgotamento sanitário são satisfatórios em mais 90% dos domicílios, que apresentam índice médio de 0,854 e estão localizados em meio as áreas urbanas principais.

A tabela 23 faz a descrição da área e quantidade de domicílios inseridos em cada classe do indicador utilizado.

Tabela 24: Distribuição dos domicílios nas áreas classificadas em relação às condições de saneamento básico nas séries temporais II e III

Série	Domicílios	Índice de Carência Habitacional - ICH		
		BAIXO (0.80 - 1.0)	MÉDIO/ALTO (0.51 - 0.80)	EXTREMO (0.0 - 0.50)
II (2000-2010)	53.055	48.460 (91.33%)	1.326 (2.5%)	3.269 (6.16%)
III (2011-2018)	65.175	61.116 (93.77%)	549 (0.84%)	3.510 (0,005%)

Apesar de representar, espacialmente, quase a totalidade (em área) da área analisada, as regiões de Extremo Índice de Carência e de Médio/Alto representam apenas cerca de 13% do total de domicílios analisados. Isso ocorre por conta da discrepância dos valores de medidas, em quilômetro quadrados, das áreas classificadas como urbanas e rurais. Nessas regiões, além dos serviços precários de saneamento básico, a concentração de domicílios é pequena tendo em vista tamanha representatividade espacial, o que faz com que maior parte da área total de análise esteja classificada como áreas de menores índices de ICH.

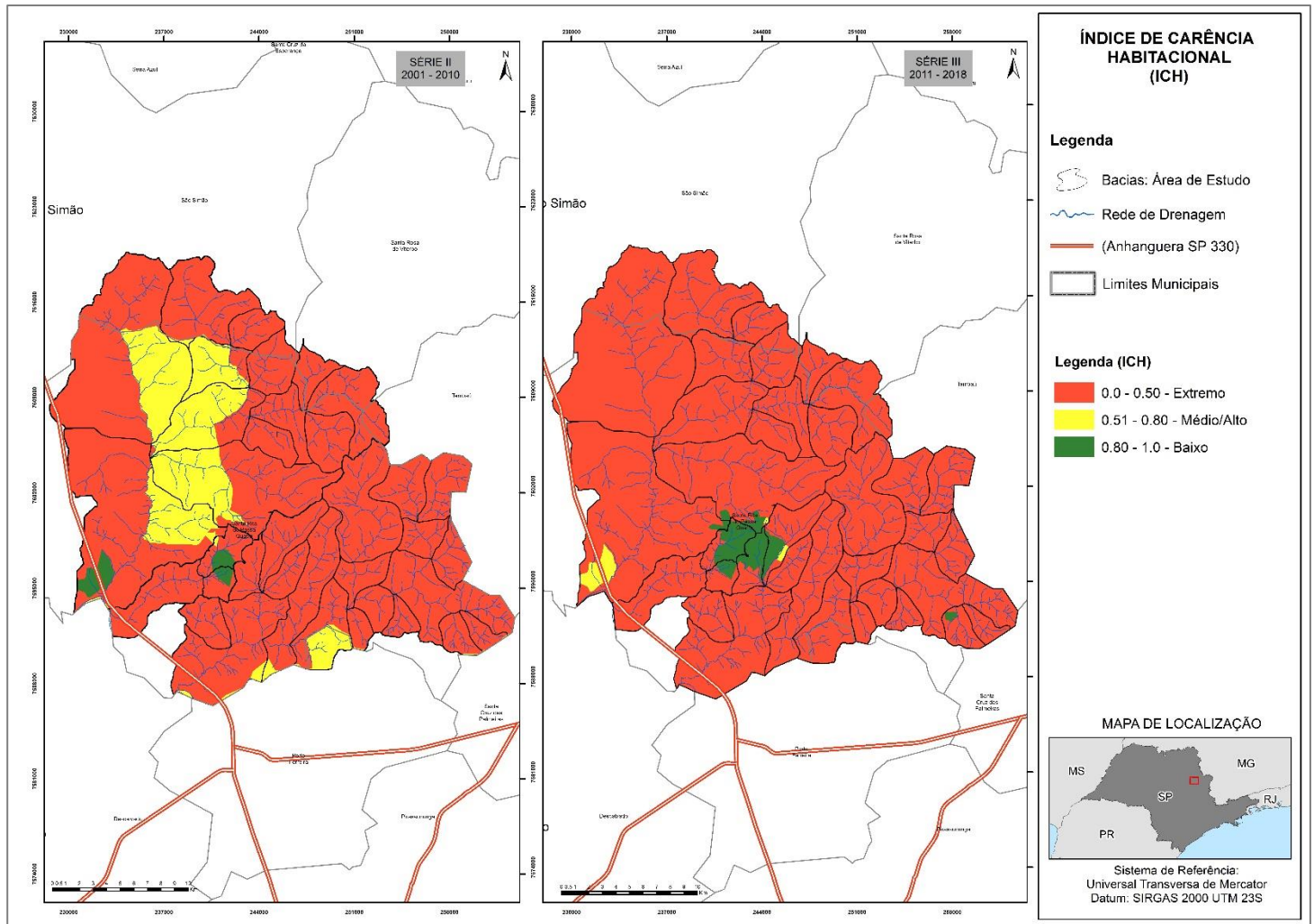


Figura 39: Índice de Carência Habitacional. Fonte: Natália da Costa Souza - IBGE, 2018

Como é possível observar nos mapas, o aumento das áreas urbanas e consequente migração da população/concentração de domicílios nessas áreas, possivelmente fizeram com que algumas transformações ocorressem em relação às características das ofertas de serviços de saneamento, tais como:

- aumento do percentual de domicílios com ICH médio acima de 0,80, visto que nas áreas urbanas, as utilizações dos serviços de saneamento são classificadas como mais adequadas com relação às formas de coleta de lixo, esgoto e abastecimento de água;
- diminuição dos percentuais proporcionais às classificações de domicílios com Médio/Alto e Extremo ICH: migração da população para áreas classificadas como setores urbanos (ver mapa de concentração populacional)
- aumento, em área (km²), das regiões de extremo ICH.

4.4. MODELAGEM DA DINÂMICA ESPACIAL: MAPAS DE PROBABILIDADE DE TRANSIÇÃO, SIMULAÇÃO DE CENÁRIO DE USO E VALIDAÇÃO

As modelagens finais das dinâmicas espaciais, bem como suas análises e produtos, dividem-se em etapas distintas de abordagem. Em um primeiro momento, foram selecionadas, por meio da análise de transição já realizada (item 4.2.2), as principais transições de uso da região. Dessa forma, para cada série temporal, foram analisados os resultados das transições principais, que são aquelas que apresentaram maiores ganhos de área (Tabela 15).

Em seguida, foram apresentados mapas de probabilidades dessas principais transições, que são os resultados da integração das variáveis explicativas e dos mapeamentos de uso utilizados. Esses produtos representam as áreas mais favoráveis para cada tipo de transição, como parte da previsão de cenários e prognósticos relacionados às formas de apropriação do território considerando os elementos estudados.

Para a primeira série (1990 – 2000), foi possível validar o mapa de uso simulado para 2010, conforme descrito na metodologia.

Por fim, serão apresentados os mapas simulados de uso para os anos de 2020 e 2025, calculados a partir das entradas dos anos iniciais e finais e das variáveis explicativas selecionadas para as séries II e III.

4.4.1. SÉRIE I: 1990 – 2000

Conforme já tratado no capítulo de Análises de Transições, para a série I, as transições de uso que mais ocorreram foram (em ordem de ocorrência de maiores proporções):

- Pastagem para Agricultura e Pastagem (15 – 21);
- Floresta para Floresta Plantada (3 – 9);
- Agricultura e Pastagem para Pastagem (21 – 15);
- Agricultura e Pastagem para Floresta (21 – 3);
- Agricultura e Pastagem para Cultura Semi-Perene (15 – 20);
- Agricultura e Pastagem para Floresta Plantada (21 – 9) e
- Floresta para Agricultura e Pastagem (3 – 21).

Juntas, essas áreas representam aproximadamente 35% do território transformado entre o ano inicial (1990) e o ano final (2000) da série. É possível perceber que as transições ocorrem, em sua maioria, de feições de agricultura e pastagem para áreas verdes (florestas e replantio de áreas verdes) e áreas exclusivamente de pastagens.

Como produto final da análise de transição e do mapa simulado para 2010, as Figuras de numeração 40 a 46 apresentam os mapas das áreas de probabilidade de transição de cada uma das principais transformações ocorridas. Como dito anteriormente, esses produtos representam as áreas mais favoráveis para cada tipo de transição em destaque na série analisada.

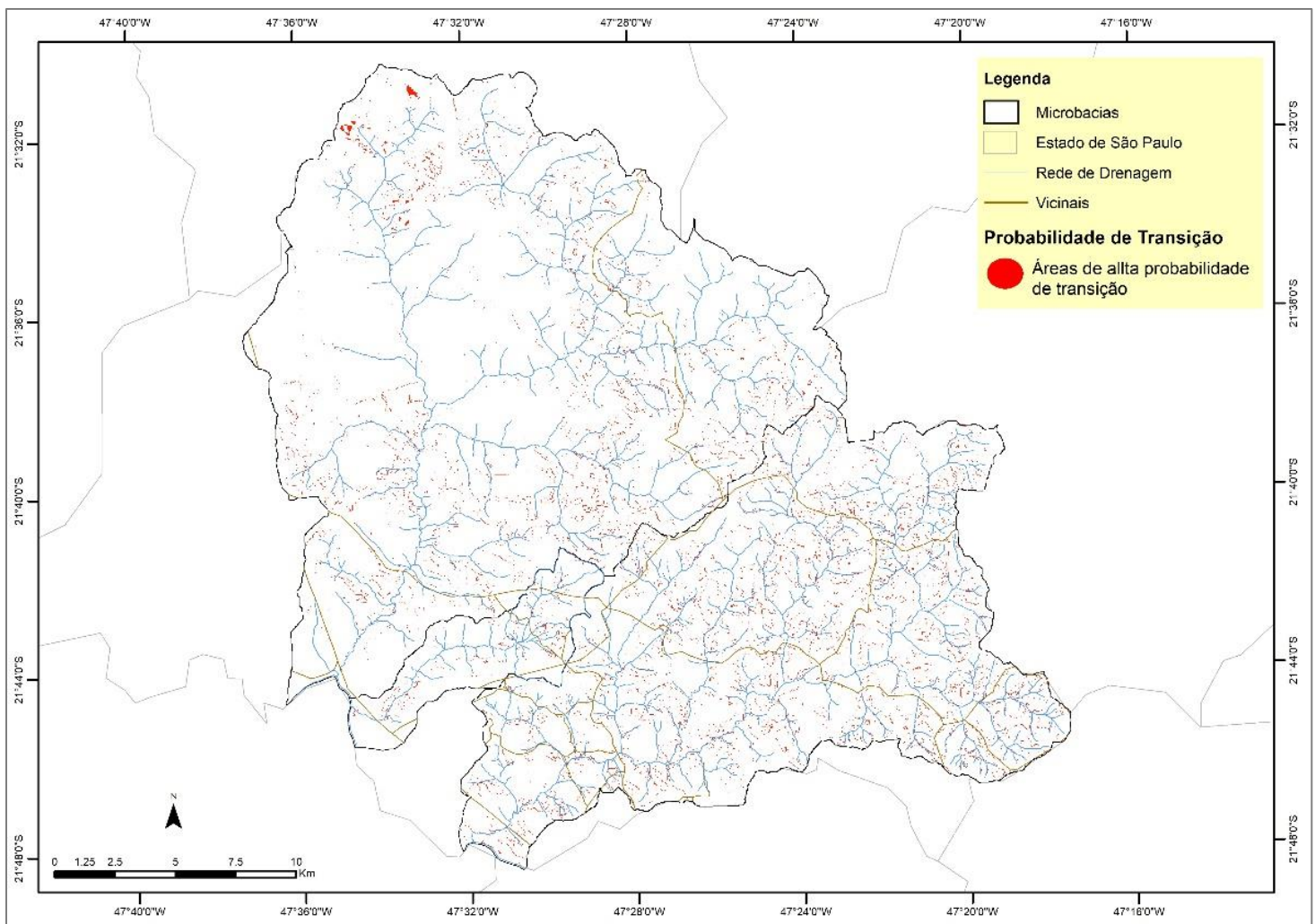


Figura 40: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Pastagem para Agricultura e Pastagem no período entre 1990 e 2000

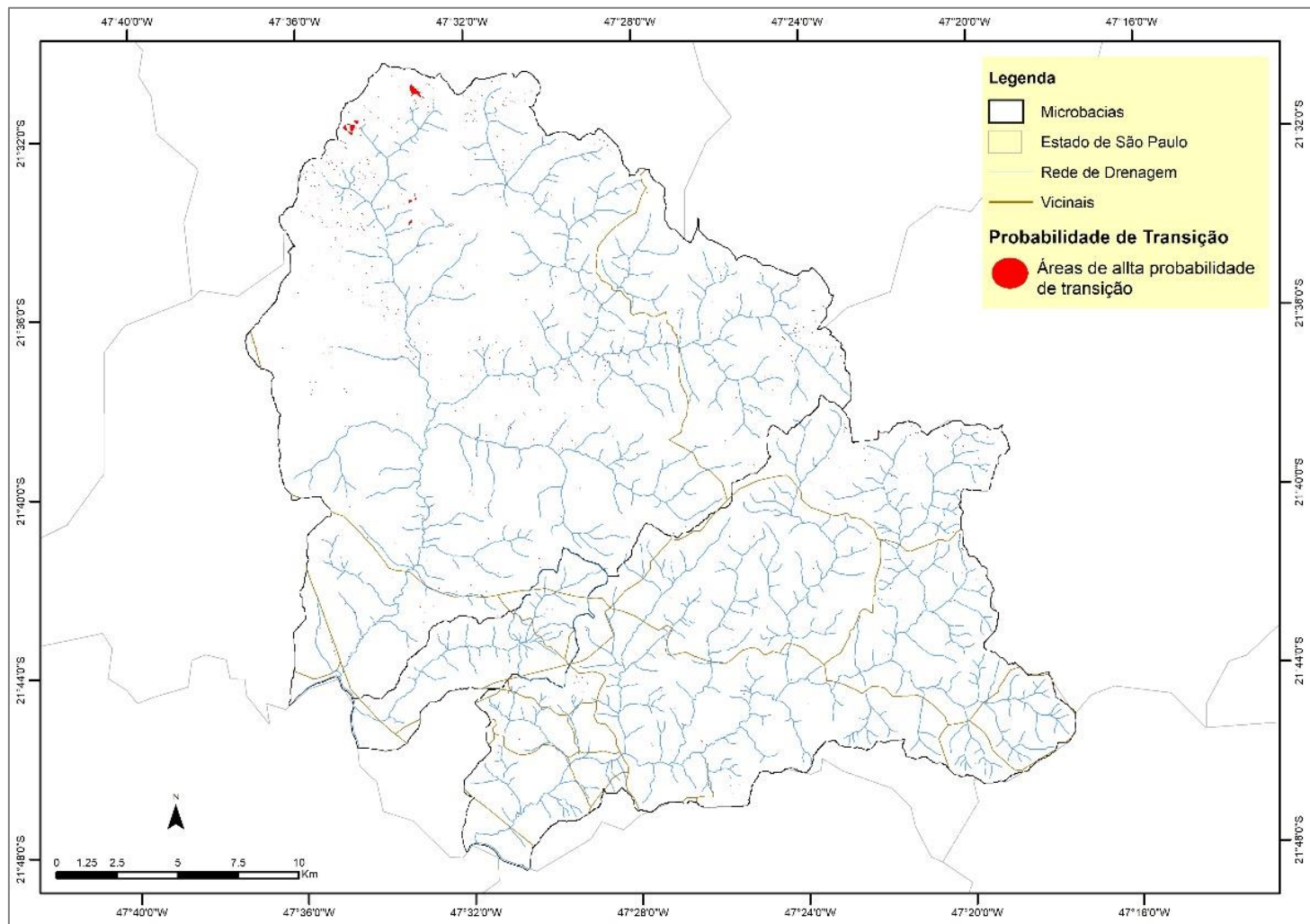


Figura 41: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Floresta para Floresta Plantada no período entre 1990 e 2000

