

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**MODELAGEM DINÂMICA DO CENÁRIO
FLORESTAL EM UNIDADES DE PAISAGEM DO
BIOMA PAMPA**

TESE DE DOUTORADO

Diogo Belmonte Lippert

Santa Maria, RS, Brasil

2014

MODELAGEM DINÂMICA DO CENÁRIO FLORESTAL EM UNIDADES DE PAISAGEM DO BIOMA PAMPA

Diogo Belmonte Lippert

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira

Santa Maria, RS, Brasil

2014

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**MODELAGEM DINÂMICA DO CENÁRIO FLORESTAL EM
UNIDADES DE PAISAGEM DO BIOMA PAMPA**

elaborada por
Diogo Belmonte Lippert

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Florestal

Comissão Examinadora:

Rudiney Soares Pereira, Dr.
(Presidente/Orientador)

Cibele Rosa Gracioli, Dr^a. (UNIPAMPA)

Claire Delfini Viana Cardoso, Dr^a. (UFSM)

Elvis Rabuske Hendges, Dr. (UNIOESTE)

Liane de Souza Weber, Dr^a. (UFSM)

Santa Maria, 21 de Março de 2014

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

MODELAGEM DINÂMICA DO CENÁRIO FLORESTAL EM UNIDADES DE PAISAGEM DO BIOMA PAMPA

AUTOR: DIOGO BELMONTE LIPPERT

ORIENTADOR: PROF. Dr. RUDINEY SOARES PEREIRA

Local e Data da Defesa: Santa Maria, 21 de Março de 2014.

A construção de um modelo computacional para representar adequadamente a dinâmica florestal ainda é um desafio, visto que uma série de elementos atua como forças direcionadoras promovem a expansão e a redução florestal no Estado do Rio Grande do Sul. Ainda é complexo conjugar esses fatores e considerar seus valores em termos quantitativos e qualitativos para analisar sua influência essa dinâmica. Este estudo tem como objetivo relacionar a distribuição espacial de fatores ambientais e socioeconômicos com as áreas florestais em um modelo dinâmico e, a partir disso, simular prognósticos de localização e quantificação das florestas em unidades de paisagem presentes nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense. A metodologia consistiu no mapeamento de atributos físicos e socioeconômicos, no mapeamento do uso e cobertura da terra através da classificação digital de imagens MODIS e na estruturação de um modelo de simulação no aplicativo Dinamica EGO. Os resultados demonstraram a evolução dos padrões de uso e cobertura da terra, bem como os processos de expansão, redução e manutenção florestal entre os períodos de 2000 a 2006 e 2006 a 2012, nos quais a expansão mostrou-se superior aos demais processos. Através da modelagem dinâmica, ao simular cenários para o ano de 2024, foi possível concluir que a expansão florestal continuará ocorrendo. A floresta passará a ocupar o segundo lugar em cobertura da terra e sua concentração tenderá a ser maior nas macrozonas da Depressão Central e do Escudo Sul-Rio-Grandense.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. SIG. Modelagem Cartográfica. Dinamica EGO. Expansão Florestal. MODIS.

ABSTRACT

Doctoral Thesis
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

DYNAMIC MODELING OF FOREST SCENERY IN UNITS OF LANDSCAPE “BIOMA PAMPA”

AUTHOR: Diogo Belmonte Lippert
ADVISER: Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira
Defense Place and Date: Santa Maria, March ²¹, 2014.

The construction of a computational model to adequately represent the forest dynamics is still a challenge, since a number of elements acts as driving forces in promoting growth and reducing forest in the state of *Rio Grande do Sul* is complex yet combine these factors and consider their values in quantitative and qualitative terms to analyze their influence this dynamic. This study aims to relate the spatial distribution of environmental factors and socioeconomic factors on forests with a dynamic model and simulate predictions of localization and quantification of forests in the landscape units macrozones *Depressão Central*, *Cuesta do Haedo* and *Escudo Sul-Rio-Grandense*. The methodology consisted in mapping physical and socioeconomic attributes in use mapping and land cover classification using MODIS digital image and the structuring of a simulation model of the application Dinamica EGO. The results show the evolution of the use and land cover as well as the expansion, reduction and forest maintenance between the periods 2000 to 2006 and from 2006 to 2012, in which the expansion was superior to other processes. Through dynamic modeling, simulating for the year 2024, it was concluded that the forest expansion will continue to occur. The forest will occupy second place in land coverage and its concentration is greater during the macrozones *Depressão Central* and *Escudo Sul-Rio-Grandense*.

Keywords: Remote Sensing. GIS. Cartographic Modeling. Dinamica EGO. Forest Expansion. MODIS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Imagem falsa-cor MODIS de 11/07/2012 representando a delimitação da área de estudo por unidades de paisagem em macrozonas pertencentes ao Bioma Pampa presente no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.....	40
Figura 2 – Área de estudo por unidades de paisagem em macrozonas pertencentes ao Bioma Pampa presente no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.....	41
Figura 3 – Bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul.....	45
Figura 4 – Mapa da rede hidrográfica que abrange as macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, referentes à área de estudo.....	46
Figura 5 – Mapa da rede viária que abrange as macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, referentes à área de estudo.....	47
Figura 6 – Mapa das classes hipsométricas que abrangem as macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, referentes à área de estudo.....	48
Figura 7 – Concentração da densidade demográfica nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense.....	51
Figura 8 – Concentração da população urbana nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense.....	52
Figura 9 – Concentração da população rural nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense.....	53
Figura 10 – Concentração do Produto Interno Bruto (PIB) nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense.....	54
Figura 11 – Concentração da produção agrícola nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense.....	55
Figura 12 – Concentração da bovinocultura nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense.....	56
Figura 13 – Concentração da ovinocultura nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense.....	57
Figura 14 – Mapa de uso e cobertura da terra nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense no ano de 2000.....	71
Figura 15 – Mapa de uso e cobertura da terra nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense no ano de 2006.....	72
Figura 16 – Mapa de uso e cobertura da terra nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense no ano de 2012.....	73
Figura 17 – Processos de transição florestal nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, entre os anos 2000 e 2006.....	77
Figura 18 – Processos de transição florestal nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, entre os anos 2006 e 2012.....	78
Figura 19 – Processos de transição florestal nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, entre os anos 2000 e 2012.....	79
Figura 20 - Estrutura para o cálculo das matrizes de transição múltipla e única no aplicativo Dinamica EGO.....	83
Figura 21 - Estrutura para a criação do cubo raster no aplicativo Dinamica EGO.....	84
Figura 22 - Estrutura para a geração do <i>Skeleton</i> no aplicativo Dinamica EGO.....	85
Figura 23 - Estrutura para a geração do arquivo <i>Weights</i> no aplicativo Dinamica EGO.....	87
Figura 24 - Estrutura para o cálculo dos índices de correlação Cramer (V) e Incerteza de Informação Conjunta (U) no aplicativo Dinamica EGO.....	89
Figura 25 - Estruturação do modelo de simulação para a geração dos mapas de	

paisagem no aplicativo Dinamica EGO.....	91
Figura 26 - Estrutura para a geração mapas de similaridade no aplicativo Dinamica EGO.....	92
Figura 27 - Estrutura para o cálculo dos índices de similaridade por meio de múltiplas janelas no aplicativo Dinamica EGO.....	94
Figura 28 - Sequência de cenários anuais futuros simulados para as macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense para o ano de 2024...	104
Figura 29 – Cenário futuro simulado para a área de estudo, formada pelas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, para o ano de 2024.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação das cenas Landsat abrangentes de três macrozonas do Bioma Pampa e as respectivas datas analisadas.....	61
Tabela 2 – Qualidade da classificação digital segundo intervalos do coeficiente Kappa.....	64
Tabela 3 – Quantificação das áreas das classes temáticas das macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense nos anos 2000, 2006 e 2012.....	66
Tabela 4 – Cálculo do coeficiente Kappa para a classificação digital da imagem de 2000.....	67
Tabela 5 – Cálculo do coeficiente Kappa para a classificação digital da imagem de 2006.....	68
Tabela 6 – Cálculo do coeficiente Kappa para a classificação digital da imagem de 2012.....	68
Tabela 7 – Processos de evolução da cobertura florestal ocorridos nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense entre anos 2000, 2006 e 2012.....	74
Tabela 8 – Matriz de transição “múltipla” de uso e cobertura da terra nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, entre 2000 e 2012, em valores percentuais (%)......	96
Tabela 9 – Matriz de transição “única” de uso e cobertura da terra nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, entre 2000 e 2012, em valores percentuais (%)......	96
Tabela 10 – Variáveis de influência local de acordo com as transições de uso e cobertura da terra nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense durante os anos de 2000 a 2012.....	97
Tabela 11 – Valores ajustados para os algoritmos de simulação.....	100
Tabela 12 – Índices de similaridade <i>fuzzy</i> calculados através das funções de decaimento constante e decaimento exponencial para distintos tamanhos de janela.....	102
Tabela 13 – Área total das classes simuladas de uso e cobertura da terra.....	103
Tabela 14 – Matriz de transição múltipla (em valores percentuais), entre 2012 e 2024.....	105
Tabela 15 – Matriz de transição única (em valores percentuais), entre 2012.....	105

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	32
Equação 2.....	32
Equação 3.....	32
Equação 4.....	32
Equação 5.....	32
Equação 6.....	33
Equação 7.....	33
Equação 8.....	33
Equação 9.....	33
Equação 10.....	34
Equação 11.....	34
Equação 12.....	35
Equação 13.....	36
Equação 14.....	64
Equação 15.....	87
Equação 16.....	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC - Autômato Celular

APP - Áreas de Preservação Permanente

CSR - Centro de Sensoriamento Remoto

DSG - Diretoria de Serviço Geográfico do Exército

EGO - *Environment for Geoprocessing Objects*

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias

EOS - *Earth Observing System*

EVI - *Enhanced Vegetation Index*

HDF - *Hierarchical Data Format*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LEGAL - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico

MaxVer - Máxima Verossimilhança

MIR - *Mid Infrared*

MNT - Modelo Numérico do Terreno

MODIS - *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

MRT - *Modis Reprojection Tool*

NASA - *National Aerospace and Space Administration*

NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*

NIR - *Near Infrared*

PIXEL - *Picture element*

RDC - *Idrisi Raster Documentation File*

RST - *Idrisi Raster Format*

SEPLAG - Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*

TIFF - *Tagged Image File Format*

TM - *Thematic Mapper*

μm - *Micrômetro*

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Municípios integrantes da área de estudo.....	121
Apêndice B – Cálculo dos Pesos de Evidência para as transições de uso e cobertura da terra, sendo (2) Floresta, (3) Solo Exposto, (4) Água e (5) Campo.....	122
Apêndice C – Valores dos índices Cramer (V) e Incerteza de Informação Conjunta (U) para as transições de campo para floresta.....	134

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais características dos modelos de acordo com Pedrosa (2003)..	30
Quadro 2 – Representação de parte das redes viária e hidrográfica utilizadas no mapeamento, em escala de visualização 1:200.000.....	42

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
1.1 Macrozoneamento ambiental do Rio Grande do Sul	18
1.2 Aspectos físicos, socioeconômicos, históricos e culturais	18
1.2.1 O Bioma Pampa.....	19
1.2.1.1 Vegetação.....	20
1.2.1.1.1 As florestas plantadas.....	22
1.2.1.1.1.1 O gênero <i>Eucalyptus</i>	22
1.2.1.1.1.2 <i>Acácia mearnsii</i> De Wild.....	23
1.2.1.1.1.3 O gênero <i>Pinus</i>	26
1.3 Modelagem espacial dinâmica	27
1.3.1 Simulação estocástica.....	31
1.3.1.1 Método dos Pesos de Evidência.....	31
1.3.1.2 Autômatos Celulares.....	34
1.3.1.3 Cadeias de Markov.....	35
2 CAPÍTULO I: MAPEAMENTO DE ATRIBUTOS FÍSICOS E SOCIOECONÔMICOS	37
2.1 Introdução	37
2.2 Metodologia	39
2.2.1 Localização da área de estudo.....	39
2.2.2 Mapas físicos.....	42
2.2.2.1 Rede hidrográfica e rede viária.....	42
2.2.2.2 Hipsometria.....	43
2.2.3 Mapas socioeconômicos.....	43
2.3 Resultados e Discussão	44
2.3.1 Mapas físicos.....	44
2.3.2 Mapas socioeconômicos.....	49
2.4 Conclusão	58
3 CAPÍTULO II: MAPEAMENTO TEMÁTICO DO USO E COBERTURA DA TERRA E ANÁLISE TEMPORAL DAS FLORESTAS	59
3.1 Introdução	59
3.2 Metodologia	60
3.2.1 Mapeamento temático do uso e cobertura da terra.....	60
3.2.1.1 Processamento digital de imagens Landsat.....	60
3.2.1.2 Processamento digital de imagens MODIS.....	62
3.2.1.3 Classificação digital.....	63
3.2.2 Análise temporal da evolução florestal.....	65
3.3 Resultados e Discussão	66
3.3.1 Mapeamento temático do uso e cobertura da terra.....	66
3.3.2 Análise de transições florestais.....	74
3.4 Conclusão	80
4 CAPÍTULO III: MODELAGEM DINÂMICA E SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS	81
4.1 Introdução	81
4.2 Metodologia	81
4.2.1 Conversões das variáveis dinâmicas e estáticas.....	81
4.2.2 Modelagem no Dinamica EGO.....	82

4.2.2.1 Calibração do modelo.....	83
4.2.2.2 Simulação dos mapas de uso e cobertura da terra.....	88
4.2.2.3 Validação estatística do modelo.....	90
4.3 Resultados e Discussão.....	95
4.3.1 Modelagem dinâmica.....	95
4.3.1.1 Calibração.....	95
4.3.1.1.1 Cálculo das matrizes de transição.....	95
4.3.1.1.2 Cálculo dos Pesos de Evidência.....	97
4.3.1.1.3 Cálculo dos índices de correlação.....	99
4.3.1.2 Simulação de mapas de uso e cobertura da terra.....	100
4.3.1.3 Validação.....	101
4.3.1.4 Simulação de cenários futuros.....	103
4.4 Conclusão.....	106
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107
REFERÊNCIAS.....	109
APÊNDICES.....	120

INTRODUÇÃO

O ritmo de expansão das florestas plantadas do Rio Grande do Sul e do Brasil sofreu os efeitos da crise financeira mundial em 2009. Dados da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2010) indicam a queda na demanda dos principais produtos da cadeia de base florestal após o último trimestre de 2008 e durante o primeiro semestre de 2009. Nesse período, a taxa de expansão das florestas plantadas, que era de 5,5% ao ano entre 2005 e 2008, caiu para 2,5% ao ano (ABRAF, 2012). A recuperação do setor deu-se a partir da segunda metade de 2009, com a retomada das exportações de celulose e a retomada dos preços internacionais.

Nesse mesmo período, a introdução de florestas plantadas no Rio Grande do Sul passou a ser determinada pelo Zoneamento Ambiental para a Atividade de Silvicultura, Resolução CONSEMA 187/2008. Tal documento considera aspectos como uso e ocupação atual, grau de proteção, localização de espécies da flora e da fauna, localização de sítios arqueológicos e paleontológicos, potencial turístico, fatores socioeconômicos e fatores climáticos, dentre outros (FEPAM, 2012).

Sabe-se que a ocorrência da atividade de silvicultura, está de fato, associada a tais condicionantes, e essas atuam como variáveis influentes na expansão florestal por espécies introduzidas, tais como eucalipto, pinus, acácia e outras. No entanto, há alguns anos vem sendo constatado o acréscimo de áreas de florestas nativas em todas as regiões do Estado. Dados do Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul mostraram que a cobertura florestal nativa passou de 5,83% em 1983 para 17,53% em 2001 (SEMA, 2012), e que esse fato decorre do abandono de áreas de difícil acesso ao cultivo, pela maior conscientização dos produtores sobre a importância das florestas para o meio ambiente e pelo maior rigor no cumprimento da legislação, atualmente em vigor pelo novo Código Florestal, Lei Federal 12.651 de maio de 2012 (BRASIL, 2013).

Resultados recentes sobre a expansão de florestas nativas no Rio Grande do Sul são apresentados em Hendges (2007) e Hendges et al., (2012). Os autores utilizaram modelos estocásticos de simulação e previram um aumento exponencial das florestas até o ano de 2020. A modelagem computacional para a simulação de mudanças de uso e cobertura da terra, que incluem a dinâmica florestal, constitui uma técnica de pesquisa recente no Brasil. Sua

aplicabilidade foi concebida pelos modelos LUCC (*Land Use and Land Cover Change*) (CÂMARA et al., 2005) para estudar processos de desmatamento na região amazônica.

A realidade do sul do Brasil, no entanto, difere-se daquela, uma vez que se constata a ocorrência do processo inverso de conversão de uso e cobertura da terra, no que diz respeito às florestas. Uma série de aspectos, provavelmente de cunho socioeconômico, ambiental, legislativo, cultural e mesmo histórico vem, ao longo dos anos, promovendo a incorporação de áreas florestais, de espécies nativas e de espécies introduzidas.

É um desafio para os pesquisadores construir um modelo computacional que represente adequadamente essa dinâmica, visto que uma série de elementos atua como forças direcionadoras que propagam a expansão e a redução florestal no Estado. Ainda é complexo conjugar esses fatores e considerar seus valores em termos quantitativos e qualitativos para analisar a influência que exercem sobre essa dinâmica. Nesse âmbito, o estudo tem como objetivo geral relacionar a distribuição espacial de fatores socioeconômicos com as áreas florestais em um modelo dinâmico e, a partir disso, simular prognósticos de localização e quantificação das florestas na área de estudo.

O desenvolvimento de tal estudo será proposto em três diferentes fases, as quais serão descritas em capítulos ao longo do texto. O primeiro capítulo será destinado ao levantamento e mapeamento de dados socioeconômicos referentes à área de estudo. Também serão mapeados nessa fase atributos físicos da paisagem. Julga-se que essas informações são condicionantes de mudanças ou não da paisagem local, uma vez que refletem aspectos ambientais, econômicos e culturais. O segundo capítulo tratará dos processos de dinâmica florestal, ao contabilizar áreas de expansão e/ou redução de áreas de floresta e outras classes de uso e cobertura da terra por meio de técnicas de classificação digital de imagens de satélite de diferentes datas. Por fim, o terceiro capítulo será voltado para a criação de um modelo espacial dinâmico que utilizará as informações coletadas anteriormente para efetuar a previsão de um cenário futuro para a paisagem em estudo.

1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Macrozoneamento ambiental do Rio Grande do Sul

O macrozoneamento ambiental do Rio Grande do Sul expressa os principais padrões de uso e ocupação da terra, de cobertura vegetal e de relevo. Para elaborar o mapa de macrozoneamento foram utilizados um mosaico de imagens Landsat do Rio Grande do Sul (Bandas 3, 4 e 5), uma composição de imagens do Satélite NOAA de novembro e dezembro de 1999 e fevereiro de 2000 com informações de máximo índice mensal de vegetação, além do mapa geomorfológico do projeto RADAM BRASIL e do mapa altimétrico do Rio Grande do Sul. A sobreposição das informações mapeadas resultou na definição de cinco macrozonas: Planalto, Cuesta do Haedo, Depressão Central, Escudo Sul-Rio-Grandense e Planície Costeira (GUASSELLI, et al., 2006). Dentre essas, três são componentes da área de estudo (Cuesta do Haedo, Depressão Central, Escudo Sul-Rio-Grandense), sendo nesse capítulo será abordada uma revisão conceitual sobre algumas de suas características.

1.2 Aspectos físicos, socioeconômicos, históricos e culturais

Sabe-se que, historicamente, o homem para atender as suas necessidades foi se instalando em locais estratégicos, construindo vilarejos e territórios, que proporcionassem dinâmica econômica e social. Os aspectos físicos possuem uma real relevância na paisagem, pois os elementos naturais, como a constituição do solo o seu revestimento por vegetação, o clima, a diversidade da fauna, entre outros, possibilitam que a natureza se desenvolva de maneira harmônica.

A Metade Sul do Rio Grande do Sul, na qual está inserida a área de estudo, era, basicamente, pecuarista até a introdução da soja a partir dos anos 1960 no norte do Estado, cuja expansão se deu para o sul, inserindo no pampa gaúcho as atividades ligadas à agricultura, essencialmente, monoculturas de trigo e soja (VERDUM, 2006).

No entanto, segundo Hasse (2006), o registro da história econômica do Rio Grande do Sul privilegiou a narrativa dos ciclos ligados à pecuária e esqueceu o ciclo de exploração da madeira, matéria-prima importante para o processo de modernização do Estado quanto os couros, as carnes bovinas, a lã de ovelha ou a banha suína. Os estudos focalizam mais os produtos de exportação porque sobre esses sempre existiram dados estatísticos nos órgãos públicos. Embora o mercado interno tenha um peso econômico muito maior do que as contas da balança comercial com o exterior, os produtos voltados exclusivamente para dentro do País carecem de registros históricos consistentes, o que é intensificado antes da fundação do IBGE, em 1938 (HASSE, 2006).

Das políticas de incentivo do Governo Estadual, a partir de 2004, o setor de base florestal passou a ser priorizado, a fim de converter o Estado em um pólo florestal. A região da Metade Sul tem sido prioritária para esses investimentos devido à sua caracterização pelo baixo e histórico nível de desenvolvimento econômico e social (BINKOWSKI, 2009).

1.2.1 O Bioma Pampa

O Rio Grande do Sul está inserido em dois biomas: Mata Atlântica, ao norte do Estado, em altitudes maiores, e bioma Pampa, na metade sul.

O Bioma Pampa é restrito ao estado do Rio Grande do Sul (BOLDRINI et al., 2010). Esses biomas são formados por ecossistemas naturais com alta diversidade de espécies animais e vegetais, que garantem serviços ambientais importantes, como a conservação de recursos hídricos, a disponibilidade de polinizadores e o provimento de recursos genéticos, além de constituírem uma grande fonte forrageira para a pecuária do sul do Brasil (PILLAR et al., 2009).

O Bioma Pampa, também denominado de “Campos Sulinos”, é constituído por uma vegetação em forma de mosaico de campo e floresta, que ainda apresenta certo aspecto natural em algumas regiões menos degradadas, apesar das alterações na paisagem, que têm ocorrido em consequência da agricultura, pecuária e silvicultura (GRACIOLI, 2010).

Esse Bioma ocupa grande parte do território do Rio Grande do Sul (62,2%), parte da Argentina e todo o território do Uruguai (BOLDRINI et al., 2010). Essas áreas passaram a sofrer mudanças desde a época da colonização, especialmente com as demarcações de

fronteiras, com a introdução da pecuária e o estabelecimento da estrutura fundiária de médias e grandes propriedades conhecida até hoje.

A região do Pampa apresenta um papel significativo na conservação da biodiversidade, pois apresenta riqueza de flora e fauna ainda pouco pesquisadas (BINKOWSKI, 2009). Segundo Boldrini et al. (2010), existem mais de 2.200 espécies campestres, constituindo um patrimônio genético notável e que até a pouco tempo foi negligenciado.

1.2.1.1 Vegetação

Na Região Sul do Brasil ocorrem naturalmente fragmentos das amplas áreas originalmente cobertas por ecossistemas florestais, que também cobriam a maioria dos estados da Região Sul. No Rio Grande do Sul, a cobertura vegetal original do território era aproximadamente 1/3 constituída por ecossistemas florestais (CORDEIRO e HASENACK, 2009) que se estendiam até aproximadamente a latitude 30°S (LINDMAN, 1906; RAMBO, 1956) citados por VENZEK (2012).

Os fragmentos florestais nas macrozonas estão distribuídos em paisagens cultivadas e encontrados na forma de pequenos fragmentos, altamente perturbados, geralmente isolados e pouco protegidos, conforme Viana (1995) cita para a Mata Atlântica. Na área de estudo, na maioria são pequenos e pouco conectados representando uma proporção pequena da área nativa remanescente. Esses fragmentos estão distribuídos principalmente em ambientes de topografia mais acidentada, de difícil acesso ou pedregosos e que não servem para a agricultura.

A área florestal classificada como Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2012), encontra-se localizada sobre a vertente leste da província geomorfológica do Escudo Sul-Rio-Grandense. A matriz vegetacional predominante apresenta fitofisionomia florestal, constituída por uma floresta de encosta com dossel contínuo. A floresta se entende até as partes altas e planas do Escudo, que se situam a aproximadamente 500 m de altitude (STRECK et al., 2008), sendo que acima desta altitude predomina uma vegetação campestre herbáceo-arbustiva (HEIDEN e IGANCI, 2009). Antes dos processos antrópicos a fragmentação era esparsa e a formação das clareiras era consequência da queda de árvores e existência de afloramentos rochosos, localizados principalmente no topo dos morros (VENZKE, 2009).

Os ecossistemas de campos sulinos, com padrão de vegetação rasteira e poucas árvores ou arbustos esparsos, exceto próximos a corpos d'água, estendem-se entre as latitudes 24°S e 35°S, incluindo partes do Brasil, do Paraguai e da Argentina e a totalidade do Uruguai (SUTTIE et al., 2005).

Fitogeograficamente, os campos do sul do Brasil estão na região Neotropical e fazem parte de dois domínios biogeográficos, o Amazônico e o Chaquenho, representados pelas províncias do Paraná (PR, SC e norte do RS) e Pampeana (sul do RS), respectivamente (CABRERA e WILLINK, 1980). O limite entre essas províncias mais ou menos corresponde à latitude 30°S, o mesmo limite que separa os biomas Mata Atlântica e Pampa na classificação brasileira (IBGE, 2012).

Os ecossistemas atuais de campo natural na região sul do Brasil incluem os campos subtropicais e os campos de altitude, os quais abrangem uma área menor que a florestal. Os campos subtropicais podem ser encontrados na Depressão Central, na Serra do Sudeste e na região da Campanha, mas, principalmente, na metade sul do Rio Grande do Sul (PILLAR et al., 2009; BALDI e PARUELO, 2008).

A vegetação campestre original já foi descaracterizada em torno de 51% (ou um pouco mais de 64.000 km²) a partir da ação humana para urbanização e atividades econômicas (HASENACK et al., 2006). Outro fator importante é que a vegetação, solos e a própria riqueza de condições geológicas e geomorfológicas, aspectos hidrológicos e a ordem climática tornam o território não homogêneo (BOLDRINI et al., 2010).

Segundo Gracioli (2010), os campos possuem estrutura, função e dinâmica particular e representam ecossistemas altamente interativos. Sua existência é condicionada por fatores abióticos (solo, relevo, dinâmica hidro-geomorfologia e, principalmente, clima), pela ação antrópica (queimadas, agricultura, fragmentação, alteração de habitats, introdução de espécies etc.) e por perturbações ditas naturais, como geadas, estiagem e, especialmente, o fogo.

Nessas paisagens campestres, destacam-se as florestas de galeria, por vezes denominadas ciliares, ripárias ou ripícolas, que são formações silváticas associadas à margem de rios e outros cursos d'água. Fitoecologicamente, trata-se da vegetação florestal às margens de cursos d'água, independentemente de sua área ou região de ocorrência e de sua composição florística. As matas ciliares limitam-se a um estreito cordão ou compõem faixas de largura variável, seguindo as características do relevo, compreendendo ao longo de um transecto uma ou mais comunidades, que se distinguem pela composição florística associada aos respectivos habitats (DEMATTE, 1989; Ab'SABER, 2000; MARCHIORI, 2004).

1.2.1.1.1 As florestas plantadas

A atividade florestal tem se desenvolvido fortemente nos últimos cento e cinquenta anos, tendo como um dos seus objetivos o crescimento da livre extração florestal, resultando no desmatamento e destruição das áreas florestais sem reflorestar novas áreas. O objetivo do setor é de impedir que isso ocorra, garantindo ao mercado um desenvolvimento econômico sustentável, que mantenha crescente a oferta de florestas, reflorestando territórios destinados exclusivamente para o desenvolvimento da silvicultura.

Em 2012, não é possível afirmar que ocorreu crescimento da área de plantios florestais de *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil, pois o aumento de área apurado (148.968 ha), em torno de 2,2%, está dentro da margem de erro do levantamento feito pela ABRAF. O indicador de 2012 corrobora a tendência de desaceleração do crescimento da área de plantios apresentada nos dois anos anteriores. No período 2006-2012, o crescimento médio anual foi de 2,8% (ABRAF, 2013).

Segundo a ABRAF (2013), as principais razões para a estagnação do crescimento da área de plantios florestais em 2012 foram:

- as restrições impostas pelo governo brasileiro para a compra de terras por grupos nacionais que possuam composição majoritária de capital estrangeiro;
- a reduzida atividade econômica nos países da União Europeia e nos Estados Unidos, países importadores de produtos florestais ou da cadeia de base florestal plantada;
- a redução da competitividade no mercado internacional dos produtos da cadeia produtiva brasileira de base florestal; e
- a excessiva burocratização e os longos prazos requeridos pelos órgãos ambientais nos processos de licenciamento ambiental de novos projetos florestais e industriais no país.

1.2.1.1.1.1 O gênero *Eucalyptus*

O eucalipto é uma árvore nativa da Austrália, do Timor e da Indonésia, sendo exótico em todas as outras partes do mundo. Os primeiros plantios datam do início do século XVIII, na Europa, na Ásia e na África. Já no século XIX, começou a ser plantado em países como Espanha, Índia, Brasil, Argentina e Portugal. As principais espécies cultivadas atualmente no

Brasil incluem o *Eucalyptus grandis*, o *Eucalyptus camaldulensis*, o *Eucalyptus saligna* e o *Eucalyptus urophylla*, entre outras. Além disso, foram desenvolvidos cruzamentos entre as espécies, resultando em híbridos, como é o caso do *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* X *E. urophylla*). (BRACELPA, 2013).

Espécies do gênero *Eucalyptus* são cultivadas no Rio Grande do Sul desde o final do século XIX, a partir de mudas introduzidas no Chile. A árvore era conhecida também no Rio de Janeiro, onde haviam sido plantadas duas mudas vindas de Portugal, em 1824. Em 1906, o Engenheiro Agrônomo Edmundo Navarro de Andrade trouxe sementes da Austrália para Rio Claro-SP de diversas espécies do gênero e em 1908 foi dado o início do plantio comercial da espécie no Brasil. Não se constitui na primeira floresta cultivada, porque anteriormente os gaúchos já plantavam a acácia-negra (*Acacia mearnsii*), mas para outros fins, como a produção do tanino, para a indústria de curtimento de couros (HASSE, 2006).

O *Eucalyptus* plantado para atender às necessidades de lenha das fazendas e de alguns segmentos da economia foi de fato a primeira árvore a romper o ciclo do extrativismo madeireiro que desde 1500 marca a história brasileira. Abastecendo não apenas as ferrovias construídas para transportar gado e outros bens pelo Pampa a fora. Foi sua lenha que ajudou a manter em operação diversos ramos da agroindústria gaúcha, como as de arroz, banha, cana, charque, mandioca, fumo, trigo e outras que tinham um pé na lavoura e outro na cidade (HASSE, 2006).