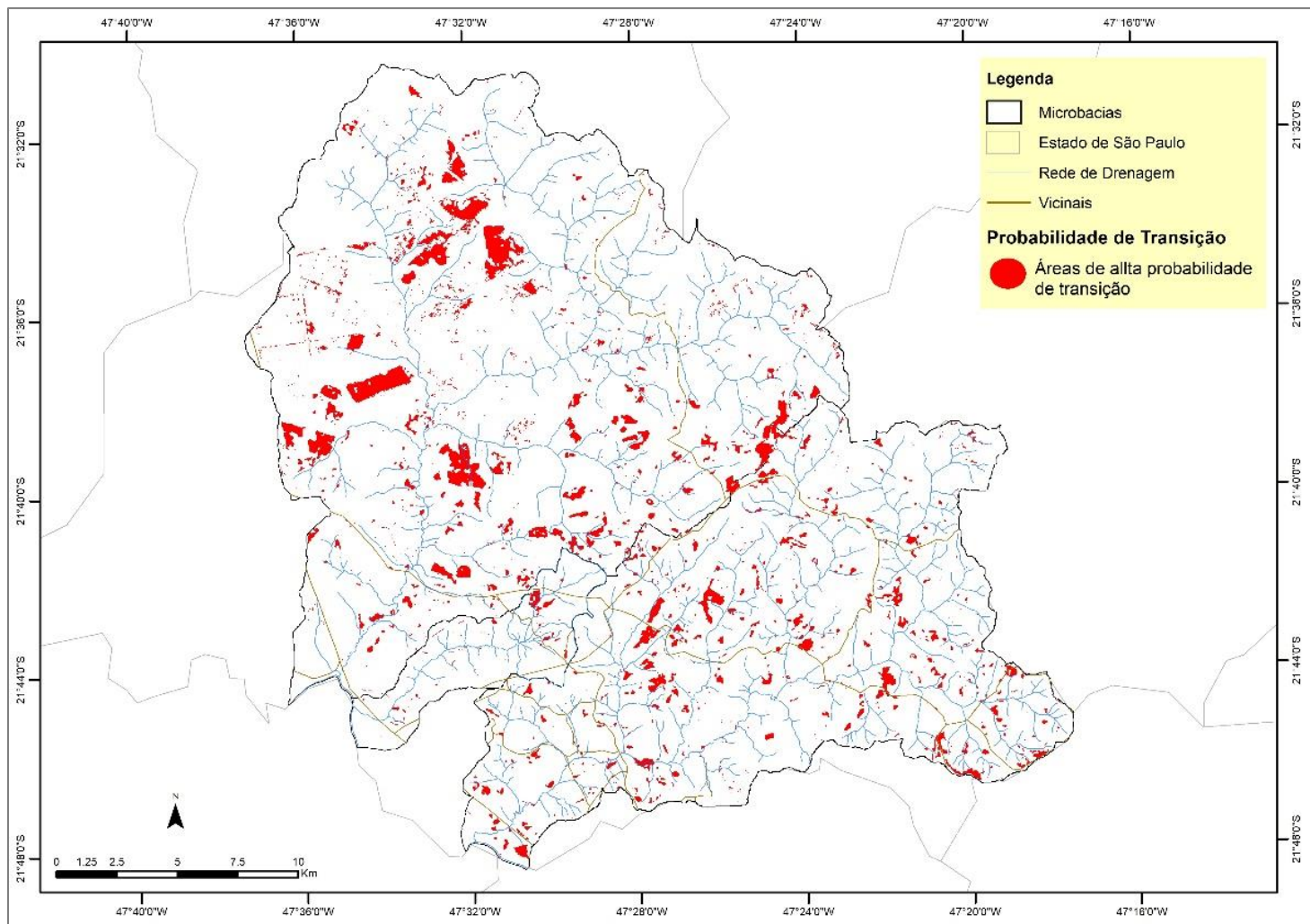


Figura 42: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da Agricultura e Pastagem para Pastagem no período entre 1990 e 2000

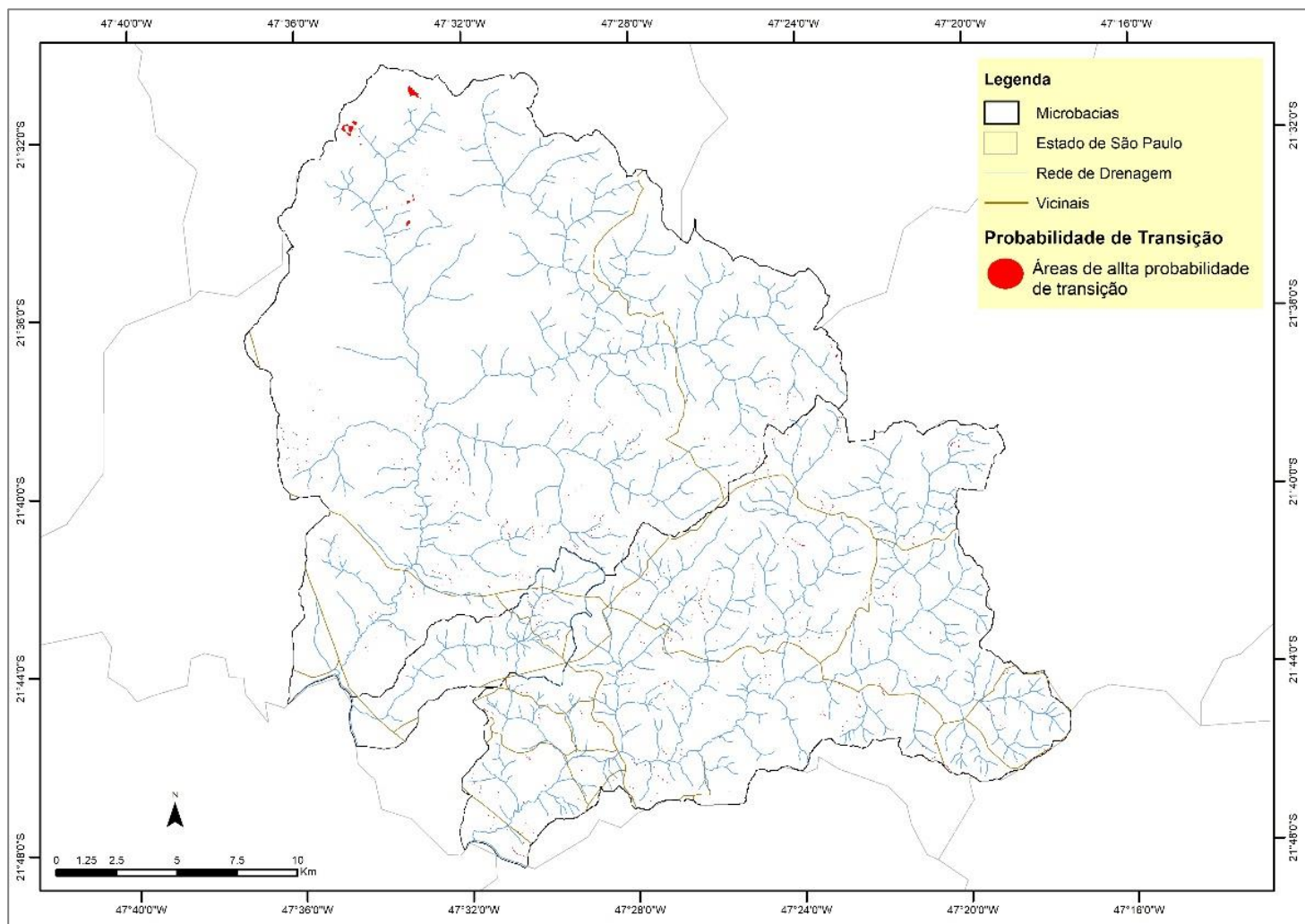


Figura 43: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Agricultura e Pastagem para Floresta no período entre 1990 e 2000

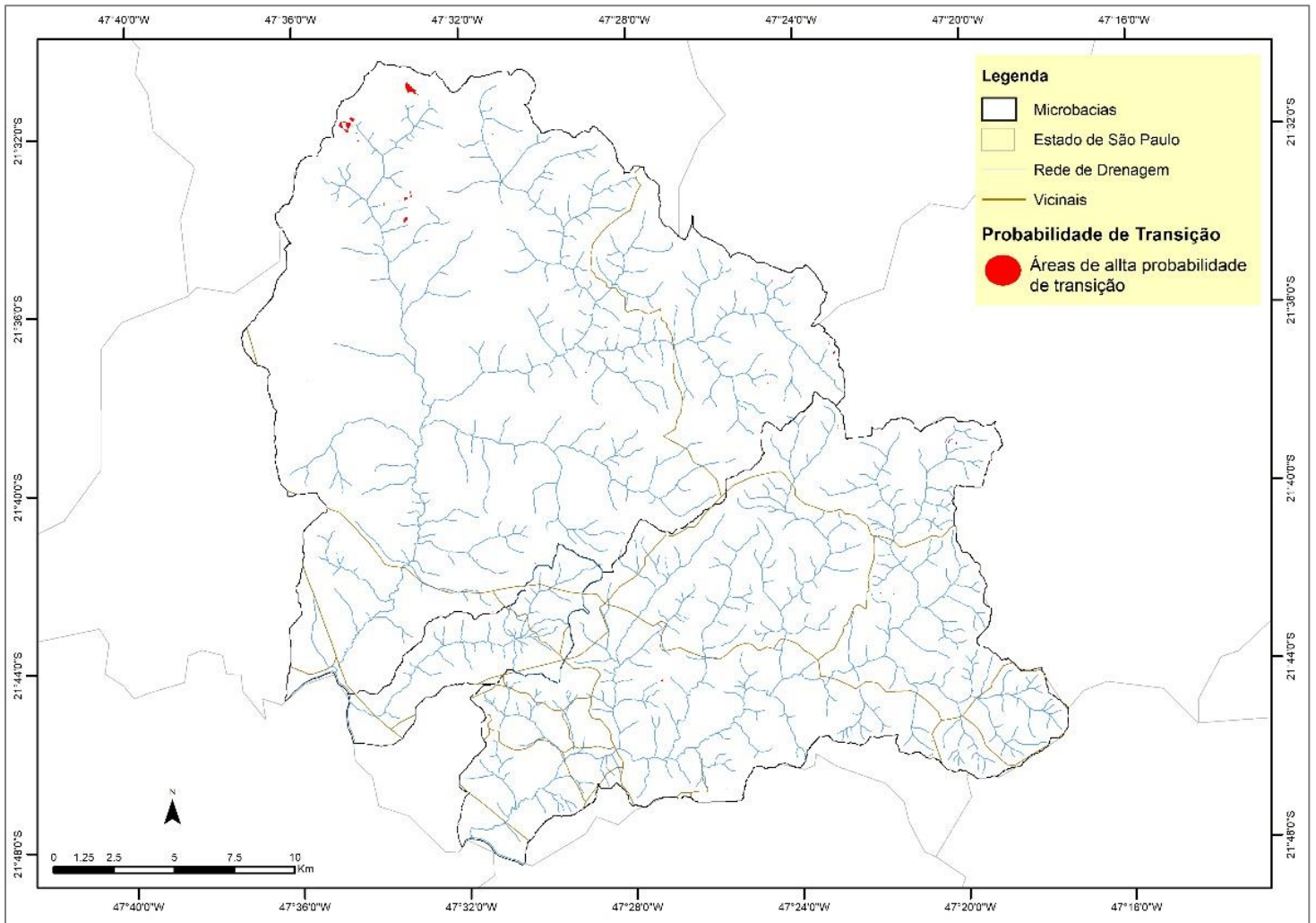


Figura 44: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Agricultura e Pastagem para Cultura Semi-Perene no período entre 1990 e 2000

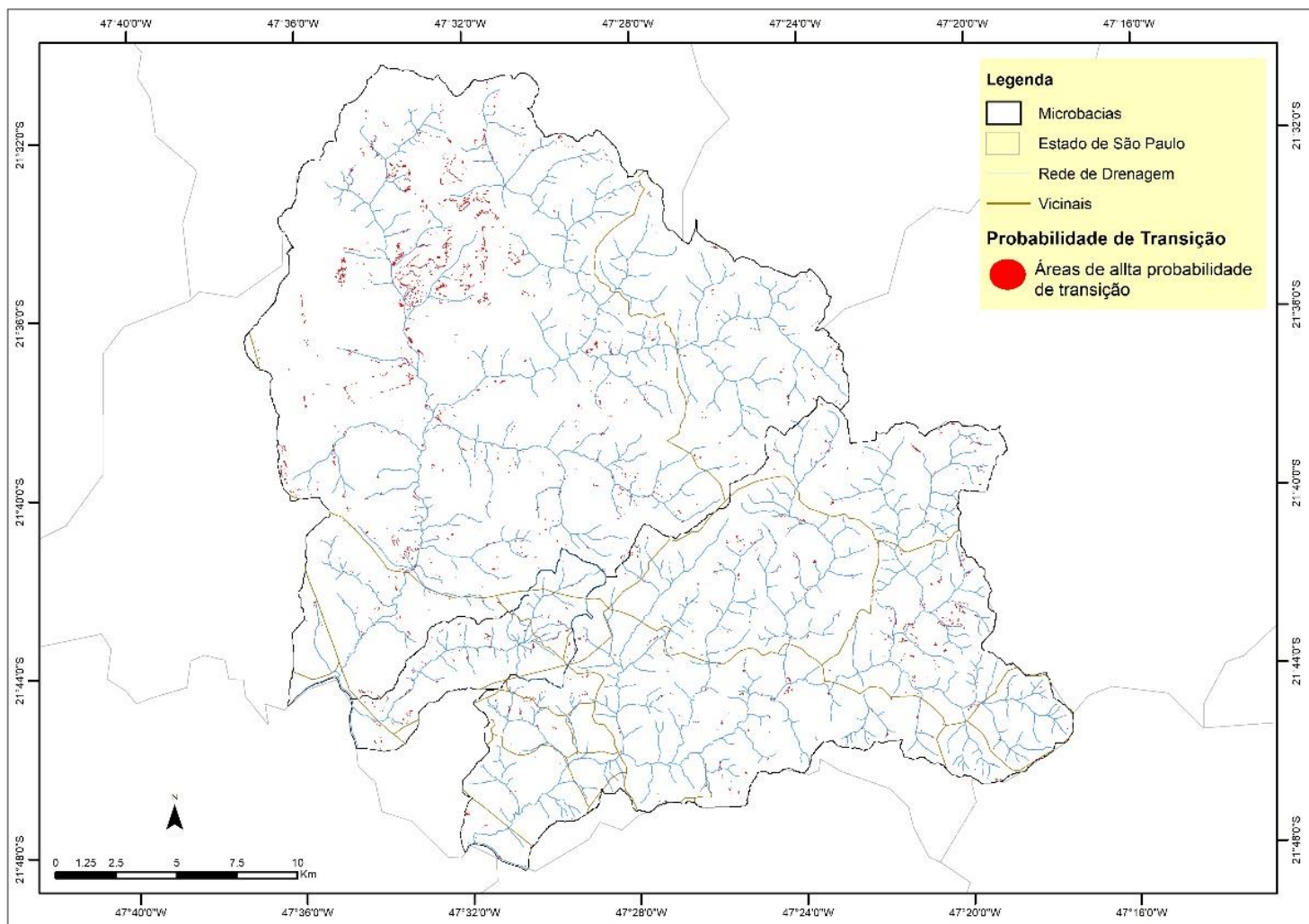


Figura 45: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Agricultura e Pastagem para Floresta Plantada no período entre 1990 e 2000

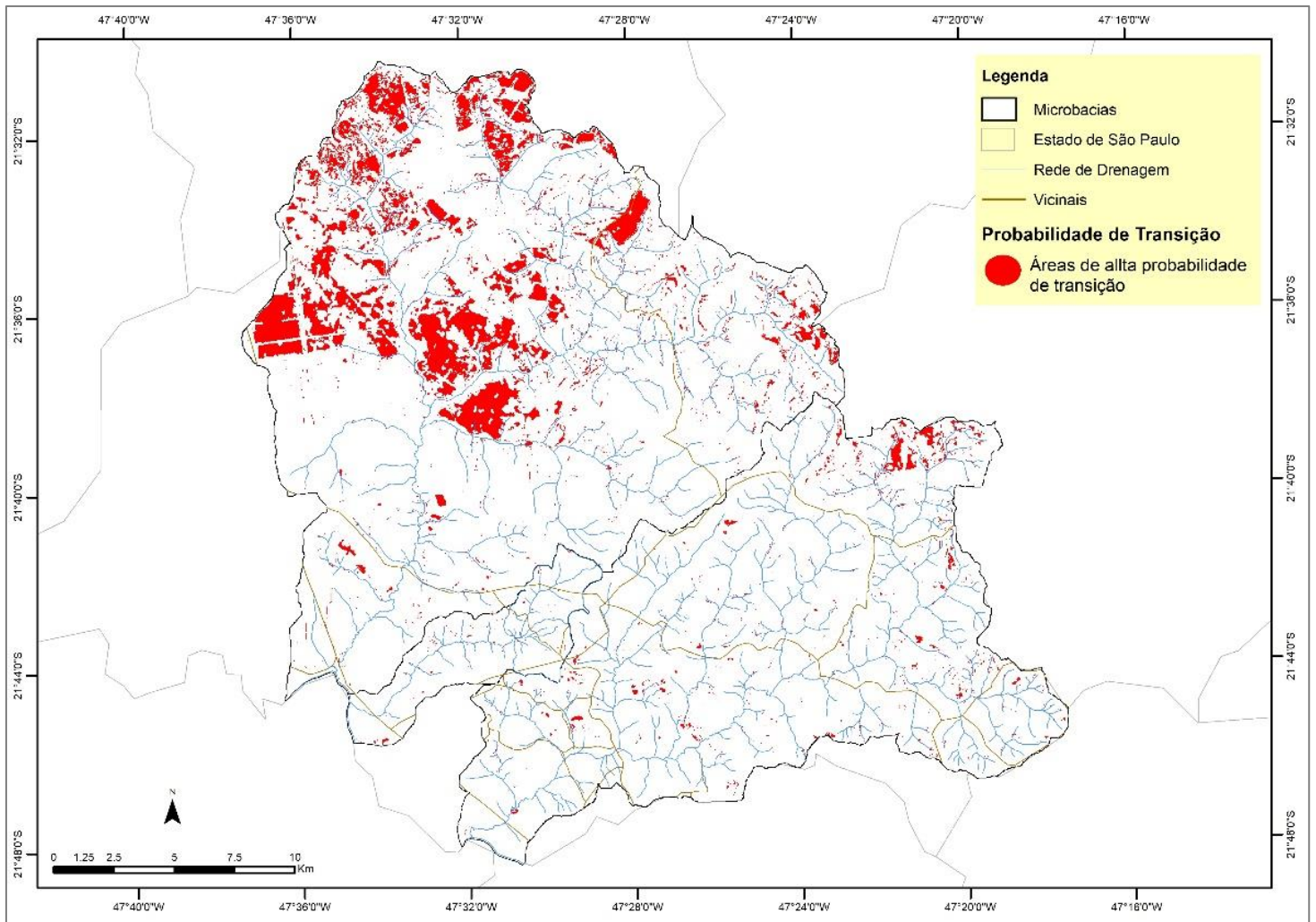


Figura 46: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Floresta para Agricultura e Pastagem no período entre 1990 e 2000

Por meio da análise dos mapas de probabilidade de transição, é possível observar que, em volume de território, as probabilidades de transição de uso são maiores quando se trata da conversão de áreas de Floresta e Agricultura para classe de Pastagem. Em geral, essas áreas estão localizadas na sub-bacia hidrográfica do Rio Bebedouro, que além de ser a maior (em extensão), também apresenta os maiores volumes de área verde e de regiões de plantio. De acordo com estudo realizado por Kawashina (2015) (em outra região), as vias secundárias, mais que as principais (rodovias), podem favorecer esse tipo de transição.