Em 2012, a área de plantios de *Eucalyptus* no país totalizou 5.102.030 ha representando crescimento de 4,5% frente ao indicador de 2011. O principal fator que alavancou esse crescimento foi o estabelecimento de novos plantios frente à demanda futura dos projetos industriais do segmento de Papel e Celulose (ABRAF, 2013).

1.2.1.1.1.2 *Acacia mearnsii* De Wild.

No Brasil, as primeiras mudas de *Acacia mearnsii* foram plantadas em 1918, no município de São Leopoldo, Rio Grande do Sul, por Alexandre Bleckmann, sendo cultivadas cerca de setecentas árvores, e se passou a receber uma grande atenção por parte dos agricultores (MÜLLER, 2006).

O primeiro plantio com fins comerciais foi estabelecido dez anos depois, por Júlio C. Lohmann, no Município de Estrela, no Rio Grande do Sul, região do Vale do Rio Taquari,

cerca de 100 quilômetros a noroeste de Porto Alegre, com tal êxito que, em 1930, foram importadas sementes da África do Sul, para implantação de povoamento em grande escala (OLIVEIRA, 1968).

Os plantios comerciais tiveram início em 1930, com a importação de 30 quilos de sementes da África do Sul e, em 1941, iniciou-se a utilização comercial dessa espécie com a criação da SETA – Sociedade Extrativa de Tanino de Acácia Ltda. Em 1957, existiam 81 milhões de árvores de acácia negra plantadas e, mais recentemente a área em cultivo com esta espécie equivale a cerca de 30% da área plantada com florestas no Estado (MÜLLER, 2006). Atualmente o Estado do Rio Grande do Sul apresenta 180 mil hectares plantados com a espécie (AGEFLOR, 2013).

A acácia negra é considerada uma das principais espécies florestais plantada no Rio Grande do Sul, cuja área plantada atualmente é superior a 160 mil hectares, e distribuída principalmente em minifúndios (pequenas e médias propriedades), perfazendo cerca de 60% das plantações das propriedades, cuja mão-de-obra é quase que exclusivamente familiar, beneficiando atualmente mais de 40 mil famílias. A cultura dessa espécie é de fundamental importância para as indústrias de tanino, chapas e celulose no Estado. Da casca é extraído o tanino, usado principalmente no curtimento do couro e peles. A madeira além do uso tradicional como lenha e carvão, é usada como matéria-prima de superior qualidade para a fabricação de celulose e papel, além de vários outros usos (RESENDE et al., 1992).

Segundo Tonietto e Stein (1997) e Simon (1999), o programa anual de plantio no Rio Grande do Sul oscilava entre 15 e 20 mil hectares. O aproveitamento múltiplo dos recursos, aliado à boa remuneração, faz desta cultura uma das melhores opções de investimento no setor primário.

De acordo com Schneider et al. (2000), em 1980, no Rio Grande do Sul, existiam cerca de 4.400 produtores de casca de acácia negra. Deste total, mais de 4000 estavam localizados nas microrregiões homogêneas, em Porto Alegre, Colonial, Encosta da Serra Geral e Vale do Jacuí. Atualmente, as áreas de cultivo foram ampliadas, tendo-se desenvolvido um importante polo florestal com essa espécie na região da Serra do Sudeste.

A acácia negra é uma importante espécie da família Fabaceae e a terceira espécie mais plantada no Brasil, em plantações florestais comerciais. No Rio Grande do Sul, é importantíssima, pois é carro-chefe de uma das principais atividades das pequenas e médias propriedades rurais. Estima-se que mais da metade dos plantios de acácia-negra no Estado localiza-se em propriedades familiares. Ao longo do tempo as plantações de acácia negra, receberam o aporte de inúmeras tecnologias geradas e transferidas por instituições públicas e

por empresas industriais. Tem sido utilizada basicamente para produção de energia e de tanino, mas é potencial prestadora de serviços na recuperação de áreas deterioradas e na fixação de nitrogênio. Os plantios comerciais de acácia-negra concentram-se no Rio Grande do Sul. Além de seus diversos usos, essa espécie chegou à posição em que está na escala de produção nacional, principalmente, por ser uma espécie de rápido crescimento e que pode ser associada a cultivos agrícolas (milho, mandioca, fumo – mais comuns em áreas de revegetação pelo fogo – batata e melancia) e atividades pastoris (no terceiro ano pós-plantio) (EMBRAPA, 2012).

A acácia-negra é de grande importância econômica e social nas pequenas propriedades existentes na região de plantio. A maioria dos proprietários planta e colhe a acácia-negra na entres safra. Na região de produção, para a maioria dos produtores a acácia-negra constitui-se em uma das principais atividades na formação da renda rural e em muitos casos é a única atividade na propriedade rural e, portanto, a única fonte de renda rural. Em média o valor da produção anual para os produtores rurais é de R\$ 113,1 milhões, sendo R\$ 5,1 milhões provenientes da comercialização da casca e R\$ 108 milhões, da madeira (TONIETTO e STEIN, 1997).

Nos municípios produtores a acácia-negra tem grande participação na arrecadação indireta de impostos, uma vez que sobre a comercialização da madeira não incidem impostos. Considerando-se os coeficientes técnicos apenas da produção primária (no nível de propriedade rural) que vai do preparo do solo, plantio, tratos culturais, descascamento, derrubada e corte das árvores e baldeio da madeira e casca, a acácia-negra gera em torno de 10.400 empregos diretos e com dedicação exclusiva ao cultivo da espécie, mais de 20 mil famílias vivem dessa cultura (MORA, 2002).

No final dos anos 2000, grande parte do cavaco exportado pelo porto de Rio Grande era originária das regiões de Piratini e Pinheiro Machado, proporcionando uma aplicação de R\$ 50 milhões na ampliação do cais do terminal portuário Bianchini, que quase dobrou de tamanho. Os investimentos desenvolveram a atividade e aumentaram a capacidade de competição do setor produtivo brasileiro no mercado mundial, visando a geração de emprego, ocupação e renda, aumento das exportações, competição com as importações e com serviços internacionais e desenvolvimento tecnológico e regional. Por volta de 2008, a crise internacional vivenciada pelos países importadores da madeira local fez com que o mercado desacelerasse, ocasionando um abarrotamento daquela acácia que havia sido recentemente plantada e hoje está pronta para corte (AGEFLOR, 2013).

1.2.1.1.1.3 O gênero *Pinus*

O pinus chegou ao Brasil há mais de um século pelas mãos dos imigrantes europeus que plantavam a espécie para fins ornamentais. As primeiras plantações de que se tem notícia foram de *Pinus canariensis*, proveniente das Ilhas Canárias, em torno de 1880, no Rio Grande do Sul. Um dos objetivos mais importantes da introdução do pinus no País foi suprir a necessidade de madeira para abastecimento industrial, destinada à produção de madeira serrada, de madeira laminada para confecção de painéis e, também, de celulose e papel. Por volta de 1950, as espécies, principalmente de *Pinus elliottii* e *P. taeda*, começaram a ser cultivadas em escala comercial para produção de madeira (BRACELPA, 2013).

Com isso, cooperou para o crescimento das fábricas regionais de celulose, papel, serrarias, móveis, etc. Mais tarde, com a introdução dos pinus tropicais, o gênero espalhou-se por todo o País, sendo que seu reflorestamento ainda se encontra em expansão. Hoje, as estatísticas apontam que os plantios já alcançaram cerca de 1,8 milhões de hectares com Pinus no Brasil, com excelentes incrementos médios que variam de 20 a 35 m³/ha. ano (FOEKEL, 2008).

A partir do ano de 2006, segundo o Anuário Estatístico da ABRAF de 2012, os plantios de pinus têm apresentado uma constante queda, no entanto consiste em um dos mais importantes gêneros de árvores utilizadas para plantações florestais no Brasil. A sua grande versatilidade, sua rusticidade e adaptabilidade, seu excelente ritmo de crescimento, aliados à qualidade da madeira e dos produtos com ela fabricados, têm feito com que o cultivo do pinus seja um sucesso no Brasil. O gênero possui espécies tolerantes a baixas temperaturas e ao plantio em solos rasos e pouco produtivos para agricultura. Espécies de pinus ocupam 1.641.892 mil hectares de áreas de florestas plantadas que abastecem as fábricas de celulose da indústria moveleira instaladas no Brasil; no Rio Grande do Sul a área plantada é de 164.806 hectares. O melhoramento genético tornou o uso industrial do pinus cada vez mais viável (FOEKEL, 2008; BRACELPA, 2013; ABRAF, 2012).

Segundo o anuário da ABRAF (2013), a área de plantios de Pinus no país totalizou 1.562.782 ha em 2012, valor 5,1% inferior ao registrado em 2011. Esse resultado corrobora a tendência de redução da área plantada de Pinus em prol da substituição por plantios de Eucalyptus. Analisando o período 2006-2012, a redução da área ocupada por Pinus foi de 79.110 ha (-3,1% a.a.).

1.3 Modelagem espacial dinâmica

O estado da arte de ciências como o Geoprocessamento, o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) volta-se para a representação de fenômenos dinâmicos, com variação espacial e temporal explícita.

O Geoprocessamento tem por objetivo fornecer ferramentas computacionais para que diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico, bem como as inter-relações entre diferentes fenômenos (CÂMARA e MEDEIROS, 1998).

O Geoprocessamento necessariamente se apoia em estruturas de percepção de fenômenos ambientais, em princípio as que proporcionem a consecução de seu objetivo principal, a transformação de dados geograficamente referenciados em informação relevante. Uma destas estruturas é a visão sistêmica, na qual a realidade é percebida como composta por fenômenos físicos ou virtuais, compondo sistemas identificáveis que se organizam e segundo diversos tipos de relacionamentos, entre os quais ressaltam, como exemplos relevantes para as investigações ambientais, as relações de inserção (hierarquias), topologia (proximidade/contiguidade) e funcionalidade (causalidade). Segundo essa perspectiva, a realidade ambiental pode ser, portanto, percebida como um agregado de sistemas relacionados entre si (XAVIER DA SILVA, 2007).

O Sensoriamento Remoto pode ser definido como a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2010). As informações oriundas dos sensores remotos constituem imagens que, por sua vez, possuem alguns parâmetros inerentes, tais como: resolução espacial, resolução espectral, resolução radiométrica, resolução temporal e largura da faixa imageada, que variam de acordo com o satélite imageador (ROCHA, 2000).

Sistemas de Informações Geográficas constituem um conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre um mundo real para um objetivo específico (BURROUGH e McDONNELL, 1998). De acordo com Longley et al. (2013), os SIG são sistemas computacionais feitos para armazenar e processar informação geográfica. Eles são ferramentas que melhoram a eficiência e efetividade do tratamento da informação de aspectos e eventos geográficos. Eles podem ser usados para muitas outras

tarefas úteis, como armazenar grandes quantidades de informações geográficas em banco de dados, realizar operações analíticas numa fração do tempo necessária para fazê-lo manualmente e automatizar o processo de confecção de mapas úteis.

Um SIG deve possuir os seguintes componentes: a) interface com o usuário; b) entrada e manipulação de dados; c) funções de processamento, visualização, armazenamento e recuperação de dados (ARONOFF, 1989). Para Câmara e Medeiros (1998), os SIG devem ter a capacidade de inserir e integrar, em uma única base de dados, informações provenientes de dados cartográficos, dados censitários, de cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos do terreno e oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação, análise, consulta, recuperação, visualização e plotagem dos dados.

Até recentemente fenômenos espaciais eram representados no computador de forma estática, uma vez que sua principal forma de abstração constitui-se no mapa. No entanto, é crescente a obstinação da ciência da informação espacial em desenvolver técnicas eficazes na representação adequada de fenômenos dinâmicos (PEDROSA e CÂMARA, 2007).

A dinâmica da paisagem, particularmente mudanças no uso e cobertura da terra, vem sendo avaliada por meio da aplicação de técnicas de modelagem e o uso de diversos recursos cartográficos. Para Sabins (1999), o uso do Sensoriamento Remoto propicia a realização de um inventário sistemático da superfície da terra, possibilitando a categorização dos diferentes usos em classes. Quando esse mapeamento for associado aos SIG, possibilita o conhecimento da evolução da dinâmica espacial do uso da terra, com a produção de séries temporais de mapas para uma mesma área.

A obtenção de mapas temporais de uso e cobertura da terra permite identificar as tendências da dinâmica da paisagem na área de estudo, incluindo suas taxas líquidas e brutas para cada período analisado, como também a evolução dessas taxas através do tempo (SOARES-FILHO et al., 2005).

Por "cobertura da terra" entende-se como o estado físico, químico e biológico da superfície terrestre, por exemplo, floresta, gramíneas, água, ou área construída. E "uso da terra" refere-se aos propósitos humanos associados àquela cobertura, por exemplo, pecuária, recreação, conservação, área residencial (TURNER et al., 1994).

Quanto à "cobertura", ocorrem mudanças estruturais e funcionais causadas por fenômenos naturais e ações humanas, como alterações na biomassa e na produtividade da vegetação. Em termos de "uso", ocorre intensificação ou mudanças nos seus atributos, por

exemplo, em sistemas agrícolas como a ocorrência de intensificação, extensificação, marginalização e abandono (ALVES et al., 2002).

Estabelecer cenários que visem a sustentabilidade requer a compreensão dos processos de mudança de uso e cobertura da terra. Para isso, a aplicação de modelos espaciais dinâmicos foi proposta por Pedrosa (2004), uma vez que descrevem a evolução de padrões espaciais de um sistema ao longo do tempo.

O uso da modelagem dinâmica é então indicado, uma vez que procura superar as limitações atuais do Geoprocessamento, fortemente baseado em uma visão estática e bidimensional do mundo; pois o objetivo dos modelos dinâmicos em um SIG é realizar a simulação numérica de processos dependentes do tempo (BURROUGH e McDONNEL, 1998).

A modelagem é um processo de pesquisa que leva à representação de um sistema (modelo). Esse processo desenvolve-se, então, por meio da definição de um conjunto de hipóteses ou predições, que poderão ser comparadas com medidas do mundo real. Dependendo da concordância entre o observado e o resultado gerado, o modelo será aceito, rejeitado ou modificado de alguma maneira, para novamente ser testado (SOARES-FILHO, 1998). Um modelo é dinâmico se ele possui uma dimensão temporal explícita, e suas entradas e saídas variam com o tempo, e também se seus estados dependem de estados anteriores (ALMEIDA, 2003). Goodchild et al., (1993) classifica os modelos dinâmicos em três grupos: modelo de escala, modelo conceitual e modelo matemático.

O modelo de escala é, em geral, um modelo que reproduz uma redução simplória do sistema original; o modelo conceitual descreve o processo através da construção de fluxogramas que mostram o sistema principal e os processos e inter-relações entre os subsistemas formadores deste; e o modelo matemático utiliza-se de sistemas de equações em sua construção, podendo ser classificado em dois grupos distintos: determinísticos e estocástico-probabilísticos.

Briassoulis (2000) classifica os modelos por seus aspectos metodológicos e funcionais, em: estatísticos ou econométricos; modelos de interação espacial; modelos de otimização (incluindo programação linear, dinâmica, hierárquica e não linear assim como modelos de maximização de utilidades e modelos multicritérios de tomada de decisão); modelos integrados (modelos de gravidade, de simulação e de entrada-saída); modelos baseados em ciências naturais; modelos baseados em SIG e modelos baseados em cadeias de Markov.

Pedrosa (2003) citado por Grigio (2008) propõe um resumo das características-chave de cada tipo de modelo, segundo o potencial de cada um deles para responder perguntas como: porquê?, quando? e onde?, apresentadas no quadro 1.

Modelo	Porquê	Quando	Onde
Cadeias de Markov	Não pode explicar a razão de um fenômeno por ser processo estocástico e não suportar a inclusão de variáveis exógenas	Pode prever a evolução de processos estacionários	Pode prever distribuições espaciais de elementos do modelo se for combinado com SIG
Logístico de difusão	Permite a inclusão de poucas variáveis exógenas, entretanto é um modelo descritivo, não suportando investigações exploratórias	Suporta a dimensão temporal, podendo prever a evolução de processos não estacionários	Pode prever distribuições espaciais de elementos do modelo se for combinado com SIG
Regressão	Contribui para identificar forças direcionadoras, entretanto são modelos descritivos, não sendo capaz de estabelecer relações causais entre as variáveis	Pode prever a evolução de processos estacionários	Não são modelos espaciais, entretanto podem ser combinados com SIG
Simulação de Ecossistemas	Modelo exploratório que requer descrições funcionais dos sistemas ecológicos	Pode formular cenários de mudanças futuras no uso do solo, baseado nos parâmetros do modelo	Apresenta dificuldades na representação espacial
Simulação Espacial Dinâmica	Requer modelos funcionais espacialmente definidos	Pode prever mudanças temporais no uso do solo, baseado nos parâmetros do modelo	Pode prever evolução de padrões espaciais em processos determinísticos

Quadro 1 - Principais características dos modelos de acordo com Pedrosa (2003).

Fonte: Grigio (2008, p. 17).

Um modelo estocástico será implementado nesse estudo. Como regra, essa modelagem apresentará soluções associadas a uma probabilidade de ocorrência de determinado fenômeno.

1.3.1 Simulação estocástica

Segundo o aspecto probabilístico, um modelo pode ser considerado determinístico se para os mesmos valores de entrada o modelo produz sempre os mesmos resultados (DOOGE, 1973; LIMA, 2011), ou seja, não é considerado nenhum grau de aleatoriedade no processo modelado. Ou poderá ser estocástico, caso o modelo trabalhe na ótica da probabilidade de ocorrência dos resultados, ou seja, se considera algum grau de aleatoriedade nos processos modelados. Os modelos estocásticos são também conhecidos como probabilísticos, que são sistemas que contém um ou mais elementos nos quais a relação entre valores de entrada e valores produzidos é estatística (DOOGE, 1973; LIMA, 2011).

1.3.1.1 Método dos Pesos de Evidência

O método baseia-se no Teorema de Bayes que determina a possibilidade de ocorrer um evento, dada a ocorrência prévia de uma evidência. A probabilidade *bayesiana* está relacionada a dois conceitos: a probabilidade *a priori* $P(D)$ e a probabilidade *a posteriori* $P(D|B)$ (BONHAM-CARTER, 1994; ALMEIDA, 2003; ALMEIDA et al., 2007; SILVA, 2003).

Dado que $N\{T\}$ representa o conjunto total de dados, e $M\{F\}$ o conjunto de dados devido a ocorrência de certo evento, então a probabilidade prévia de ocorrer tal evento é expressa por: $P\{F\} * M\{F\} / N\{T\}$, caso não sejam consideradas outras evidências (SILVA, 2003). Como exemplo, um mapa *booleano* de evidência E_1 , que represente a presença de uma feição especial F : se verdadeira a presença da feição especial, o atributo será 1; se for ausente, será falso, portanto, zero (0).

A probabilidade de a evidência estar presente, $P\{E_1\}$, é a relação entre o conjunto do número total de evidências e o número total de dados em questão. Supondo-se que o conjunto, dada a ocorrência de uma evidência, é $N\{E_1\}$, então a probabilidade prévia de a feição estar presente é dada por $P\{E_1\} = N\{E_1\} / N\{T\}$.

A probabilidade da existência da interseção entre a feição especial F e a evidência E_1 , dada pela equação $P\{F \cap E_1\}$, corresponde à relação entre o número de interseções da feição especial F com a evidência E_1 e o número total de dados é expresso por:

$$P\{F \cap E_i\} = N\{F \cap E_i\} / N\{T\}. \quad (1)$$

A probabilidade da existência da interseção entre a evidência E_i e a ausência da feição especial F , representada pela equação $P\{E_i \cap F\}$, é a relação entre o número de interseções da evidência E_i com a ausência da feição especial e o F conjunto do total de dados existentes, e é representada pela seguinte equação:

$$P\{E_i \cap F\} = N\{E_i \cap F\} / N\{T\}. \quad (2)$$

A probabilidade de se encontrar uma feição especial F , dada a presença da evidência E_i , representada pela equação $P\{F | E_i\}$, é a relação entre o número de interseções entre a feição especial F e evidência E_i e o número de evidências é expresso pela equação:

$$P\{F | E_i\} = N\{F \cap E_i\} / N\{E_i\}. \quad (3)$$

A probabilidade condicional de uma feição especial F , dada a presença da evidência E_i é dada por $P\{F | E_i\} = P\{F \cap E_i\} / P\{E_i\}$, definida como a relação entre a probabilidade de se ter a interseção entre a feição especial F com a evidência E_i e a probabilidade da existência da evidência.

A probabilidade condicional de uma evidência E_i , dada a presença de uma feição especial F , é a relação entre a probabilidade da existência de interseção entre a evidência e a feição especial e a probabilidade da existência da feição especial, e é expressa pela equação:

$$P\{E_i | F\} = P\{E_i \cap F\} / P\{F\}. \quad (4)$$

A probabilidade da existência da evidência E_i , dada a ausência da feição especial F , é a relação entre a probabilidade da existência da interseção entre a ausência da feição especial com a evidência e a probabilidade da ausência da feição especial, e é expressa por:

$$P\{E_i | \bar{F}\} = P\{\bar{F} \cap E_i\} / P\{\bar{F}\}. \quad (5)$$

O fator de multiplicação é a relação entre a probabilidade da existência da evidência E_i dada a presença da feição especial F , multiplicada pela probabilidade da existência da feição especial F e a probabilidade da existência da evidência E_i , sendo $P\{F | E_i\}$.

O número total de evidências, $N\{E_1\}$, pode ser definido como o conjunto de todas as interseções entre a evidência e a feição especial F , somado ao conjunto das interseções entre a evidência E_1 e a ausência da feição especial T , podendo ser expresso pela seguinte equação:

$$N\{E_1\} = N\{E_1 \cap F\} + N\{E_1 \cap T\}. \quad (6)$$

A probabilidade condicional de uma feição especial F , dada a presença da evidência E_1 é a relação entre o produto da probabilidade da existência da feição especial F pela probabilidade da existência da evidência E_1 , dada a presença da feição especial F , dividido pela soma do produto da probabilidade da existência da feição especial F e a probabilidade da presença da evidência E_1 , dada a presença da feição especial F com o produto da probabilidade da existência da evidência E_1 , dada a ausência da feição especial T e a probabilidade da ausência da feição especial T , expressa pela equação:

$$P\{F | E_1\} = P\{F\} * P\{E_1 | F\} / P\{E_1 | F\} * P\{F\} + P\{E_1 | T\} * P\{T\}. \quad (7)$$

Se considerado um segundo mapa *booleano* de evidência E_2 , a probabilidade de se encontrar uma feição especial F , dada a presença de dois mapas *booleanos* de evidência, é a relação entre a probabilidade da interseção entre as evidências E_1 e E_2 e a probabilidade da existência das interseções entre as evidências E_1 e E_2 , representada por:

$$P\{E_1 \cap E_2\} = P\{E_1 \cap E_2 | F\} * P\{F\} + P\{E_1 \cap E_2 | T\} * P\{T\}. \quad (8)$$

No caso de a independência entre as evidências ser mantida, outros mapas *booleanos* podem ser incluídos.

O modelo de probabilidade *bayesiana* pode ser expresso na forma de uma razão entre a probabilidade de um evento ocorrer sobre a probabilidade de não ocorrer, razão esta chamada de “chance”, dada por:

$$O\{F | E_1\} = O\{F\} * P\{E_1 | F\} / P\{E_1 | T\}, \quad (9)$$

em que, $O\{F | E_1\}$ é chamado de chance posterior da feição especial, dada a presença de E_1 , $O\{F\}$ é a chance prévia da feição especial, e a razão $P\{E_1 | F\} / P\{E_1 | T\}$ é denominada Razão

de Suficiência (RS), portanto, a chance posterior é dada pela chance prévia multiplicada por RS .

Sendo o logaritmo natural de chance \log_{it} , tem-se que: $\log_{it} \{F | E_1\} = \log_{it} \{F\} + \log_e RS$; em que $\log_e RS$ é conhecido como o peso positivo de evidência (W^+). Assim, a equação final é:

$$\log_{it} \{F | E_1\} = \log_{it} \{F\} + W^+ \quad (10)$$

Da mesma forma, para se obter a equação do tipo “chance” para a probabilidade condicional da existência da feição especial F , dada a ausência da evidência \bar{E}_1 , será usada $O\{F | \bar{E}_1\} = O\{F\} * P\{\bar{E}_1 | F\} / P\{\bar{E}_1 | \bar{F}\}$, sendo a razão $P\{\bar{E}_1 | F\} / P\{\bar{E}_1 | \bar{F}\}$ conhecida como Razão de Necessidade (RN); o $\log_e RN$ é conhecido como W e representa o peso negativo de evidência, assim temos:

$$\log_{it} \{F | \bar{E}_1\} = \log_{it} \{F\} + W. \quad (11)$$

Se forem utilizados n mapas *booleanos*, tendo-se 2^n combinações possíveis, a expressão em termos de chance será: $\log_{it} \{F | E_1 \cap E_2 \cap E_3 \cap E_4 \cap \dots \cap E_n\} = \log_{it} \{F\} + \sum W_i^+$.

Para o cálculo de $\log_{it} \{F\}$, W^+ , W , os mapas devem ser submetidos, dois a dois, ao teste de independência condicional, para verificar se os mapas de evidência são estatisticamente independentes; nos mapas *booleanos*, a probabilidade de E_1 estar independente de E_2 é expressa por $P\{E_1 | E_2\} = P\{E_1\}$ e $P\{E_2 | E_1\} = P\{E_2\}$ (SILVA, 2003).

1.3.1.2 Autômatos Celulares

O modelo de Autômatos Celulares (AC), concebido por von Neumann, na década de 1960, objetivou a simulação de sistemas artificiais dotados de autorreprodução. O modelo consiste em um reticulado bidimensional e infinito de pixels que possuem estados discretos equivalentes e cada pixel é conectado às suas adjacências imediatas. As regras de transição são exatamente as mesmas para cada pixel, sendo que a estrutura celular é funcionalmente homogênea (ROCHA et al., 2001; GREMONINI e VICENTINI, 2008). Nesse modelo, o estado de cada célula depende de seu estado prévio e de um conjunto de regras de transição,

de acordo com o arranjo específico de certa vizinhança, sendo todas as células atualizadas simultaneamente a passos discretos de tempo (SOARES-FILHO et al., 2002; BURROUGH e McDONNEL, 1998).

Um AC evolui a passos de tempo discretos, com o valor da variável em uma célula sendo afetado pelos valores das variáveis nas células vizinhas encontradas no passo de tempo anterior, e a vizinhança de uma célula é tipicamente formada pela própria célula em consideração e todas as demais células localizadas nas suas adjacências (WOLFRAM, 1986). AC são sistemas dinâmicos e, atualmente, seu uso na simulação espacial tem se tornado comum devido à sua facilidade de implementação e capacidade de reprodução de fenômenos espaciais, a exemplo de trabalhos de dinâmica florestal (LETT et al., 1999), dinâmica de uso e cobertura da terra ROCHA et al., 2001; Soares-Filho et al., 2002) e de dinâmica urbana (ALMEIDA, 2003).

1.3.1.3 Cadeias de Markov

Cadeias de Markov são como modelos matemáticos empíricos, que servem para descrever processos estocásticos (PEDROSA e CÂMARA, 2007). Esse tipo de modelo pode ser expresso pela notação matricial (BAKER, 1989):

$$\Pi(t+1) = P^n \cdot \Pi(t). \quad (12)$$

Em que $\Pi(t)$ é o estado do sistema no tempo t , $\Pi(t+1)$ é o estado do sistema no instante $t+1$ e P^n são as mudanças passíveis de acontecer, representadas em matrizes de probabilidade de transição decomposta em um passo de tempo. Essas matrizes de transição representam a probabilidade de um determinado estado i permanecer o mesmo ou mudar para o estado j , durante o instante de tempo $t \rightarrow t+1$.

Uma matriz de transição é estocástica quando formada por elementos que representam a probabilidade de mudança de uma classe de uso para outra. Essa matriz estocástica possui duas características fundamentais (HAYKIN, 2000): a soma dos elementos de uma linha dessa matriz é igual a 1; todos os elementos da matriz são iguais a zero ou maiores que zero.

Para JRC e ESA (1994), os parâmetros do modelo Markoviano são facilmente estimados. As probabilidades de transição podem ser estimadas $(t + n) = P^n$. (t)estatisticamente a partir de uma amostra de transições ocorridas durante algum intervalo de tempo.

Dado que a_{ij} indica transições entre pares de estados em algum intervalo de tempo, as probabilidades de transição P_{ij} são estimadas por (JRC e ESA, 1994):

$$P_{ij} = a_{ij} / \sum_j a_{ij} \quad (13)$$

Para a estimativa das probabilidades de transição, a cadeia de Markov requer apenas o estabelecimento de um número finito de estados e que as probabilidades de transição sejam conhecidas mas, embora haja simplicidade no processo, várias limitações estão associadas ao emprego desse modelo para simular mudanças no uso da terra (JRC e ESA, 1994).

A matriz de transição permite analisar a dinâmica da paisagem pela forma como as classes de uso e cobertura variam em dois instantes de tempo, considerando-se o primeiro deles como tempo inicial; realizar simulações (projeções) dos estados da paisagem para datas futuras; avaliar a percentagem de área original das classes que foram cedidas para outras classes e determinar quais classes não mudaram, isso é, apresentaram 100% na diagonal principal da matriz (BACA et al., 2007).

2 CAPÍTULO I: MAPEAMENTO DE ATRIBUTOS FÍSICOS E SOCIOECONÔMICOS

2.1 Introdução

O Rio Grande do Sul possui o maior rebanho de ovinos do país, com 3,946 milhões de cabeças. O Estado também conta com o sexto maior rebanho bovino do país, com 14,366 milhões de cabeças e o terceiro maior rebanho de equinos, com 452.965 exemplares. Entre os bubalinos, ocupa a quarta posição, com 75,2 milhões de unidades (IBGE, 2012).

A ovinocultura é uma das principais atividades pecuárias desenvolvidas no estado do Rio Grande do Sul. Seu estabelecimento como exploração econômica deu-se no começo do século XX, com a valorização da lã no mercado internacional e, a partir de 1940, com o incremento tecnológico da produção. A atividade passou por períodos de progresso e crises, porém a tradição da ovinocultura se consolidou na região sul do Estado, como atividade quase sempre integrada à bovinocultura de corte. A produção ovina no Rio Grande do Sul em sua grande maioria ainda segue o esquema tradicional, baseado no conhecimento prático dos produtores, adquirido através dos anos, com deficiente controle do rebanho e pouca aplicação de tecnologias, o que causa a baixa produtividade. Uma produção eficiente está baseada na aplicação de critérios técnicos, alguns considerados básicos e outros avançados (EMBRAPA, 2012).

De acordo com levantamento do IBGE, o efetivo brasileiro de bovinos em 2009 somou 205,292 milhões de cabeças, o que significou aumento de 1,5% na comparação com o ano anterior. A região Centro-Oeste respondeu por 34,4% do total de animais, seguida pelo Norte (19,7%) e Sudeste (18,5%). O Mato Grosso foi o principal produtor, com 13,3% do efetivo. O Rio Grande do Sul lidera entre os estados da Região Sul, seguido pelo Paraná e Santa Catarina. O município gaúcho de Alegrete está entre os vinte principais produtores do País (IBGE, 2012).

Baseando-se na expressividade dos dados apresentados acima, julga-se que analisar a distribuição espacial dos rebanhos é de muita importância quando se busca explicações para a dinâmica de uma paisagem. Sabe-se que os bovinos e os ovinos no Rio Grande do Sul, desde a época da colonização, eram responsáveis por gerar grande parte da fonte de renda, e essa

cultura pecuarista ainda se mostra em criações no formato extensivo, onde grandes áreas de campo são necessárias para o seu desenvolvimento, o que justifica a elaboração de mapas para avaliar a distribuição das concentrações desses rebanhos.

Da mesma forma caracteriza-se a concentração da agricultura, a qual também é responsável pela ocupação de grande parte do território do Pampa, sendo as culturas mais expressivas: soja, arroz, trigo, milho e fumo.

Demais variáveis físicas como clima, correntes de ar, altimetria, geologia, geomorfologia, pedologia, clinografia, vegetação, dentre outras também são importantes representações cartográficas que auxiliam no ordenamento territorial. Espacializar tais atributos sob o formato de um mapa é, sobretudo, elaborar um modelo, o qual pode ser interpretado como a representação da realidade (BATTY, 2000), na qual são consideradas as características relevantes observadas, e que a realidade consiste em objetos ou sistemas, que existiram, existem ou podem existir.

Inicialmente foram elencadas três variáveis físicas naturais e artificiais para serem representadas: rede hidrográfica, hipsometria e rede viária. Tais atributos foram generalizados para toda a área de estudo e escolhidos por julgar-se serem influentes na dinâmica de uso e cobertura da terra na área de estudo.

Os afluentes da drenagem são limitantes ao corte da cobertura vegetal, uma vez que a legislação ambiental prevê a preservação no entorno de suas margens (BRASIL, 2013). As diferenças abruptas da altitude indicam áreas com maiores declives no terreno, e isso age também como um fator determinante, uma vez que viabiliza ou não o uso de maquinário, indica a aptidão agrícola. A existência de infraestrutura viária, por sua vez, está intrínseca ao desenvolvimento regional e algumas vezes à exploração inadequada de recursos naturais. Na região Amazônica, por exemplo, onde é recorrente o desmatamento, trabalhos de Garcia et al. (2007), e Soares-Filho et al. (2004), demonstram que as taxas de conversão de floresta para agricultura e pecuária estão associadas à abertura de estradas.

Posteriormente, são representados atributos sociais e econômicos no âmbito municipal. Todos os dados são atualizados e disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na forma de dados censitários. Os atributos numéricos, representados sob o formato de um mapa, foram também escolhidos por sua pertinência na determinação de conversões de uso e cobertura. Fatores como concentração da população, do Produto Interno Bruto, exploração agropecuária têm contribuído significativamente para os processos históricos de ocupação do território. Trabalhos de Aguiar (2006) demonstram a importância de tais atributos na dinâmica da paisagem. A espacialização dessas variáveis para

a área de estudo é realizada através do estimador de densidade de Kernel, que possibilita a extrapolação dos valores para além dos limites municipais, permitindo uma visão sinóptica do conjunto.

Com vistas à posterior implementação de um modelo espacial dinâmico, e definição das variáveis tidas como forças direcionadoras do fenômeno a ser modelado (transições da cobertura florestal), o primeiro capítulo apresenta três objetivos específicos:

- Elaborar mapas temáticos de atributos físicos da área de estudo, dentre eles, rede hidrográfica, rede viária e hipsometria do terreno.

- Elaborar mapas de atributos socioeconômicos dos municípios da área de estudo, dentre eles demografia, distribuição do PIB, população urbana, população rural, bovinocultura, ovinocultura e produção agrícola.

2.2 Metodologia

2.2.1 Localização da área de estudo

Guasselli et al.(2006) propôs o macrozoneamento do Rio Grande do Sul com base em operações de álgebra de mapas de uso e cobertura da terra, mapas de geomorfologia e de altimetria. Essas sobreposições foram elaboradas para buscar informações espaciais de regiões que, pertencendo a uma mesma classe de relevo, adquiriam, ao longo do tempo, variados índices de biomassa decorrentes da variação de uso do solo e cobertura vegetal (Figura 1).

A área de estudo compreende aproximadamente 105.984km² e localiza-se no estado do Rio Grande do Sul, é delimitada pela união de unidades de paisagem presentes em três macrozonas inseridas no Bioma Pampa (Figura 2). As macrozonas que compõem a área de estudo são Cuesta do Haedo, Depressão Central e Escudo Sul-Rio-Grandense.

A macrozona Cuesta do Haedo é composta por unidades de paisagem de uso agrícola intensivo no verão, campos e campos sujos; desse estudo somente as últimas duas unidades fazem parte. A Depressão Central é composta por campos subarbustivos, uso agrícola intensivo no verão e uso agrícola intensivo no inverno e verão. Na macrozona Escudo Sul-Rio-Grandense a formação é composta por campos subarbustivos e campos mistos GUASSELLI et al., (2006).

A área está inserida em grande parte do Bioma Pampa e compreende 132 municípios (APÊNDICE A), sendo que alguns deles não são abrangidos em sua totalidade, devido ao limite natural das unidades de paisagem.

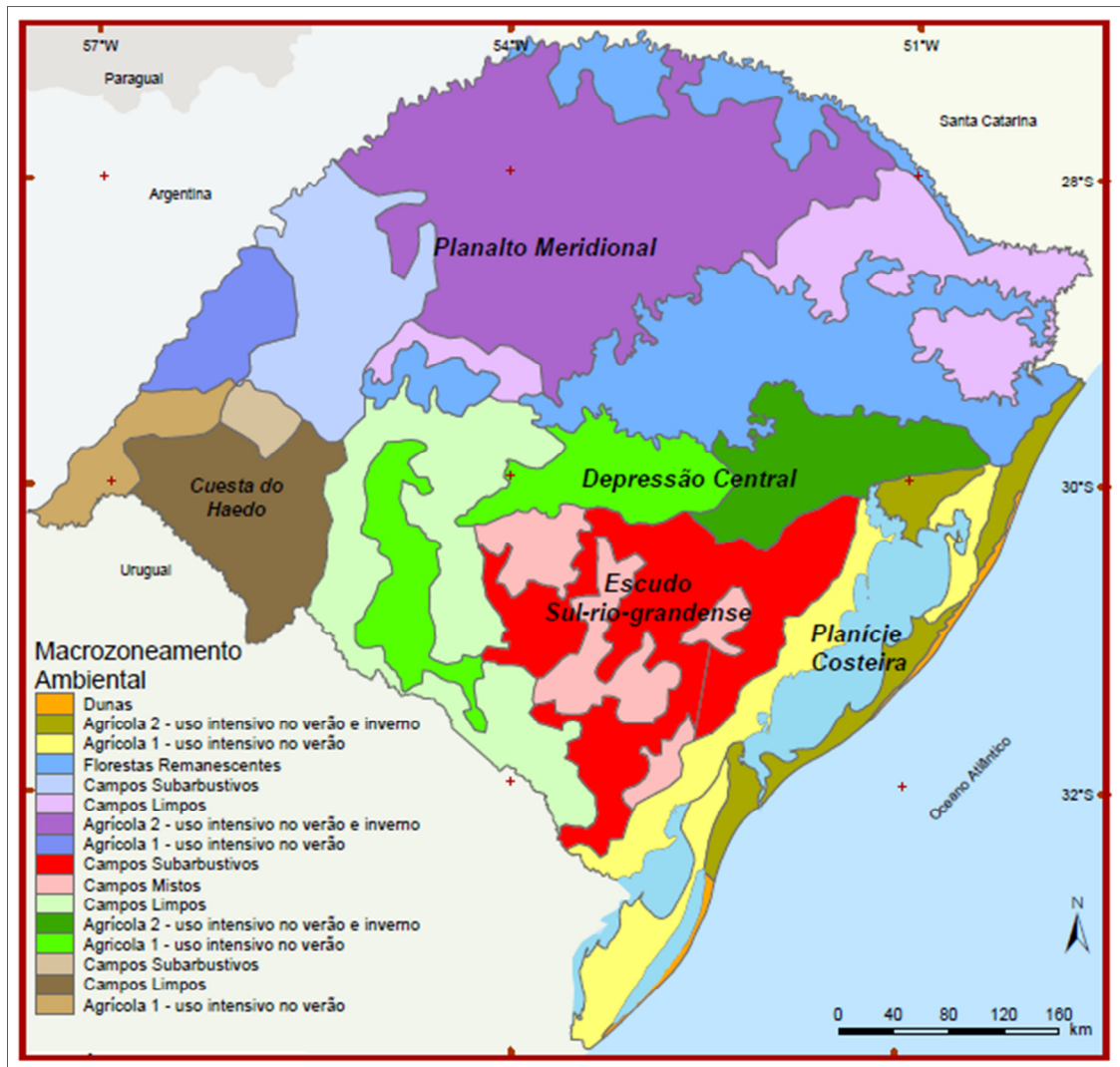


Figura 1 – Mapa do macrozoneamento ambiental do estado do Rio Grande do Sul, Brasil com a delimitação das respectivas unidades de paisagem.

Fonte: SEPLAG (2012).

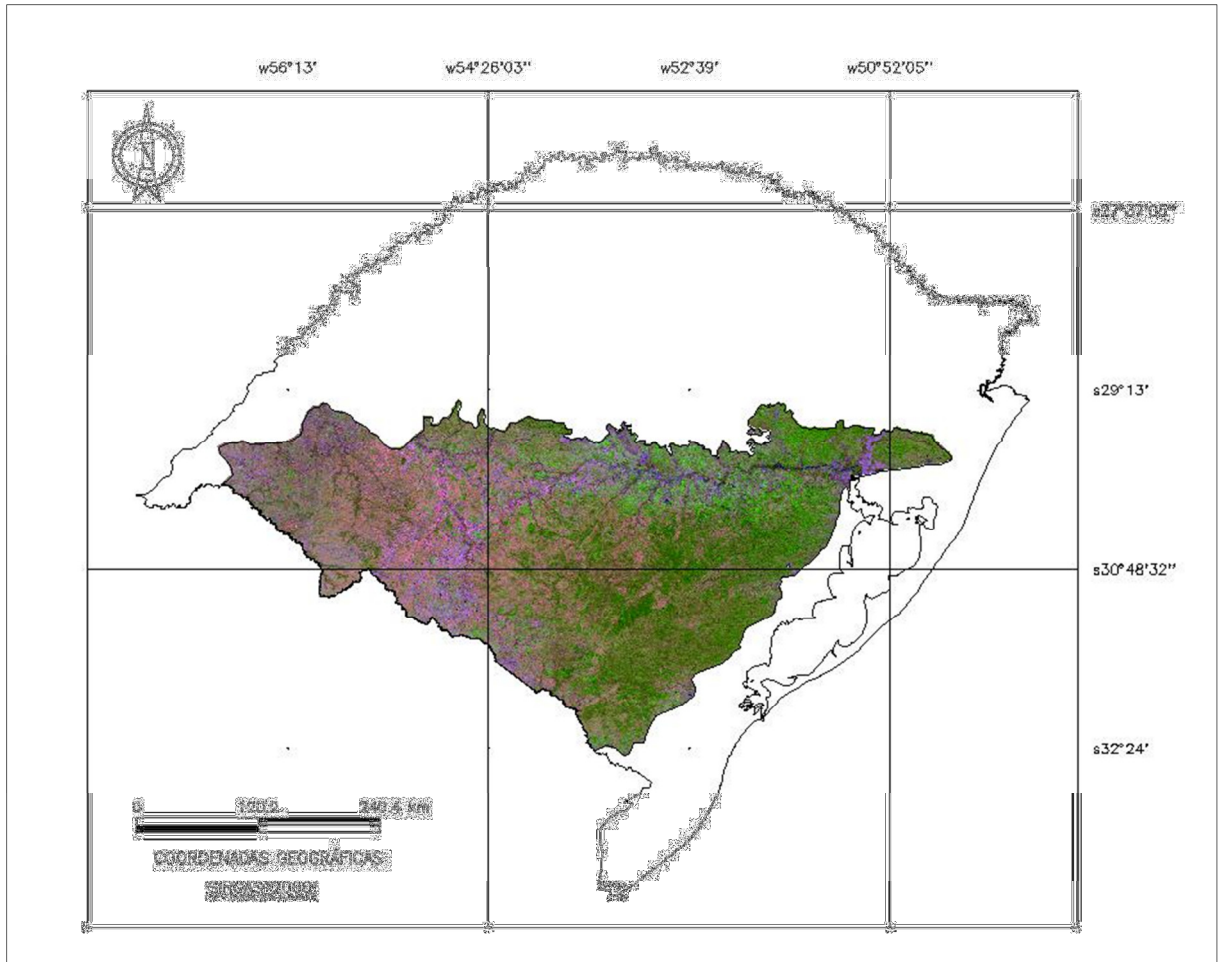


Figura 2 – Imagem falsa-cor MODIS de 11/07/2012 representando a delimitação da área de estudo por unidades de paisagem em macrozonas pertencentes ao Bioma Pampa presente no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Fonte: Lippert (2014).

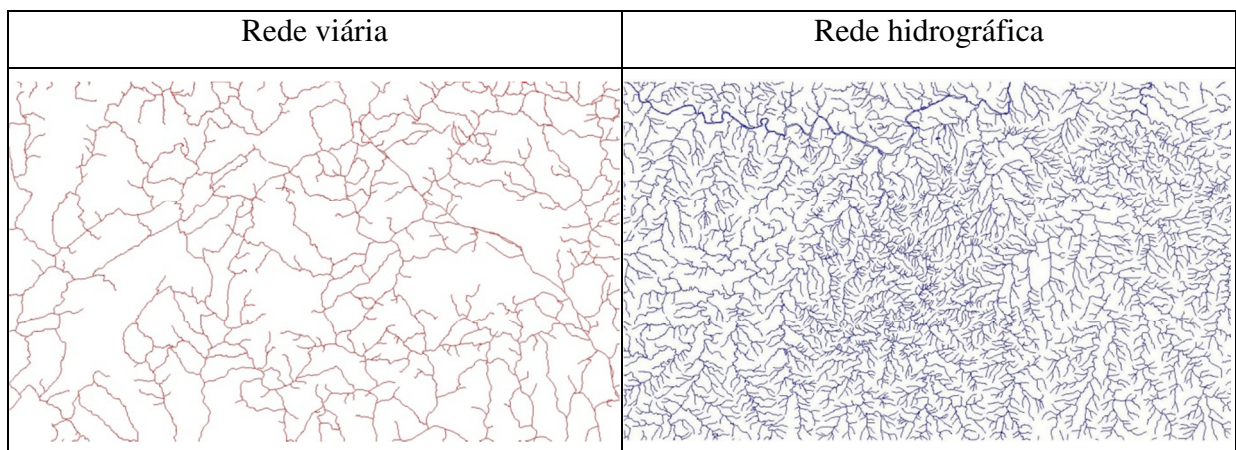
Após definida a área de estudo e para a elaboração dos mapas físicos e socioeconômicos descritos a seguir, criou-se um banco de dados censitários para processamento de informações vetoriais e matriciais no Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o qual conta com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais (INPE, 2012).

2.2.2 Mapas físicos

2.2.2.1 Rede hidrográfica e rede viária

O mapeamento das redes hidrográfica e viária foram construídos com base nos dados espaciais referentes à Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul, escala 1:50.000, disponibilizados por Hasenack e Weber (2010). Os dados vetoriais foram importados para o banco de dados geográficos criado no programa SPRING e posteriormente foram recortados para abrangência apenas da área de interesse.

Foi considerada a totalidade da rede drenagem para a referida escala, incluindo canais, ravinhas e tributários presentes nas bacias hidrográficas. No mapeamento da rede viária foram incluídas as estradas pavimentadas e não pavimentadas, de gestão federal, estadual e municipal, compreendidas nos limites da área de estudo. Como exemplo dos dados utilizados tem-se no quadro 2 uma amostra ampliada de parte das redes viária e hidrográfica presentes na área de estudo.



Quadro 2 – Representação de parte das redes viária e hidrográfica utilizadas no mapeamento, em escala de visualização 1:200.000.

Fonte: Lippert (2014).

2.2.2.2 Hipsometria

O mapa hipsométrico pode ser entendido como aquele que tem a intenção deliberada de mostrar diferenças nas altitudes terrestres (NOGUEIRA, 2008). Esse mapa foi elaborado a partir dos dados altimétricos obtidos na *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM⁶) da NASA, com resolução espacial igual a 90 metros. As imagens desse radar estão disponíveis no formato matricial GeoTiff e foram posteriormente convertidos em grades de cotas altimétricas compondo um Modelo Numérico do Terreno (MNT). As cotas altimétricas foram agrupadas segundo a equidistância de 100 metros de altitude e reclassificadas em intervalos pré-definidos.

2.2.3 Mapas socioeconômicos

Os atributos socioeconômicos mapeados são provenientes de dados censitários do IBGE relativos ao ano de 2010. Para o trabalho, foram adquiridos dados referentes à demografia, população urbana, população rural, Produto Interno Bruto (PIB), produção agrícola, ovinocultura e bovinocultura de cada município presente na área de estudo. Para a ocupação agrícola somaram-se áreas de lavouras de arroz, soja, milho, trigo e fumo.

Os dados numéricos obtidos no censo do IBGE foram tabulados no SPRING sob o modelo “objeto” e posteriormente “cadastral”. O modelo cadastral refere-se aos mapas que contêm a representação de determinado tipo de objeto, por exemplo, as representações dos municípios (INPE, 2012). Dessa forma possibilitou-se a conexão dos dados ao respectivo polígono vetorial de cada município, previamente importados para o banco de dados.

Através do estimador de densidade de Kernel foi determinada a distribuição espacial por área total do município dos seguintes parâmetros: demografia, população urbana, população rural, população total, Produto Interno Bruto (PIB), produção agrícola, ovinocultura e bovinocultura. Conforme Delgado (1995), a partir de uma função gaussiana de Kernel distribui-se, em uma grade tridimensional, os pesos resultantes de uma regressão que vincula a proximidade de dois eventos em relação à sua coordenada de referência. Desse modo, são calculadas as distâncias de cada ponto (pixel) aos eventos observados que estiverem dentro de uma mesma região de influência limitada por uma distância definida pelo

raio de ação. Cada uma das observações é ponderada pela distância em relação a um valor central (núcleo).

A região de influência, definida pelo raio de influência, também chamado largura de banda, define a área centrada no ponto de estimação que indica quantos eventos contribuem para a estimativa da função intensidade. Um raio muito pequeno irá gerar uma superfície muito descontínua, oscilante; se for grande demais, a superfície poderá ficar muito suavizada (DRUCK et al., 2004).

Nesse estudo adotou-se uma distância igual a 500 metros (equivalente a largura de dois pixels) como sendo a mais adequada. Essas distâncias contribuem para o cálculo da intensidade estimada no ponto (pixel) e para a geração dos mapas de superfície que representam a densidade dos eventos de variação contínua.

Sobre a grade de pesos gerada no processo, executou-se o “fatiamento” em classes temáticas de intervalos iguais entre os valores de maior e menor densidade observada.

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Mapas físicos

Nesta seção são apresentados os mapas elaborados e que contém as características fisiográficas da área de estudo. O primeiro mapa refere-se à rede de drenagem que integra parte da Bacia Hidrográfica do Uruguai, Bacia Hidrográfica do Guaíba, Bacia Hidrográfica Litorânea, mostradas na figura 3 (SEMA, 2012). Os recursos hídricos totalizaram 161.822,74 km, sendo apresentados na figura 4.



Figura 3 – Bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul.

Fonte: FEPAM (2012).

O segundo mapa, da rede viária (Figura 5), contempla as redes municipais, estaduais e federais pavimentadas e não pavimentadas e as ferrovias, compreendendo 78.070,91 km.

O mapa hipsométrico (Figura 6) apresenta cinco classes: a primeira delas, entre 0 e 100 metros de altitude, apresentou uma área de 31.035,55 km²; na segunda classe, entre 100 e 200 metros de altitude, a área foi de 49.182,37 km²; altitudes entre 200 e 300 metros totalizaram 14.844,24 km²; entre 300 e 400 metros de altitude foram mapeados 9.431,79 km²; entre 400 e 500 metros obteve-se 1.433,60 km² e ainda entre 500 e 600 tem-se 56,13 km². A maior abrangência está entre 100 e 200m de altitude; nessa classe encontram-se unidades de paisagem caracterizadas pelo uso intensivo no inverno e no verão, como também sua cobertura por campos limpos. Essas altitudes também estão relacionadas à maior ocupação pela pecuária gaúcha, composta por rebanhos de bovinos e ovinos.

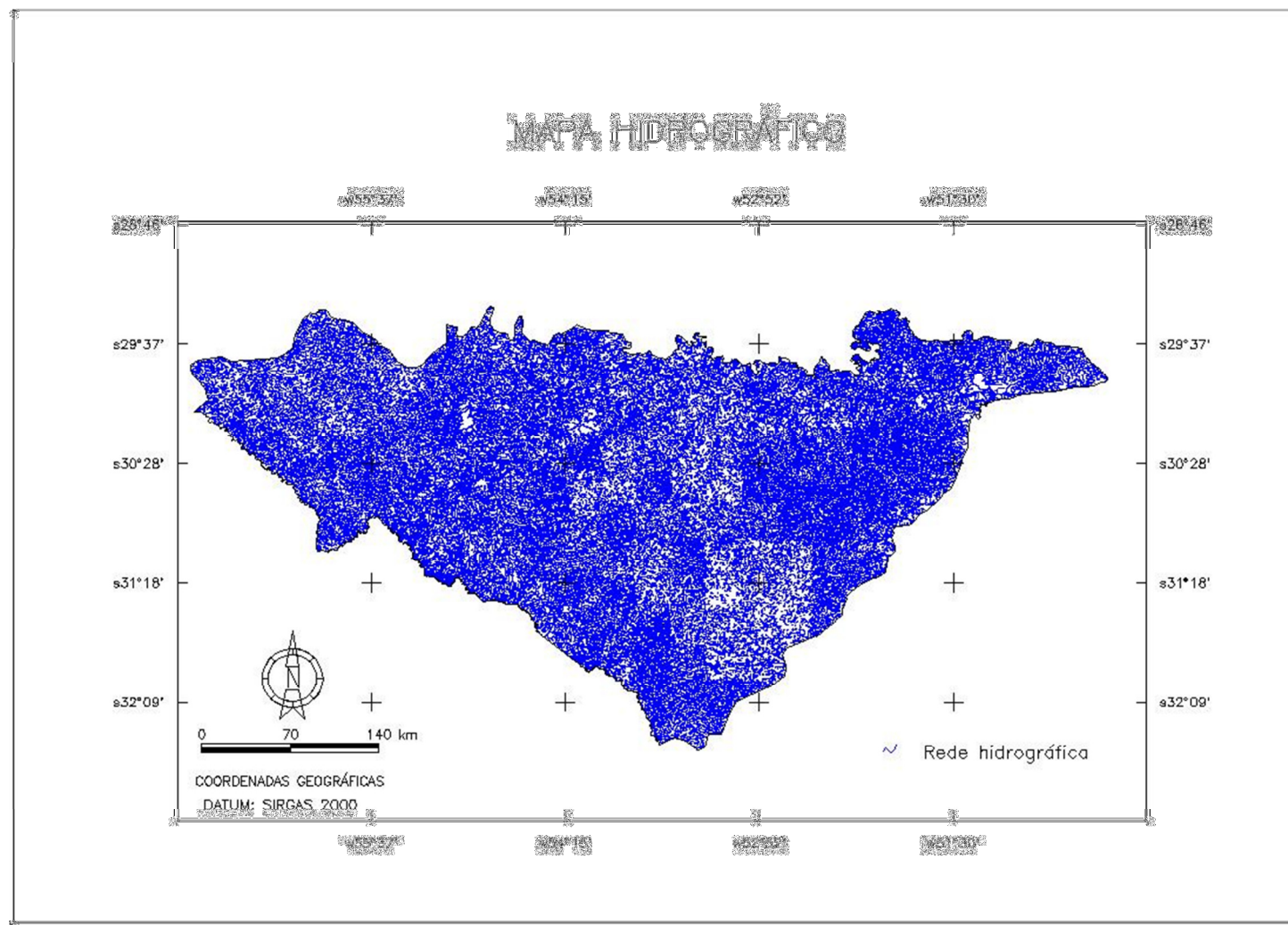


Figura 4 – Mapa da rede hidrográfica que abrange as macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, referentes à área de estudo.

Fonte: Lippert (2014).

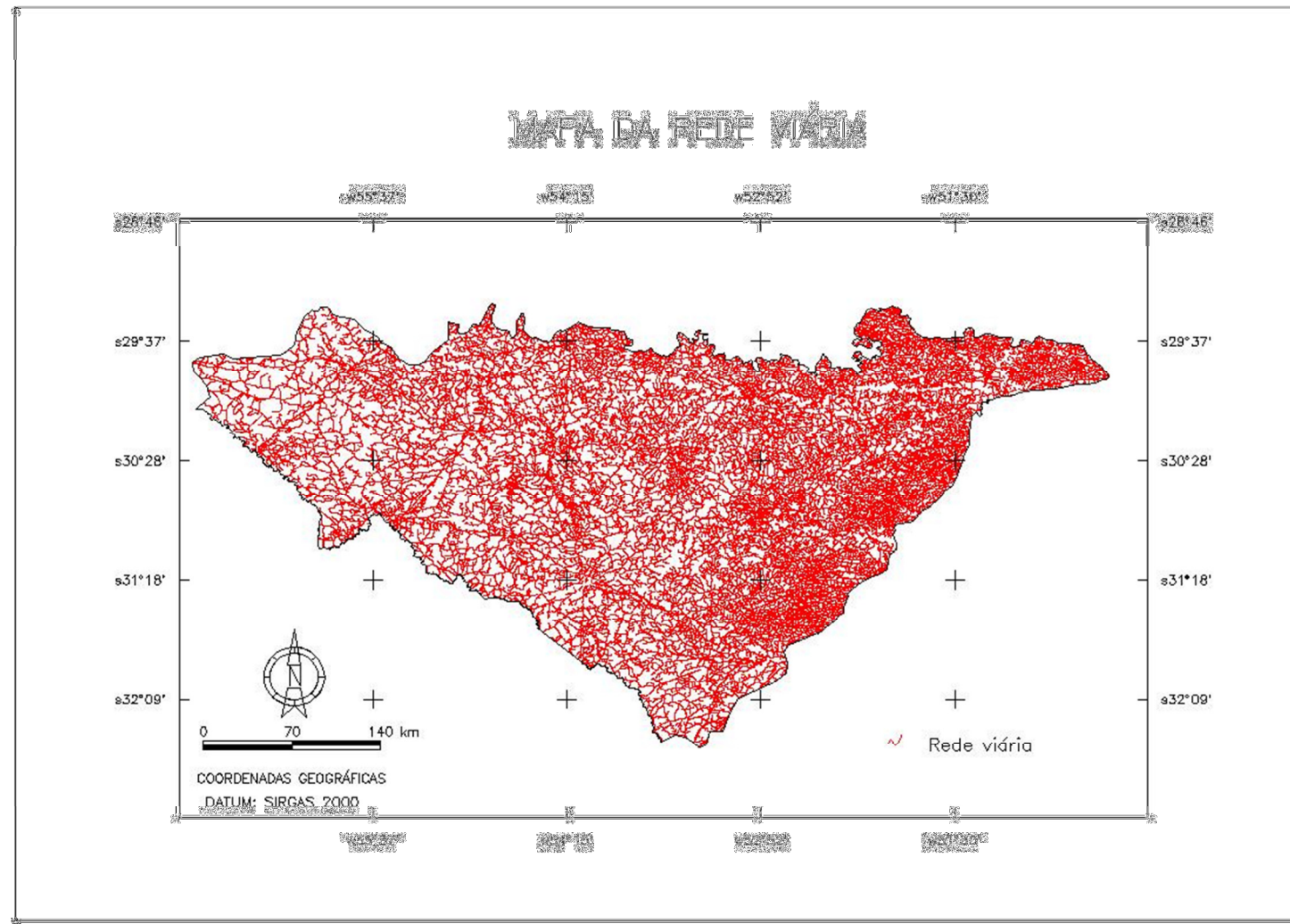


Figura 5 – Mapa da rede viária que abrange as macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, referentes à área de estudo.

Fonte: Lippert (2014).

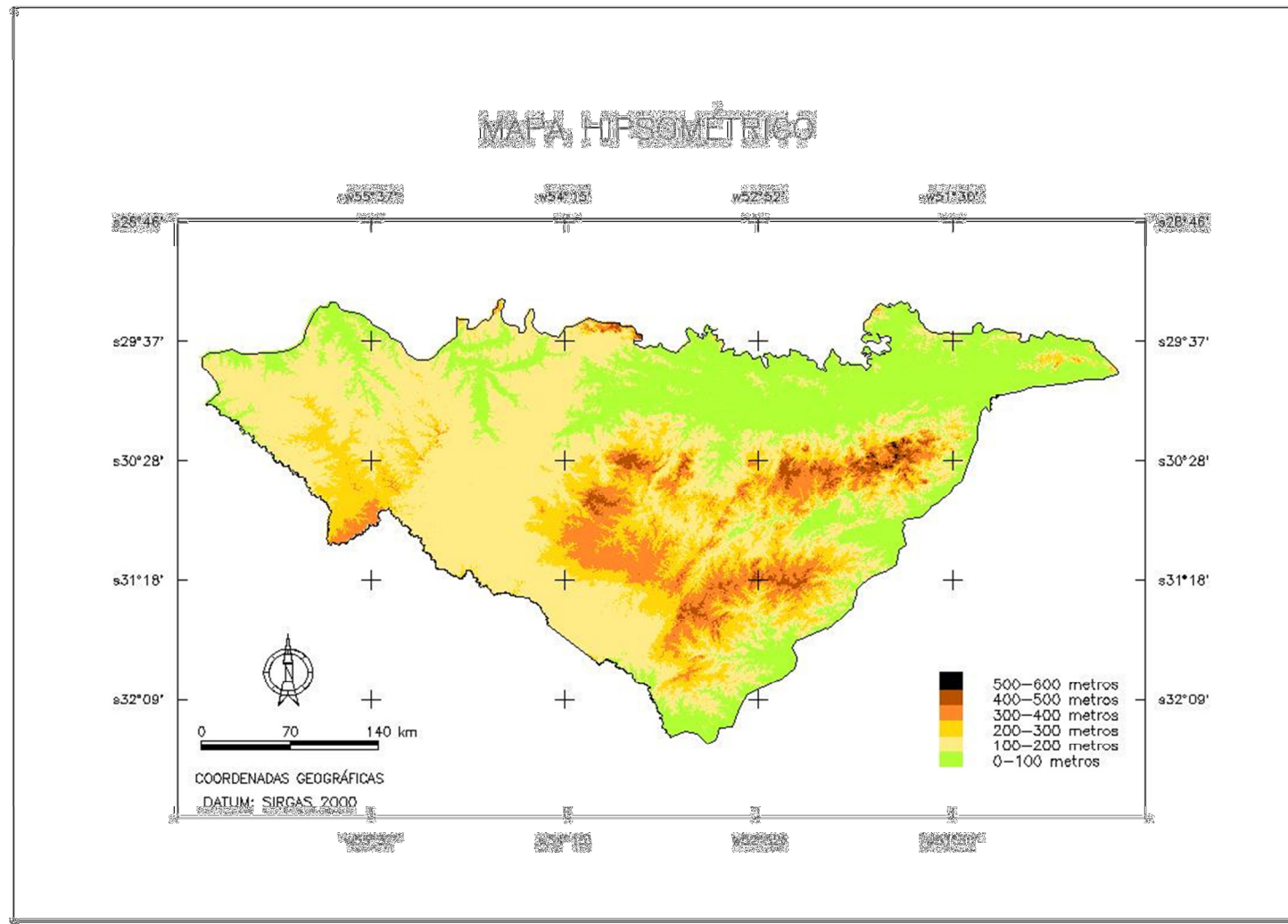


Figura 6 – Mapa das classes hipsométricas que abrangem as macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, referentes à área de estudo.