As áreas de maiores extensões com alta taxa de probabilidades de também se caracterizam por ter baixa concentração populacional, altitudes variando de 700 a 900m, declividades de classificação plana e suave e regime pluviométrico médio de 130mm. Quanto aos registros de processos erosivos, a série registrou mais de 100 processos apenas na sub-bacia hidrográfica do rio Bebedouro, sendo que mais de 60% desses registros localizados nas áreas sinalizadas com maiores probabilidades de transição de uso de Floresta para Agricultura e Pastagem e Agricultura e Pastagem para Pastagem.

Baseado nos mapeamentos uso e cobertura do solo de 1990 e 2000 e nas variáveis físico-estruturais selecionadas, o mapa simulado para 2010 foi gerado e segue ilustrado pela Figura 47. Dos produtos totais gerados, ele foi o único passível de validação, uma vez que, para as séries seguintes, não há mapas de referências para testar as simulações de uso.

A simulação indicou que a inserção das variáveis explicativas físico-estruturais na modelagem contribuiu para a geração de um mapeamento de uso e ocupação mais próximo do real. O modelo foi comparado ao mapeamento de 2010, o mesmo utilizado nas análises referentes à Série II do estudo. A validação confirmou índices melhores de desempenho quando comparado a um modelo simulado sem a inserção das variáveis, ou seja, apenas baseado nos mapeamentos de uso do ano inicial e final da série de análise.

Os documentos de validação e desempenho dos produtos seguem ilustrados nas Figura 48 e 49. O percentual de acerto e os índices Kappa global e parcial do modelo simulado com as variáveis são 63,82%, 0,52 e 0,83, respectivamente, enquanto que os do modelo simulado sem as variáveis são de 60,89%, 0,48 e 0,76.

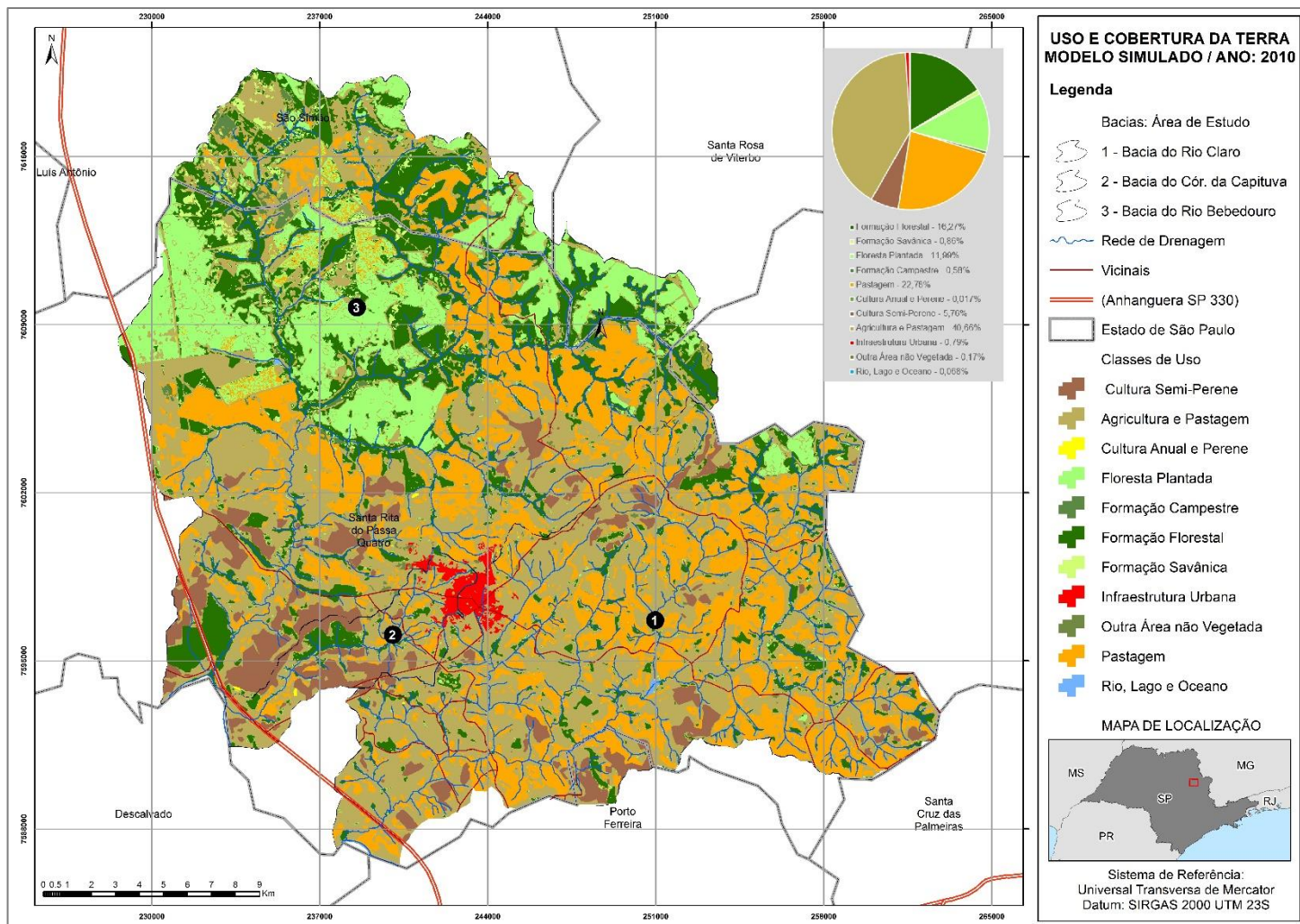


Figura 47: Mapa simulado de uso e cobertura do solo para 2010. Modelo gerado com inserção de variáveis explicativas físico-estruturais. Fonte: Natália da Costa Souza, 2018 - Molusce - QGIS® 2.18.0, 2019

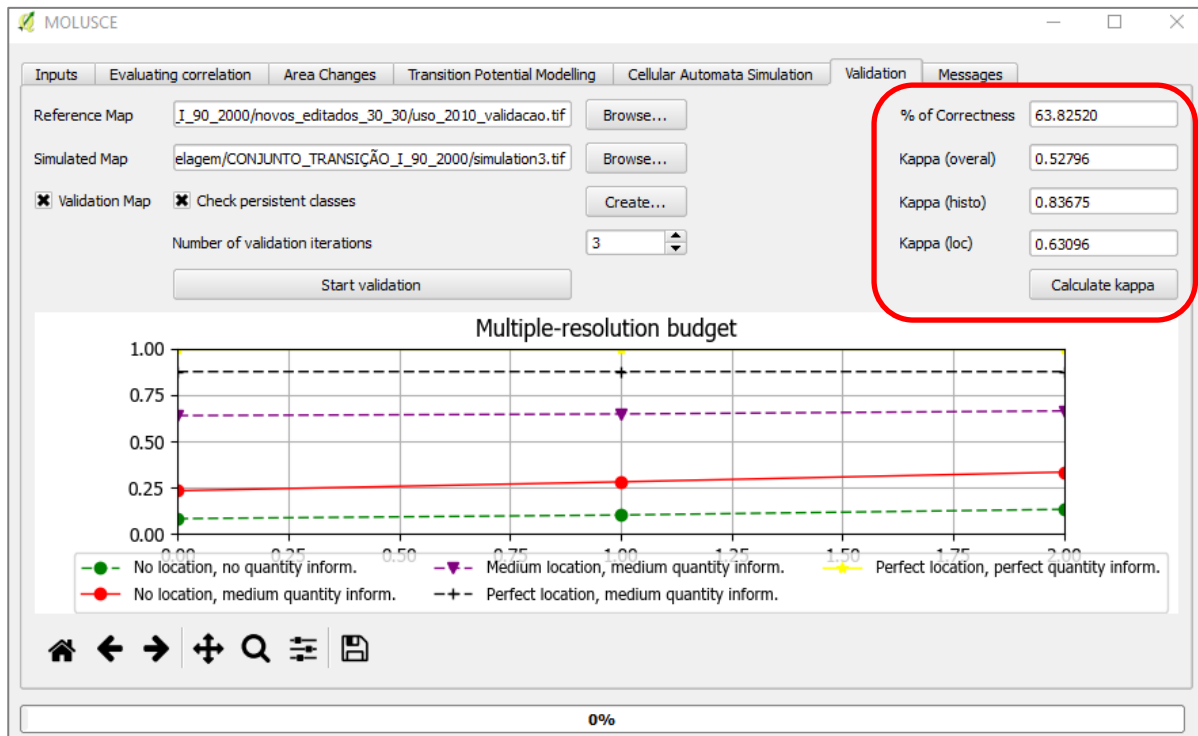


Figura 48: Parâmetros de validação do modelo simulado de uso e cobertura do solo de 2010. Modelo gerado **COM** a inserção de variáveis explicativas físico-estruturais

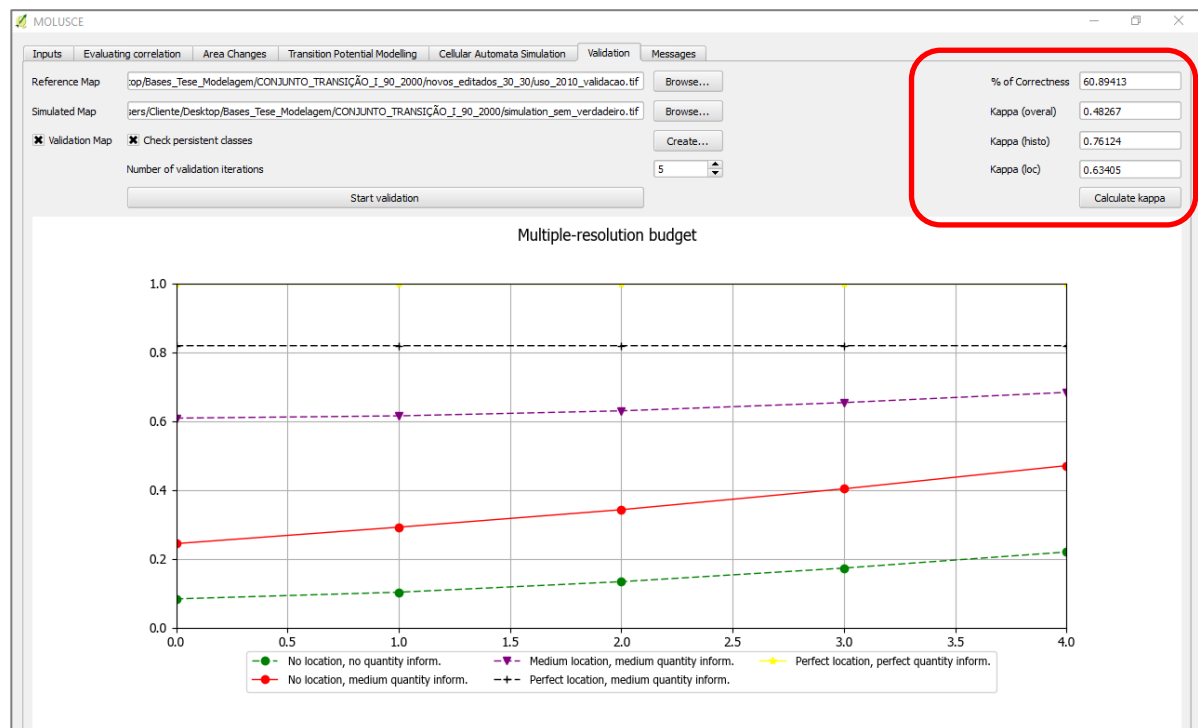


Figura 49: Parâmetros de validação do modelo simulado de uso e cobertura do solo de 2010. Modelo gerado **SEM** a inserção de variáveis explicativas

Também a fim de comparação, A tabela 24 indica as diferenças de percentual de classes de uso entre o mapa real e o mapa simulado (com inserção das variáveis) para 2010.

Tabela 25: Percentual de classes de uso do solo.

PRODUTO	2010 - Mapa Real		2010 - Mapa Simulado	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Classes				
Formação Florestal	117.04	17.30	108.96	16.27
Formação Savânica	8.68	1.28	5.80	0.87
Floresta Plantada	109.61	16.20	80.34	12.00
Formação Campestre	4.88	0.72	3.92	0.59
Pastagem	55.25	8.17	152.57	22.79
Cultura Anual e Perene	0.62	0.09	0.12	0.02
Cultura Semi-Perene	111.43	16.47	38.60	5.77
Agricultura e Pastagem	261.76	38.68	272.25	40.66
Infraestrutura Urbana	5.59	0.83	5.31	0.79
Mineração	0.04	0.01	-	-
Outra Área não Vegetada	1.15	0.17	1.18	0.18
Rio, Lago e Oceano	0.61	0.09	0.46	0.07

A comparação indicou que a inserção das variáveis explicativas físico-estruturais na modelagem possibilitou a geração de um mapeamento de uso e ocupação com diferenças principais na identificação das classes de áreas verdes (floresta plantada e formação florestal): diminuição dessas áreas em cerca de 1%, cultura semi-perene: diminuição de 73km² (aproximadamente 11%) e áreas mistas de agricultura e pastagem: aumento de mais de 7%.

4.4.2. SÉRIE II: 2000 – 2010

Para a série II, as transições de uso que mais ocorreram foram (em ordem de ocorrência de maiores proporções):

- Pastagem para Agricultura e Pastagem (15 – 21);
- Agricultura e Pastagem para Cultura Semi-Perene (21 – 20);
- Pastagem para Cultura Semi-Perene (15 – 20);
- Agricultura e Pastagem para Floresta (21 – 3);
- Floresta para Floresta Plantada (3 – 9);
- Floresta para Agricultura e Pastagem (3 – 21).

Juntas, essas áreas representam aproximadamente 28% do território transformado entre o ano inicial (2000) e o ano final (2010) da série. Em relação à série anterior, é possível afirmar que o território apresentou um percentual de transformação reduzido em 7%, sem considerar as formas de uso que apenas aumentaram de área, ou seja, sem apresentar transição entre classes de uso diferentes.

Também em relação às transições ocorridas entre 1990 e 2000, notou-se uma diminuição de regiões transformadas em áreas verdes (florestas e replantio de áreas verdes), havendo substituição para áreas de plantio de culturas e manutenção das transformações de feições de agricultura e pastagem para e áreas exclusivamente de pastagens.

Como resultado do cenário simulado para 2020, as Figuras numeradas de 50 a 55 apresentam os mapas das áreas de probabilidade de transição de cada uma das principais transformações ocorridas, representando as áreas mais favoráveis para cada tipo de transição em destaque na série. Para essa série, os mapas de probabilidade de transição indicam que os volumes de áreas com probabilidades maiores ocorrem onde acontecem as transformações das classes de mosaico de agricultura e pastagem para áreas de plantio. As maiores concentrações dessas áreas estão localizadas na sub-bacia hidrográfica do rio Claro, a de maior número de pessoas da região de estudo, coincidindo também com as maiores faixas de concentração da população que aumentam em direção a Tambaú - no sentido Oeste-Leste do mapa-, para os anos seguintes da série. É nessa área que também ocorre o aumento mais significativo do número de processos erosivos durante todo o período estudado.

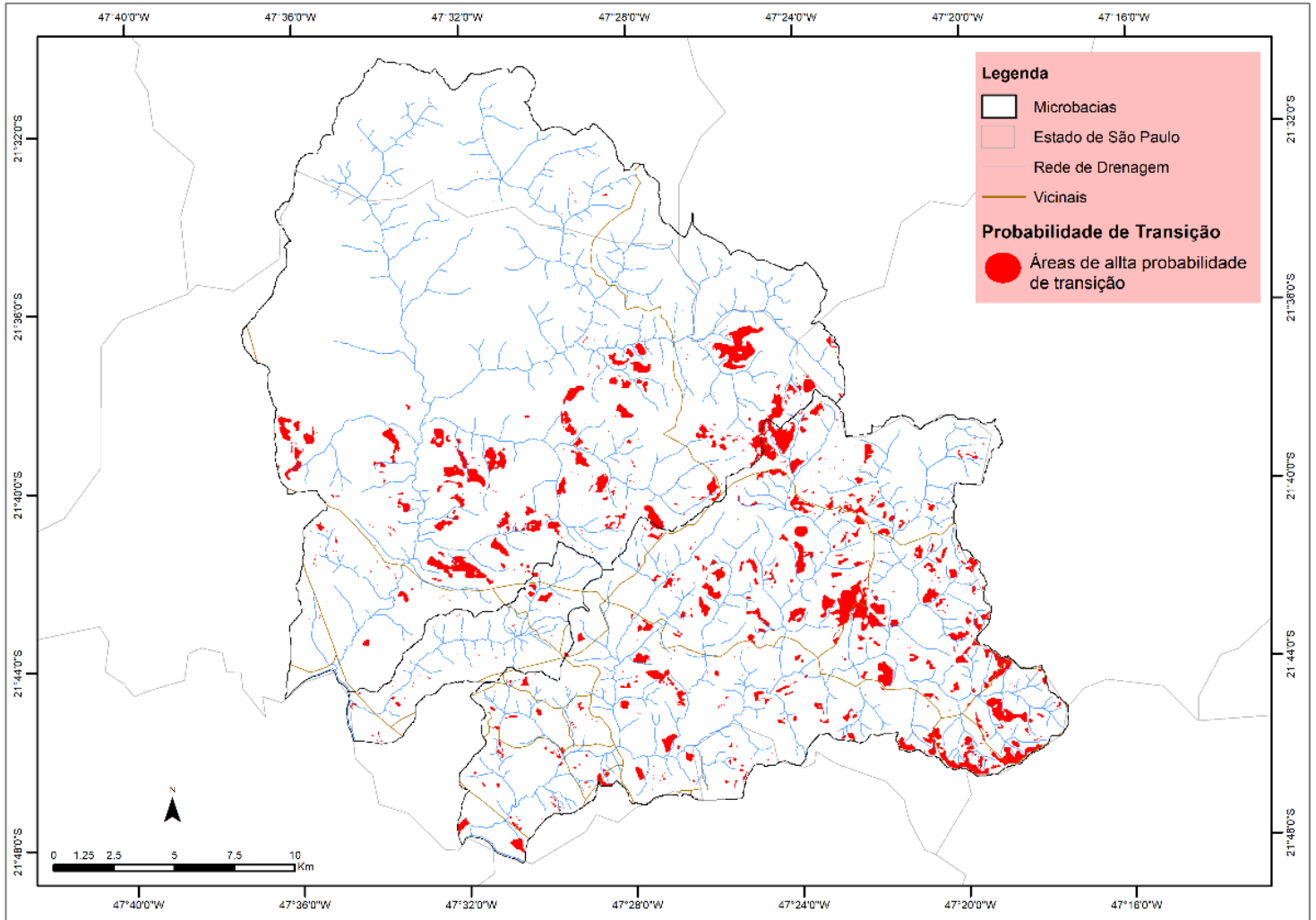


Figura 50: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Pastagem para Agricultura e Pastagem no período entre 2000 e 2010