Fonte: Lippert (2014).

2.3.2 Mapas socioeconômicos

Os mapas socioeconômicos compreendem informações populacionais, econômicas e de produção agropecuária referentes ao ano de 2010 e foram espacializadas pelo estimador de densidade Kernel.

Locais onde concentram-se as maiores densidades demográficas (Figura 7) constituem a região metropolitana e suas proximidades, sendo o município que apresenta maior densidade demográfica Esteio, com 2.917,87 habitantes/km². O município de Pedras Altas, localizado ao sul do Estado, possui a menor densidade (1,61 habitantes/km²). Devido à alta concentração da população na região metropolitana, as demais regiões estão incluídas na categoria abaixo de 243 habitantes/km², pois são municípios que possuem área rural.

No mapa de população urbana (Figura 8), as maiores concentrações localizam-se igualmente na região metropolitana. O município de Porto Alegre possui a maior concentração entre as cidades (1.409.351 pessoas), posteriormente, nos municípios de Santa Maria ao centro do Estado, e de Pelotas ao sul, a população varia entre 117.500 e 235.000 habitantes na área urbana. Nos demais municípios, as áreas urbanas não ultrapassam 117.500 habitantes, sendo que o município de Pedras Altas apresenta a menor população urbana (2.212 pessoas).

A maior concentração da população rural encontra-se distribuída entre a região central e as regiões nordeste, leste e ao sul. Na região nordeste encontra-se a maior densidade de população rural e a maior densidade de municípios, porém de menor extensão territorial. A população rural localizada nas cidades de Bagé, Hulha Negra e Candiota também têm expressiva ocupação. O município de Canguçu possui a maior população rural (33.565 pessoas) e os municípios de Alvorada, Cachoeirinha e Porto Alegre não apresentam população rural (Figura 9).

A Figura 10 mostra o mapa de concentração do Produto Interno Bruto (PIB); o município de Triunfo possui o maior PIB *per capita* (R\$ 211.965,00) e o município de Alvorada apresenta o menor valor quanto a esse índice PIB (R\$ 7.528,20), segundo o IBGE (2012).

Na Figura 11 apresenta-se a concentração das áreas ocupadas para a produção agrícola, na qual o município de Cachoeira do Sul apresenta a maior área plantada, em torno de 97.000 hectares; já os municípios de Cachoeirinha e Sapucaia do Sul não possuem áreas de

cultivo, em geral, municípios da região metropolitana possuem áreas de cultivo inexpressivas dentro de sua extensão territorial.

No mapa de concentração da bovinocultura (Figura 12), o município de Alegrete possui o maior rebanho (633.677 cabeças), as maiores concentrações de cabeças de gado encontram-se da região centro para a fronteira oeste; próximo à região metropolitana destaca-se Camaquã na produção bovina. Em parte da Depressão Central e também em parte do Escudo Sul-Rio-Grandense apresentam-se as menores concentrações, principalmente nas regiões em que ocorrem as maiores variações altimétricas. Dentre as menores concentrações, cita-se o município de Cachoeirinha que não apresentou rebanho bovino nessa data.

A concentração da ovinocultura (Figura 13) mostra semelhante distribuição espacial à concentração da bovinocultura. O maior produtor é o município de Santana do Livramento, com um rebanho de 403.340 cabeças, essa produção é concentrada na região da Campanha, havendo menor potencial na Depressão Central, em regiões que vão do centro norte da área de estudo até a região metropolitana. Também é possível observar que da região metropolitana, em direção à região de Pelotas a produção é reduzida, com exceção dos municípios de Camaquã e Barra do Ribeiro, Cachoeirinha, Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul não possuíam rebanho de ovinos na ocasião da obtenção dos dados.

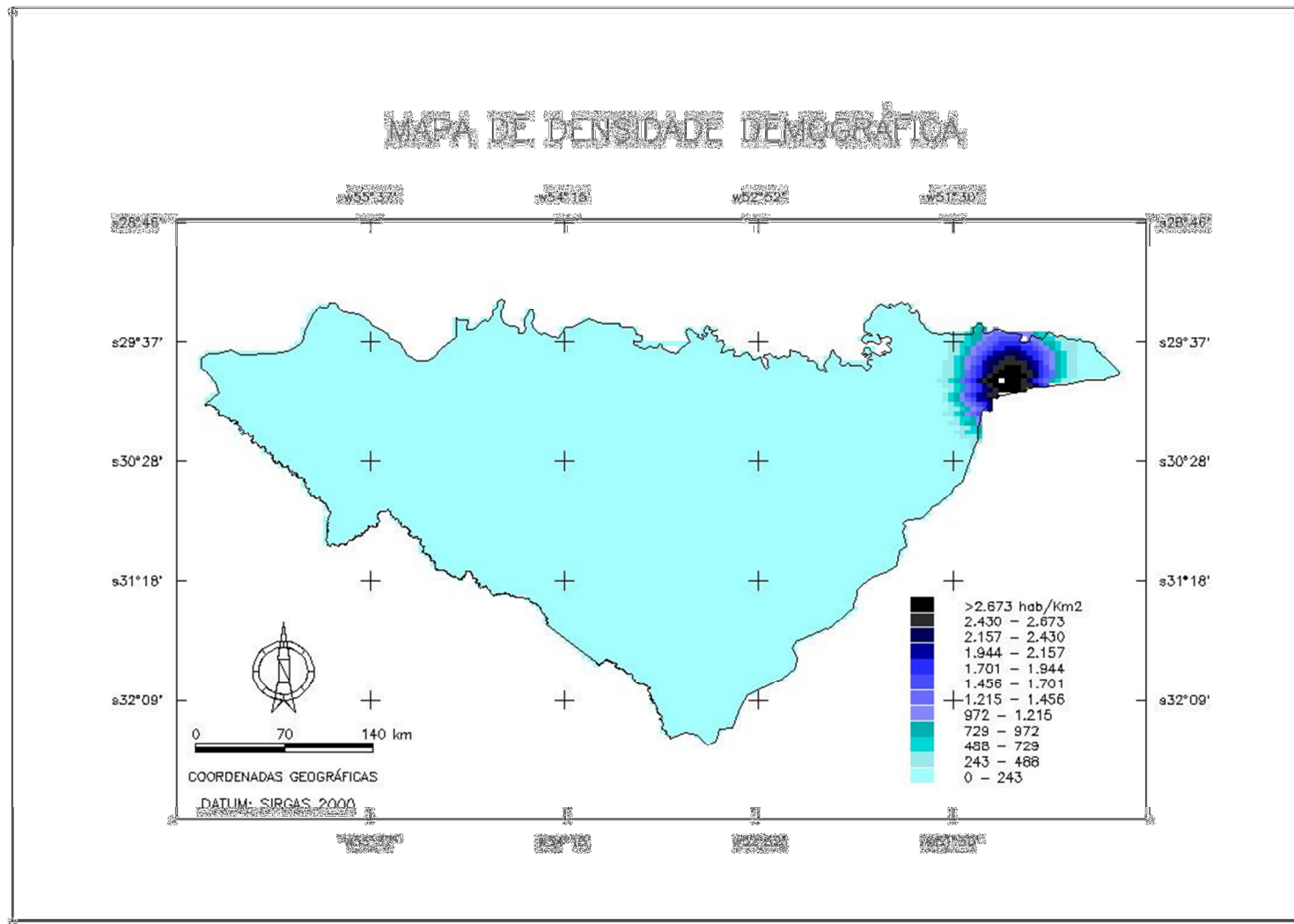


Figura 7 – Concentração da densidade demográfica nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense.
Fonte: Lippert (2014), com base nos dados censitários de 2010 disponibilizados pelo IBGE (2012).

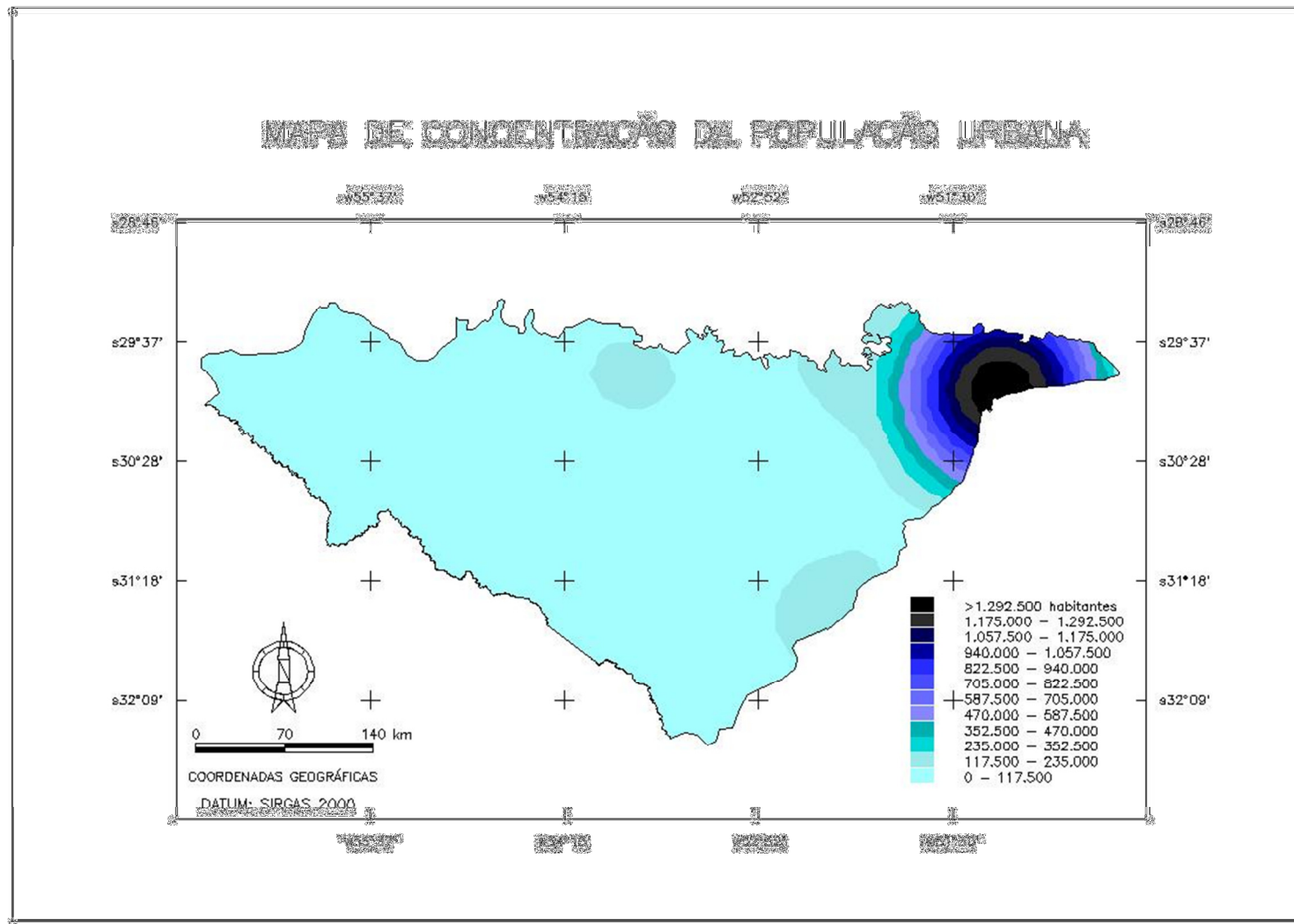


Figura 8 – Concentração da população urbana nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense. Fonte: Lippert (2014), com base nos dados censitários de 2010 disponibilizados pelo IBGE (2012).

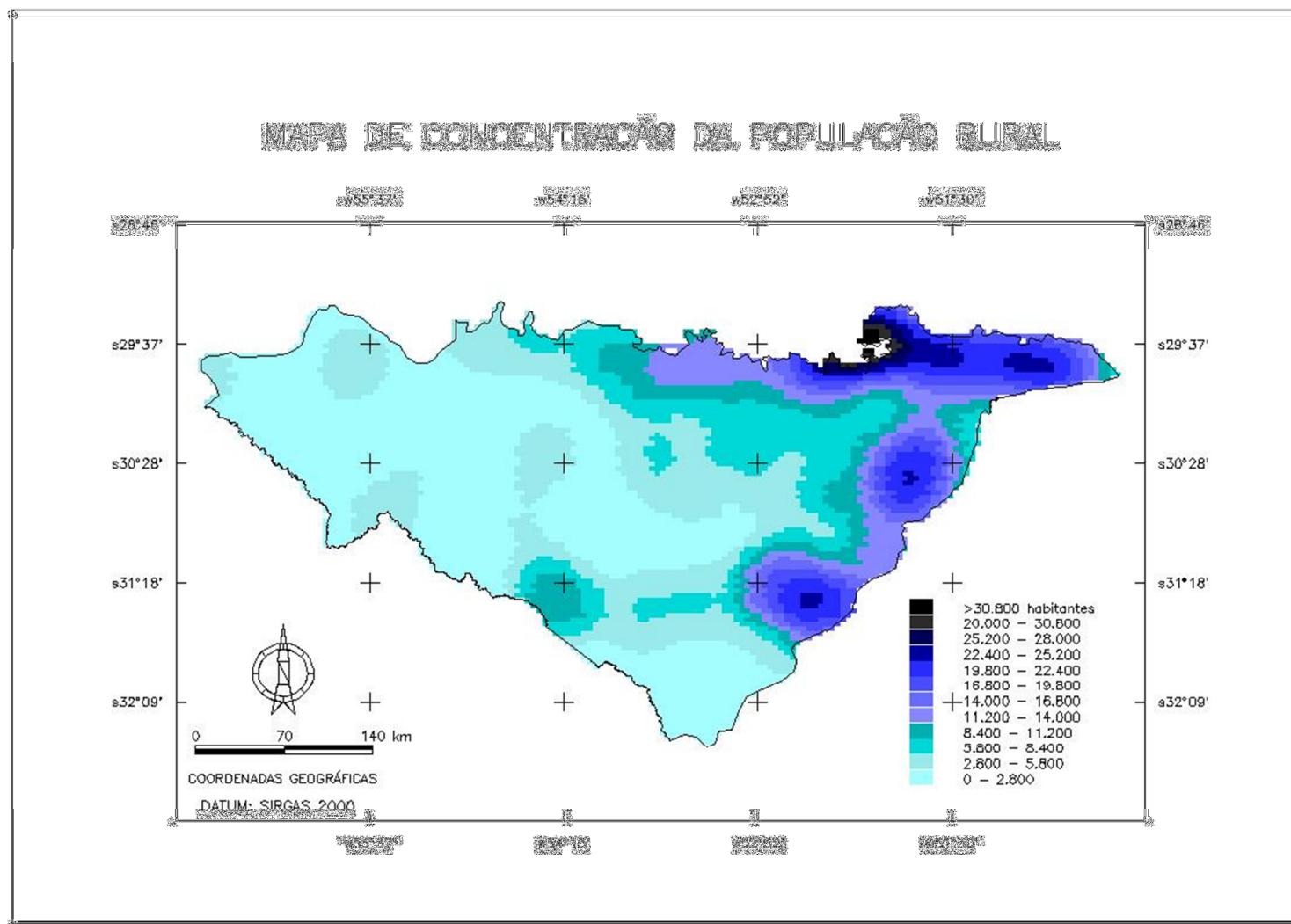


Figura 9 – Concentração da população rural nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense.
Fonte: Lippert (2014), com base nos dados censitários de 2010 disponibilizados pelo IBGE (2012).

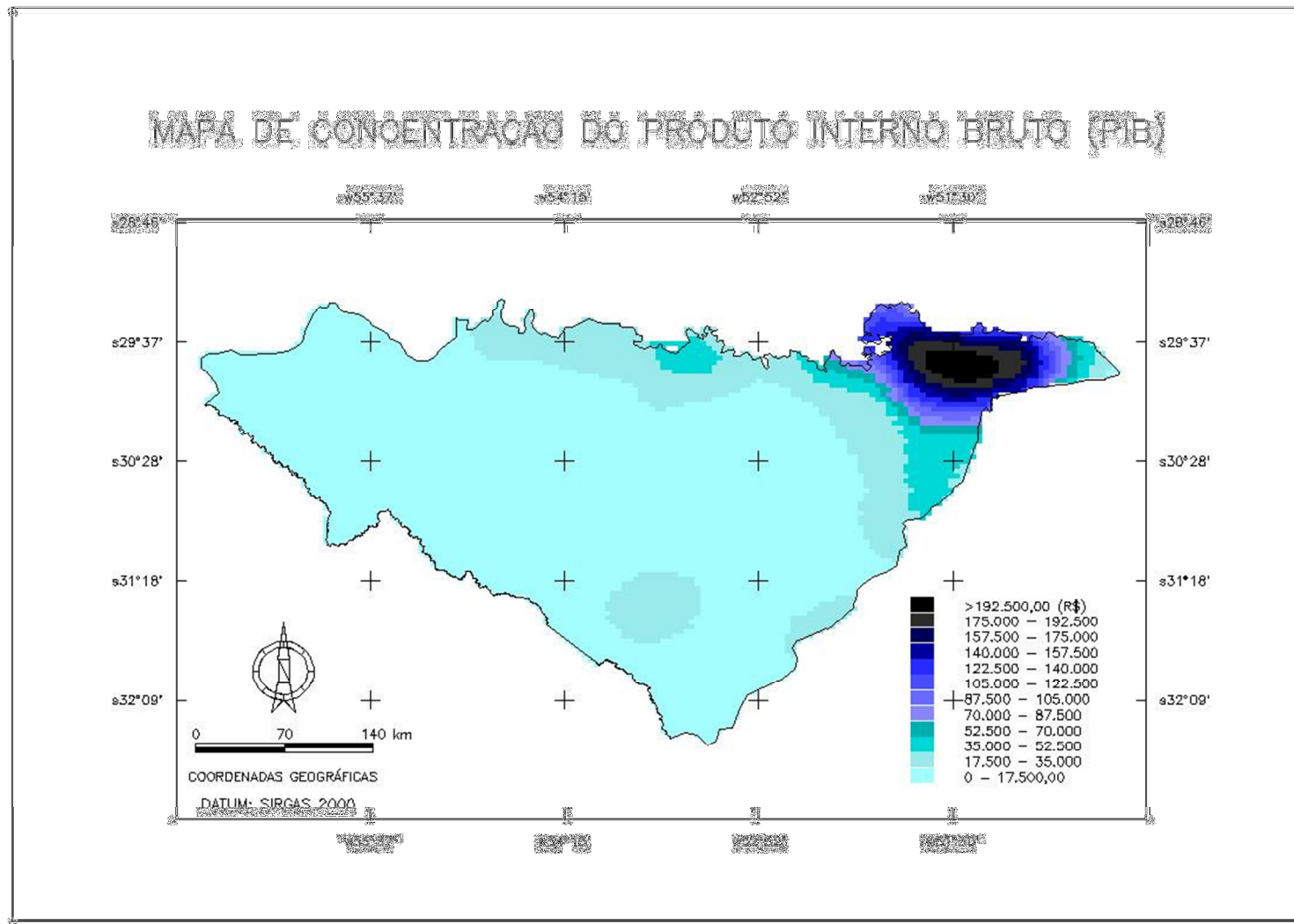


Figura 10 – Concentração do Produto Interno Bruto (PIB) nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense.
Fonte: Lippert (2014), com base nos dados censitários de 2010 disponibilizados pelo IBGE (2012).

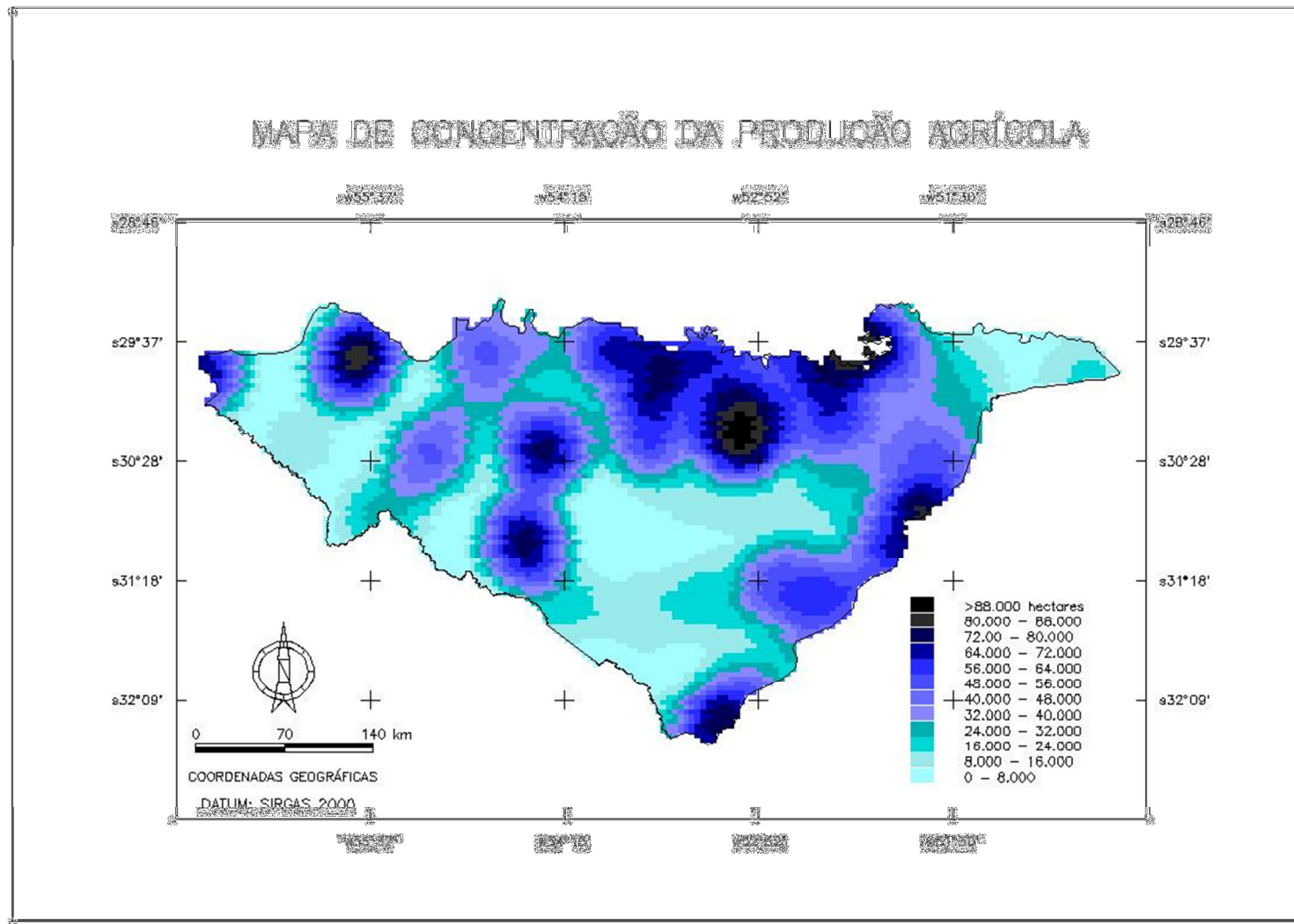


Figura 11 – Concentração da produção agrícola nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense.
Fonte: Lippert (2014), com base nos dados censitários de 2010 disponibilizados pelo IBGE (2012).

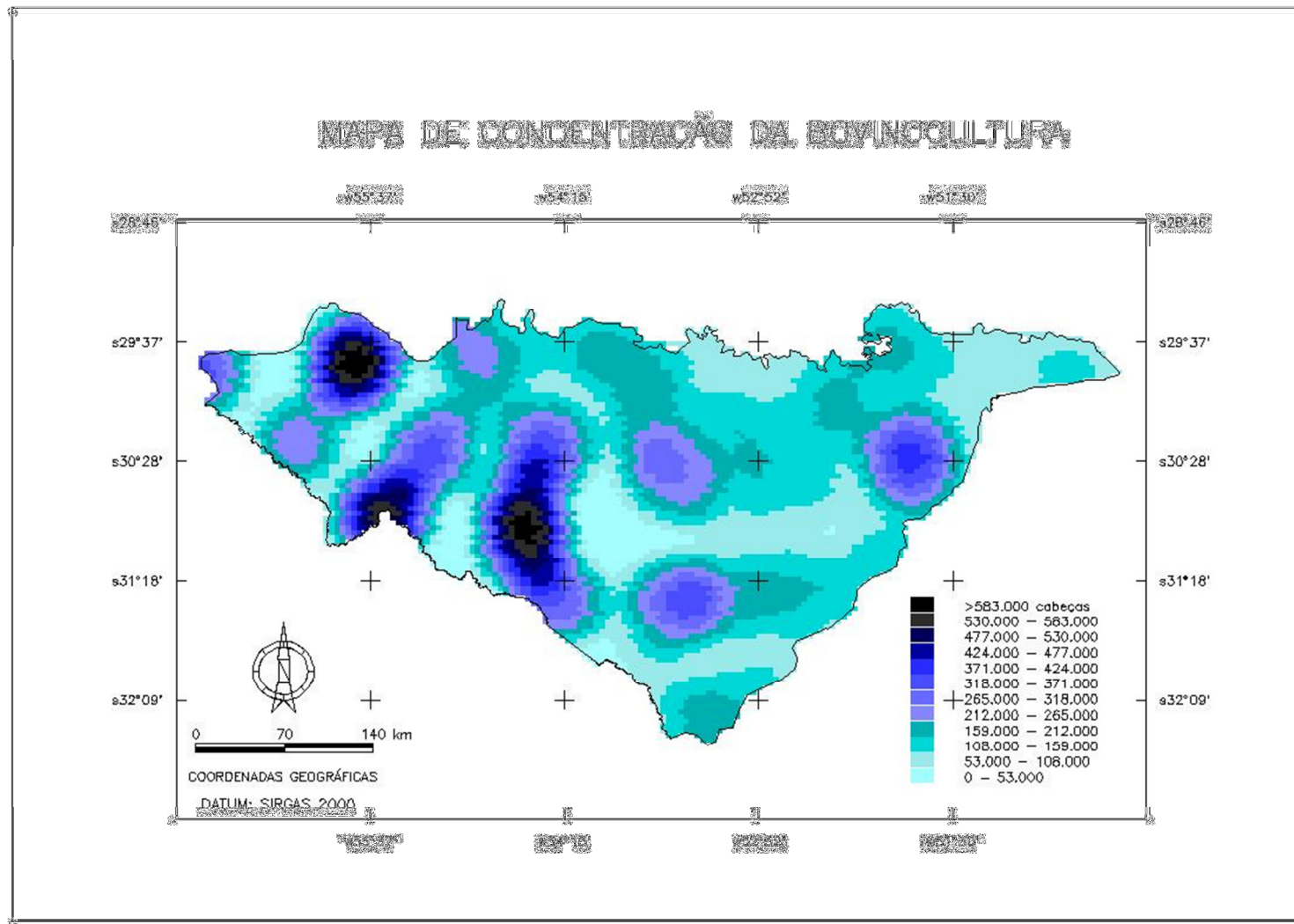


Figura 12 – Concentração da bovinocultura nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense.
Fonte: Lippert (2014), com base nos dados censitários de 2010 disponibilizados pelo IBGE (2012).

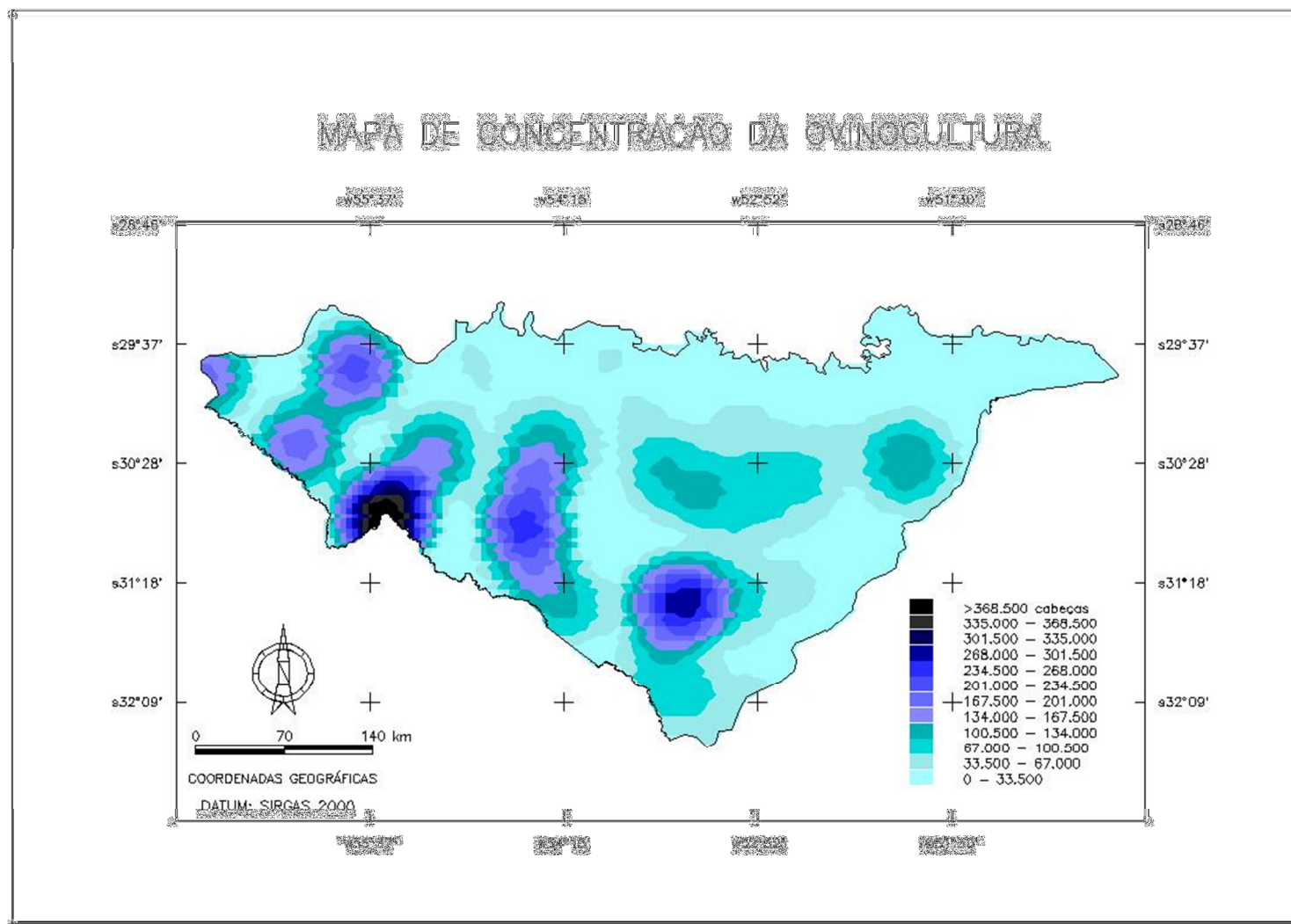


Figura 13 – Concentração da ovinocultura nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense.
Fonte: Lippert (2014), com base nos dados censitários de 2010 disponibilizados pelo IBGE (2012).

2.4 Conclusão

Com a metodologia adotada foi possível quantificar e caracterizar a distribuição espacial das redes hidrográfica e viária na área de estudo. Ainda com relação aos atributos físicos, o mapeamento hipsométrico foi elaborado para caracterizar o relevo da área de estudo.

De acordo com os mapas socioeconômicos foi possível concluir que a distribuição da concentração da população urbana é semelhante à concentração da densidade demográfica, as quais apresentam valores elevados próximos à região metropolitana. De acordo com os mapas de concentração da população rural e de concentração do PIB *per capita*, verifica-se que os maiores valores estão relacionados espacialmente. Já a concentração de áreas ocupadas pela agricultura não estão diretamente relacionadas com concentração da população rural, sendo as maiores concentrações de produção voltadas para o centro do Estado. A concentração da pecuária bovina e ovina também apresenta-se similar quanto à distribuição espacial; as maiores concentrações ocorrem na região da Cuesta do Haedo.

Os mapas temáticos elaborados serviram para uma extensiva caracterização das macrozonas e serão incorporados ao modelo de simulação a ser desenvolvido posteriormente, como variáveis estáticas, visto que considera-se que as informações espacializadas foram invariantes durante o período de tempo condizente com o estudo.

3 CAPÍTULO II: MAPEAMENTO TEMÁTICO DO USO E COBERTURA DA TERRA E ANÁLISE TEMPORAL DAS FLORESTAS

3.1 Introdução

Os mapas temáticos descrevem, de forma qualitativa, a distribuição espacial de uma grandeza geográfica (CÂMARA e MEDEIROS, 1998). Algumas das aplicações importantes dos mapas de uso e cobertura da terra são o planejamento agrícola, o planejamento municipal, o controle do desmatamento e a proteção ambiental (NOGUEIRA, 2008).

Por propiciar uma gama de produtos bem mais variada que a oferecida pelas técnicas e sensores fotográficos tradicionais, o Sensoriamento Remoto foi consolidado como ferramenta para geração de mapas temáticos. Para Silva (1995), o desenvolvimento lado a lado com a ciência da computação, a partir do final dos anos 50, fez com que essa tecnologia viesse a englobar, não apenas diferentes tipos de imagens e sensores, mas também, o emprego de técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI).

Rechiuti (1996) define PDI como a manipulação e análise de uma imagem por computador com a finalidade de extrair informações. Dentre as técnicas de PDI disponíveis, foram utilizadas nesse trabalho, técnicas de realce e de classificação digital, aplicadas sobre as imagens da série temporal. Baca (2002) relatou que a classificação multitemporal de imagens possibilita analisar a dinâmica da paisagem, e ainda que os dados mais fundamentais surjam de observações do estado de uma paisagem em dois períodos de tempo.

Nesse contexto, este capítulo propõem-se a verificar a ocorrência de fenômenos dinâmicos na área de estudo e fundamenta-se em três objetivos específicos:

- Elaborar mapas da área de estudo para analisar e quantificar os temas de uso e cobertura da terra nos anos de 2000, 2006 e 2012.
- Elaborar mapas da área de estudo para analisar e quantificar os processos de manutenção, expansão e redução florestal.
- Estabelecer dois mapas (mapa de uso e cobertura inicial e mapa de uso e cobertura final) para serem incorporados ao modelo de simulação como variáveis dinâmicas.

3.2 Metodologia

3.2.1 Mapeamento temático do uso e cobertura da terra

A metodologia para o mapeamento dos temas identificados na área de estudo, dentre eles: floresta, campo, solo exposto e lâmina d'água, foi executada no aplicativo SPRING, de acordo com a sequência de etapas descritas a seguir.

3.2.1.1 Processamento digital de imagens Landsat

Em um primeiro momento optou-se pelo uso de imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat 5. As imagens foram escolhidas por apresentarem média resolução espacial (30 metros), por permitirem a adequada identificação das classes de uso e cobertura da terra pela interpretação de características relacionadas à sua forma, textura e tonalidade.

O satélite Landsat 5 foi lançado em 1984, portando o sensor TM, que registra dados em sete bandas espectrais (três no visível, uma no infravermelho próximo, duas no infravermelho médio e uma no infravermelho termal do espectro eletromagnético); a resolução espectral é 8 bits, a resolução temporal é de 16 dias e a área imageada é de 185 x 185 km (SILVA, 1995). Suas imagens são distribuídas gratuitamente pelo INPE e assim foram obtidas mediante um cadastro de usuário.

Na tabela 1 encontra-se a relação das cenas utilizadas para comporem um mosaico de imagens abrangente da área de estudo.

Tabela 1 – Relação das cenas Landsat abrangentes de três macrozonas do Bioma Pampa e as respectivas datas analisadas.

Órbita	Ponto	Data
221	081	28/10/2011
	082	28/10/2011
	083	28/10/2011
222	080	29/10/2009
	081	04/11/2011
	082	17/01/2010
	083	23/04/2010
223	080	16/03/2011
	081	26/12/2010
	082	03/05/2011
224	080	02/11/2011
	081	24/04/2011
225	080	22/09/2011
	081	06/09/2011

Fonte: Lippert (2014).

As imagens TM estão disponíveis originalmente no formato Geotiff, o qual possibilita importação direta no banco de dados geográficos do SPRING. Utilizando a opção "mosaico", foi construída uma imagem digital única para o recobrimento de toda a área. Como técnica de processamento digital utilizou-se o realce por contraste linear, que consiste de uma transferência radiométrica em cada pixel, em que um histograma da imagem descreve a distribuição estatística dos níveis de cinza (INPE, 2012). As técnicas de realce têm por objetivo melhorar a visualização da cena. Novo (2010) classifica as técnicas de processamento digital em três conjuntos: técnicas de pré-processamento, técnicas de realce e técnicas de classificação. As técnicas de pré-processamento referem-se ao conjunto de programas que permitem a transformação de dados digitais brutos em dados corrigidos radiométrica e geometricamente; as técnicas de realce visam melhorar a qualidade visual da imagem, e as técnicas de classificação visam o reconhecimento automático dos objetos da cena a partir da análise quantitativa dos níveis de cinza.

O realce é normalmente utilizado como uma etapa prévia para a interpretação e posterior classificação de imagens digitais. Os temas de interesse para a classificação digital foram identificados com o auxílio de três composições coloridas. Obedecendo a sequência de canais do visível do espectro eletromagnético (azul, verde e vermelho) foram elaboradas as composições com as bandas espectrais Landsat: 1, 2, 3; 3, 4,5 e 2,3,4.

3.2.1.2 Processamento digital de imagens MODIS

O MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) é um instrumento sensor que está a bordo do satélite TERRA, integrante do programa *Earth Observing System* (EOS), desenvolvido pela *National Aerospace and Space Administration* (NASA) para observação e coleta de dados sobre o planeta Terra. Suas imagens são distribuídas gratuitamente pela NASA e dentre os produtos disponíveis foi escolhido o MOD13Q1, especificamente as bandas espectrais *Blue, Red, NIR, MIR* e ainda as imagens índices de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Enhanced Vegetation Index* (EVI).

A área de estudo está contida em duas cenas MODIS, e para efetuar o *download* foi necessária apenas a escolha em função do quadrante de abrangência das cenas (h13v11 e h13v12) e das datas de interesse (11/07/2000, 12/07/2006 e 11/07/2012). Os arquivos digitais dessas imagens estão disponíveis no formato original *.hdf (*Hierarchical Data Format*), que contém dados de calibração, navegação, informações da missão, características de qualidade, tipo e lugar do processamento, estação receptora, tempo de início e fim da tomada da imagem e referências geográficas das imagens (RUDORFF, 2007). Para a execução das técnicas do processamento digital no SPRING, foi necessária a conversão para o formato Geotiff, através do aplicativo desenvolvido pela NASA (2012), o MRT - *Modis Reprojection Tool*. No processo de conversão foram definidos os parâmetros cartográficos (sistema de referência, sistemas de coordenadas, escala, resolução espacial) compatíveis com os demais dados processados no SPRING, para posterior importação das imagens e composição de um mosaico.

Foram selecionadas as bandas espectrais *Blue* (intervalo espectral entre 0,459-0,479 μ m), *Red* (0,620-0,670 μ m), *Near Infrared* – NIR, (0,841-0,876 μ m), *Mid Infrared* – MIR (1,230-1,250 μ m) de resolução espacial igual a 250 metros. Tais bandas espectrais

formaram composições coloridas, usadas para discriminar padrões de vegetação, solo e água da área de estudo, tais como realizado através das imagens Landsat.

3.2.1.3 Classificação digital

Classificar imagens consiste em estabelecer um processo de decisão, no qual um grupo de pixels é definido como pertencente a uma determinada classe (VENTURIERE e SANTOS, 1998). Nesse processo, os níveis de cinza da imagem são categorizados, utilizando-se algoritmos estatísticos de programas computacionais para o reconhecimento de padrões espectrais. De acordo com o algoritmo utilizado, a classificação é dita supervisionada ou não supervisionada, envolvendo duas fases distintas: o treinamento e a fase de classificação propriamente dita (MOREIRA, 2011).

A classificação realizada para este trabalho foi supervisionada, e caracterizou-se pela tomada de amostras de treinamento de cada classe sobre as imagens MODIS. O algoritmo de máxima verossimilhança “MaxVer” atribuiu os pixels à determinada classe por meio do grau de associação booleano (0 ou 1). MaxVer adota a função de densidade probabilística, baseada na estatística Bayesiana, a qual verifica a probabilidade de cada pixel em pertencer a uma determinada classe, englobando-a na de maior probabilidade (VENTURIERE e SANTOS, 1998).

Foram definidas as seguintes classes temáticas no processo de classificação digital:

Floresta: compreende todas as formações florísticas de porte arbóreo, nas quais as florestas nativas são as de ocorrência natural, e as florestas plantadas (florestamentos e reflorestamentos), com espécies introduzidas.

Solo exposto: classe representada por áreas de terra preparadas para o cultivo, áreas agrícolas em pousio na data de tomada das imagens, culturas recentemente implantadas e áreas de voçorocas e ravinas provocadas por processos erosivos e ainda afloramento de rochas.

Campo: vegetação rasteira nativa, composta em sua maioria por gramíneas, e ainda pequenas áreas de pastagem implantadas.

Lâmina d'água: compreende açudes, barragens e canais fluviais, podendo aparecer também em alguns casos áreas inundadas pelo cultivo do arroz.

Para avaliar os resultados da classificação digital, um dos parâmetros utilizados é o coeficiente Kappa (K) (CONGALTON e GREEN, 1999), obtido mediante a adoção de uma referência para comparação dos mapas produzidos. Neste caso, a análise da exatidão é obtida por meio de matrizes de erro, que apresentam a distribuição de percentagem de pixels classificados correta e erroneamente. A confiabilidade da matriz de erros depende da amostragem, registro e conhecimento, sendo importante que a amostra de treinamento seja homogênea e representativa da classe de interesse. A equação a seguir fornece o valor de Kappa:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ij} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{i+})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{i+})} \quad (14)$$

Em que:

r = número de classes;

x_{ij} = número de elementos classificados corretamente;

x_{i+} = total de elementos classificados para uma categoria i ;

N = número total de amostras.

O coeficiente Kappa varia entre 0 e 1; 1 representa uma completa concordância entre a imagem classificada e o dado de referência. O valor obtido pode ser comparado com os valores de Landis e Koch (1977), (Tabela 2):

Tabela 2 – Qualidade da classificação digital segundo intervalos do coeficiente Kappa.

Valor do Kappa	Qualidade da Classificação
0,00	Péssima
0,0 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

3.2.2 Análise temporal da evolução florestal

Os processos de transição (expansão e redução) da cobertura florestal presentes na área de estudo foram analisados com base nos mapas de uso e cobertura da terra elaborados para as três datas, através da classificação digital das imagens MODIS. Dois mapas foram sobrepostos por meio de operadores booleanos de álgebra de mapas para determinar os processos de evolução ocorridos entre duas datas (2000 a 2006, 2006 a 2012 e 2000 a 2012).

O resultado do cruzamento desses mapas definiu três novas classes temáticas: a primeira foi denominada “manutenção florestal” e refere-se aos locais de permanência das florestas nas duas datas de análise; a segunda classe, “redução florestal” indica locais em que havia floresta na primeira data e que posteriormente foi substituída por campo, solo exposto ou água; a terceira classe, chamada “expansão florestal” define as áreas em que floresta substituiu as demais classes de uso e cobertura da terra na segunda data.

O SPRING possui uma linguagem de consulta e manipulação espacial, denominada Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – LEGAL. Essa linguagem provê um ambiente geral para análise geográfica, com operadores espaciais sobre geo-campos e geo-objetos existentes no banco de dados do SPRING, introduzidos pelo modelo conceitual (CÂMARA, 1995). O modelo "campos" enxerga o espaço geográfico como uma superfície contínua, sobre a qual variam os fenômenos a serem observados, segundo diferentes distribuições, como um mapa de uso da terra. Já o modelo de "objetos" representa o espaço geográfico como uma coleção de entidades distintas e identificáveis, como um cadastro espacial de lotes urbanos.

A programação em LEGAL é estruturada em uma lista de sentenças que descrevam um procedimento, ou um conjunto de ações sobre dados espaciais. Tais sentenças são estruturadas em quatro grandes grupos: I) Declarações das variáveis; II) Instanciações das variáveis; III) Operações de álgebra de mapas; e IV) Comandos de controle (BARBOSA e CORDEIRO, 2001).

As declarações definem variáveis que serão associadas aos dados fornecidos num programa. As instanciações são efetivamente associadas aos planos de informação e correspondem a operações de dados existentes no SPRING, ou à criação de um novo dado representado em um plano de informação. As operações correspondem à aplicação de operadores sobre as variáveis declaradas e instanciadas, segundo regras gramaticais definidas.

Cada sentença descreve uma operação de atribuição, que consiste em atribuir o resultado da avaliação de uma expressão algébrica a uma variável definida pelo programa. Os comandos de controle permitem o controle de fluxo de processamento do programa. As sentenças em LEGAL também envolvem símbolos, como '{', '(', ')', '>'; operadores como '+', '*', '&&', 'II'; palavras reservadas como Novo, Nome, Atribua, Pondere; nome de variáveis, como os modelos de dados disponíveis no SPRING; e nomes de itens, referentes aos planos de informação (INPE, 2012).

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Mapeamento temático do uso e cobertura da terra

A quantificação dos resultados encontrados para a área de estudo, nos anos de 2000, 2006 e 2012, podem ser observadas na tabela 3. As matrizes de erro das amostras tomadas na classificação digital das três datas, bem como o cálculo do índice Kappa para essas amostras são demonstrados nas tabelas 4, 5 e 6. Os resultados para o coeficiente Kappa são qualificados como excelentes de acordo com a literatura (LANDIS e KOCH, 1977).

Tabela 3 – Quantificação das áreas das classes temáticas das macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense nos anos 2000, 2006 e 2012.

Tema	Ano 2000	Alteração	Ano 2006	Alteração	Ano 2012
	Área (km ²)	(ha)	Área (km ²)	(ha)	Área (km ²)
Água	423,18	333,07	756,25	172	928,25
Solo exposto	21.145,43	10.395,63	31.541,06	-5.182,94	26.358,12
Campo	76.698,70	-16.693,58	60.062,12	-4.806,87	55.255,25
Floresta	7.716,37	5.907,88	13.624,25	9.817,81	23.442,06
Total	105.983,68		105.983,68		105.983,68

Fonte: Lippert (2014).

A quantificação das classes de uso e cobertura da terra totalizou 105.983,68 km², e constatou-se que, em todas as classes temáticas, ocorreram mudanças significativas durante o período de análise. As classes "Água", "Solo exposto" e "Floresta" apresentaram aumento em área ocupada ao final do período. Por outro lado, a classe "Campo" sofreu redução de forma contínua ao longo do período de análise.

Tabela 4 – Cálculo do coeficiente Kappa para a classificação digital da imagem de 2000.

Matriz de erros das amostras da classificação digital						
	Floresta	Água	Solo	Campo	Abstenção	∑ Linha
Floresta	1554	0	0	3	0	1557
Água	0	473	0	9	0	482
Solo exposto	0	1	930	0	0	931
Campo	0	2	0	420	0	422
∑ Coluna	1554	476	930	432	0	3392
Cálculo do coeficiente Kappa das amostras						
∑ Linha x Coluna			3392			
∑ Linha²			3.701.418			
∑ Diagonal			3.377			
Índice Kappa			0,9935			

Fonte: Lippert (2014).

As maiores concentrações da cobertura florestal no ano de 2000 (Figura 14) estão localizadas em regiões de maior variação altimétrica, com destaque para a Depressão Central, unidade de paisagem onde o uso é intensivo no inverno e no verão, na macrozona Escudo Sul-Rio-Grandense, nas unidades de paisagem de campos subarbustivos e campos mistos. As florestas também aparecem ao longo de canais fluviais (mata de galeria), nas encostas de morros e aparecem sob a forma de capões dispersos. Plantios florestais de espécies introduzidas dos gêneros *Eucalyptus*, *Pinus* e *Acacia*, já fazem parte da cobertura florestal presentes em toda área de estudo, porém com menor intensidade e presentes, em sua maioria, nas proximidades da região metropolitana onde encontram-se empresas de base florestal; são exceção os povoados de *Pinus* presentes na região do município de Piratini.

Tabela 5 – Cálculo do coeficiente Kappa para a classificação digital da imagem de 2006.

Matriz de erros das amostras da classificação digital						
	Floresta	Água	Solo	Campo	Abstenção	Σ Linha
Floresta	1100	3	2	2	0	1107
Água	0	37	3	0	0	40
Solo exposto	0	85	708	20	0	813
Campo	0	0	15	699	0	714
Σ Coluna	1100	125	728	721	0	2674
Cálculo do coeficiente Kappa das amostras						
Σ Linha x Coluna				2.674		
Σ Linha²				2.397.814		
Σ Diagonal				2.544		
Índice Kappa				0,9268		

Fonte: Lippert (2014).

Tabela 6 – Cálculo do coeficiente Kappa para a classificação digital da imagem de 2012.

Matriz de erros das amostras da classificação digital						
	Floresta	Água	Solo	Campo	Abstenção	Σ Linha
Floresta	896	124	1	6	0	1027
Água	57	646	1	0	0	704
Solo exposto	5	10	742	0	0	757
Campo	0	0	0	110	0	110
Σ Coluna	958	780	744	116	0	2598
Cálculo do coeficiente Kappa das amostras						
Σ Linha x Coluna				2.598		
Σ Linha²				2.135.494		
Σ Diagonal				2.394		
Índice Kappa				0,8851		

Fonte: Lippert (2014).

No ano de 2006 (Figura 15) ocorreu expressivo acréscimo na cobertura florestal, cuja expansão é observada nas mesmas unidades de paisagem detectadas no mapa do ano anterior. Aumenta a presença de fragmentos florestais, bem como sua área, principalmente nas maiores altitudes e na região nordeste da área de estudo, onde há presença de empresas florestais que visam a produção de tanino, celulose e papel, e também empresas fumageiras que incentivam a produção florestal com o objetivo de obter energia calorífera. É perceptível grande acréscimo na macrozona Escudo Sul-Rio-Grandense, na unidade de paisagem campos subarbustivos, a qual é limítrofe à macrozona Planície Costeira onde predomina a rizicultura.

No ano de 2012, o mapa de uso e cobertura (Figura 16) apresenta o mesmo padrão dos demais, percebe-se ainda um aumento significativo da cobertura florestal nas mesmas regiões, em relação a 2006. Na região da fronteira oeste as florestas aparecem quase que só ao longo dos cursos hídricos, pertencente à macrozona Cuesta do Haedo, onde ainda predominam as atividades agropecuárias.

Durante um período de 12 anos, a cobertura florestal aumentou em 15.725,69 km². Esse acréscimo acompanha as estimativas do aumento da cobertura florestal em nível estadual, como demonstrado desde os resultados do Inventário Florestal do Rio Grande do Sul, no ano de 2001 (SEMA, 2012).

De acordo com Gracioli (2010), o aumento da cobertura florestal pode estar relacionado com a implantação de florestas de eucalipto, que podem vir a contribuir com a regulamentação das matas ciliares, em função da retirada do gado e isolamento da mesma, possibilitando desenvolvimento da regeneração natural. Pois, com a retirada da atividade de pastejo, as matas ciliares da região tendem a aumentar a riqueza de espécies e avançar sobre os campos ao longo do tempo. Esse avanço pode ser constatado por meio da série temporal de imagens de sensoriamento remoto obtidas nas três datas.

Os campos são predominantes na paisagem, em especial na macrozona Cuesta do Haedo, onde as áreas de relevo variam de totalmente planas a suave e ondulado, denominadas de coxilhas, onde a principal ocupação é para o criatório extensivo de bovinos. São constituídos de gramíneas ora esparsas e pouco desenvolvidas, ora com bom grau de desenvolvimento, sendo assim chamados de campos sujos, potencializando de forma distinta a ocupação de animais (BENEDETTI, 2006). Ao fim do período, em 2012, essas áreas sofreram redução de 21.443,45 km², mas ainda constituem a maior cobertura da área de estudo.

Bolfé et al. (2009) também detectou que as pastagens naturais e cultivadas constituíram a classe de ocupação mais expressiva, correspondendo a aproximadamente 50%,

na média da cobertura dos 35 municípios de sua área de estudo (o sul do Rio Grande do Sul), concentrando-se na região fronteira com o Uruguai. Segundo o autor, as pastagens naturais/cultivadas, juntamente com a agricultura/solo exposto, constituíram-se nas classes de ocupação mais expressivas, constituindo em média 83% das áreas municipais.

Essas classes de usos estão condicionadas aos padrões culturais e as condições edafoclimáticas encontradas nessas regiões, que proporcionaram à região sul a obtenção da segunda maior concentração de rebanho bovino e a segunda maior produção de arroz do Estado entre 2004 e 2005, com 12,7% e 16,3% respectivamente, atrás da região da fronteira oeste, com 24,2% do rebanho bovino e 36,5% da produção de arroz (IBGE, 2012).

A classe “Solo exposto” é associada, muitas vezes, à áreas lavradas para a introdução de culturas agrícolas, correspondem também a áreas de agricultura irrigada, pelo preparo do solo neste período do ano, uma vez que as imagens MODIS foram tomadas no mês de julho. Essas áreas foram acrescidas em 5.212,69 km² após doze anos.

Bolfe et al. (2009), em um estudo de uso e ocupação da terra em municípios do sul do RS com imagens Landsat TM no ano de 2006, verificou que a agricultura/solo exposto constituiu-se na segunda principal classe de ocupação, com cobertura em âmbito municipal variando entre 15% e 55% e valores médios de cerca de 33% porém, os autores ressaltam a necessidade de estudos complementares, tendo em vista a redução de incertezas associadas ao componente “solo exposto”.

As lâminas d’água aumentaram em 505,07 km²; são reservatórios naturais ou artificiais usados para o consumo do gado e muitas vezes para a irrigação das lavouras. Conforme Bolfe et al. (2009), esses valores estão associados ao elevado número de barragens utilizadas para a cultura do arroz irrigado nesses municípios.

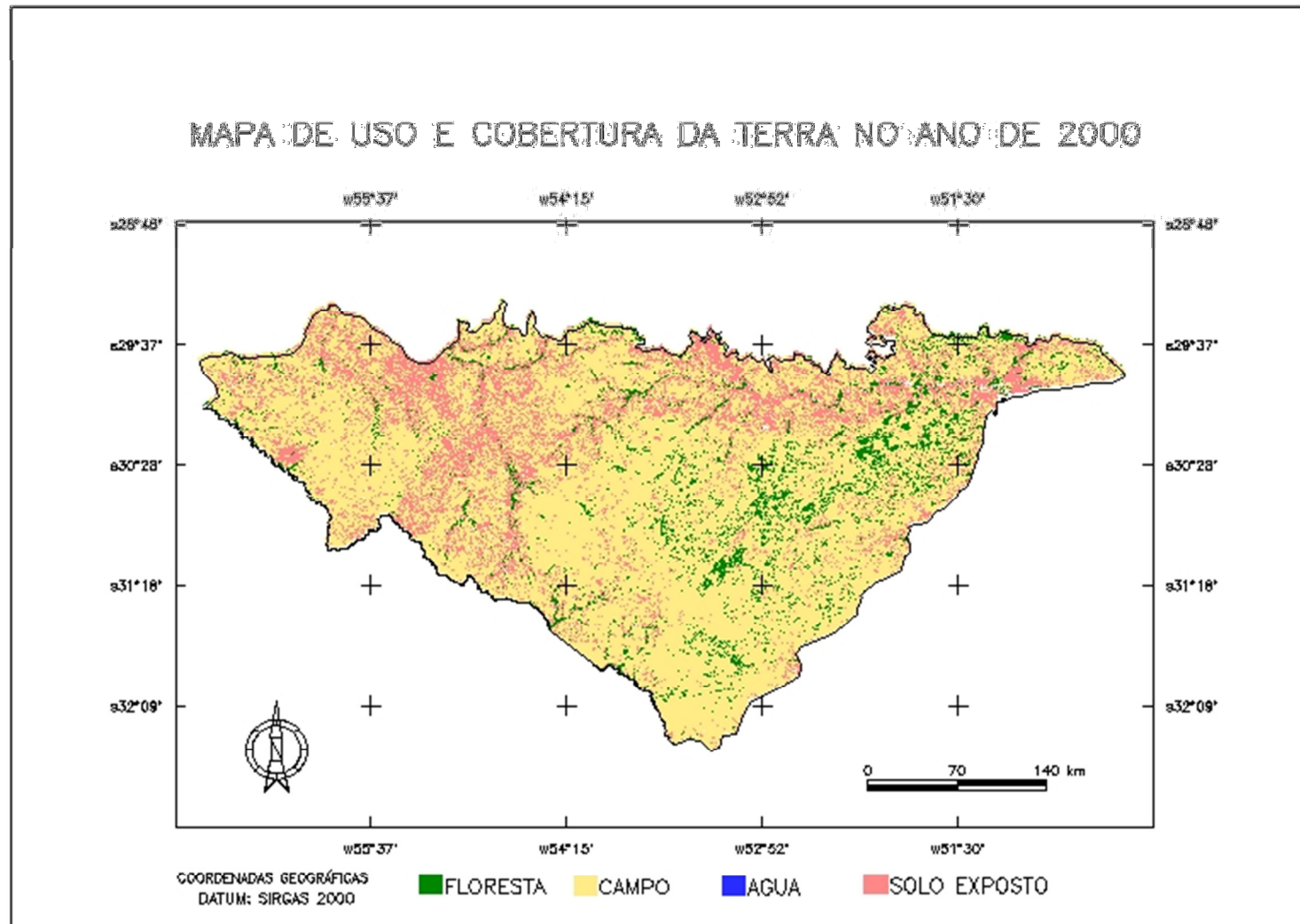


Figura 14 – Mapa de uso e cobertura da terra nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense no ano de 2000. Fonte: Lippert (2014).

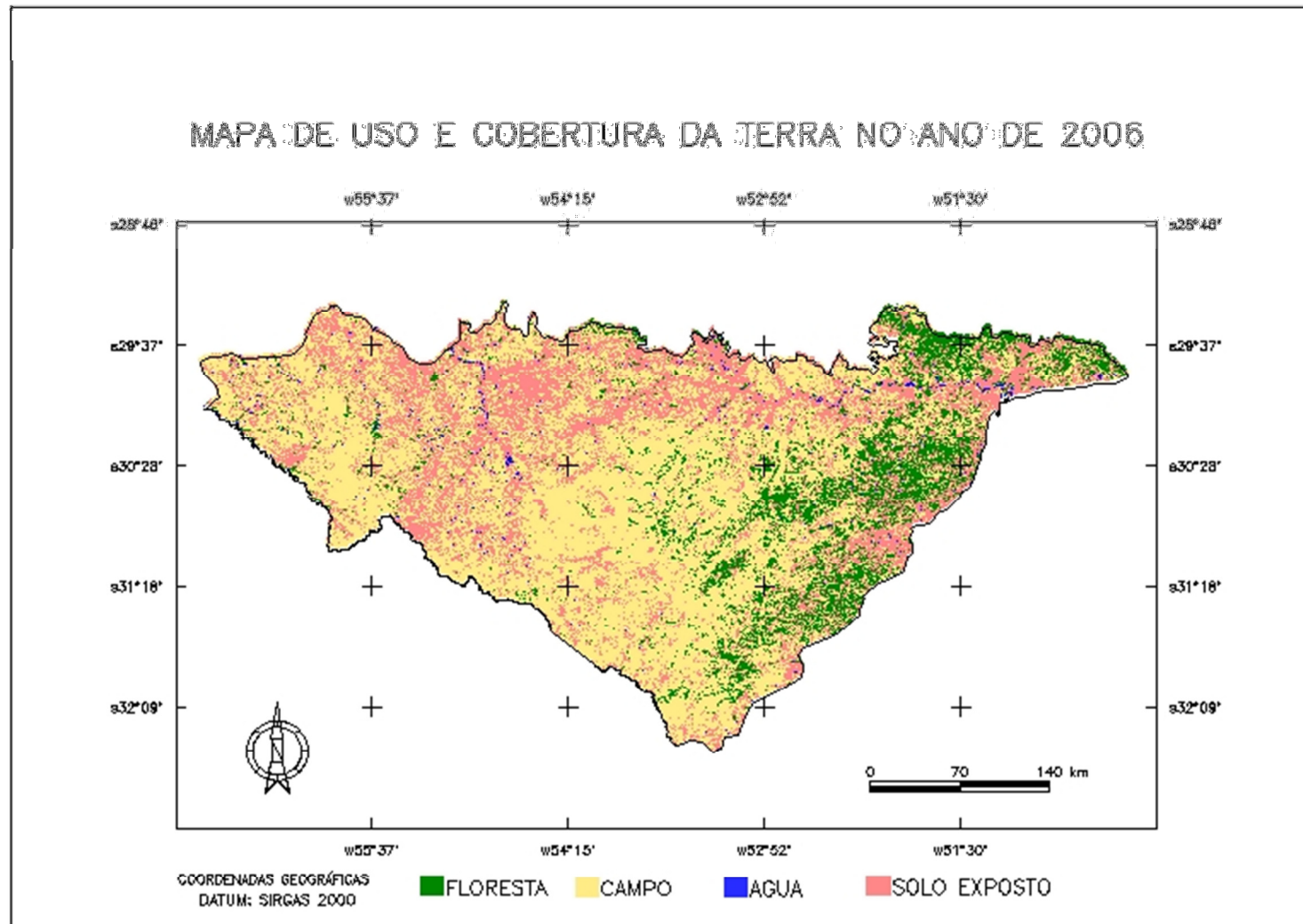


Figura 15 – Mapa de uso e cobertura da terra nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense no ano de 2006.