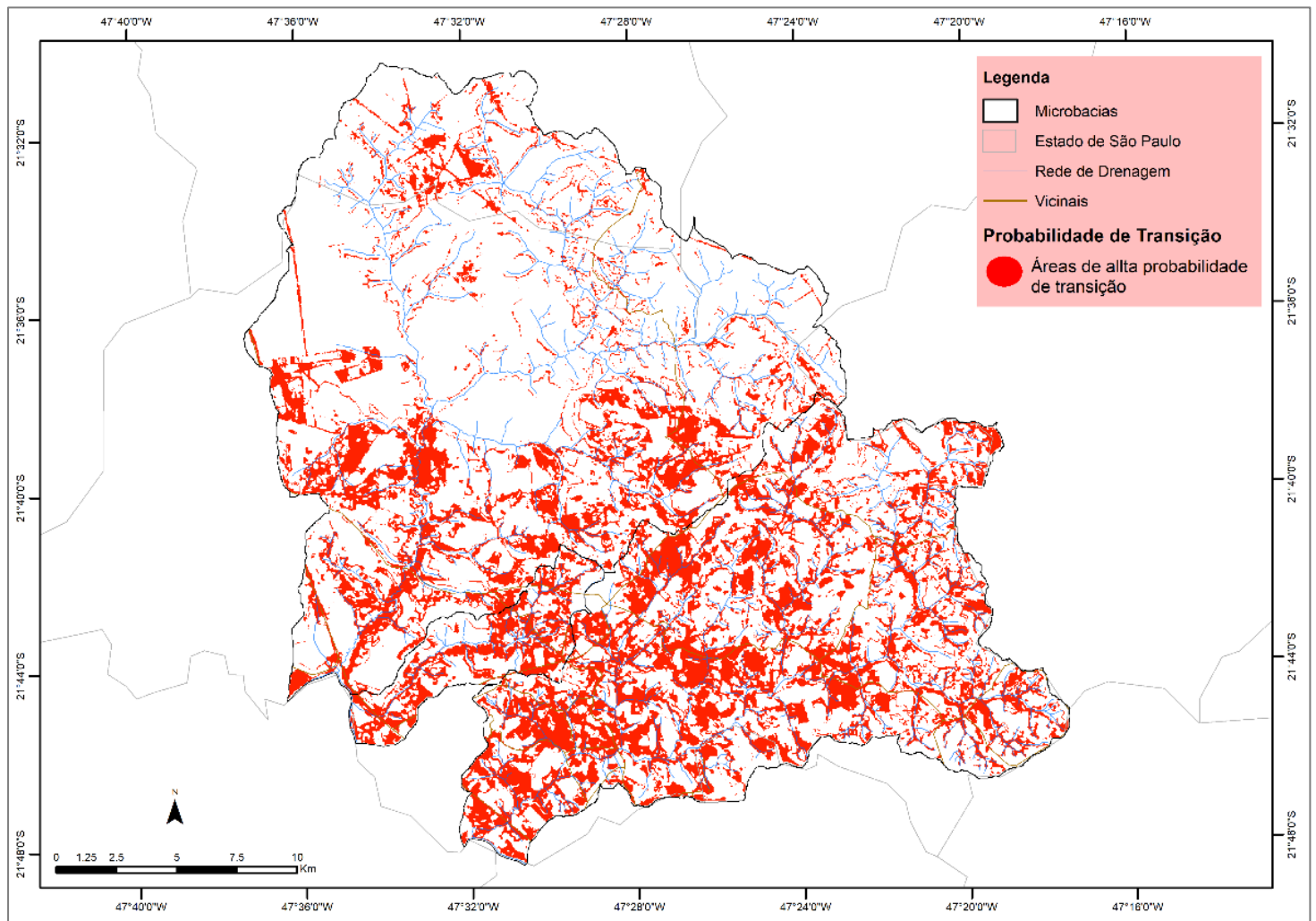


Figura 51: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Agricultura e Pastagem para Cultura Semi-Perene no período entre 2000 e 2010

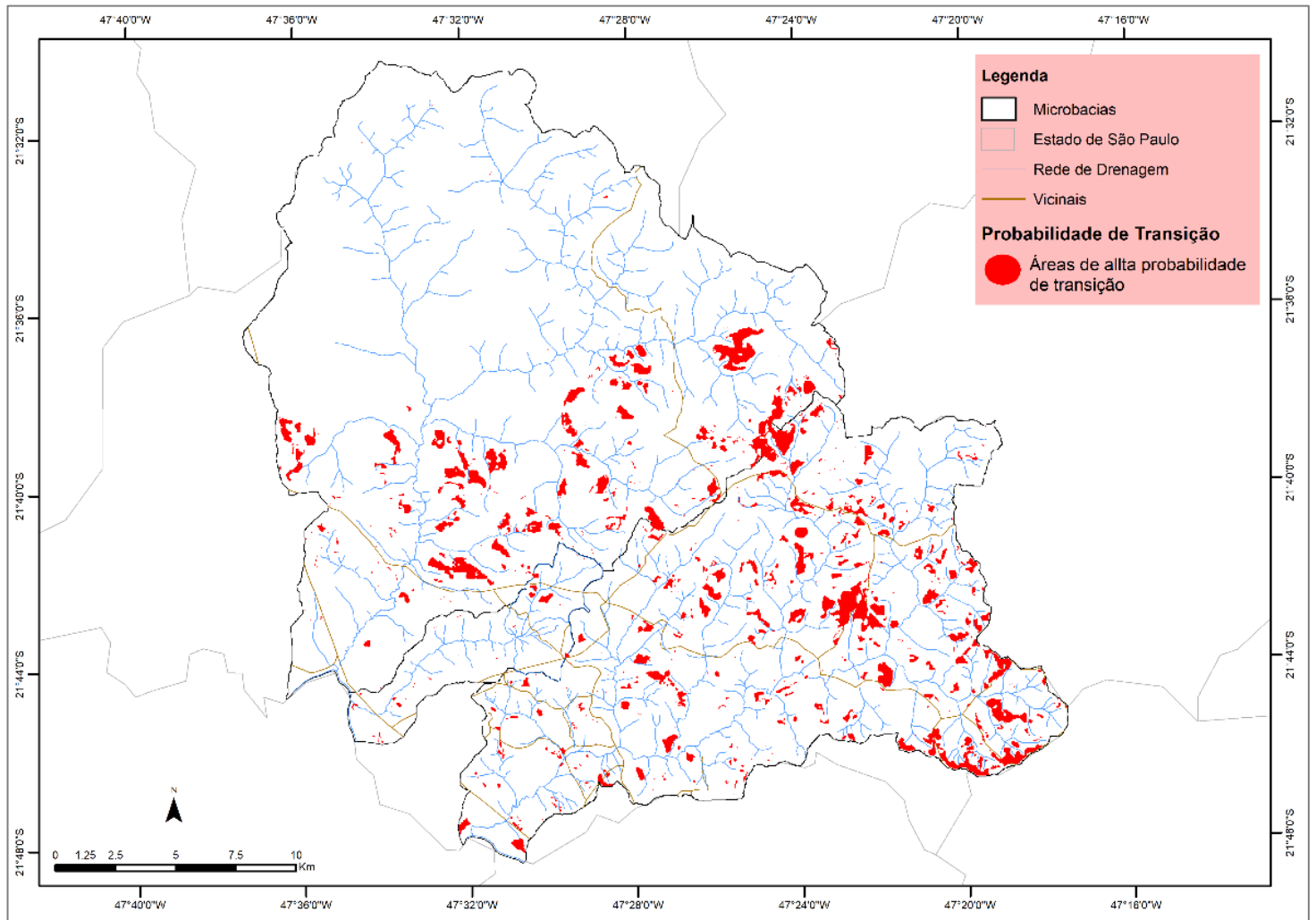


Figura 52: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe. Pastagem para Cultura Semi-Perene no período entre 2000 e 2010

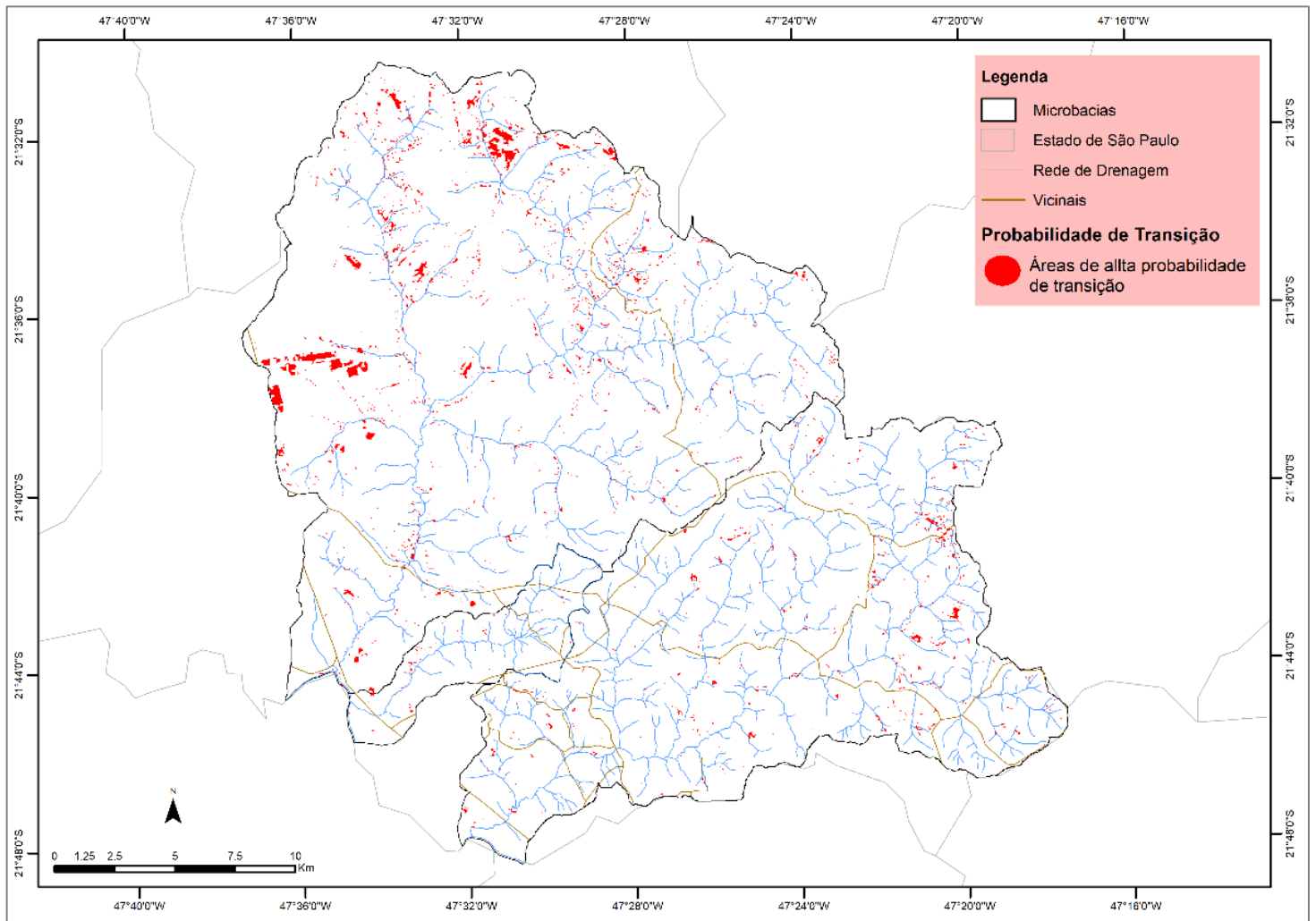


Figura 53: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Agricultura e Pastagem para Floresta no período entre 2000 e 2010

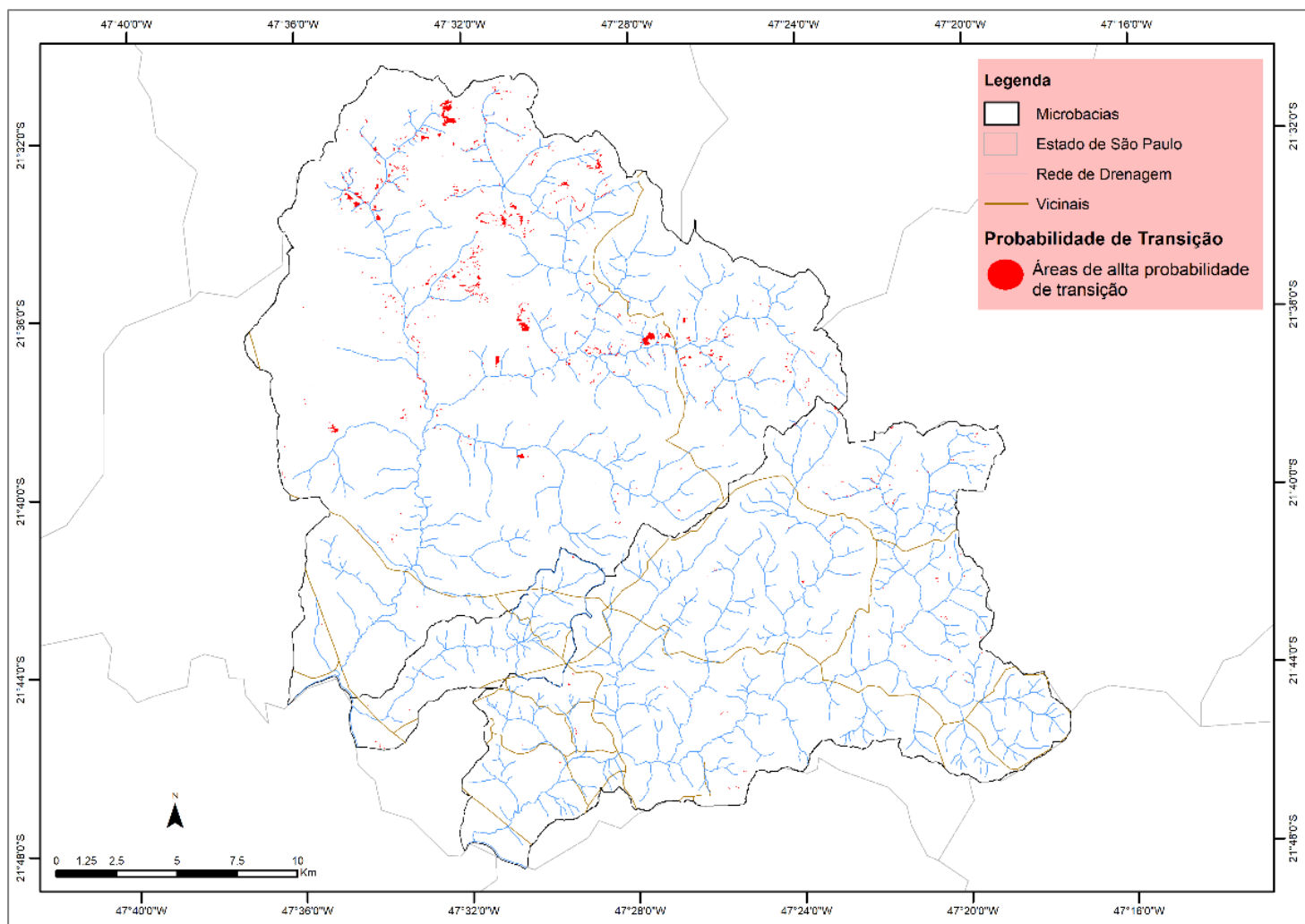


Figura 54: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Floresta para Floresta Plantada no período entre 2000 e 2010

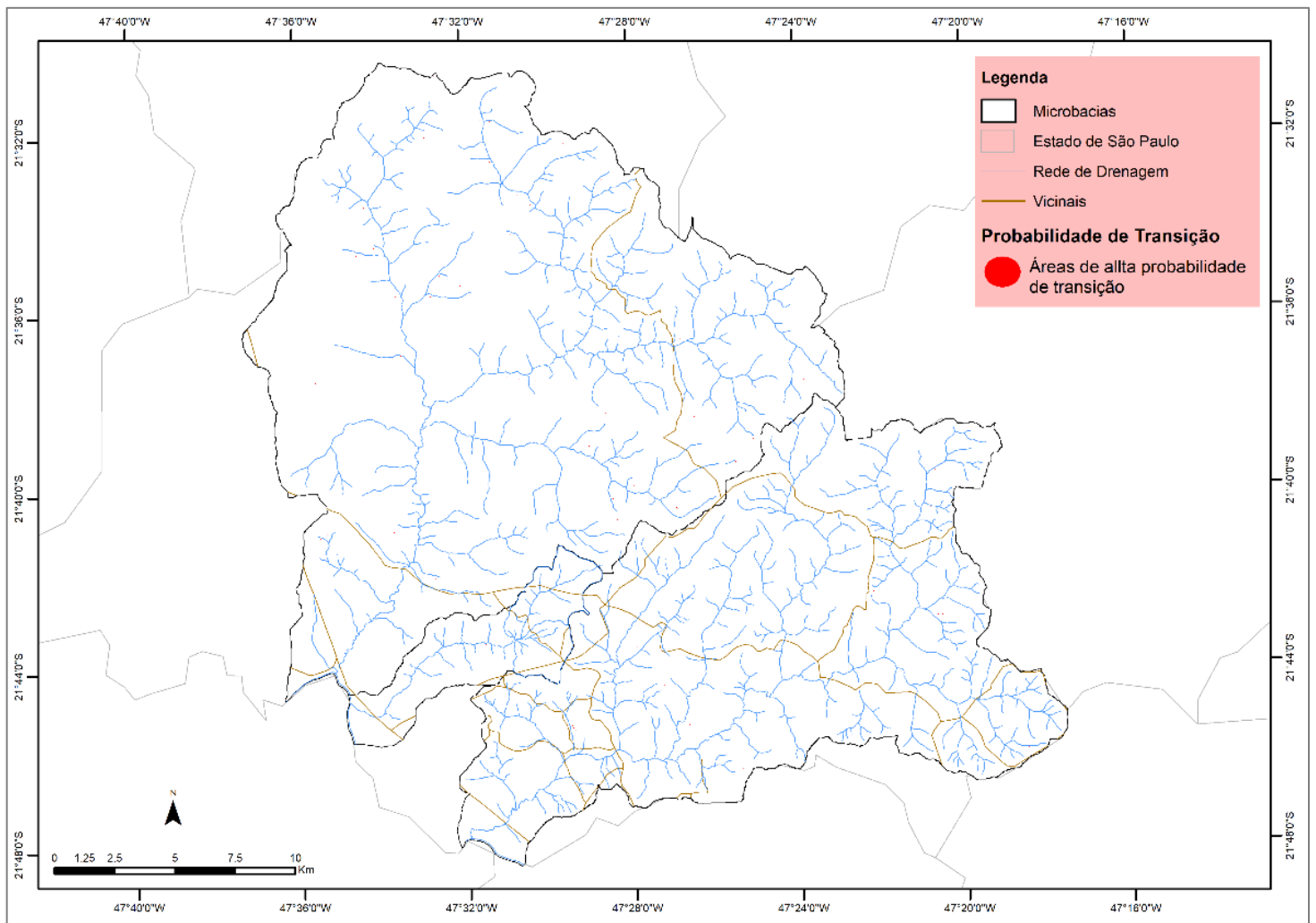


Figura 55: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Floresta para Agricultura e Pastagem no período entre 2000 e 2010

Baseado nos mapeamentos uso e cobertura do solo de 2000 e 2010 e nas variáveis selecionadas para essa série, o mapa simulado para 2020 foi gerado e segue ilustrado pela Figura 56. Uma vez que a simulação com o mapa de referência não foi possível, o produto simulado gerado foi comparado aos resultados de percentuais de área do mapeamento real mais próximo. Para esse caso, o mapeamento de uso e cobertura do solo do ano de 2017, utilizado também como mapa do ano final da série seguinte.

Praticamente com as mesmas tendências no mapa simulado gerado na série anterior, a comparação das áreas (Tabela 25) do mapa simulado para 2020 indicou que a inserção das variáveis explicativas físico-estruturais e das variáveis sócio-demográficas na modelagem possibilitou a geração de um mapeamento de uso e ocupação com diferenças principais na identificação das classes de áreas verdes (floresta plantada e formação florestal): pequena diminuição dessas áreas (cerca de 2,5%), cultura semi-perene: diminuição de 5% (apesar de ser a classe que mais apresentou áreas de alta probabilidade de transição) e áreas mistas de agricultura e pastagem: aumento de mais de 7%.

Tabela 26: Percentual de classes de uso do solo

PRODUTO	2017 - Mapa Real		2020 - Mapa Simulado	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Classes				
Formação Florestal	113.31	16.74	110.86	16.49
Formação Savânica	6.97	1.03	7.98	1.19
Floresta Plantada	120.21	17.76	104.63	15.56
Formação Campestre	4.08	0.60	4.27	0.64
Pastagem	49.26	7.28	55.45	8.25
Cultura Anual e Perene	1.05	0.15	0.58	0.09
Cultura Semi-Perene	145.53	21.51	111.87	16.64
Agricultura e Pastagem	229.00	33.84	269.18	40.03
Infraestrutura Urbana	6.12	0.90	6.92	0.95
Mineração	0.33	0.05	0.33	0.05
Outra Área não Vegetada	0.06	0.01	1.17	0.17
Rio, Lago e Oceano	0.76	0.11	0.47	0.07

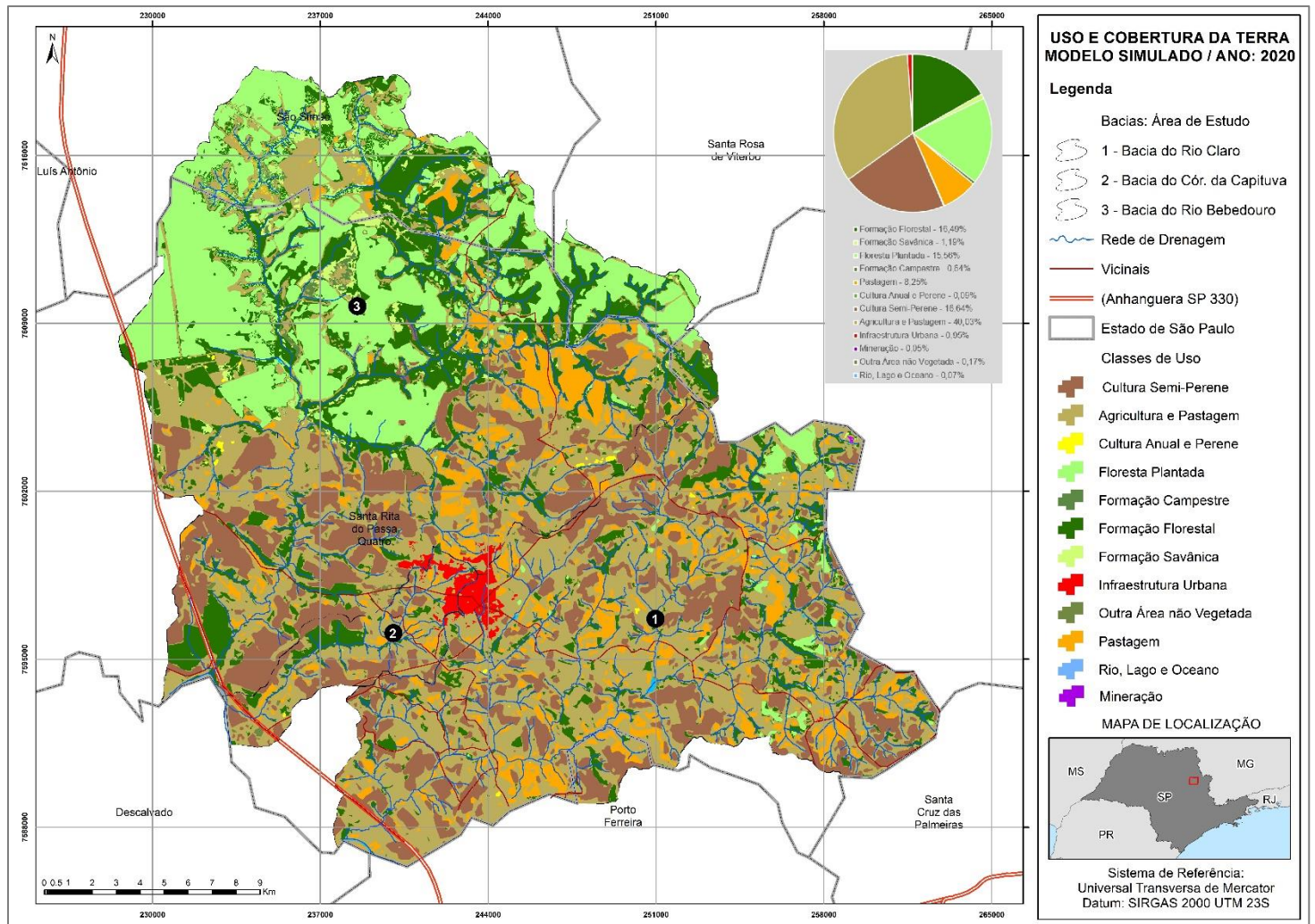


Figura 56: Mapa simulado de uso e cobertura do solo para 2020. Modelo gerado com inserção de variáveis explicativas físico-estruturais. Fonte: Natália da Costa Souza, 2018 - Molusce - QGIS® 2.18.0, 2019

4.4.3. SÉRIE III: 2010 – 2017

Por fim, na série III, as transições de uso que mais ocorreram foram (em ordem de ocorrência de maiores proporções):

- Agricultura e Pastagem para Cultura Semi-Perene (21 – 20);
- Cultura Semi-Perene para Agricultura e Pastagem (20 – 21);
- Pastagem para Agricultura e Pastagem (15 – 21);
- Agricultura e Pastagem para Floresta (21 – 3);
- Floresta para Agricultura e Pastagem (3 – 21);
- Agricultura e Pastagem para Pastagem (21 – 15);
- Floresta para Floresta Plantada (3 – 9).

Juntas, essas áreas representam aproximadamente 20% do território transformado entre o ano inicial (2010) e o ano final (2000) da série. Esse percentual indica que a série III, portanto, foi a que apresentou menores transformações entre classes diferentes durante todo o período estudado.

A Tabela 9 – que apresenta a variação de processos erosivos identificados nas séries – expõe maior frequência da ocorrência das erosões durante a série III, principalmente nas regiões do Rio Bebedouro e do Rio Claro.

Dados importantes sobre ocorrência de erosões X transições de uso também podem ser observadas na Tabela 19: apesar de haver, na série III, o maior registro de processos entre as séries analisadas, é possível perceber também que o percentual maior das erosões registradas (cerca de 80%) aparece em áreas de transição de uma classe para a mesma classe, ou seja, áreas que dentre os anos considerados ficaram estacionadas ou ganharam mais tamanho.

O mesmo padrão de ocorrência de erosões pode ser observado nas demais séries: maiores registros de processos erosivos em regiões de única classe, e majoritariamente em tipologias de agricultura e pastagem em todas as décadas.

Como produto final da análise de transição e do mapa simulado para 2025, as Figuras de numeração 57 a 63 apresentam os mapas das áreas de probabilidade de transição de cada uma das principais transformações ocorridas na última série analisada.

Por meio da análise dos mapas de probabilidade de transição, é possível observar que, em volume de território, as probabilidades de transição de uso são equivalentes tanto em área de ocorrência quanto em lugares onde ocorrem. Com exceção do mapa de probabilidade de transição da classe Agricultura e Pastagem para Floresta, todas as outras taxas de transição das classes analisadas apresentaram volumes baixos em área e concentradas principalmente ao Norte da sub-bacia hidrográfica do rio Bebedouro. Quanto à detecção de processos erosivos, as áreas de transição da classe Agricultura e Pastagem para Floresta – na série III – registrou apenas 7 processos erosivos.

Da mesma forma que na série II, essas áreas se caracterizam por ter baixa concentração populacional, altitudes variando de 700 a 900m, declividades de classificação plana e suave e regime pluviométrico médio de 130mm.

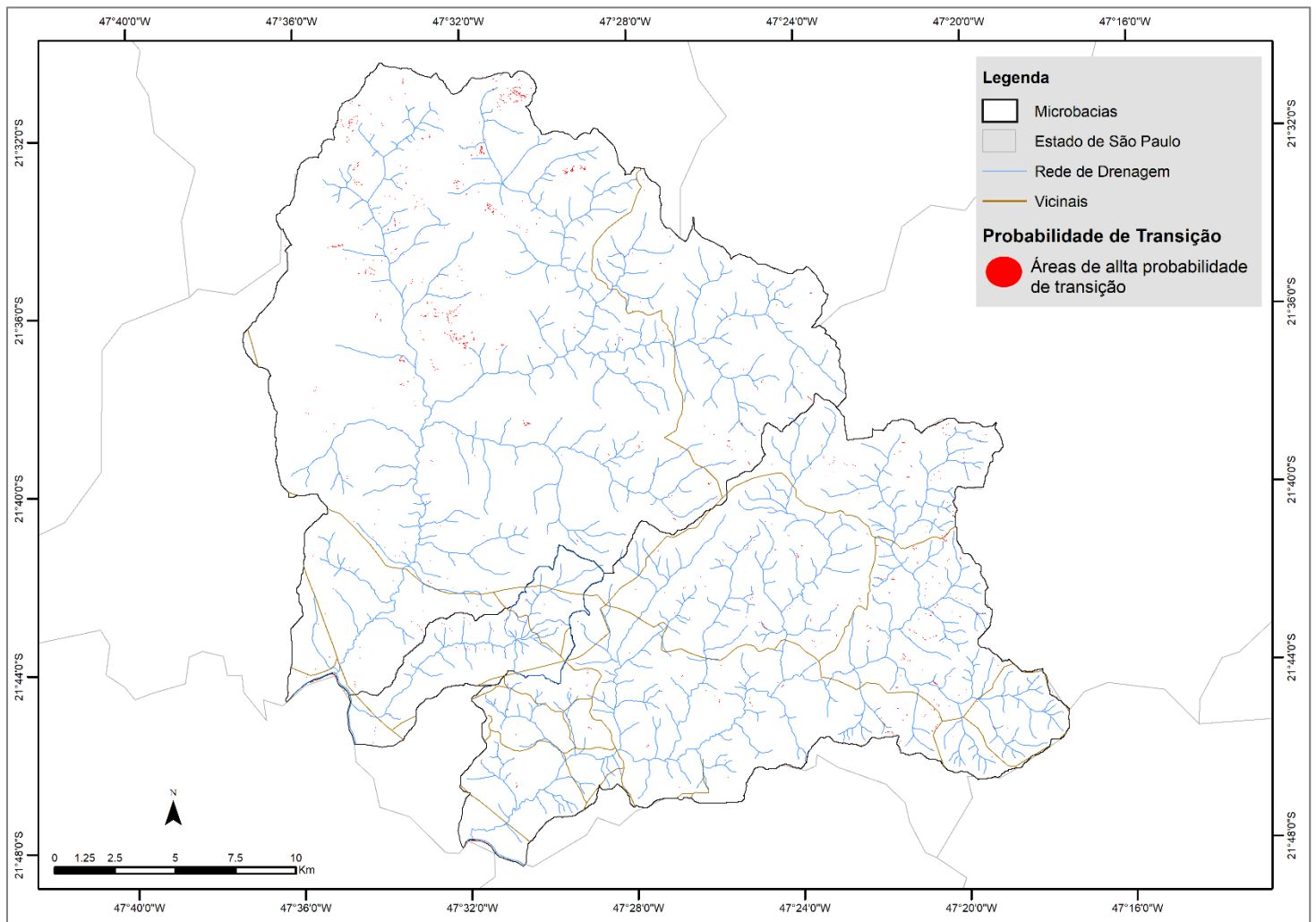


Figura 57: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Agricultura e Pastagem para Cultura Semi-Perene no período entre 2010 e 2017

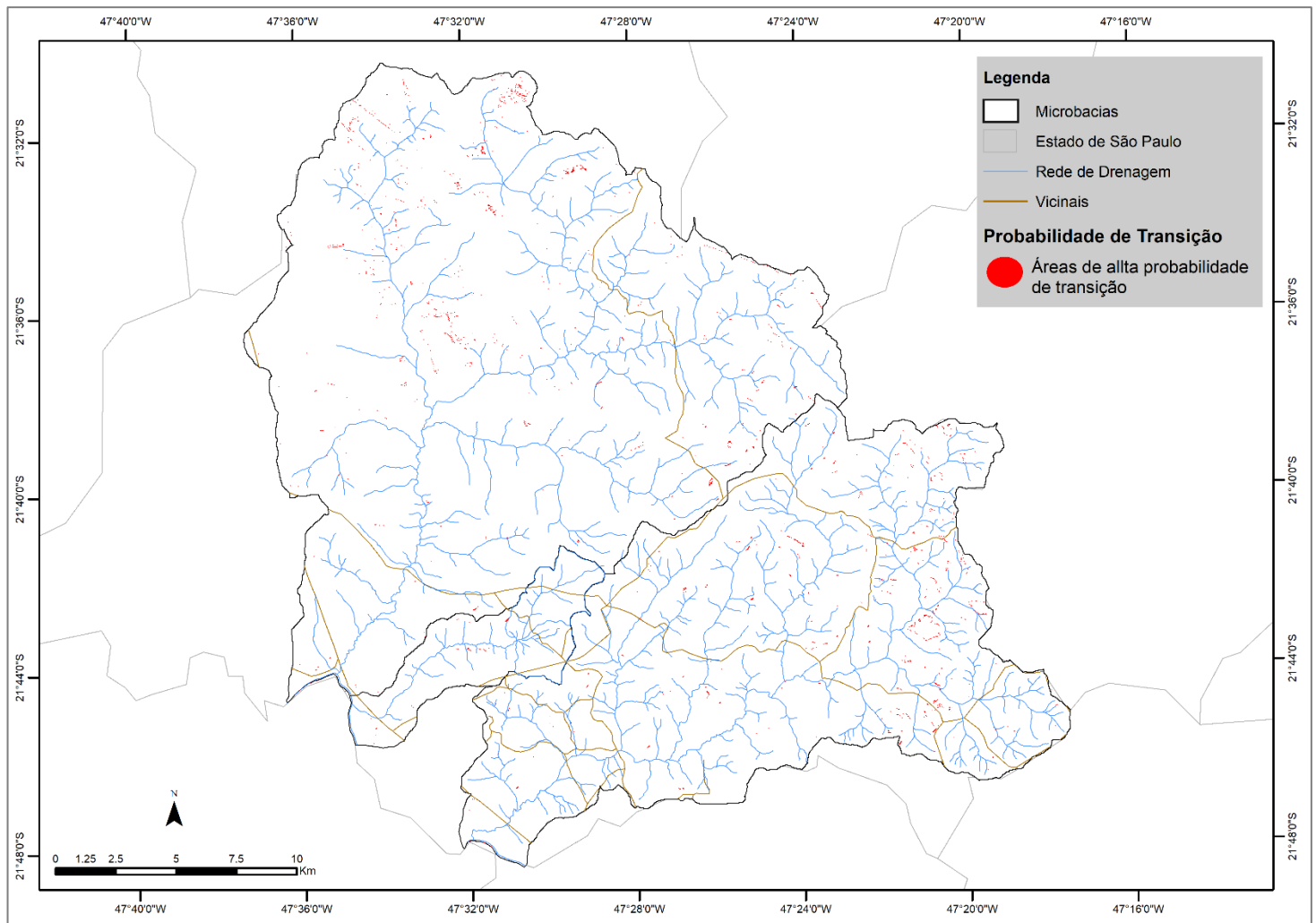


Figura 58: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Cultura Semi-Perene para Agricultura e Pastagem no período entre 2010 e 2017