Fonte: Lippert (2014).

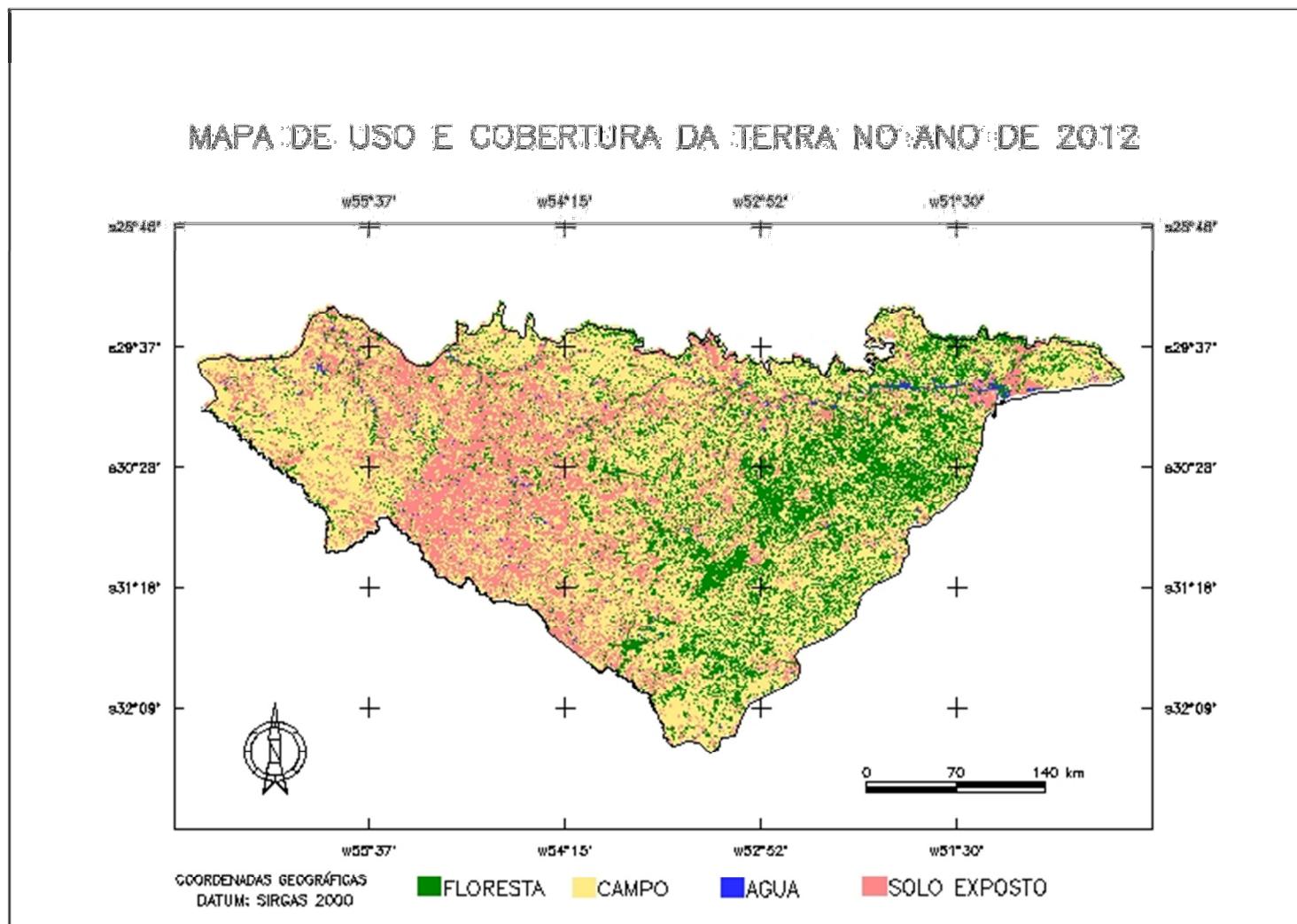


Figura 16 – Mapa de uso e cobertura da terra nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense no ano de 2012.

Fonte: Lippert (2014).

3.3.2 Análise de transições florestais

A evolução da cobertura florestal na área de estudo foi analisada em três intervalos de tempo, considerando 2000 a 2006 (Figura 17), 2006 a 2012 (Figura 18) e 2000 a 2012 (Figura 19). Os resultados para as novas classes consideradas como de transição da cobertura florestal (redução, expansão e manutenção florestal) são demonstrados na tabela 7

Tabela 7 – Processos de evolução da cobertura florestal ocorridos nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense entre anos 2000, 2006 e 2012.

Processo	2000-2006	%	2006-2012	%	2000-2012	%
	Área (km ²)	relativo à área total	Área (km ²)	relativo à área total	Área (km ²)	relativo à área total
Redução	3.608,74	3,4	4.676,99	4,4	2.090,94	2,0
Expansão	10.503,55	9,9	16.219,97	15,3	20.447,10	19,3
Manutenção	5.384,51	5,1	11.133,62	10,5	6.902,31	6,5

Fonte: Lippert (2014).

A manutenção florestal caracteriza-se pela permanência das florestas nas duas datas analisadas. Observa-se um valor superior de manutenção no segundo período, entre 2006 e 2012, provavelmente devido à expansão florestal verificada após 2006. Se considerarmos o ciclo de corte das espécies introduzidas, essa manutenção pode tratar-se de florestas plantadas que ainda não foram colhidas. Alguns locais de manutenção também podem indicar o estabelecimento de florestas nativas, muitas delas localizadas em Áreas de Preservação Permanente (APP).

A redução florestal indica muitas áreas que passaram a ser ocupadas por atividades agrícolas, visto que ocorrem em áreas planas, perceptível ao compararmos o mapa altimétrico (Figura 7) com os mapas de transições florestais.

A expansão das áreas florestais supera os valores de redução nos dois períodos. Destaca-se a expansão nas altitudes mais elevadas e nas vertentes mais íngremes dos afluentes da drenagem, onde áreas menos propícias para agricultura são abandonadas, muitas vezes pela imposição da legislação ao corte de florestas nativas. Benedetti (2006), ao analisar a evolução

florestal no centro do Estado, constatou que expansão está diretamente relacionada aos processos de ocupação das atividades agrícolas e à distância aos centros urbanos de maior densidade demográfica.

Entre 2000 e 2006 a expansão florestal pode estar relacionada às implantações florestais bem como à regeneração de florestas nativas. Analisando 2006 e 2012 verifica-se que grande parte da área expandida no período anterior, permanece, sendo classificada agora como manutenção, isso pode ser explicado pelo fato de serem florestas plantadas de *Eucalyptus* spp. e também de *Acacia mearnsii*, espécies com ciclo de corte variando entre sete e doze anos. Em casos em que no mapa de 2000-2006 havia manutenção e na próxima análise (2006-2012) observa-se redução ou desmatamento, a justificativa pode estar na colheita florestal.

Segundo o resumo público do monitoramento de florestas da TANAGRO S.A., referente ao ano de 2011, a empresa possui povoamentos florestais de *Acacia mearnsii* nas cidades de Montenegro, Triunfo, Arroio Grande, Camaquã, Canguçu, Chувиска, Cristal, Pedro Osório, São Lourenço do Sul, Amaral Ferrador, Cachoeira do Sul, Dom Feliciano, Encruzilhada do Sul, Piratini, Bagé, Candiota, Cerrito, Dom Pedrito, Herval e Pinheiro Machado, somando uma área total de 58.334,6ha onde o efetivo plantio é de 27.884,1 ha (TANAC, 2012).

Segundo Gracioli (2010), nas áreas hoje ocupadas por povoamentos florestais, onde ocorreu a retirada do gado, as formações ciliares terão um maior desenvolvimento, pois as matas ciliares de ocorrência dessa região apresentam formações abertas, com grande incidência de luz no interior, pelo efeito de borda, facilitando o desenvolvimento de espécies pioneiras. Em estudos realizados na região do município de Pinheiro Machado observou-se que 72% das espécies encontradas na regeneração natural da mata ciliar são arbóreas e 28% são arbustivas e essa baixa quantidade de espécies arbustivas no interior das matas deve-se às atividades da pecuária utilizada na área antes dos plantios florestais. A autora ainda afirma que, com retirada da atividade da pecuária dos campos, ocorre a mudança na composição florística e a predominância de espécies de maior porte, pioneiras, que formam touceiras, em detrimento de espécies de menor porte e dependentes de luz.

Bolfe et al., (2009) detectou as maiores áreas com florestas naturais nos municípios de Canguçu, São Lourenço do Sul, Piratini, Camaquã e Encruzilhada do Sul, restringindo-se, no entanto, a um percentual máximo em âmbito municipal inferior a 16% e as áreas mais expressivas com reflorestamentos (pinus, acácia, eucalipto) foram detectadas em Encruzilhada

do Sul e Piratini, representando, no máximo, 15% da área municipal, destacando-se em termos relativos os municípios de Encruzilhada do Sul, Santana da Boa Vista e Piratini.

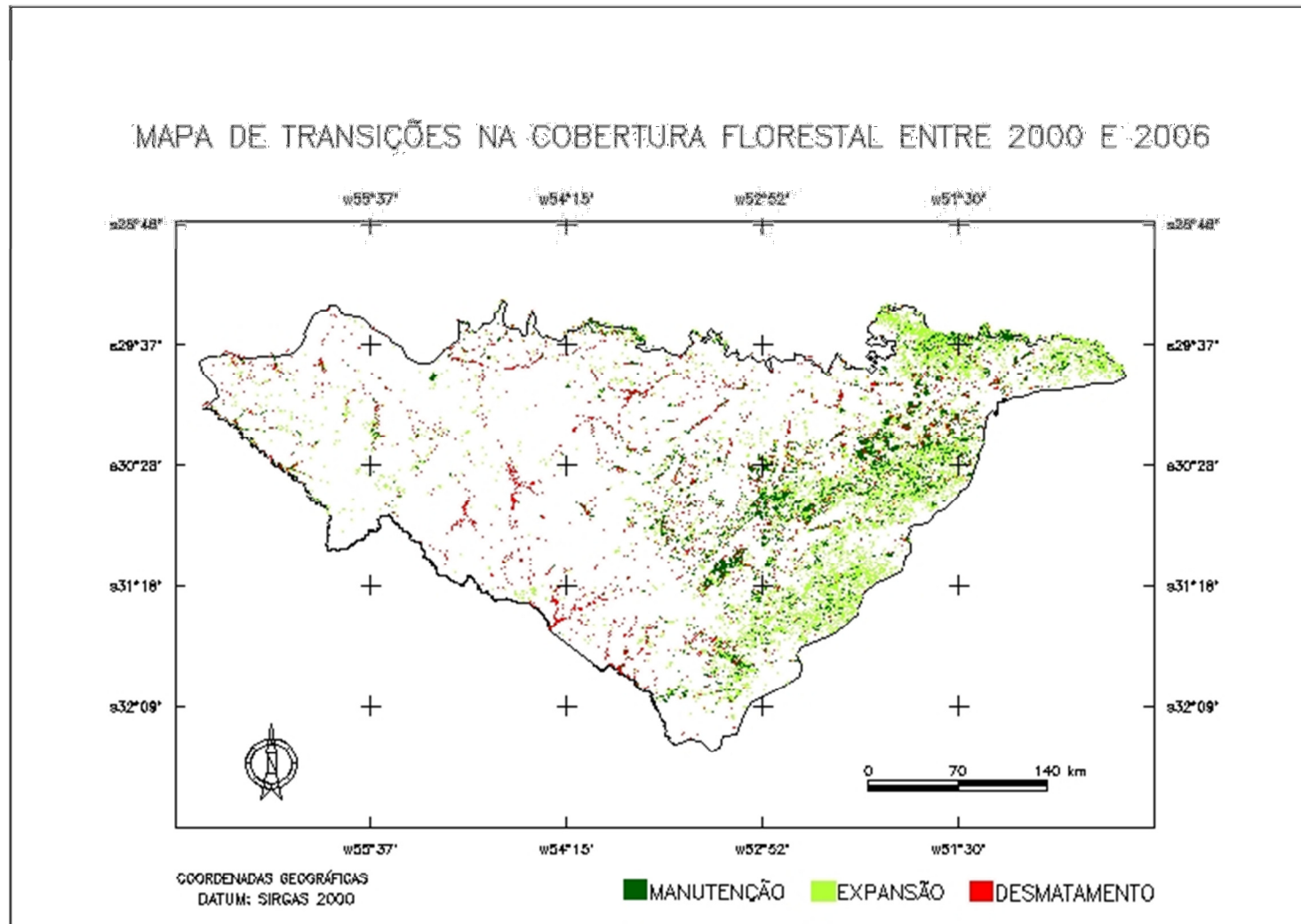


Figura 17 – Processos de transição florestal nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, entre os anos 2000 e 2006.

Fonte: Lippert (2014).

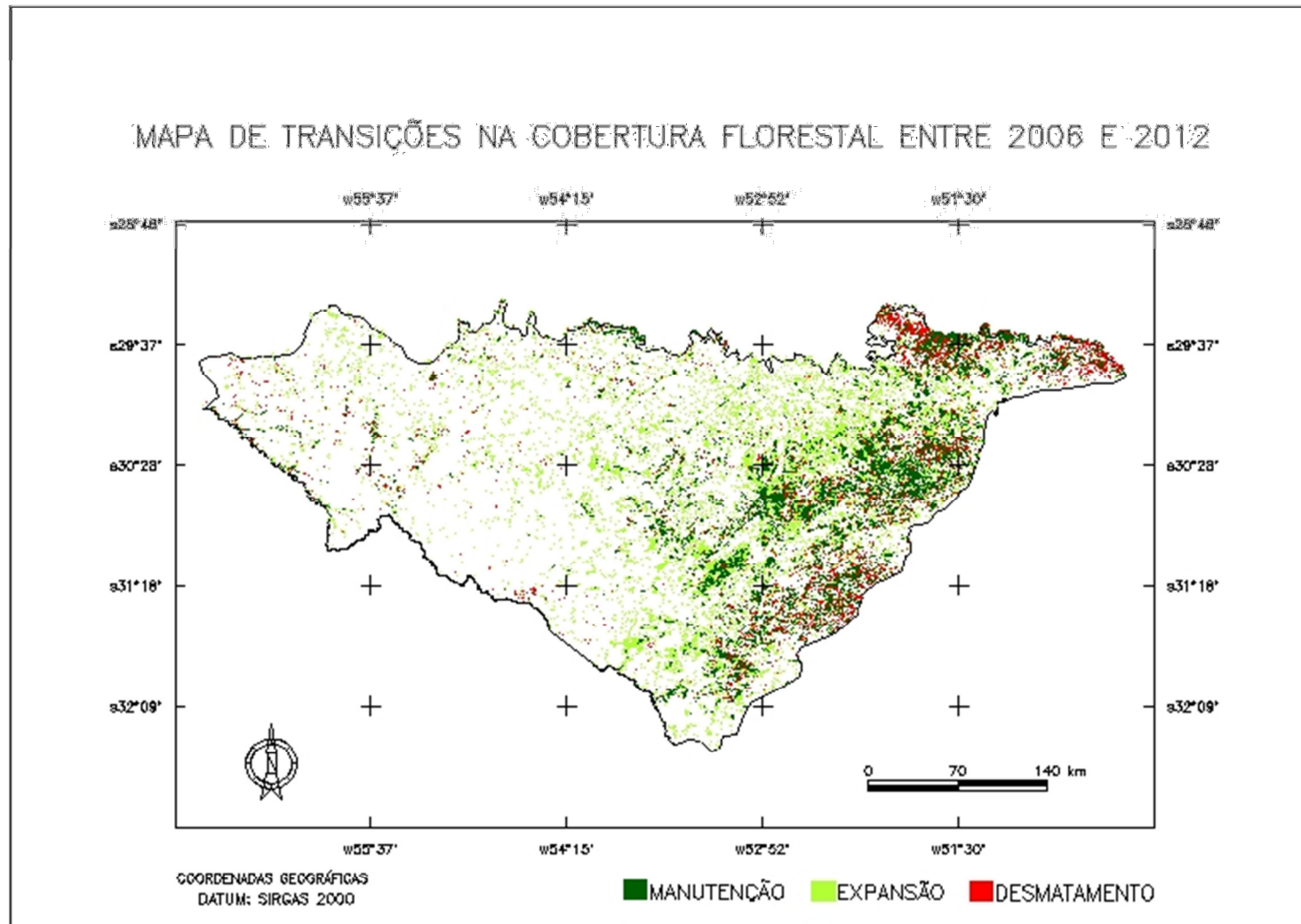


Figura 18 – Processos de transição florestal nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, entre os anos 2006 e 2012.

Fonte: Lippert (2014).

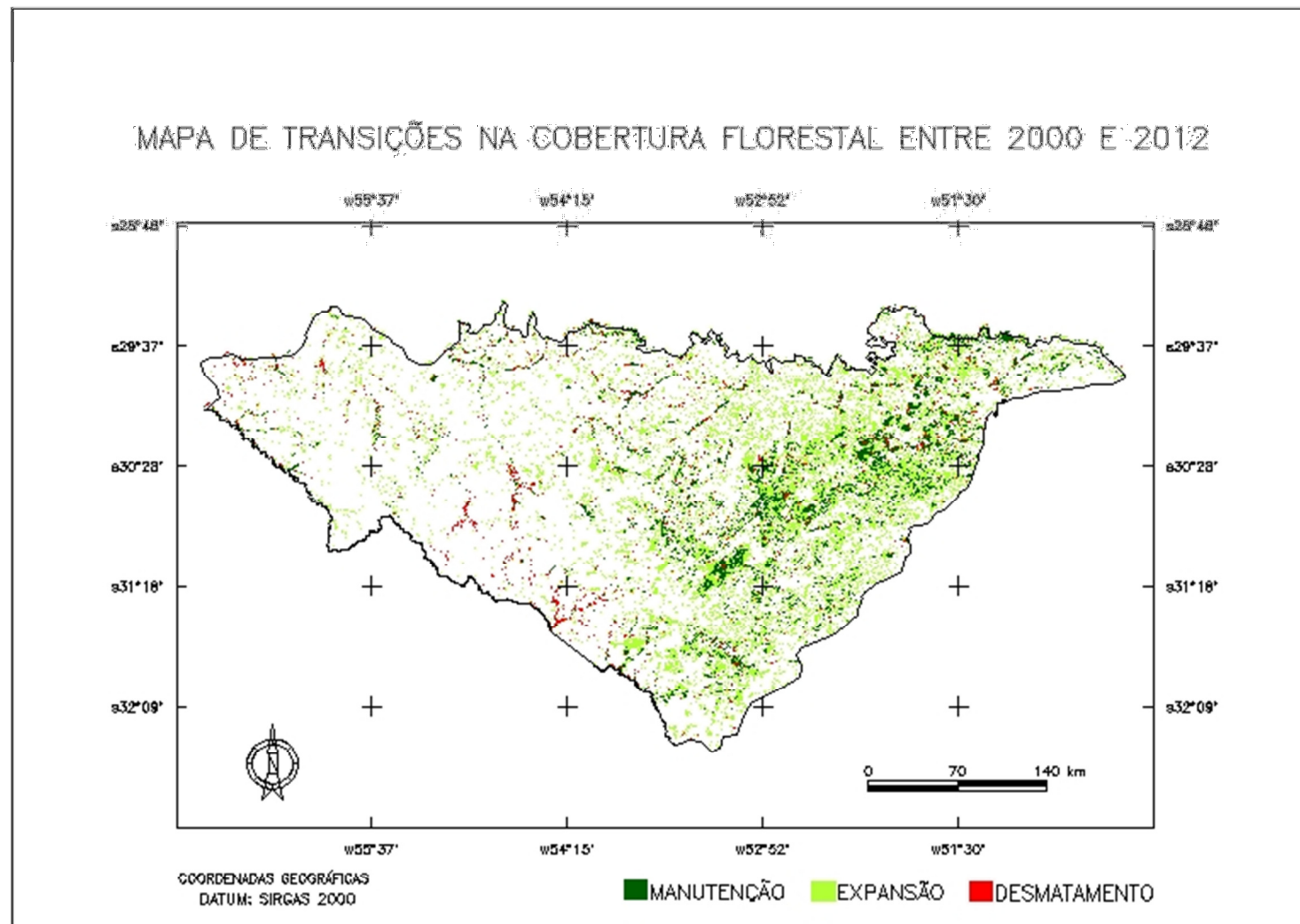


Figura 19 – Processos de transição florestal nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, entre os anos 2000 e 2012.

Fonte: Lippert (2014).

3.4 Conclusão

A metodologia adotada possibilitou avaliar a distribuição espacial das classes de uso e cobertura da terra nas três datas analisadas. A quantificação dessas classes demonstrou a maior ocupação pelas áreas de campo, seguidas por solo exposto, floresta e água.

Posteriormente, a análise de transições envolvendo a cobertura florestal indicou uma expansão florestal nos três períodos avaliados, sendo mais expressiva entre os anos de 2006 e 2012. A redução também é superior à ocorrida no primeiro período, porém não supera os valores encontrados pela manutenção e pela expansão florestal.

O mapeamento temático realizado nessa etapa originou a seleção de duas variáveis dinâmicas, visto que verificaram-se processos de conversão entre as classes; foram selecionados os mapas de uso e cobertura da terra referentes ao ano 2000 e 2012.

4 CAPÍTULO III: MODELAGEM DINÂMICA E SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS

4.1 Introdução

Os modelos de simulação que reproduzem o padrão das mudanças no espaço podem ser considerados requisitos para o entendimento e avaliação de questões complexas do meio ambiente nas diferentes escalas espaciais (SOARES-FILHO et al., 2004). Nesse intuito é relevante a aplicação de metodologias que reproduzam, adequadamente os processos de ocupação humana e as mudanças na paisagem com vistas à prospecção de cenários que possam vir a ser uma ferramenta de gestão territorial e ambiental.

Este capítulo é destinado à aplicação de um modelo dinâmico de simulação espacial, que integre os mapas referentes às variáveis dinâmicas e às variáveis estáticas concebidas no decorrer do estudo. Recentemente a modelagem dinâmica tem sido objeto de vários pesquisadores que buscam a projeção de cenários futuros em espaços urbanos e rurais. Contudo, o desenvolvimento de técnicas e abstrações capazes de representar adequadamente fenômenos espaço-temporais dinâmicos ainda é um desafio (PEDROSA e CÂMARA, 2007). Nesse contexto, o capítulo trata dos seguintes objetivos específicos:

- Calibrar e validar um modelo dinâmico de uso e cobertura da terra entre os anos de 2000 e 2012.
- Determinar quais as variáveis dinâmicas e quais as variáveis estáticas exercem maior influência nos processos de transição florestal.
- Simular cenários futuros que apresentem taxas de transição florestal até o ano de 2024, de acordo os resultados já validados.

4.2 Metodologia

4.2.1 Conversões dos formatos de arquivos referentes às variáveis dinâmicas e às variáveis estáticas

Os mapas de uso e cobertura da terra constituem variáveis dinâmicas a serem incorporadas ao modelo. Assim denominadas, por tratar-se de temas (floresta, campo, solo exposto e água) de variação espaço-temporal. Duas variáveis dinâmicas foram consideradas: o mapa temático de uso e cobertura da terra para o ano de 2000 (mapa inicial) e o mapa temático de uso e cobertura da terra para o ano de 2012 (mapa final).

Os demais mapas (rede hidrográfica, rede viária, hipsometria, densidade demográfica, população urbana, população rural, PIB, produção agrícola, ovinocultura e bovinocultura) foram considerados como variáveis estáticas integrantes do modelo. Os mapas estáticos são invariantes ao longo da série temporal. No modelo concebido, a ocorrência dos eventos estáticos é no ano de 2010, data escolhida para tabulação dos dados censitários.

Para serem modelados, todos os mapas constituintes do modelo devem apresentar os mesmos parâmetros quanto à resolução espacial, escala e sistema de coordenadas. Observando tais parâmetros, os mapas gerados no SPRING foram reamostrados e exportados no formato matricial para um segundo aplicativo, o IDRISI®.

O IDRISI® é um SIG amplamente difundido no Geoprocessamento e recorreu-se à sua utilização pela possibilidade de geração de arquivos compatíveis com o modelo a ser implementado no Dinamica EGO. O procedimento realizado é descrito por Benedetti (2010) e o mesmo foi utilizado para estruturar arquivos nos formatos *Idrisi Raster Documentation File* (RDC) e *Idrisi Raster Format* (RST) referentes a cada um dos mapas integrantes do modelo.

4.2.2 Modelagem no Dinamica EGO

O Dinamica EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*) é um modelo computacional desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto (CSR), pertencente ao Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. Baseia-se em simulação discreta e em Autômatos Celulares (AC), utilizando como parâmetros de entrada mapas temáticos da paisagem, representados por uma matriz. Como saída, produz mapas da paisagem e mapas de probabilidade de transição para cada passo de tempo simulado (SOARES-FILHO, 2001).

Constitui um ambiente de modelagem que permite desde a construção de modelos simples estáticos até modelos dinâmicos complexos, que poderão envolver iterações, retroalimentações dinâmicas, abordagens multiregiões, manipulação e combinação algébrica

de dados em vários formatos, como mapas, tabelas, matrizes e constantes, processos de decisão para bifurcação e união de fluxos de execução, e uma série de algoritmos espaciais complexos, para análise e simulação de fenômenos espaço-temporais. O aplicativo contém uma série de algoritmos chamados *functores* destinado à execução de uma operação, por exemplo, de análise espacial e de simulações espaciais, que incluem funções de transição e métodos de calibração e validação de modelos. Os *functores* são ligados em sequência para estabelecer um fluxo encadeado de dados conectados e poderão ser agrupados em *containers* (recipientes) específicos (SOARES-FILHO et al., 2009).

As oito etapas do modelo estruturado no Dinamica EGO, versão 2.0.6 podem ser englobadas em três núcleos principais: calibração, simulação e validação.

4.2.2.1 Calibração do modelo

A calibração do modelo iniciou-se pela geração de duas matrizes que descrevem os processos de transição entre as classes de uso e cobertura da terra, decorridos entre 2000 e 2012. A primeira matriz, *single step*, ou também denominada matriz única, que contabiliza o processo de transição e considera um único intervalo de tempo, de 12 anos, e apresenta, portanto, as taxas totais de conversão nesse período. Já a matriz *multiple steps*, ou matriz múltipla, que utiliza Cadeias de Markov, indica as transições anuais, ocorridas a cada ano do período de tempo analisado (SOARES-FILHO et al., 2009).

Para a geração das duas matrizes, simultaneamente, é estruturado um *container* (Figura 20), que determina o comportamento para um conjunto de operadores contidos nele (RODRIGUES, et al., 2007). Nesse *container* foram definidos os seguintes parâmetros: mapas de uso e cobertura da terra inicial (2000) e final (2012); intervalo de tempo (12 anos) e posteriormente foram nominados os arquivos gerados (matriz única e matriz múltipla).

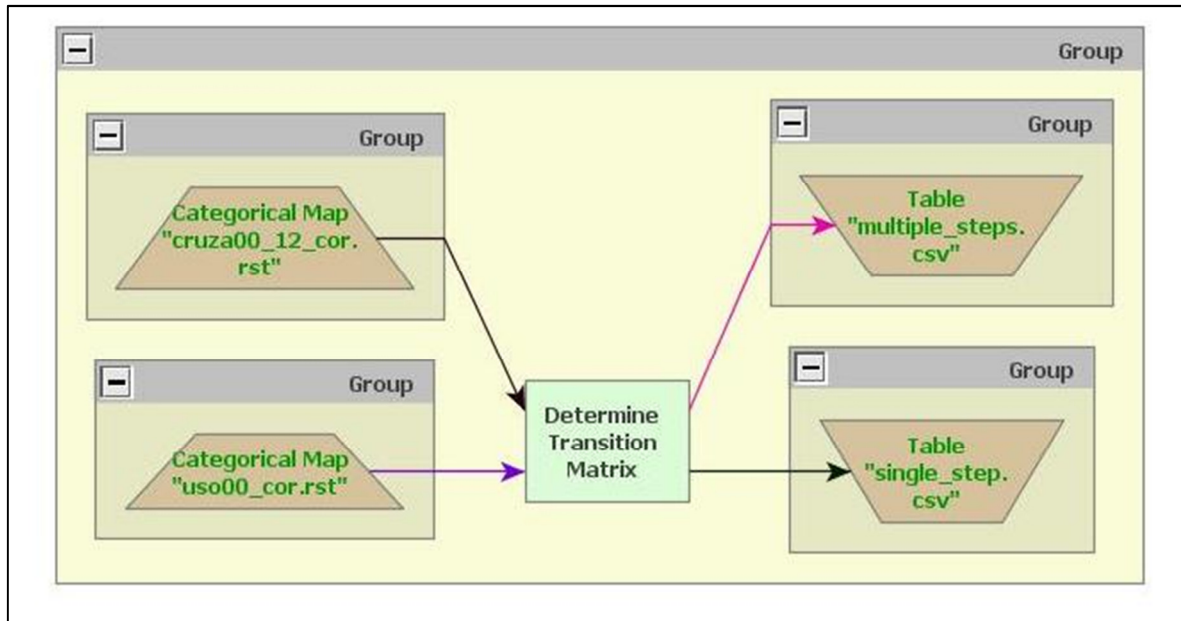


Figura 20 - Estrutura para o cálculo das matrizes de transição múltipla e única no aplicativo Dinamica EGO.

Fonte: Lippert (2014).

Pode ser observado na figura 20, assim como nas posteriores, que os trapézios à esquerda compreendem os dados de entrada do modelo; as caixas centrais referem-se à função executada pelo modelo e os trapézios à direita (dispostos em sentido contrário) representam os dados a serem gerados após a execução.

A etapa subsequente consistiu na criação de cubo de dados, que constitui um arquivo composto por uma série de mapas estáticos reunindo mapas em um raster multicamadas, nomeados dessa forma porque não se alteram durante a iteração do modelo (SOARES-FILHO, et al., 2009). Sua estruturação é apresentada na figura 21.