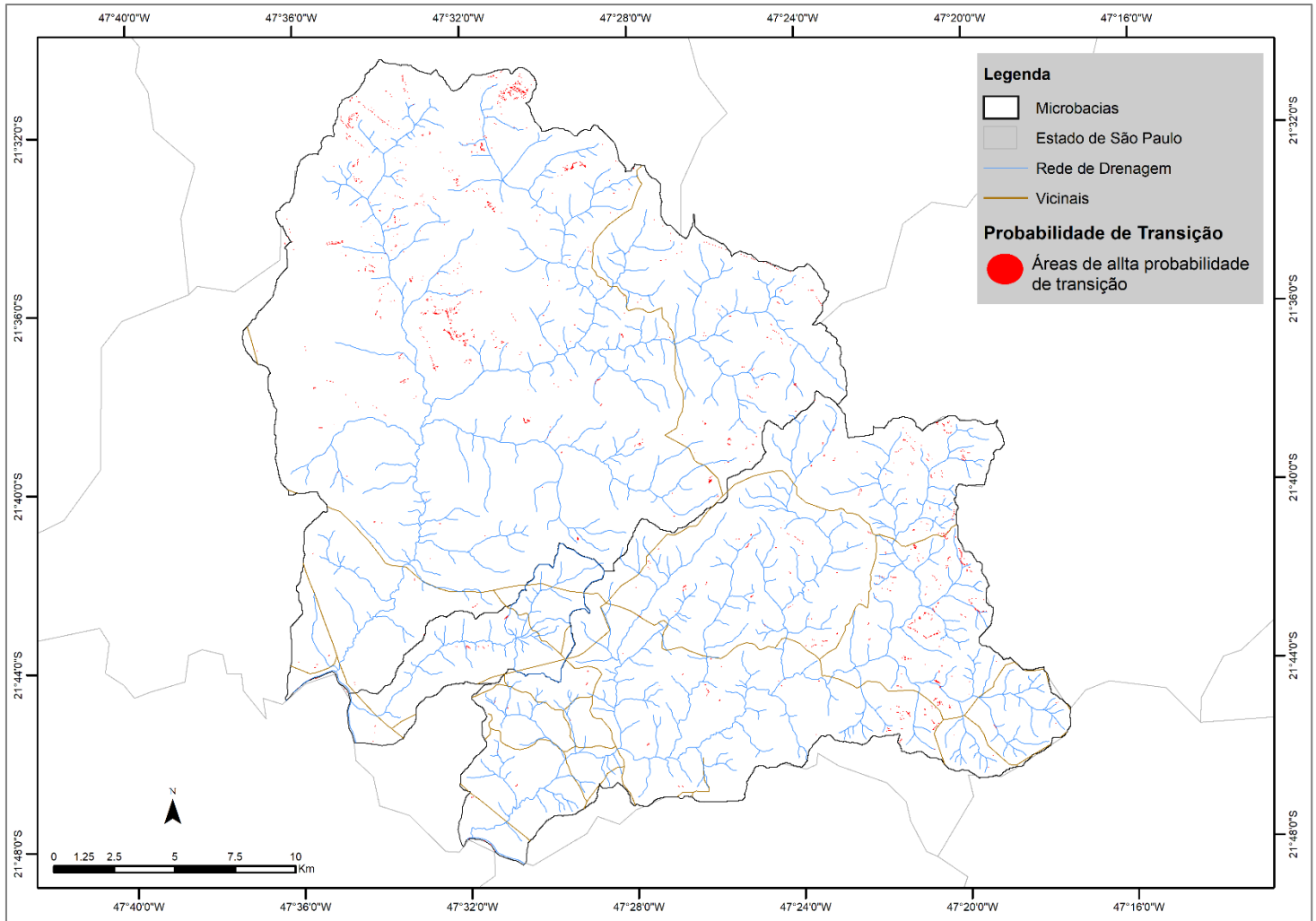


Figura 59: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Pastagem para Agricultura e Pastagem no período entre 2010 e 2017

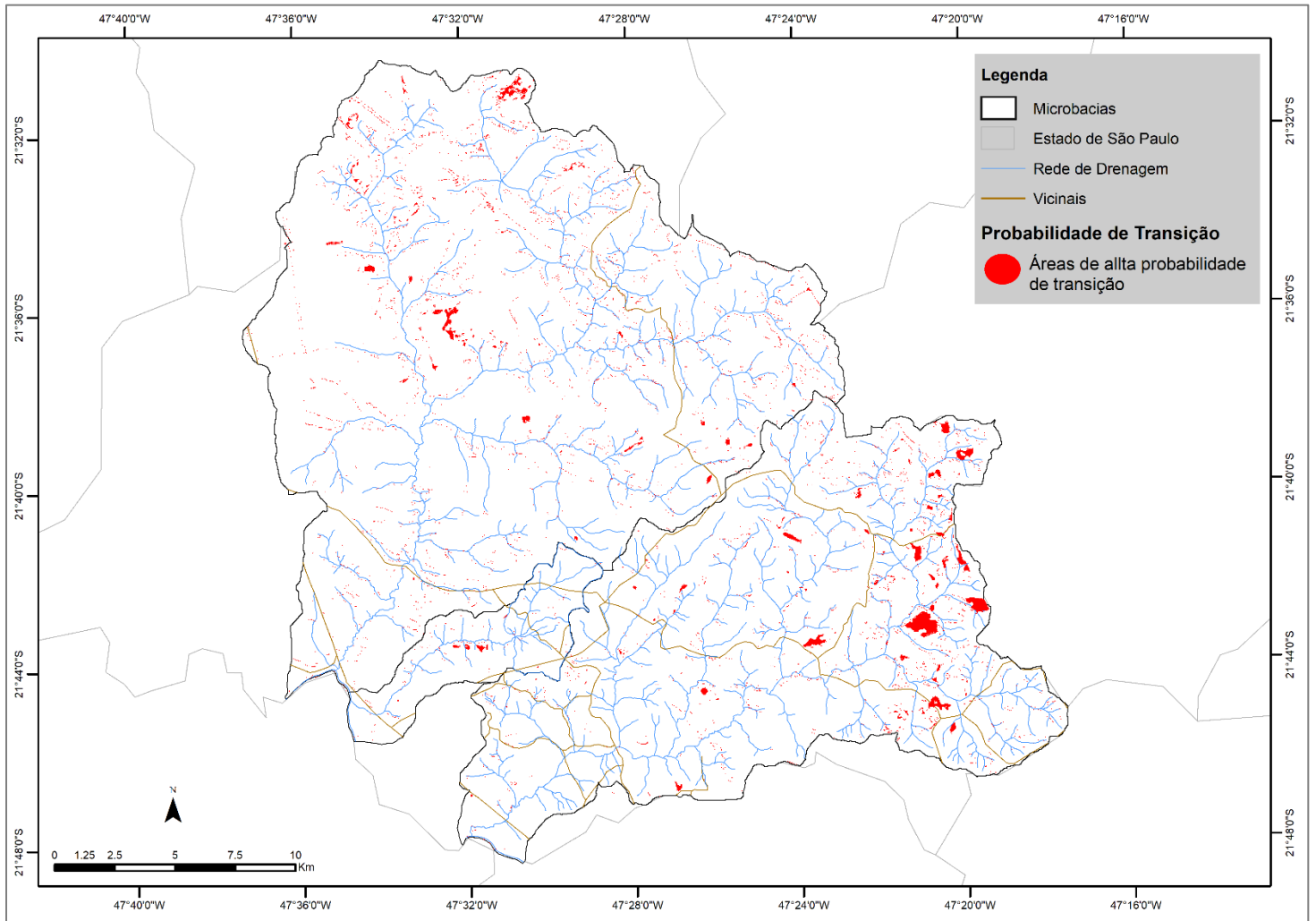


Figura 60: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Agricultura e Pastagem para Floresta no período entre 2010 e 2017

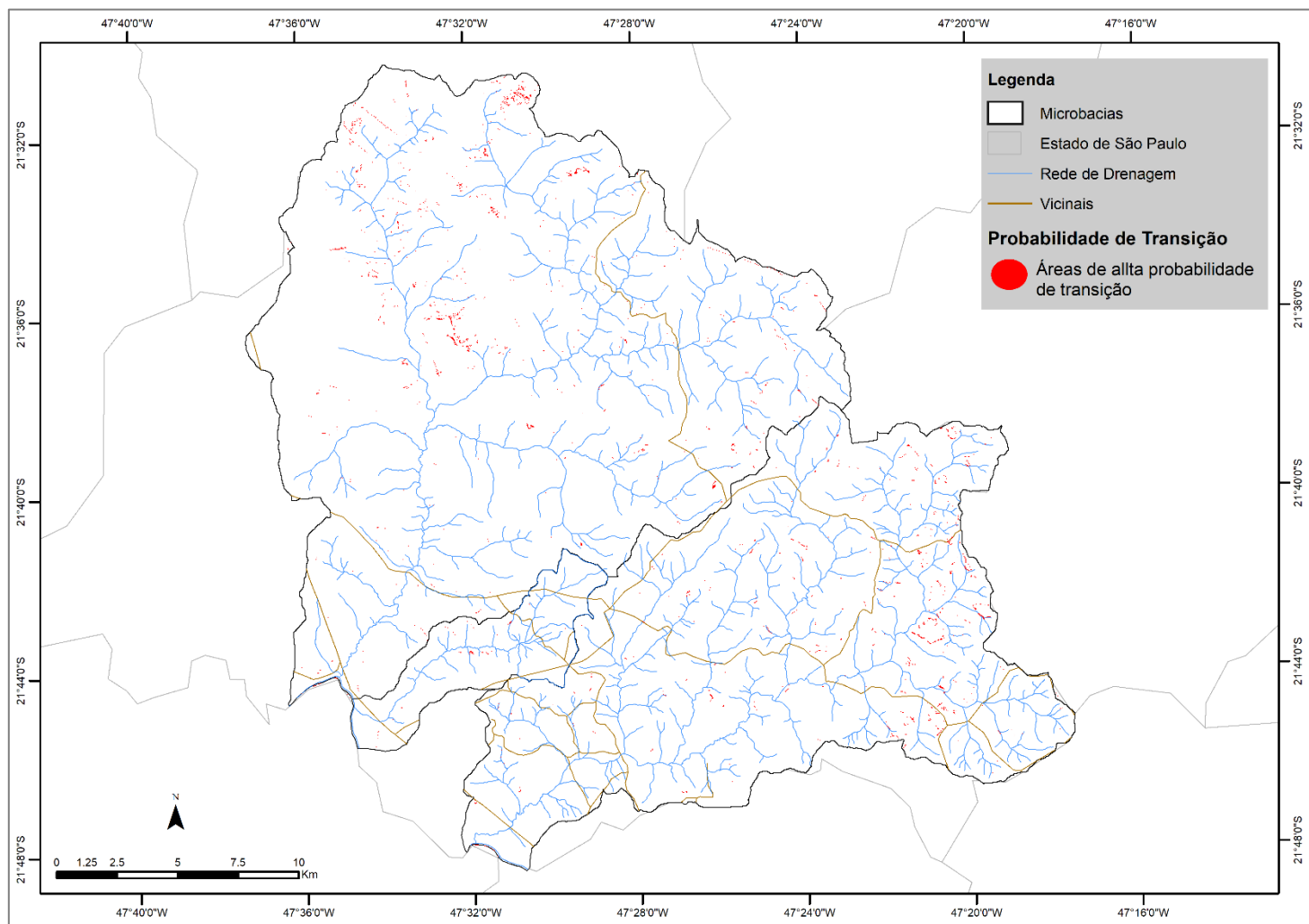


Figura 61: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Floresta para Agricultura e Pastagem no período entre 2010 e 2017

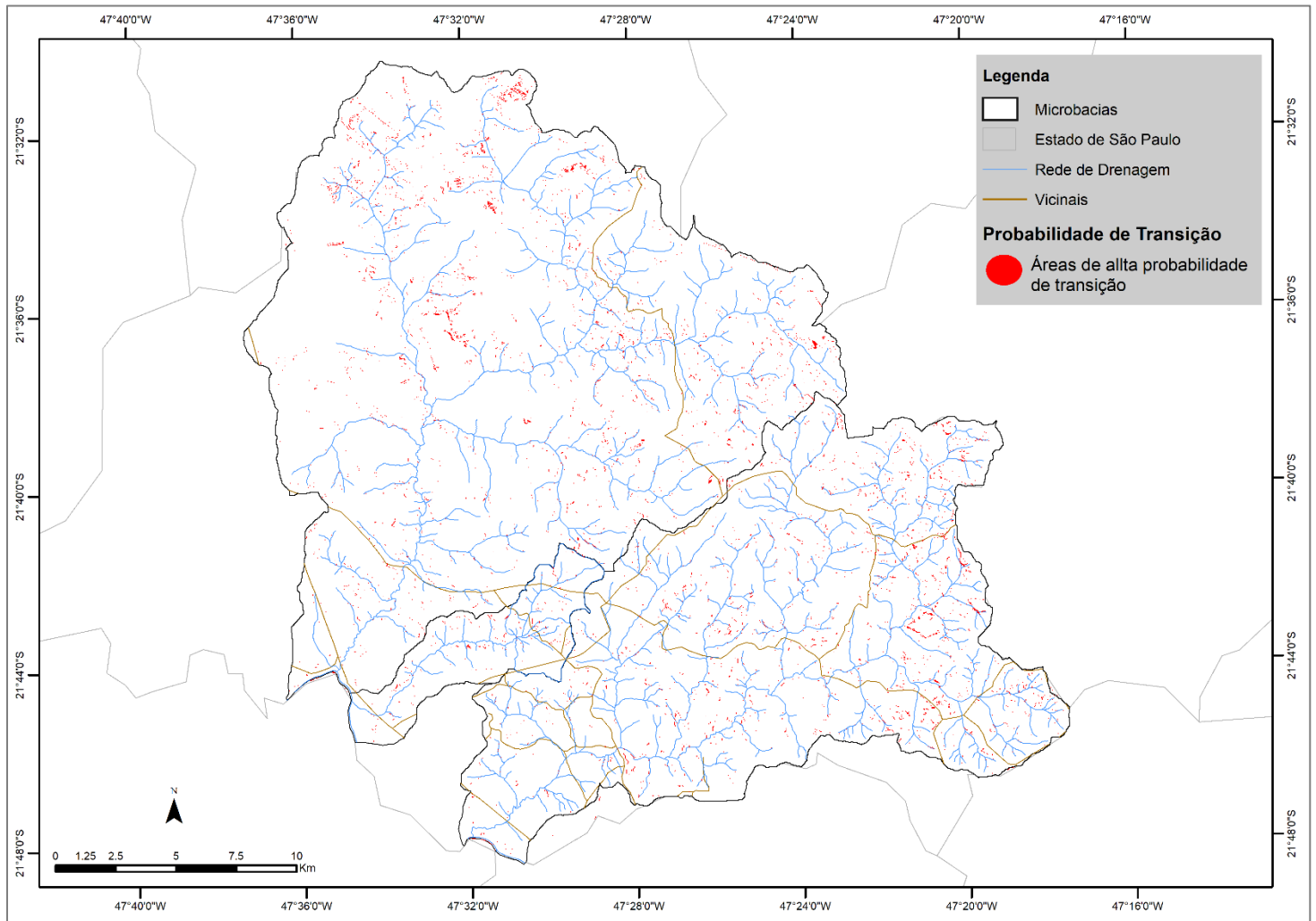


Figura 62: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da Agricultura e Pastagem para Pastagem no período entre 2010 e 2017

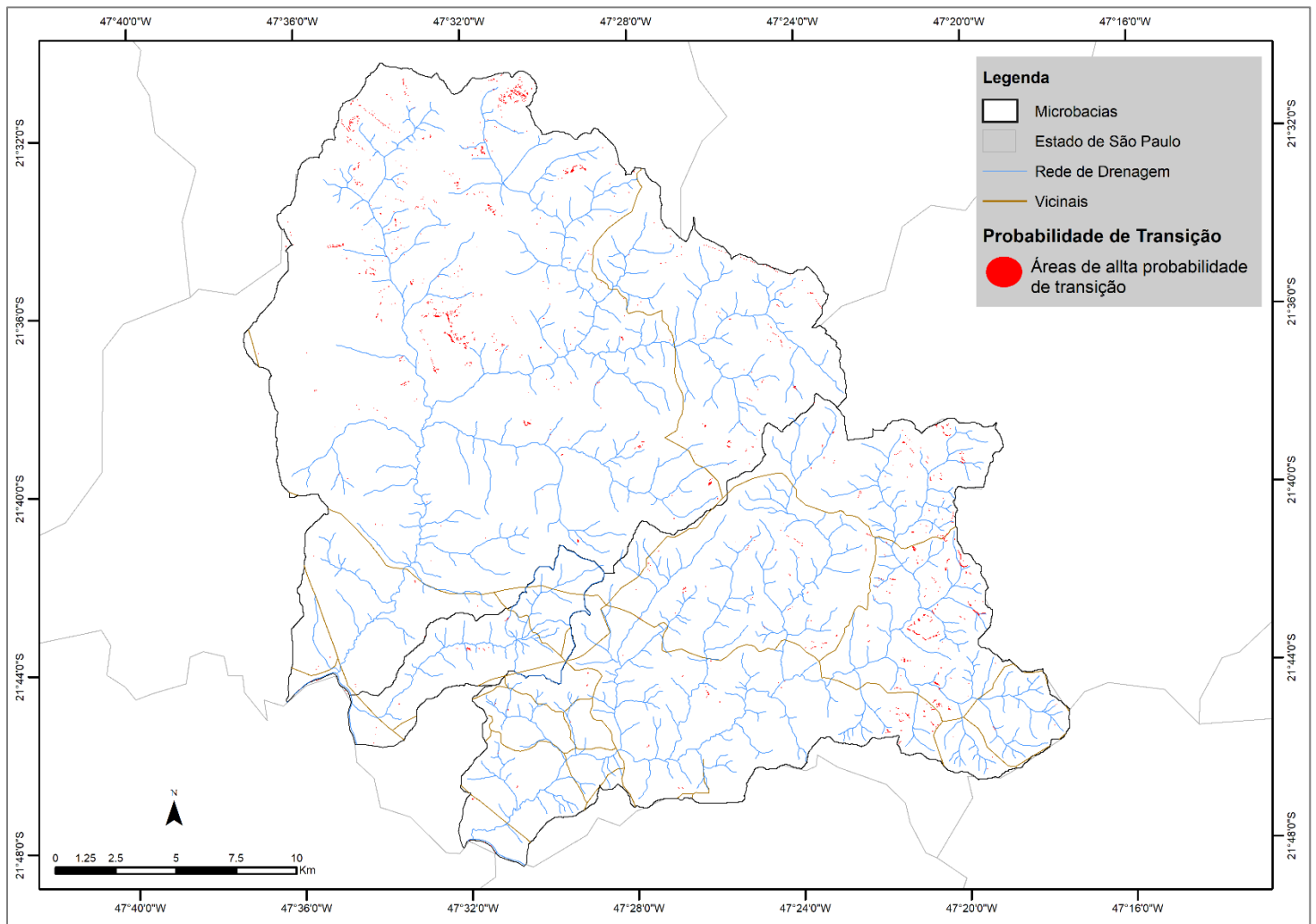


Figura 63: Mapa das áreas de maior probabilidade de transição referente à conversão da classe Floresta para Floresta Plantada no período entre 2010 e 2017

Assim como na série II, baseado nos mapeamentos uso e cobertura do solo de 2010 e 2017 e nas variáveis selecionadas para essa série, o mapa simulado para 2025 foi gerado e segue ilustrado pela Figura 64. Uma vez que a simulação com o mapa de referência não foi possível, o produto simulado gerado foi comparado aos resultados de percentuais de área do mapeamento mais próximo. Para esse caso, o mapeamento de uso e cobertura do solo gerado e simulado para o ano de 2020, produto principal resultante da série II (Tabela 24).