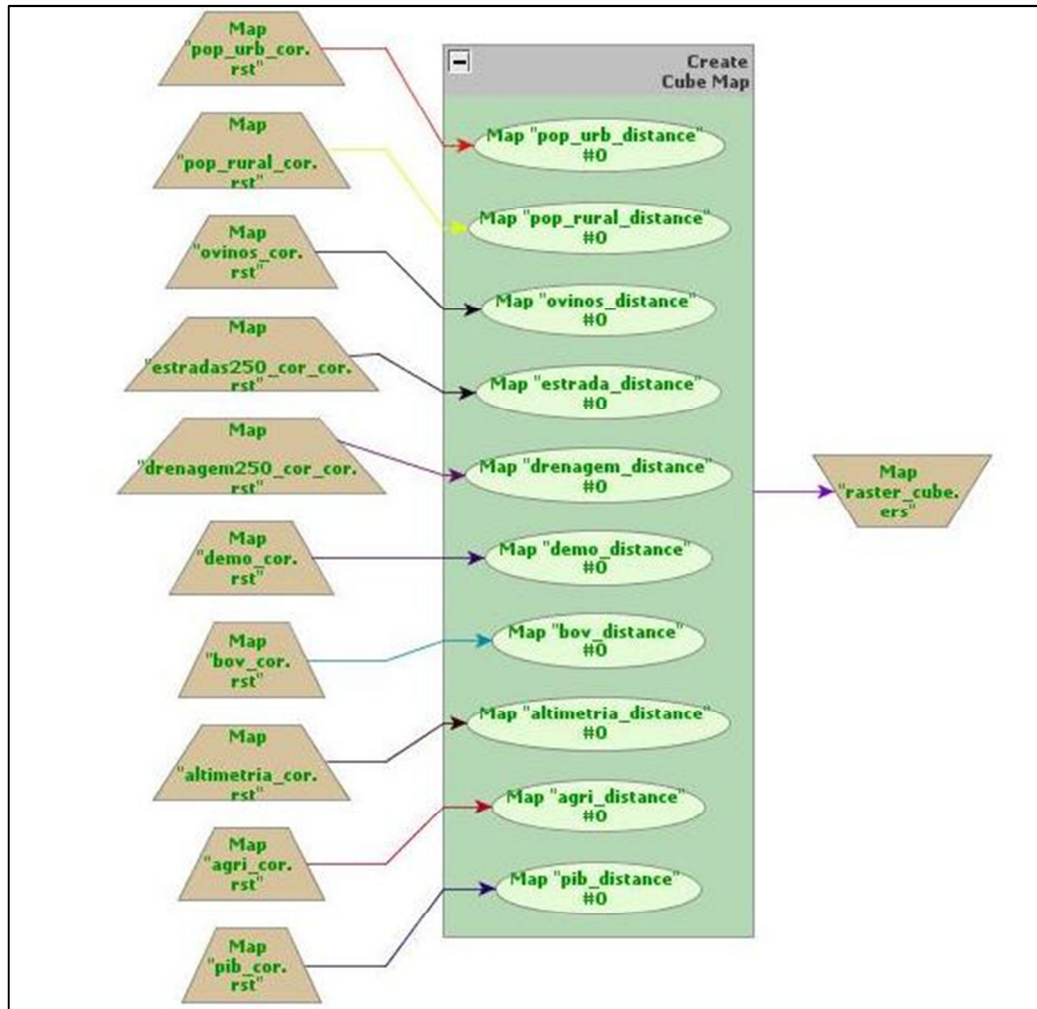


Figura 21 - Estrutura para a criação do cubo raster no aplicativo Dinamica EGO.

Fonte: Lippert (2014).

Posteriormente, o modelo calcula, por meio do método dos Pesos de Evidência, a influência das variáveis (dinâmicas e estáticas) incorporadas ao modelo, sobre a ocorrência de cada uma das transições identificadas na primeira etapa (geração das matrizes). Nesse *container*, são definidos os seguintes parâmetros: mapas de variáveis dinâmicas (uso e cobertura da terra inicial e final 2012); mapas de variáveis estáticas (rede hidrográfica, rede viária, hipsometria, densidade demográfica, população urbana, população rural, PIB, produção agrícola, ovinocultura e bovinocultura) e denominação do arquivo gerado.

Os resultados dos pesos de evidência são utilizados para parametrizar o modelo de simulação. O método implementado por Soares Filho et al. (2008), calcula faixas de distância ou *ranges* de acordo com a estrutura dos dados que se apresentam sob a forma de grades contínuas, visto que o método de pesos de evidência opera apenas com variáveis categóricas.

Para o fatiamento dessas grades, o Dinamica EGO plota em um gráfico o número total de células (An) por incremento no eixo x . O incremento (Dx) é um valor arbitrário, definido pelo usuário, para a criação de faixas relativamente constantes de valores no eixo x (NOVAES, 2011). Adotou-se para tal, a própria resolução espacial do pixel, que é 250 metros. Ao final dessa etapa é estruturado um arquivo contendo as faixas de distância, é denominado *Skeleton* e sua construção é mostrada na figura 22.

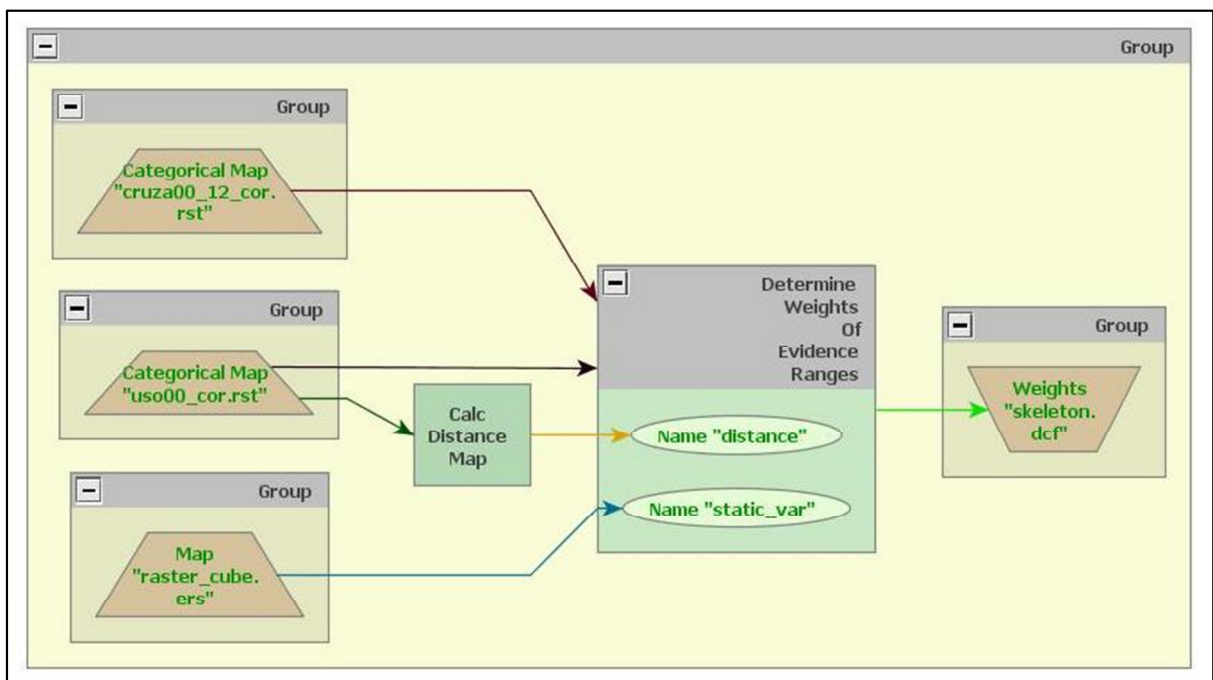


Figura 22 - Estrutura para a geração do *Skeleton* no aplicativo Dinamica EGO.

Fonte: Lippert (2014).

A figura 23 representa a etapa de construção do arquivo de Pesos de Evidência propriamente dito. Este é denominado *Weights.dcf* e seu resultado pode ser visualizado ou editado em um editor de texto.

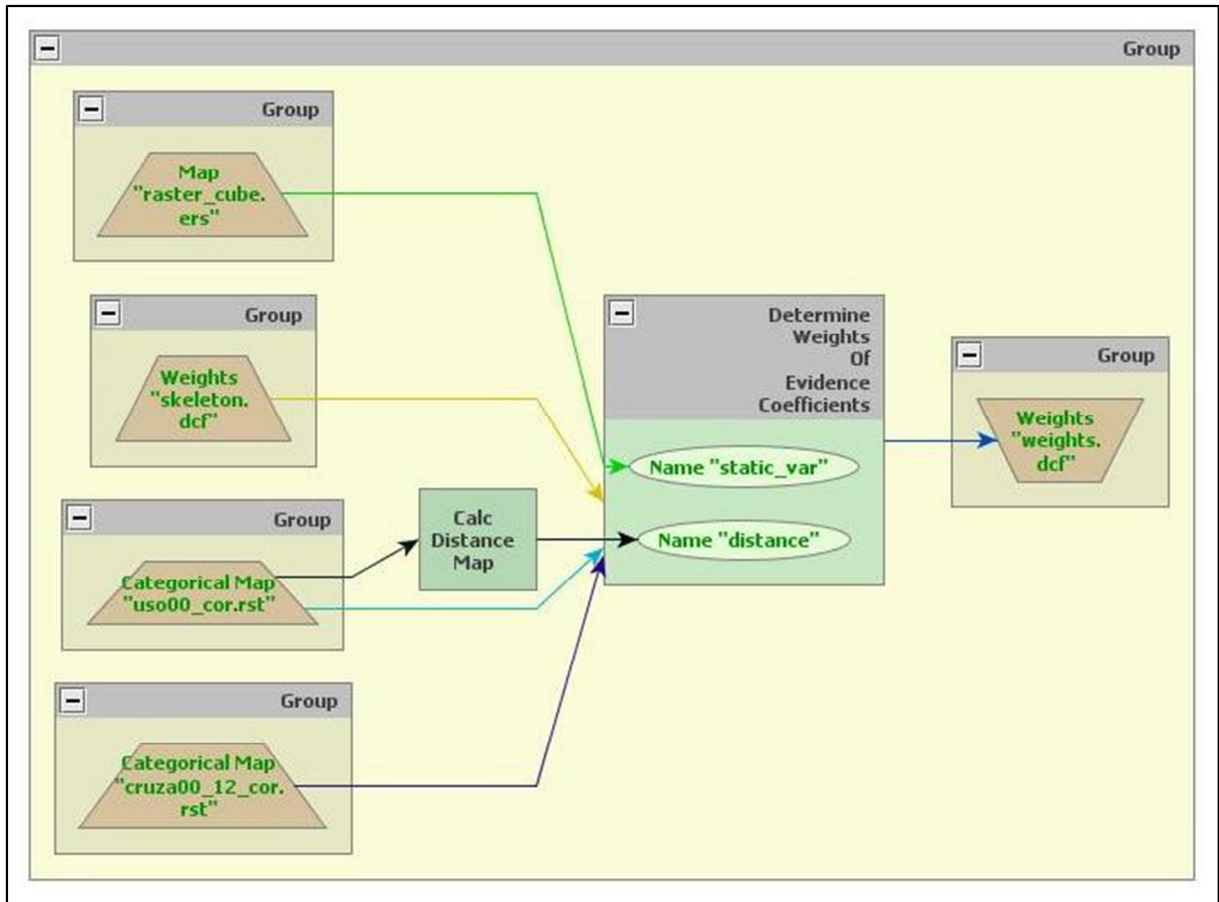


Figura 23 - Estrutura para a geração do arquivo *Weights* no aplicativo Dinamica EGO.

Fonte: Lippert (2014).

A última etapa de calibração do modelo, mostrada na figura 24, consiste em analisar a correlação entre as variáveis dinâmicas e estáticas, em cada processo de transição. Dentre os índices calculados, Cramer (V) e Incerteza de Informação Conjunta (U), são aqueles que descrevem mais adequadamente a associação espacial entre duas variáveis correlacionadas. A seleção das variáveis deve considerar a avaliação da independência entre elas, para explicar uma mesma transição de uso e cobertura da terra.

Esses índices contribuem para a seleção de variáveis intervenientes ao modelo, uma vez que possibilitam a percepção de quais variáveis devem permanecer no modelo em função de seu valor.

O índice de Cramer é calculado através da expressão (BONHAM-CARTER, 1994):

$$V = \sqrt{X^2 / T..M}, \quad (15)$$

em que:

T = totais marginais da matriz de tabulação cruzada entre dois mapas A e B;

X^2 = estatística Qui-quadrado;

M = mínimo de $(n-1, m-1)$, em que n é igual ao número de linhas e m é o número de colunas da matriz de tabulação cruzada entre os mapas 1 e 2.

A Incerteza de Informação Conjunta (U) também baseia-se na matriz de tabulação cruzada T ; assim, $U(A, B)$ pode ser usada como uma medida de associação (BONHAM-CARTER, 1994):

$$U(A, B) = 2 [H(A) + H(B) - H(A,B) / H(A) + H(B)], \quad (16)$$

a qual varia entre 0 e 1, sendo que, quando os dois mapas são completamente independentes, então $H(A,B) = H(A) + H(B)$ e $U(A,B)$ é 0 e, quando os dois mapas são completamente dependentes, $H(A) = H(B) = H(A,B) = 1$, e $U(A,B)$ é 1 (ALMEIDA, 2003; BENEDETTI, 2010). Bonham-Carter (1994), descreve que valores inferiores a 0,5 para esses dois índices indicam menor dependência espacial.

Para o cálculo dos índices de correlação, são inseridos no *container* os mapas de variáveis dinâmicas e de variáveis estáticas e o arquivo *Weights.dcf*, gerado pelo cálculo dos Pesos de Evidência.

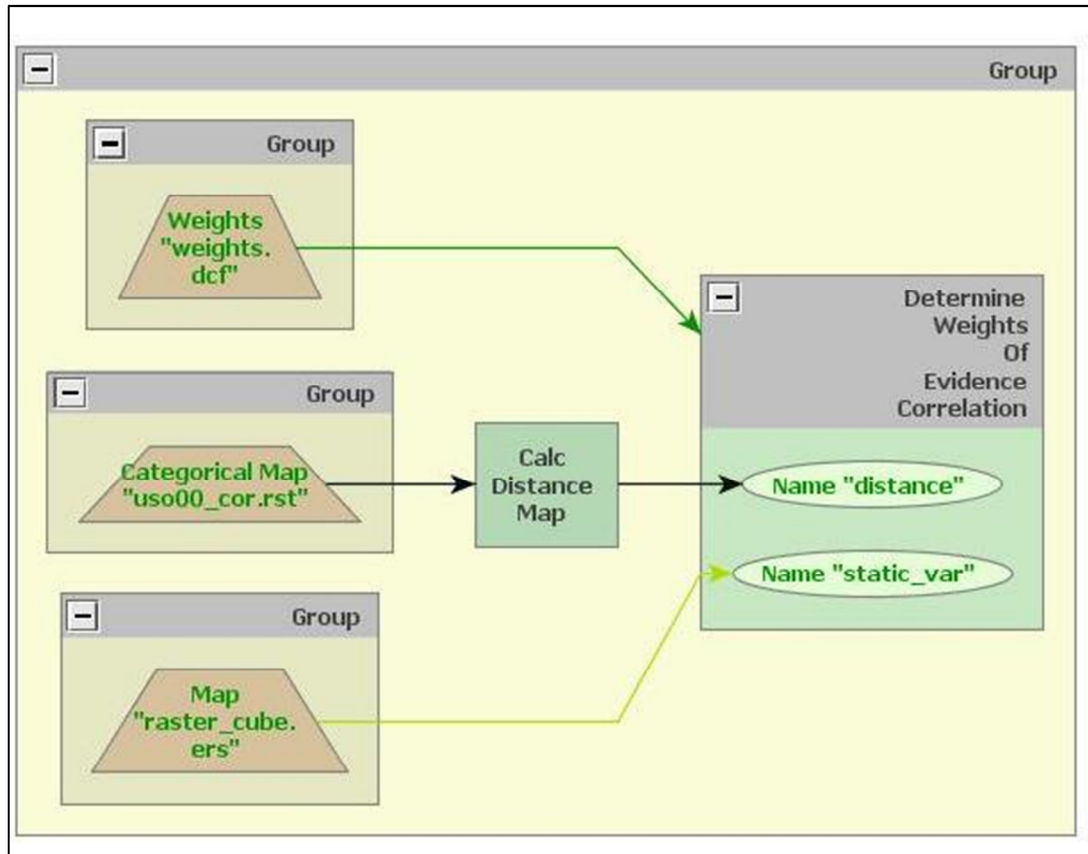


Figura 24 - Estrutura para o cálculo dos índices de correlação Cramer (V) e Incerteza de Informação Conjunta (U) no aplicativo Dinamica EGO.

Fonte: Lippert (2014).

4.2.2.2 Simulação dos mapas de uso e cobertura da terra

Nessa fase o modelo é capaz de simular mapas para cada passo do intervalo temporal, resultando em um mapa para cada ano: 2001, 2002, 2003... e 2012. Essa etapa é dada pela consolidação dos parâmetros definidos durante a calibração do modelo. Essa etapa requer a inclusão dos seguintes parâmetros no *container* (Figura 25): mapa inicial de variáveis dinâmicas (ano 2000), mapas de variáveis estáticas, matriz de transição múltipla e arquivo *Weights.dcf*.

Duas funções responsáveis pela alocação de transições nas células uso e cobertura e uso da terra foram implementadas para a modelagem no Dinamica: *Expander* e *Patcher*. Segundo Soares Filho et al. (2002), a função *Expander* responde pela expansão de manchas previamente existentes de certa classe de cobertura ou uso da terra, enquanto a função *Patcher*

destina-se a gerar novas manchas, através de um mecanismo de constituição de sementes. Portanto, a função *Expander* executa transições de um estado j somente nas vizinhanças adjacentes de células com o estado j . Já a função *Patcher* realiza transições de um estado i para um estado j apenas nas vizinhanças imediatas de células com estado diferente de j (ALMEIDA; GLERIANI, 2007). Para as duas funções foram parametrizados valores de área em hectare para média, variância e grau de isometria.

A isometria é definida por um coeficiente, situado no intervalo de 0 a 2, pelo qual se multiplicam as probabilidades de transição das células na janela de vizinhança das funções *Expander* e *Patcher*, antes de se proceder a transição de estado da célula central da janela. Valores mais próximos de 0 produzem manchas mais fragmentadas ou dendríticas, enquanto que valores mais próximos de 2 geram manchas mais compactas (NOVAES, 2010).

Ao final desse processo de simulação foram definidos os mapas temáticos anuais e os mapas de probabilidade anual de transição.

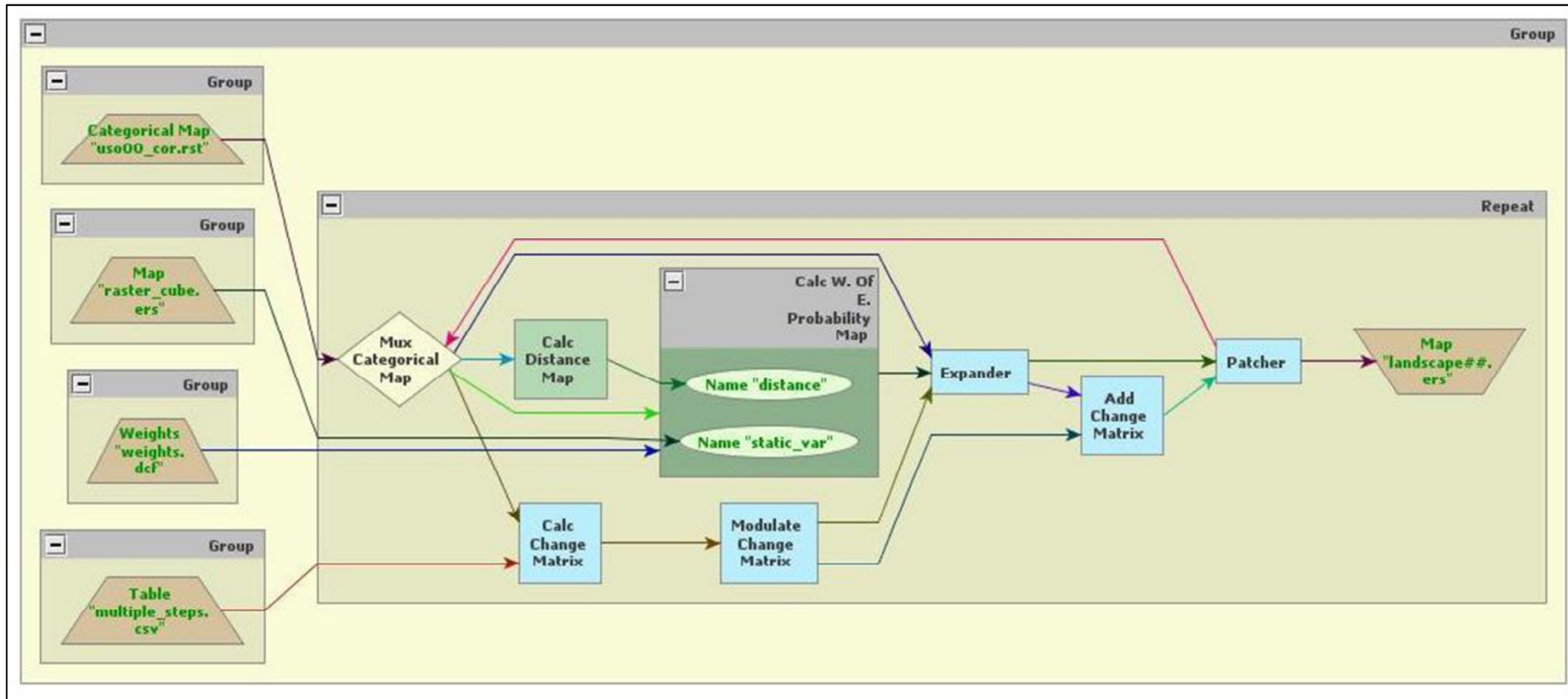


Figura 25 - Estruturação do modelo de simulação para a geração dos mapas de paisagem no aplicativo Dinamica EGO.

Fonte: Lippert (2014).

4.2.2.3 Validação estatística do modelo

A etapa de validação permite avaliar a qualidade dos mapas gerados no processo de simulação através de um processo que verifica a similaridade entre o mapa real e o mapa simulado para uma mesma data. Primeiramente é necessário gerar os aqui denominados "mapas diferença", que constituem na subtração algébrica entre o mapa final real e o mapa inicial real, e entre o mapa final simulado e o mapa inicial real.

A validação estatística no Dinamica EGO é calculada pelas funções de decaimento constante e de decaimento exponencial aplicadas sobre esses "mapas diferença", calculados pelo processo demonstrado na figura 26. Caso os resultados não sejam válidos, é possível reconfigurar os valores de media, variância e grau de isometria atribuídos aos algoritmos *Expander* e *Patcher* visando a qualificação dos mapas simulados.

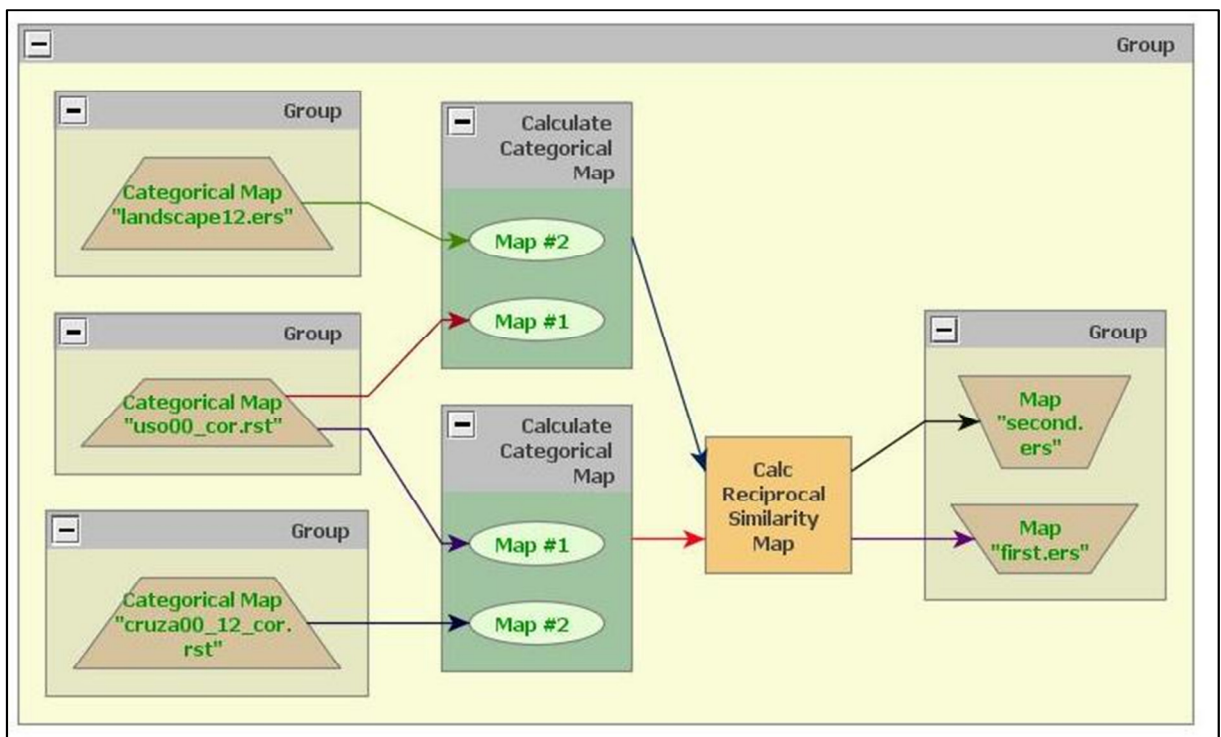


Figura 26 - Estrutura para a geração mapas de similaridade no aplicativo Dinamica EGO.

Fonte: Lippert (2014).

O método utilizado no modelo é adaptado de Hagen (2003), por Soares-Filho et al. (2005), e considera medidas de similaridade por lógica *fuzzy* aplicadas em contexto de vizinhança local sobre os mapas reais e os mapas simulados. Os modelos baseados na lógica *fuzzy* permitem uma maior flexibilidade nas combinações de mapas com pesos e podem ser implementados nos SIG através de uma linguagem de manipulação espacial. Os valores das funções de pertinência *fuzzy* devem estar compreendidos no intervalo entre [0,1], mas não há restrições práticas na escolha desses valores: eles são escolhidos de forma a refletir o grau de pertinência de um conjunto baseado no julgamento subjetivo, e no caso de variáveis categóricas, da importância do mapa e das suas várias classes (MEIRELLES et al., 2007).

Na lógica *fuzzy* a representação de uma célula é influenciada por ela mesma e, em menor proporção, pelas células vizinhas. Uma função de decaimento com a distância é utilizada para ponderar a distribuição do estado da célula ao redor de uma célula central.

No Dinamica EGO, a medida de similaridade foi obtida separadamente pela aplicação das duas funções (constante e exponencial) e, para tanto, foram definidos os seguintes parâmetros: mapa de uso e cobertura da terra inicial (2000), mapa de uso e cobertura da terra final (2012) e mapa final simulado (2012). Foram ainda definidos, como parâmetros de saída, as tabelas de mínima e máxima similaridade entre os mapas, que baseiam-se em "janelas" de diferentes tamanhos em função do número de pixels compreendidos: 1x1, 3x3, 5x5, 7x7, 9x9 e 11x11. Tal processo pode ser visualizado na figura 27.

Obtendo-se mapas simulados com índices de similaridades considerados aceitáveis de acordo com a literatura, é possível construir cenários futuros que considerem a resolução temporal adotada pelo modelo dinâmico (neste estudo, 12 anos).

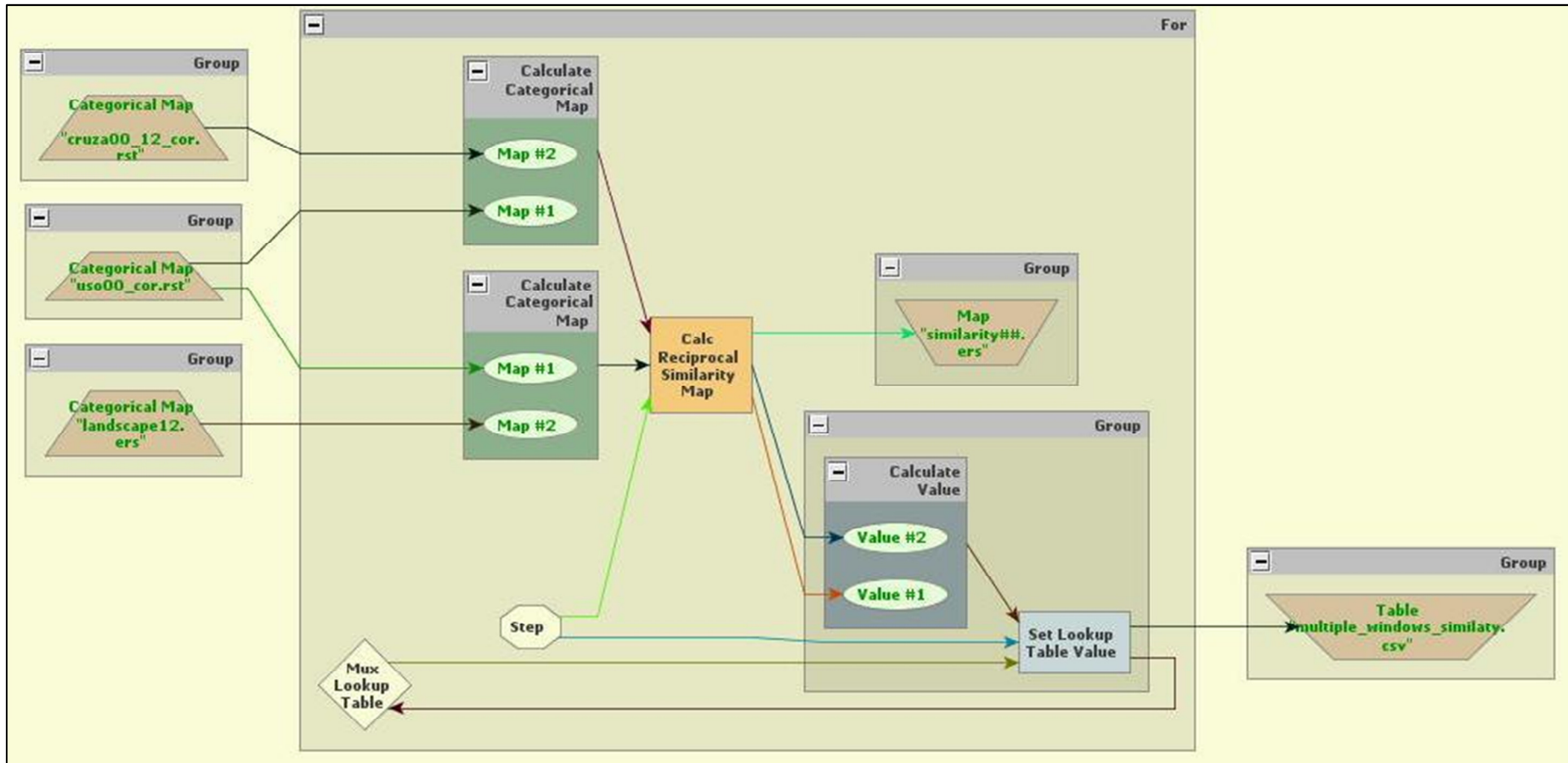


Figura 27 - Estrutura para o cálculo dos índices de similaridade por meio de múltiplas janelas no aplicativo Dinamica EGO.