A comparação das áreas do mapa simulado para 2025 indicou que a inserção das variáveis explicativas físico-estruturais e das variáveis sócio-demográficas na modelagem possibilitou a geração de um mapeamento de uso e ocupação com diferenças principais na identificação das classes de áreas verdes (floresta plantada e formação florestal: cerca de 2,0% de aumento, cultura semi-perene: aumento de 5% (a classe que mais apresentou áreas de alta probabilidade de transição na série passada) e áreas mistas de agricultura e pastagem: aumento de mais de 6%.

Tabela 24. Percentual de classes de uso do solo. Mapa simulado de 2020 x Mapa simulado para 2025

PRODUTO	2020 - Mapa Simulado		2025 - Mapa Simulado	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Formação Florestal	110.86	16.49	116.34	17.15
Formação Savânica	7.98	1.19	7.20	1.06
Floresta Plantada	104.63	15.56	115.45	17.02
Formação Campestre	4.27	0.64	3.87	7.26
Pastagem	55.45	8.25	49.29	7.26
Cultura Anual e Perene	0.58	0.09	1.00	0.15
Cultura Semi-Perene	111.87	16.64	145.83	21.49
Agricultura e Pastagem	269.18	40.03	230.57	33.98
Infraestrutura Urbana	6.92	0.95	7.92	1.17
Mineração	0.33	0.05	0.32	0.05
Outra Área não Vegetada	1.17	0.17	0.06	0.01
Rio, Lago e Oceano	0.47	0.07	0.63	0.09

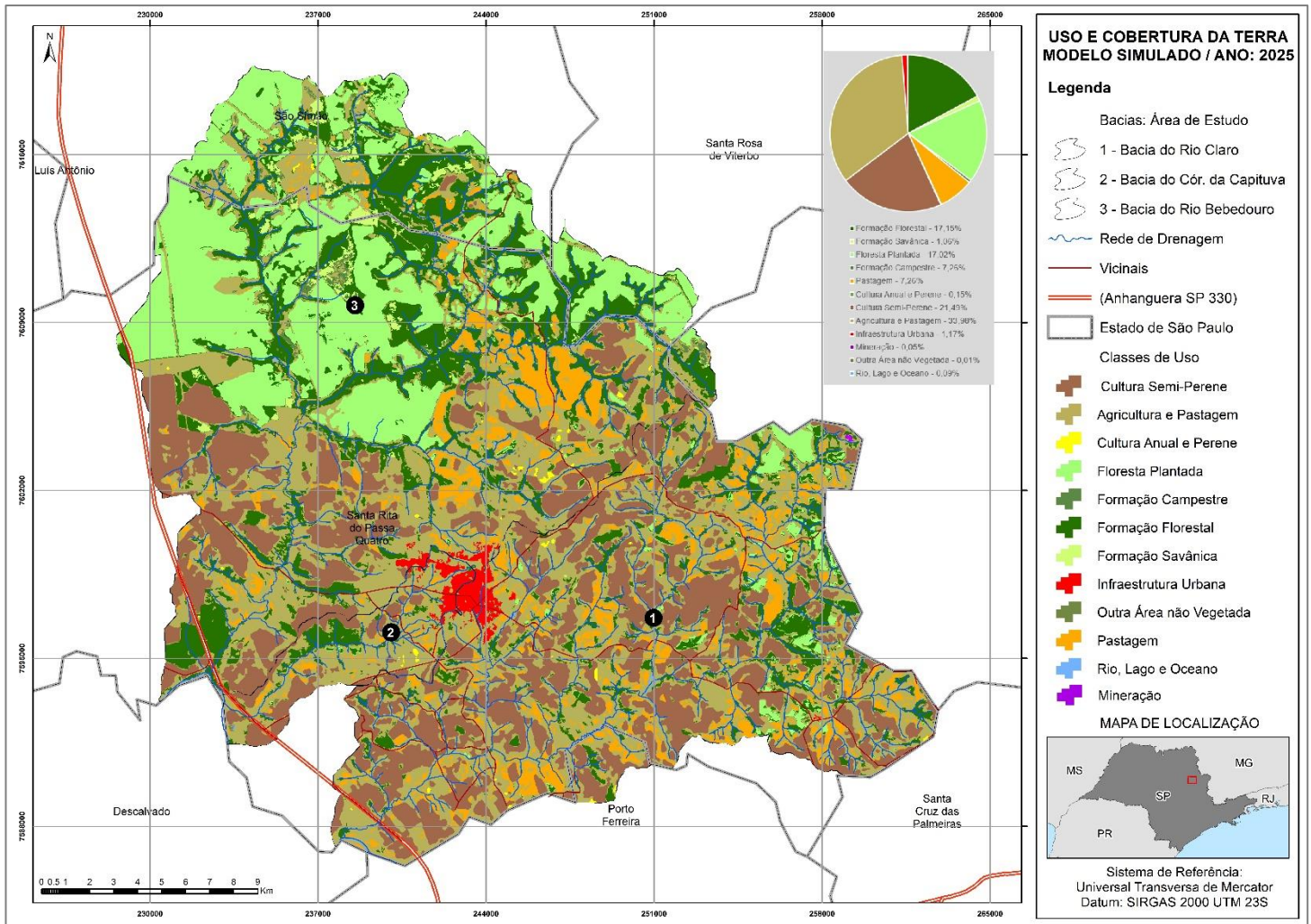


Figura 64: Mapa simulado de uso e cobertura do solo para 2025. Modelo gerado com inserção de variáveis explicativas físico-estruturais. Fonte: Natália da Costa Souza - Molusce - QGis® 2.18.0, 2019

Por fim, a Tabela 25 traz a comparação dos mapeamentos de uso e cobertura do solo entre todos os anos: anos finais e iniciais de cada série e cenários futuros previstos de 2020 e 2025. A tabulação dos dados de todos os anos envolvidos no estudo proposto permite analisar as tendências das alterações de uso entre os anos especificados, a fim de observar se os mapeamentos reais x mapeamentos simulados seguem alguma tendência de transformação.

Tabela 25. Percentual de classes de uso do solo: anos finais e iniciais de cada série e cenários futuros previstos de 2020 e 2025

Ano	1990		2000		2010		2017		2020 - Mapa Simulado		2025 - Mapa Simulado	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Formação Florestal	138.28	20.44	110.85	16.38	117.04	17.30	113.31	16.74	110.86	16.49	116.34	17.15
Formação Savânica	3.41	0.50	9.18	1.36	8.68	1.28	6.97	1.03	7.98	1.19	7.20	1.06
Floresta Plantada	34.70	5.13	85.08	12.57	109.61	16.20	120.21	17.76	104.63	15.56	115.45	17.02
Formação Campestre	3.09	0.46	5.22	0.77	4.88	0.72	4.08	0.60	4.27	0.64	3.87	7.26
Pastagem	210.51	31.11	152.81	22.58	55.25	8.17	49.26	7.28	55.45	8.25	49.29	7.26
Cultura Anual e Perene	0.05	0.01	0.13	0.02	0.62	0.09	1.05	0.15	0.58	0.09	1.00	0.15
Cultura Semi-Perene	15.66	2.31	39.10	5.78	111.43	16.47	145.53	21.51	111.87	16.64	145.83	21.49
Agricultura e Pastagem	263.95	39.01	266.96	39.45	261.76	38.68	229.00	33.84	269.18	40.03	230.57	33.98
Infraestrutura Urbana	4.58	0.68	5.28	0.78	5.59	0.83	6.12	0.90	6.92	0.95	7.92	1.17
Mineração	-	-	-	-	0.04	0.01	0.33	0.05	0.33	0.05	0.32	0.05
Outra Área não Vegetada	1.68	0.25	1.38	0.20	1.15	0.17	0.06	0.01	1.17	0.17	0.06	0.01
Rio, Lago e Oceano	0.70	0.10	0.67	0.10	0.61	0.09	0.76	0.11	0.47	0.07	0.63	0.09

É possível observar que, no geral, as principais classes sofrem oscilações entre aumentos e diminuições de áreas entre o ano inicial e final do mapa simulado para 2025. Como destaque, vale citar:

- *Formação Florestal*: classe mais constante na oscilação entre ganho e perda de áreas. Entre os anos analisados, iniciou em 1990 representando mais de 20% da área e, no mapa simulado para 2025, encerrou com 17,15% da área total. A perda mais significativa de área foi de 1990 para 2000 e o aumento mais significativo foi de 2000 para 2010;
- *Floresta Plantada*: entre os anos que marcam os mapas reais de uso e cobertura do solo (de 1990 a 2017), a classe Floresta Plantada apresentou acréscimo crescente de áreas. Para

os mapeamentos simulados de 2020 e 2025, houve acréscimo de áreas e percentuais entre um cenário previsto (2020) e outro (2025);

- *Pastagem*: decréscimo gradual de áreas entre os anos dos mapeamentos reais; decréscimo entre os anos simulados
- *Cultura Semi-Perene*: como no caso da classe Floresta Plantada, entre os anos que marcam os a classe Cultura Semi-Perene apresentou acréscimo crescente de áreas entre os anos de mapeamentos reais (1990 – 2017). Para os mapeamentos simulados de 2020 e 2025, houve acréscimo de áreas e percentuais entre um cenário previsto (2020) e outro (2025);
- *Agricultura e Pastagem*: classe que apresentou maior oscilação de ganho e perda entre todas as classes analisadas. Em 1990, representava 39% do território analisado, já em 2025 (cenário previsto) representa 34%, aproximadamente;
- *Infraestrutura Urbana*: acréscimo crescente entre os anos reais e simulados, mesmo que em pequenas proporções.

Por fim, considerando todos os produtos de cenários de mapeamentos reais, futuros e simulados, transições de uso e mapeamentos de erosão, e a fim de responder às hipóteses testadas na presente tese, as análises que seguem resumem as principais conclusões identificadas:

- I). Se existem relações entre as alterações das tipologias de uso e cobertura da terra – e consequentes dos processos de ocupação da mesma - e o aparecimento de processos erosivos lineares;
- II) As transições entre diferentes classes de uso e cobertura da terra favorecem o aparecimento de processos erosivos lineares na área de estudo;

Na análise de auto correlação das bacias, foi identificado que os casos de erosão registrados entre os anos das séries analisadas apresentaram dependência espacial associada à vizinhança entre os limites de micro bacias próximas.

Tal fato foi relacionado às análises das transições que destacou que a classe com maior predominância em todas as séries, Agricultura e Pastagem, é responsável pela maioria das transições de uso da região de estudo. Associando o crescimento de processos erosivos com os dados de transição de uso expostos, pode-se observar uma correlação da aceleração dos eventos à expansão dessas áreas.

Sendo assim, é possível também que a análise das transições de uso possa ajudar a explicar a auto correlação das bacias, uma vez que a identificação positiva das erosões, ao apresentarem dependência espacial associada à vizinhança entre os limites das micro bacias próximas, podem estar, aparentemente, relacionadas à algumas transições de uso que favorecem o aparecimento desses fenômenos erosivos.

Além disso, é possível concluir também que o aumento dos processos erosivos não está apenas relacionado às transformações de uso entre as diferentes classes, ou seja, não ocorreu diretamente associado às transformações de uma classe para outra classe diferente. Como foi dito, o crescimento mais expressivo em todas as séries analisadas se deu nas transições de mesma classe (nesse caso, Agricultura e Pastagem para Agricultura e Pastagem) que significa a manutenção das áreas ou aumento delas entre uma série e outra.

III). Se alguns elementos das dimensões sociais, demográficas e físico-estruturais podem influenciar na geração dos modelos finais de cenários futuros de uso e ocupação do terra.

Como dito na metodologia e na apresentação dos resultados, nem todos os modelos gerados foram passíveis de validação. Porém, para a série de 1990-2000, validada, a simulação indicou que a inserção das variáveis explicativas físico-estruturais na modelagem contribuiu para a geração de um mapeamento de uso e ocupação mais próximo do real. O modelo foi comparado ao mapeamento de 2010 e a validação confirmou índices melhores de desempenho quando comparado a um modelo simulado sem a inserção das variáveis, ou seja, apenas baseado nos mapeamentos de uso do ano inicial e final da série de análise.

Já para os cenários gerados de 2020 e 2025, como não há mapas de referência para testar o desempenho dos produtos gerados, acredita-se, pela comparação com dados dos outros produtos, que a inserção das variáveis explicativas físico-estruturais e das variáveis sócio-demográficas na

modelagem (séries II e III) possibilitou a geração de cenários simulados de uso e ocupação que seguem a mesma tendência de transformação de todo período analisado.

CAPÍTULO V

CONSIDERAÇÕES FINAIS _____

As considerações finais trazem reflexões acerca dos principais pontos abordados pelo trabalho apresentado: o processo metodológico, os resultados alcançados e a relevância e aplicabilidade da temática em questão. Algumas recomendações para o processo de continuidade da pesquisa também serão apontadas.

5.1. QUANTO A METODOLOGIA PROPOSTA E RESULTADOS ALCANÇADOS:

- Registro e mapeamento dos processos erosivos:

O método de registro para mapeamento dos processos erosivos proposto é uma adaptação feita aos métodos de análise de risco desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Espaciais – IPT. Desenvolvido recentemente e aplicado exclusivamente aos registros de processos erosivos do Estado de São Paulo, o método ainda carece de acompanhamento e validação contínua dos resultados obtidos. De toda forma, os resultados dos produtos utilizados atenderam às demandas das modelagens de uso e ocupação, principalmente por possibilitarem a aplicação da análise de auto correlação das erosões registradas, que foi uma etapa importante para inserção dos dados de erosão nos mapeamentos de previsão de cenários.

- Mapas das variáveis explicativas (variáveis ambientais e físico-estruturais):

A aplicação das técnicas propostas para geração dos mapas relativos às características das variáveis explicativas mostrou-se satisfatórias no que diz respeito aos resultados esperados e a escala de mapeamento proposta para o estudo em questão. Tratam-se de métodos já difundidos e testados, amplamente utilizados em estudos de mesma abordagem. Cabe dizer, portanto, que a produção de dados deve atender especialmente às necessidades do analista, podendo ser direcionados a análises mais específicas e de escalas com maiores níveis de detalhamento.

- *Plugin Molusce*: Análise das transições de uso e modelagem da dinâmica espacial:

Além de ser um software livre, a escolha do uso do *plugin Molusce* na presente tese considerou outros fatores:

- Pouco material disponível com o uso do aplicativo em pesquisas acadêmicas nas áreas de Geociências, SIG e Engenharias,

- Input de dados de simples manuseio; outputs de fácil interpretação,

- Geração de mapas e tabelas de transição, Mapas de probabilidade e modelagem de cenários futuros (mesmos produtos gerados por softwares da mesma categoria);

- Processamento rápido dos dados e produtos finais;

Dessa forma, a utilização do *plugin* atendeu de forma satisfatória à todas as propostas estabelecidas pela tese apresentada, sendo possível colaborar com a divulgação de materiais de pesquisa e possibilidade de aplicação, principalmente na área de geociências.

Em contrapartida, é importante comentar sobre a adoção dos algoritmos presentes no *plugin* e da escolha da função de Rede Neural como forma de gerar os modelos para a presente pesquisa.

Em relação aos objetivos da pesquisa, em que um deles era testar se a inserção de variáveis multiescalares, temporais e correspondentes às características diversas, na modelagem de cenários futuros, o algoritmo utilizado mostrou-se eficaz considerando os resultados atingidos e os índices estatísticos gerados. Porém, a crítica principal que se faz sobre seu uso é sobre a impossibilidade de determinação do grau de atuação de cada variável nas alterações de uso e consequente modelagem de usos previstos.

Uma alternativa para a melhoria dos resultados seria a adoção do algoritmo de pesos de evidências, usado na maioria dos trabalhos de mesma linha de pesquisa e aplicação (inclusive dos citados e discutidos anteriormente). A análise dos pesos de evidência indica a influência exercida em relação à proximidade ou categoria de cada variável utilizada nas transições por período, representando a influência de cada categoria (ou faixas de valores) de certa variável espacial na determinação da probabilidade de transição espacial de estado de uma célula para outro. Seu resultado permite inferir como cada variável atua na dinâmica da área de estudo.

Todavia, para a presente pesquisa, não foi possível utilizar o algoritmo de pesos de evidências por conta de algum problema relacionado à inserção de dados de entrada no *plugin*.

- Mapas simulados para 2020 e 2025:

O fato de não ser possível validar os cenários gerados para 2020 e 2025 é uma limitação importante da pesquisa. Por mais que o mapa simulado para 2010 tenha apresentado bons resultados de testes de validação, a de se considerar que as simulações de 2020 e 2025 dispõem da inserção de variáveis sócio-demográficas no procedimento metodológico para geração das mesmas. Mesmo assim, pelas comparações feitas entre produtos gerados e existentes, acredita-se que os resultados da validação tendem a ser positivos, uma vez que as tendências gerais das transformações de uso puderam ser analisadas.

5.2. QUANTO À RELEVÂNCIA E APLICABILIDADE DO TEMA:

No que tange às questões relacionadas ao planejamento e estudos que envolvem o estabelecimento de diretrizes de ordenamento físico-territorial, as modelagens de dinâmica de uso e ocupação da terra constituem-se em uma importante ferramenta de análise e representação. Aliado a isso, com a organização do saber, as técnicas de cartografia passaram por forte desenvolvimento e, na atualidade, têm a seu dispor um conjunto amplo de conhecimentos científicos e tecnologias bastante apuradas.

O uso de ferramentas de Geoprocessamento, sendo certamente uma dessas tecnologias de maior importância, tem se mostrado como ferramenta primordial nos assuntos relacionados a compreensão das dinâmicas urbanas e estudos voltados para o planejamento e gestão do espaço, na medida em que o crescimento contínuo no uso de geotecnologias reforçam o princípio de que a solução de questões de planejamento do território passam, inevitavelmente, pela utilização de um SIG como suporte à tomada de decisão. Nesse contexto, acredita-se que o presente trabalho contribuiu para a necessidade de reflexão sobre ferramentas fundamentais no que tange assuntos referentes ao planejamento e monitoramento do espaço geográfico.

REFERÊNCIAS BIOGRÁFICAS

ACIOLY, Claudio. Densidade urbana: um instrumento de planejamento e gestão urbana. Tradução de Claudio Acioly e Forbes Davidson. Rio de Janeiro: Mauad, 1998.

AGARWAL, C. et al. A Review and Assessment of Land-Use Change Models: Dynamics of Space, Time, and Human Choice. en. Tech. Rep. NE-297. Newton Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station. 61 p., 2000

ALATORRE, L. C. Soil erosion and sediment delivery in a mountain catchment under scenarios of land use change using a spatially distributed numerical model. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 1321–1334, 2012.

ALMEIDA, C. M. Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba- SP. 2004. 351p. Tese (Doutorado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.

ALKHARABSHEHA, M. ALEXANDRIDIS, M., BILAS, T.K., MISOPOLINOS, G. AND SILLEOS, N. 2013. Impact of land cover change on soil erosion hazard in northern Jordan using remote sensing and GIS. *Procedia Environmental Sciences* 19: 912 – 92

ALMEIDA FILHO, G. S. de. Diagnóstico de Processos Erosivos Lineares Associados a Eventos Pluviosos no Município de Bauru, SP. 2000. 222f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

ALMEIDA, L. Q. Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2010.

ANDRADE, F. S. Análise bibliométrica da produção científica de pesquisadores e referências de um periódico da engenharia de produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado, 2012.

AMARAL *et al.* Interpoladores Espaciais para Geração de Superfícies de Densidade Populacional na Amazônia Brasileira: problemas e perspectivas. INPE—Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2012

ANDRES, J.; WERLANG, M. K. A Influência do Uso da Terra nos Processos Erosivos: Correlação entre os Índices de Concentração de Nascentes (ICN) e de Voçorocas (VCV) no Oeste do Município de Pirapó, RS. *Ciência e Natura*, [S.l.], p. 35-44, July 2016.

BARBIERI, A. F.; BILSBORROW, R. E.; PAN, W. K. Farm household lifecycles and land use in the Ecuadorian Amazon. *Population and Environment*, New York, v. 27, n. 1, p. 1-27, Sep. 2005.

BHATTA, B. *Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing*. Springer: New York, 2010.

- BERTONI, J. ; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Ícone, São Paulo, 1990.
- BIGARELLA, J. J. ; MAZUCHOWSKI, J. Z. Visão integrada da problemática da erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 3., 1985. Maringá, PR, Livro Guia... São Paulo: ABGE, 1985. 332p.
- BRIASSOULIS, H. Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches. Lesvos, Greece. Tese (Doutorado em Geografia) - University of Aegean, 2000.
- BRONDÍZIO, E. S.; MCCRACKEN, S. D.; MORAN, E. F.; SIQUEIRA, A. D.; NELSON, D. R.; RODRIGUEZ- -PEDRAZA, C. The colonist footprint: toward a conceptual framework of land use and deforestation trajectories among small farmers in the Amazonian frontier. In: WOOD, C. H.; PORRO, R. (Ed.). Deforestation and land use in the Amazon. Gainesville, FL: University Press of Florida, 2002. p. 133-161.
- CANIL, K. et al. Mapa de feições erosivas lineares do Estado de São Paulo: uma análise qualitativa e quantitativa. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE CONTROLE DE EROSÃO, 5., 1995, Bauru, SP. Anais... São Paulo: ABGE, 1995. p. 33-35.
- CAVAGUTI, N. Erosões lineares e solos urbanos: estudos, caracterização e análise da degradação do meio físico em Bauru, SP. 1994. 548f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Engenharia e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista, UNESP, Campus Bauru, Bauru, 1994.
- CARVALHO, J. C.; SALES, M. M.; SOUSA, N. M.; MELO, M.S.T. (organizadores). Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro. 1.ed. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006. 464 p.
- CÔRTEZ, J.C. e D'ANTONNA, A.O. Dinâmicas no uso e cobertura da terra: perspectivas e desafios da Demografia. R. bras. Est. Pop., Rio de Janeiro, v. 31, n.1, p. 191-210, jan./jun. 2014.
- COOH, N. K. Geohazards natural and human. Simon & Shuster Company, New Jersey, 1995. 481p.
- CONGALTON, R.G.; GREEN, K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. New York: Lewis Publishers, 2009
- D'ANTONA, A, O.; VANWEY, L, K. Estratégia para amostragem da população e da paisagem em pesquisas sobre uso e cobertura da terra. R. bras. Est. Pop., São Paulo, v. 24, n. 2, p. 263-275, jul./dez. 2007.
- FERREIRA, M. C. Iniciação à análise geoespacial: teorias, técnicas e exemplos para geoprocessamento, Editora Unesp, 2014.
- FURTADO, B.A. Modelagem urbana e regional com autômatos celulares e agentes: Panorama teórico, aplicações e política pública. Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2011.

FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. La erosión del suelo por el agua; algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. Roma: FAO.1967. 204p. (FAO. Colección FAO: Fomento de Tierras y Aguas, 7).

FREIRE DE MELLO, L. E SATHLER, D. A demografia ambiental e a emergência dos estudos sobre população e consumo. R. bras. Est. Pop., Rio de Janeiro, v. 32, n.2, p. 357-380, maio/ago. 2015

GALHARTE, C. A. VILLELA, J. M.; CRESTANA, S. Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.18, n.2, p.194–201, 2014

GUEDES et al. Composição demográfica domiciliar e dinâmica do uso do solo em Machadinho d'Oeste, Rondônia: evidências baseadas nos estágios iniciais da fronteira. R. bras. Est. Pop., Belo Horizonte, v.34, n.2, p.271-299, maio/ago. 2017

HABEL, J., C., et al. Documenting the chronology of ecosystem health erosion along East African rivers. Environ Monit Assess (2017) 189: 565.

HOOVER, E. M.; GIARRATANI, F. An introduction to regional economics. New York:Alfred K., 1984.

IMESON, A. C.; KWAAD, F. J. P. M. Gully types and gully prediction. K.N.A.G. Geografisch Tijdschrift, v.14, n.5, p. 433-441, 1980.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Cadastramento de pontos de erosão e inundação no Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 2013 (Relatório Técnico – 364 pgs).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Relatório de Mudanças na Cobertura e Uso da Terra: 2000 – 2010 – 2012. Disponível em: www.geoftp.ibge.gov.br. Acesso em: Maio de 2016.

HOLANDA, F.J.M. Erosão do solo: práticas conservacionistas. Fortaleza: SEBRAE/CE – Serviço de apoio às Micro e Pequenas Empresas do Estado do Ceará, 1999, 46p.

IWANA, A. Y. et al. Risco, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas: uma abordagem interdisciplinar. Ambiente & Sociedade, São Paulo v. XIX, n. 2 n p. 95-118 n abr.- jun. 2016

JACOMO, C. A. Modelos Geoestatísticos Espaço-Tempo aplicados a dados pluviométricos no Oeste do estado de São Paulo. Dissertação. (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente – SP, 2011.

JATOBÁ, S. U. Densidades urbanas nas regiões administrativas do distrito federal. Diretoria de Estudos Urbanos e Ambientais - DEURA/Codeplan. Brasília, 2017.

JONES, A.; CLARK, J. Driving forces behind European land use change: an overview. In: The user needs for more harmonized land use information at the national and EU level. Report on the CLAUDE (Coordinating Land Use and Cover Data Analyses in Europe) Workshop. Wageningen: CLAUDE, Concerted Action, EC, 1997. v. DGXII, p. 24-31.

KAWASHIMA, R. S. Modelagem da dinâmica espacial das mudanças na cobertura da terra na região portuária da Baixada Santista. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. doi:10.11606/D.3.2016.tde-31122015-111819. Acesso em: 2018-10-18.

KIJOWSKA-STRUGAŁA, M. (2017). A Spatial and Temporal Analysis of Land Use Changes in Two Mountain Valleys: with and without Dam Reservoir (Polish Carpathians), *Quaestiones Geographicae*, 36(1), 129-137, 2017.

KLOSTER, S., MAHOWALD, M. N., RANDERSON, R. T. P., LAWRENCE, P. J. The impacts of climate, land use, and demography on fires during the 21st century simulated by CLM-CN. *Biogeosciences*, 9, 509–525, 2012

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPERS, E. Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions. *Annual Review of Environment and Resources*. Vol. 28:205-241, 2003.

LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. *Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change, Land Use Policy*, Volume 27, Issue 2, 2010

LEH, Marie; BAJWA, Sael; CHAUBEY, Andi. Impact of land use change on erosion risk: an integrated remote sensing, geographic information system and modeling methodology, 2013.

LEMOS, R. C. & SANTOS, R. D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Campinas-SP, SBCS/SNLCS, 1984. 46 P

LEPSCH, I. F. (coord.). Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação das terras no sistema de capacidade de uso. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-SBCS. 1983. 175p.

LEPERS, E. LAMBIN, E. F.; JANETOS, A. C.; DEFRIES, R.; ACHARD, F.; RAMANKUTTY, N.; SCHOLLES, R. J. A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981–2000. *Bioscience*, Vol. 55, 2005.

LIMA, A. C.; SIMÕES, R. . Teorias do desenvolvimento regional e suas implicações de política econômica no pós-guerra: o caso do Brasil. Belo Horizonte: Cedeplar/UFMG, 2009 (Texto para Discussão).

LIVERMAN, D.; MORAN, E. F.; RINDFUSS, R. & Stern, P. (eds.). 1998. *People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science*. Washington, National Academy Press. 244 p.

MANFRÉ, L. A.; HIRATA, E.; SILVA, J.; SHINOHARA, E. J.; GIANNOTTI, M. A.; LARROCCA, A. P. C.; QUINTANILHA, J. A. An Analysis of Geospatial Technologies for Risk and Natural Disaster Management. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2012, 1, 166-185.

MARQUES, J. Q. A. (coord.). Manual brasileiro para levantamento da capacidade de uso da terra, s.1, IBGE. 1971. 433p.

MARTÍNEZ, S. e MOLICCONNE, D. From Land Cover to Land Use: A Methodology to Assess Land Use from Remote Sensing Data. *Remote Sens.* 2012.

MATHERON, G. The theory of regionalized variables. Paris: École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1971.

MORGAN, R.P.C. Soil Erosion and Conservation. Longman Group, Inglaterra, 1986, 298p.

NUNES, L. H. Urbanização e desastres naturais na América do Sul: abrangência América do Sul. Oficina de Textos, São Paulo, 2015.

OJIMA, Ricardo. Dimensões da urbanização dispersa e proposta metodológica para estudos comparativos: uma abordagem socioespacial em aglomerações urbanas brasileiras. *Rev. bras. estud. popul.* [online]. 2007, vol.24, n.2

PEJON, O. Estudos geoambientais da região de Piracicaba-SP, focalizando o problema de erosão linear, com auxílio do sistema de informação geográfica. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo – USP, 1998.

PINTO, N. N.; ANTUNES, A. P. Cellular automata and urban studies: a literature survey. *Architecture, City and Environment*, v. 1, n. 3, p. 368-399. 2007

PORTO, M. F. S. Complexidade, processos de vulnerabilização e justiça ambiental: um ensaio de epistemologia política. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, 2011.

PORTO, M. F.; FINAMORE, R. Riscos, saúde e justiça ambiental: o protagonismo das populações atingidas na produção de conhecimento. Centro de Estudos da Saúde do trabalhador e Ecologia Humana, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz., 2012.

PRANDINI, F. L. Peculiarities of Geotechnical Behavior of Tropical Lateritic and Saprolitic Soils. *Special Types of Gullies*. 1985. pg. 135-149.

QUINTAS-SORIANO, CRISTINA; CASTRO, ANTÔNIO; HERMELINDO CASTRO, MARINA GARCÍA-LLORENTE. Impacts of land use change on ecosystem services and implications for human well-being in Spanish drylands. *Land Use Policy*, Volume 54, 2016, Pages 534-548.

RAGAZZO, C. E. LIMA, J. DENSIDADE URBANA E QUALIDADE DE VIDA: O CASO DO PROJETO PORTO MARAVILHA. Revista da Faculdade de Direito UFPR, Curitiba, PR, Brasil, v. 60, n. 3, p. 279-310, jun. 2015. ISSN 2236-7284.

RAHMAN, M., TABASSUM, F., RASHEDUZZAMAN, M. et al. Temporal dynamics of land use/land cover change and its prediction using CA-ANN model for southwestern coastal Bangladesh Environ Monit Assess (2017) 189: 565. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6272-0>

RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; MOREIRA, M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. Remote Sensing. 2010; 2(4): 1057-1076.

SATHLER, D. População, consumo e ambiente: contribuições da Demografia para a questão ambiental. In: XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS. Anais... Águas de Lindóia: Abep, 2012. Disponível em: Acesso em: 4 jul. 2014.

SHERBININ, A. A guide to land-use and land-use cover change (LUCC). A collaborative effort of SEDAC and the IGBP/IHDP LUCC Project. Columbia University, New York, 2002.

SOARES FILHO, B. S. Modelagem dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica. Tese de doutorado. Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SOUZA, N. C. Estudo do Aporte Sedimentar da Bacia Hidrográfica do Rio Capivari (RJ): Uma Abordagem Geomorfológica e Ambiental. Universidade Federal Fluminense – UFF – Instituto de Geociências, 2010.

SOUZA, N. C. Geotecnologias na análise da suscetibilidade e risco de processos erosivos em áreas de entorno de linhas férreas. Estudo de caso : malha paulista - SP (bacia do Tietê - Sorocaba) [doi:10.11606/D.3.2016.tde-18072016-102811]. São Paulo Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2015. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes. [acesso 2018-10-17].

SOARES, L. F. G. Modelagem e simulação discreta de sistemas. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1992.250 p.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. DINAMICA- A stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. Ecological Modelling, v.154, p. 217- 235. 2002.

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W. L. Tradução de LIMA, L. S. Modelagem de dinâmica Ambiental com DINAMICA EGO. Centro de Sensoriamento Remoto. 2009. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. Disponível em: < <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>>. Acesso em: 20 jun. 2013.

SOARES-FILHO, B. S.; ALENCAR, S.; NEPSTAD, D.; CERQUEIRA, G.; DIAZ, M. D. C. V.; RIVERO, S.; SOLÓRZANO, L.; VOLL, E. Simulating the response of land-cover changes to road

paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor. *Global Change Biology*, v. 10, p. 745-764. 2004.

SPEROTTO, F. Q. *A expansão do setor de celulose de mercado no Brasil: condicionantes e perspectivas*. 2014. Disponível em:

<<http://revistas.fee.tche.br/index.php/indicadores/article/view/3073>>

STEWART, G. A. et al. (Ed.). *Land evaluation*. Melbourne: Macmillan, 1968.

SPÖRL, C. *Modelo de Fragilidade Ambiental Utilizando Redes Neurais Artificiais* II SEPEGE, 2007. FFLCH-USP, São Paulo.

TURNER, B.L. *Toward Integrated Land-Change Science: Advances in 1.5 Decades of Sustained International Research on Land-Use and Land-Cover Change*. In: Steffen W., Jäger J., Carson D.J., Bradshaw C. (eds) *Challenges of a Changing Earth*. Global Change — The IGBP Series. Springer, Berlin, Heidelberg, 2002.

TURNER, B. L.; LAMBIN, E. F.; REENBERG, A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104 (52) 20666-20671, 2007.

TURNER B.L. *Toward Integrated Land-Change Science: Advances in 1.5 Decades of Sustained International Research on Land-Use and Land-Cover Change*. In: Steffen W., Jäger J., Carson D.J., Bradshaw C. (eds) *Challenges of a Changing Earth*. Global Change — The IGBP Series. Springer, Berlin, Heidelberg, 2002

TURNER, B. L. II; MEYER, B. L. *Global land use and land cover change: An overview*. In: Meyer, W. B.; Turner, B. L. II. Ed. *Changes in land use and land cover: a global perspective*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1994. p. 3-10.

VALÊNCIO, N. F. L. S. *Desastres: tecnicismo e sofrimento social*. *Ciênc. saúde coletiva* 19 (9) Set 2014.

WANG, X. *Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010*. *CATENA*, Volume 137, February 2016, Pages 256-268

WAN IBRAHIM, WI; MUHAMAD LUDIN, A. *Spatiotemporal Land Use Change Analysis Using Open-source GIS and Web Based Application*. *International Journal of Built Environment and Sustainability*, [S.l.], v. 2, n. 2, may 2015. ISSN 2289-8948.