Fonte: Lippert (2014).

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Modelagem dinâmica

A modelagem dinâmica proposta nesse capítulo traz como principal resultado a organização de um modelo dinâmico de cenários de uso e cobertura da terra para as macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense e explicita a variação temporal e espacial durante um período de doze anos.

Os resultados são apresentados de acordo com a sequência de processos realizados para o desenvolvimento do modelo.

4.3.1.1 Calibração

A calibração do modelo dinâmico trata-se sobretudo, em realizar uma análise conjunta entre as variáveis estáticas e dinâmicas, sendo todos os resultados obtidos nessa fase referentes a cada uma das transições entre classes de uso e cobertura da terra, já detectadas na primeira etapa de execução do modelo, que compreende a geração das matrizes de transição única e múltipla.

4.3.1.1.1 Cálculo das matrizes de transição

A tabela 8 e a tabela 9 apresentam as matrizes de transição de uso e cobertura da terra nas macrozonas, em valores percentuais das áreas convertidas. A geração dessas matrizes constitui o passo inicial para o processo de modelagem, pois define os percentuais de mudança de estado de um pixel de uma determinada classe para outra classe (BENEDETTI, 2010).

Tabela 8 – Matriz de transição múltipla de uso e cobertura da terra nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, entre 2000 e 2012, em valores percentuais (%).

De\Para	Floresta	Solo exposto	Água	Campo
Floresta	-	0,46	0,32	1,64
Solo exposto	0,77	-	0,33	5,78
Água	0,71	7,99	-	0
Campo	2,30	3,06	0	-

Fonte: Lippert (2014).

De acordo com a matriz múltipla, implementada pelo método de Cadeias de Markov, a cobertura florestal converteu-se para as demais classes de uso e cobertura da terra a uma taxa anual de 2,42%, sendo que a conversão mais expressiva foi para a classe campo. Por outro lado, as transições resultantes na classe floresta totalizam 3,78% anualmente.

Tabela 9 – Matriz de transição única de uso e cobertura da terra nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, entre 2000 e 2012, em valores percentuais (%).

De\Para	Floresta	Solo exposto	Água	Campo
Floresta	-	6,48	2,32	14,50
Solo exposto	11,34	-	1,84	37,02
Água	7,58	43,20	-	8,70
Campo	19,68	19,75	0,25	-

Fonte: Lippert (2014).

A matriz única (Tabela 9) e indicou que um total de 23,3% da cobertura florestal presente no início do período converteu-se para as demais classes de uso e cobertura da terra. Esse processo pode ser entendido como uma redução florestal e isso pode estar associado às diversas atividades, tais como colheita florestal, queimadas ou roçadas onde ocorria a presença de espécies pioneiras em alta densidade.

Contudo, a dinâmica relacionada ao processo de expansão da cobertura florestal, indica que 38,6% das demais classes de uso e cobertura da terra, presentes no início do período, foram convertidas para floresta. Esse resultado comprova o aumento da cobertura florestal verificado nos resultados anteriores e confirma resultados obtidos por outros pesquisadores, como Bolfe et al. (2009); Benedetti (2010); Hendges et al. (2012) na mesma região.

4.3.1.1.2 Cálculo dos Pesos de Evidência

As faixas de distância ou *ranges* em relação às transições de uso e cobertura da terra, são geradas nessa etapa do modelo e foram contabilizadas de acordo com a resolução espacial do pixel das imagens MODIS, sendo, portanto, alocada em um intervalo de 250 metros. Para essas faixas são definidos pesos de evidência e assim é estabelecida uma relação espacial entre a transição e as variáveis dinâmicas estáticas utilizadas no modelo.

Os pesos podem ser positivos (W^+), negativos (W^-), ou nulos, como mostra o Apêndice B. O peso de evidência atribuído permite inferir sobre sua contribuição na ocorrência de uma transição. Pesos positivos de evidência favorecem a ocorrência da transição, e pesos negativos, por sua vez, repelem. Pesos nulos (iguais à zero) podem ser desconsiderados, uma vez que não constituem variáveis explicativas para o modelo (SOARES-FILHO et al., 2009).

Na tabela 10 encontram-se as variáveis mais significativas em relação às transições de uso e cobertura da terra e seu respectivo peso de evidência calculado.

Tabela 10 – Variáveis de influência local de acordo com as transições de uso e cobertura da terra nas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense durante os anos de 2000 a 2012.

Transição	Variáveis locais (0 a 500m)	Peso de Evidência (W^+)
Floresta para Solo exposto	Água	1,74621
Floresta para Água	Água	2,42426

Continua

Tabela 10 - Continuação

Floresta para Campo	Solo Exposto	0,808233
Solo exposto para Floresta	Floresta	1,08
Solo exposto para Água	Água	1,90401
Solo exposto para Campo	Campo	0,261531
Água para Floresta	Floresta	0,905831
Água para Solo exposto	Campo	0,451969
Água para Campo	Altimetria	0,845339
Campo para Floresta	Floresta	1,25669
Campo para Solo exposto	Água	0,917882
Campo para Água	Água	2,88256

Fonte: Lippert (2014).

Considerando-se as transições que envolvem a cobertura florestal, verifica-se que a conversão de floresta para solo exposto e para água é influenciada pela presença de água. Isso pode ocorrer pelo fato de que, por exemplo, culturas como a do arroz necessitam de grandes quantidades de água para o seu desenvolvimento e também outras culturas, como a do soja e do milho, ultimamente vem investindo em sistemas de irrigação para alcançar maiores produtividades.

A conversão de floresta para campo sofre maior influência do solo exposto; isso pode indicar que áreas de floresta, próximas a atividade agrícola, quando são suprimidas por desmatamento ou colheita florestal ou até mesmo controle de regeneração, evitando formação de capoeirões, essas áreas então são encobertas por vegetação rasteira, em sua grande maioria gramíneas. Essas conversões estão atreladas à redução florestal e, de acordo com os resultados, observa-se que esse fenômeno é relacionado à ocorrência das práticas agrícolas.

Com relação à expansão da cobertura florestal, a conversão da classe água para floresta está diretamente ligada à presença da floresta, ou seja, à existência prévia dessa classe. Por se tratarem de áreas de preservação permanente, protegidas por lei, nos últimos anos monitoradas com maior rigor, o que dessa forma favorece a regeneração, além disso, com a entrada de novas culturas agrícolas que substituem muitas áreas ocupadas por pecuária, ocorre o estabelecimento da vegetação.

A transição de áreas de campo para floresta, igualmente está vinculada à presença de floresta, esse fato pode estar relacionado, em sua grande maioria, às florestas plantadas, visto

os incentivos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul entre os anos de 2002 a 2004. A influência de povoamentos florestais para o surgimento de novos plantios pode ser justificada pela busca da logística por parte das empresas florestais e também, pela aquisição de áreas onde o valor da terra é semelhante, promovendo a concentração de áreas florestais.

A conversão da classe solo exposto para a classe floresta está relacionada à existência prévia da própria floresta. Ainda, de acordo com os mapas elaborados para as variáveis estáticas, a expansão florestal sobre o solo exposto é vinculada à maior densidade demográfica, à maior concentração da população urbana e da população rural, e também à maior concentração do PIB/*per capita*, por outro lado, constata-se que essa transição é influenciada pela menor concentração da bovinocultura.

4.3.1.1.3 Cálculo dos índices de correlação

Essa fase constitui um processo decisivo na seleção das variáveis a serem mantidas, uma vez que o modelo utiliza os índices de Cramer (V) e Incerteza de Informação Conjunta (U), que operam com valores de áreas de sobreposição entre diferentes variáveis de dois mapas, e visam avaliar a presença de associação ou dependência espacial entre ambos (BENEDETTI, 2010).

As variáveis que apresentaram maiores valores quanto aos índices V e U quando correlacionadas foram demografia e população urbana; o valor obtido para o índice V foi de 0,54 e para U foi de 0,94, sendo igual para todas as transições de uso e cobertura da terra.

Os dois índices calculados mostraram que, para todas as transições de uso e cobertura da terra, os mapas de densidade demográfica e população urbana apresentaram alta associação espacial (valores superiores a 0,5). A alta correlação espacial entre as duas variáveis estáticas é justificada pelo fato de que a maior parte da população está concentrada nas cidades, proporcionando alta semelhança na distribuição dos dois parâmetros pela função de Kernel.

É pertinente relatar que, em uma primeira fase de implementação do modelo, foi considerada a variável estática denominada população total. O mapa de população total computava os valores referentes à população urbana juntamente com a população rural, e a sua concentração também foi distribuída por Kernel. A alta associação espacial desse mapa, calculada pelos índices U e V, em relação aos mapas de densidade demográfica e população urbana, fez com que o mesmo fosse retirado do modelo.

A escolha pela exclusão de uma variável deve ser feita de acordo com os índices calculados, mas também pela análise do modelador em relação à influência do fenômeno para ocorrência de uma transição. Como no mapa de população total, constavam informações já contempladas em outros mapas, optou-se por sua retirada. O mesmo não ocorreu com os mapas de população urbana e densidade demográfica, por julgar-se serem relevantes ao modelo.

Como exemplo do resultado obtido nessa etapa é apresentado no Apêndice C apenas os índices calculados para a transição de campo para a floresta.

4.3.1.2 Simulação de mapas de uso e cobertura da terra

A simulação de mapas constitui uma fase na qual são produzidos mapas artificiais, ou simulados, para toda a série temporal em estudo (2000 a 2012). O último mapa simulado é equiparado ao mapa de uso e cobertura da terra final real (de 2012), através dos cálculos para validação do modelo. O mapa artificial resultante da simulação, é influenciado pelos algoritmos de transição *Expander* e *Patcher*, uma vez que o primeiro é responsável pela expansão e contração de manchas de pixels de uma determinada classe e o segundo é responsável pelo surgimento de novas manchas. Tais algoritmos alocaram as classes no mapa simulado, sendo de fundamental importância a calibração de seus parâmetros. Os valores escolhidos como parâmetros são apresentados na tabela 11.

Tabela – 11 Valores ajustados para os algoritmos de simulação.

Algoritmo	Média (ha)	Variância (ha)	Grau de Isometria
Expander	6,25	6,25	0,5
Patcher	6,25	6,25	0,5

Fonte: Lippert (2014).

Esses valores foram definidos após diferentes testes nos quais adotaram-se valores correspondentes à área do pixel (6,25 ha) e posteriormente o dobro desse valor (12,5 ha; 25

ha; 50 ha e 100 ha). Foram testados também diferentes graus de isometria (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0) e estes resultados para os diferentes graus de isometria são apresentados após a validação do modelo.

4.3.1.3 Validação

A validação foi feita com base no método adaptado de similaridade *fuzzy* (HAGEN, 2003). Nela foram espacializados os erros, que incluem omissões (áreas em que houve mudanças, porém não aparecem na simulação) e comissões (áreas em que não houve mudanças, mas que aparecem como tal no mapa simulado). Com base nos índices de similaridade, foi definida a utilização do modelo para a simulação de prognósticos. Esse método de avaliação é considerado como de concordância flexível, pois não se baseia no ajuste pixel a pixel, mas sim no ajuste por múltiplas resoluções, como mostra a tabela 12, no qual os valores tendem a ser superiores quando comparados aos índices de concordância rígida.

O índice tende a ser maior quanto maior forem as janelas de amostragem. Assim sendo, a partir de certa resolução (em geral, acima de 11 ou 13 pixels) é comum ocorrer a saturação, conferindo ineficiência ao mesmo para avaliar o ajuste entre o mapa real e o mapa simulado (FERRARI, 2008).

Os índices calculados estão de acordo com outros valores reportados na literatura. Ximenes et al. (2008) calcularam índices entre 0,87 e 0,9 para resoluções entre 3x3 e 13x13, ao validar modelos dinâmicos para simular o desmatamento na Amazônia. Almeida (2008) verificou valores entre 0,83 e 0,85 para avaliação por múltiplas resoluções em modelos dinâmicos aplicados a áreas urbanas. Ferrari (2008) calculou índices de similaridade entre 0,44 e 0,84 ao simular a dinâmica de uso e cobertura da terra na região da Quarta Colônia do Rio Grande do Sul. Benedetti (2010) obteve índices de concordância variantes entre 0,64 e 0,99 para as mesmas janelas, ao aplicar modelos em microrregiões da Metade Sul do Rio Grande do Sul.

Com base nos maiores índices de similaridade calculados pelas funções de decaimento constante e decaimento exponencial, foram adotados para a simulação de cenários futuros, os valores de 6,25 ha para variância e para média e 0,5 graus de isometria tanto no algoritmo *Patcher* quanto *Expander*.

Tabela 12– Índices de similaridade *fuzzy* calculados por meio das funções de decaimento constante e decaimento exponencial para distintos tamanhos de janela e graus de isometria, para o período de simulação de 2000 a 2012.

Grau de Isometria	Janelas (pixels)	Função de Decaimento	
		Constante	Exponencial
0,5	1 x 1	0,453223	0,453223
	3 x 3	0,813620	0,700846
	5 x 5	0,920690	0,750760
	7 x 7	0,963539	0,764300
	9 x 9	0,981817	0,768241
	11 x 11	0,990344	0,769496
	1,0	Janelas (pixels)	Função de Decaimento
		Constante	Exponencial
1 x 1		0,449153	0,445269
3 x 3		0,814251	0,695992
5 x 5		0,922624	0,747422
7 x 7		0,964440	0,761118
9 x 9		0,982184	0,765161
11 x 11		0,990568	0,766406
1,5	Janelas (pixels)	Função de Decaimento	
		Constante	Exponencial
	1 x 1	0,446232	0,446232
	3 x 3	0,810717	0,696582
	5 x 5	0,919952	0,747499
	7 x 7	0,962805	0,761056
	9 x 9	0,981591	0,765104
11 x 11	0,990386	0,766403	
2,0	Janelas (pixels)	Função de Decaimento	
		Constante	Exponencial
	1 x 1	0,446325	0,448948
	3 x 3	0,811802	0,698008
	5 x 5	0,919970	0,749028
	7 x 7	0,963321	0,762719
	9 x 9	0,981784	0,766656
11 x 11	0,990282	0,767871	

Fonte: Lippert (2014).

4.3.1.4 Simulação de cenários futuros

Foram simulados prognósticos de acordo com intervalo temporal previsto no modelo (doze anos). Utilizando os mesmos parâmetros de calibração, a modelagem foi executada tomando-se como mapa inicial aquele referente ao ano de 2012 e as simulações anuais até o ano de 2024 são mostradas na figura 28. O mapa gerado para o ano de 2024 (Figura 29) é último cenário previsto condizente com o modelo validado. A tabela 13 apresenta as áreas quantificadas para cada classe, de acordo com a simulação; as tabelas 14 e 15 apresentam os resultados de conversão das classes de uso e cobertura da terra entre o ano de 2012 e de 2024.

Tabela 13 – Área total das classes simuladas de uso e cobertura da terra, previstas para o ano de 2024.

Classe	Área (km²)	% relativo à área total
Floresta	31.893,69	30,09
Solo exposto	25.989,81	24,52
Água	1.673,50	1,58
Campo	46.426,68	43,80
Total	105.983,68	100

Fonte: Lippert (2014).

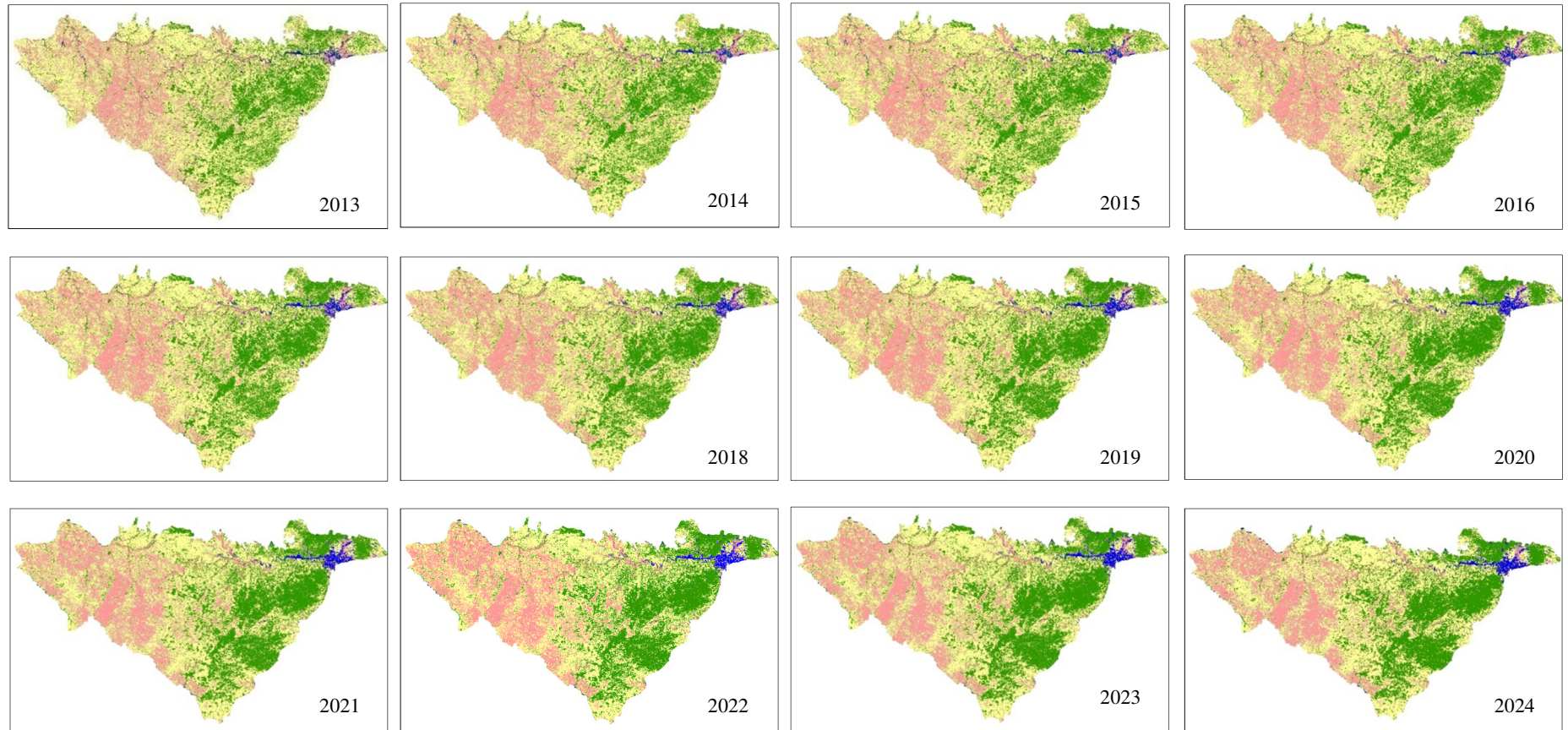


Figura 28 – Seqüência de cenários anuais futuros simulados para as macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense para o ano de 2024.

Fonte: Lippert (2014).

De acordo com o cenário modelado para o ano de 2024, as áreas de campo serão predominantes em extensão territorial nas macrozonas (Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense), seguidas pela floresta, pelo solo exposto e pelas lâminas d'água. Na figura 29 é demonstrada a maior ocupação das florestas na porção leste e nordeste da área de estudo. Por outro lado, as áreas de solo exposto aparecem destacadas na porção centro-oeste, onde se concentram as atividades agrícolas e os maiores rebanhos.

Tabela 14 – Matriz de transição múltipla (em valores percentuais), entre 2012 e 2024.

<i>De\Para</i>	Floresta	Solo exposto	Água	Campo
Floresta	-	0,30	0,42	1,44
Solo exposto	0,30	-	0,50	4,01
Água	0,98	10,49	-	0
Campo	2,39	1,99	0	-

Fonte: Lippert (2014).

Tabela 15– Matriz de transição única (em valores percentuais), entre 2012 e 2024.

<i>De\Para</i>	Floresta	Solo exposto	Água	Campo
Floresta	-	5,51	2,69	12,90
Solo exposto	7,04	-	2,68	29,73
Água	7,32	56,04	-	6,11
Campo	20,77	14,88	0,09	-

Fonte: Lippert (2014).

De acordo com os resultados simulados para os cenários futuros, a cobertura florestal continuará em expansão, constituindo a segunda maior ocupação e cobertura da área de estudo, porém mantendo a predominância do campo. No entanto, comparando-se com a expansão florestal ocorrida no último período de estudo (entre 2006 e 2012) esta mostra-se inferior, o que permite inferir que, não havendo a perspectiva de novos investimentos no setor florestal, como houve no período anterior, a expansão florestal tende a desacelerar, tornando-se mais restrita às áreas impostas pela legislação e ao abandono de áreas agrícolas em pequenas propriedades, fenômeno relacionado ao êxodo rural.

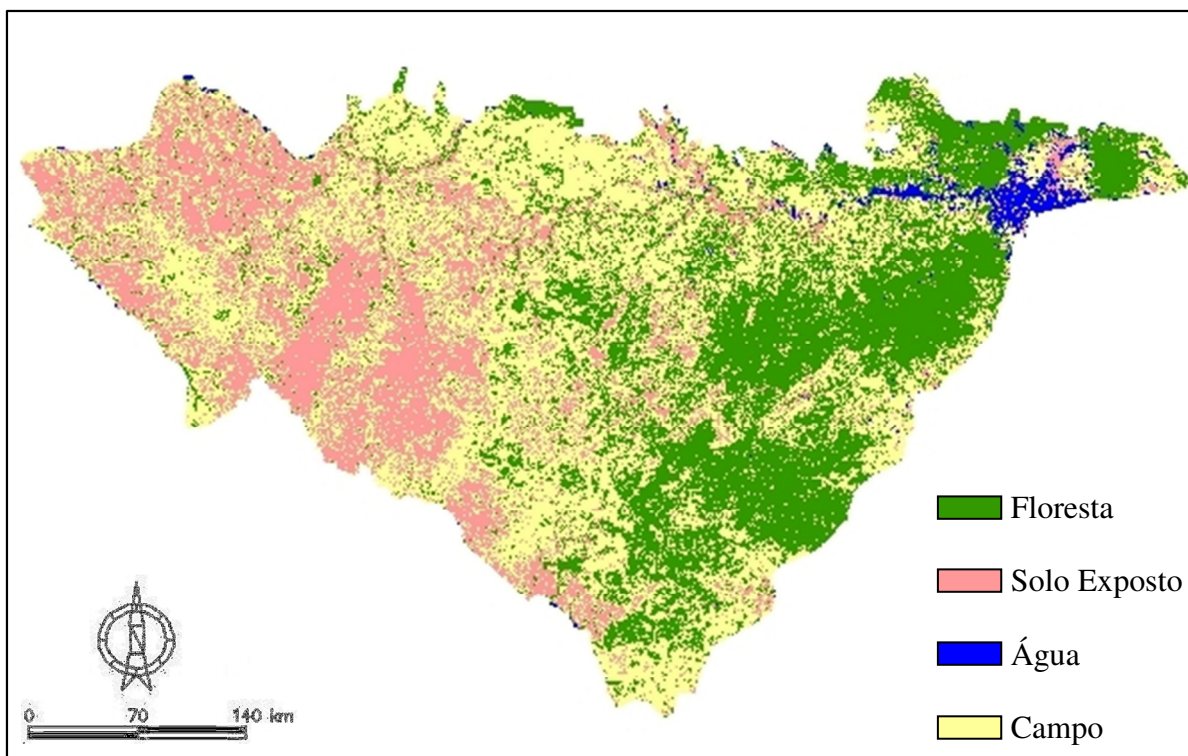


Figura 29 – Cenário futuro simulado para a área de estudo, formada pelas macrozonas Depressão Central, Cuesta do Haedo e Escudo Sul-Rio-Grandense, para o ano de 2024.

Fonte: Lippert (2014).

4.4 Conclusão

O modelo construído no aplicativo Dinamica EGO mostrou-se adequado para representar os processos de transição entre as classes de uso e cobertura da terra. Obtiveram-se resultados de calibração de acordo com o métodos de Pesos de Evidência e validação de acordo com o método de similaridade baseado em lógica *fuzzy*, coerentes com o de outras pesquisas já realizadas com a mesma temática para a região sul do Brasil.

Para a ocorrência da expansão florestal, as variáveis locais de maior influência, de acordo com o método dos Pesos de Evidência, são a ocorrência prévia de floresta, as concentrações da densidade demográfica, das populações, do PIB e da bovinocultura. Para a redução florestal, a maior influência é dada pela presença de água e de solo exposto. Quanto à simulação de cenários futuros, conclui-se que ocorrerá expansão florestal até o ano de 2024, porém com menor intensidade em relação ao período anterior (2000-2012). A floresta passará a ocupar o segundo lugar em cobertura na área estudada, sua concentração será maior nas macrozonas da Depressão Central e Escudo Sul-Rio-Grandense.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sobre o escopo do desenvolvimento da tese é possível destacar que: os mapas temáticos elaborados no Capítulo I serviram para uma extensiva caracterização das macrozonas e foram incorporados ao modelo de simulação como variáveis estáticas, visto que são invariantes durante o período de estudo. As técnicas de processamento digital aplicadas sobre as imagens MODIS no Capítulo II originaram a seleção de duas variáveis dinâmicas referentes aos mapas de uso e cobertura da terra do ano 2000 e 2012. Por fim o modelo construído no aplicativo Dinamica EGO no Capítulo III mostrou-se adequado para representar os processos de transição entre as classes, evidenciando processos de expansão e redução e possibilitando a previsão de cenários futuros atrelados às condicionantes contempladas nesta pesquisa.

O Estado do Rio Grande do Sul, onde se insere a área de estudo, apresenta recentes processos de conversão nos padrões de uso e cobertura da terra, principalmente com relação à expansão florestal. Dessa forma, a construção de modelos dinâmicos são importantes, pois, investigam prováveis fatores causais relacionados aos fenômenos de expansão e redução florestal. Um indicativo constatado para essa dinâmica são as áreas de agricultura que migram para áreas de campo, onde predominava a pecuária extensiva. Sabe-se que nessas regiões, em função de um relevo plano a ondulado a agricultura é favorecida, e diante disso os custos da terra são mais elevados, repelindo a expansão florestal, a qual ocorrerá sobretudo em áreas de relevo acidentado e solos mais pobres.

A projeção de cenários futuros de florestas pode ser útil para subsidiar políticas públicas que tenham como objetivo regulamentar a situação das Áreas de Preservação Permanente (APP), de Reserva Legal, das Áreas de Uso Restrito e demais remanescentes de vegetação nativa, como o Cadastro Ambiental Rural Criado pela Lei nº 12.651, de 2012 (BRASIL, 2013). Poderá atuar como ferramenta de auxílio ao ordenamento e a gestão territorial, definir locais para desenvolver obras de infraestrutura; alocar empresas e indústrias de base florestal em função da disponibilidade de matéria-prima; indicar áreas de maior aptidão para atividade florestal, auxiliando na aquisição de novas áreas de plantio e no planejamento para implantação florestal.

No País, estudos com o Dinamica EGO em escala regional são geralmente dedicados ao monitoramento do desmatamento. Dessa forma, espera-se que os resultados gerados nessa pesquisa venham a contribuir aos estudos voltados à dinâmica da cobertura florestal no Rio Grande do Sul. É válido ressaltar que os resultados apresentados estão atrelados aos fatores, atributos físicos e socioeconômicos selecionados para compor o modelo.

REFERÊNCIAS

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário Estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011 / ABRAF. – Brasília: 2012. 150 p.

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário Estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012 / ABRAF. – Brasília: 2013. 142 p.

Ab'SABER, A. N. Fundamentos da geomorfologia costeira do Brasil atlântico inter e subtropical. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, vol.1, 2000.

AGEFLOR - Associação Gaúcha de Empresas Florestais. Disponível em <<http://www.ageflor.com.br/noticiassettorinterna.php?id=972>>. Acesso em: 21 dez. 2013.

AGUIAR, A. P. D. **Modelagem de Mudanças de Uso e Cobertura do Solo na Amazônia: Questões Gerais**. In: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. São José dos Campos: INPE, 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap4modelosLUCC.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2012.

ALMEIDA, C. M. de. 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). 2003. 351f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2003.

ALMEIDA, C. M.; GLERIANI, J. M. Redes Neurais e Autômatos Celulares como uma Plataforma para a Simulação de Mudanças do Uso do Solo Urbano. In: ALMEIDA, Cláudia Maria de; CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antonio Miguel Vieira (Ed.). **Geoinformação em Urbanismo: Cidade Real x Cidade Virtual**. São José dos Campos, SP: Digital Press, 2007. p. 300-323.

ALMEIDA, C. M. de.; MONTEIRO, A. M. V. CÂMARA, G.; SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L.; BATTY, M. Modelos Celulares de Dinâmica Espaço-temporais: Aplicações em Estudos Urbanísticos. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G. ALMEIDA, C. M. de. (Org.) **Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 447 - 496.

ALVES, D. S.; JANETOS, A. C.; KRUG, T.; SKOLE, D. L. **Mudanças no Uso e Cobertura de Terras**. In: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. São José dos Campos: INPE, 2002. Disponível em: <<http://www.lba.cptec.inpe.br/lba/port/explan/lanp.htm>>. Acesso em: 22 set. 2012.

ARONOFF, S. **Geographical Information Systems: a management perspective**. Ottawa: WDL Publications, 1989. 294p.

BACA, J. F. M. **Dinâmica da Paisagem: métodos analíticos, modelos de classificação e simulação prognostica, sob a ótica geoecológica**. 2002. 184f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

BACA, J. F. M.; NETTO, A. L. C; MENEZES, P. M. L. De. Modelagem da dinâmica da paisagem com Processos de Markov. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G. ALMEIDA, C. M. de. (Org.) **Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 447-496.

BALDI, G.; PARUELO, J. M. Land use and land cover dynamics in South American temperate grasslands. **Ecology & Society**. v.13, n., 2008. Disponível em <<http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art6/>>. Acesso em: 11 jul. 2013.

BAKER, W. L. A review of models of landscape change. **Landscape Ecology**, Amsterdã v. 2, n. 2, p. 111-133, 1989.

BARBOSA, C. C. F. & CORDEIRO, J. P. Manual de Referência em LEGAL. In: MONTEIRO, A. M. V. et al. (Org.). **Introdução a Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

BATTY, M. Geocomputation using cellular automata. In: Openshaw S.; Abrahart, R. J. ed. **Geocomputation**. New York: Taylor & Francis, 2000. Cap. 5, p. 95-126.

BENEDETTI, A. C. P. **Análise espacial da evolução do uso e cobertura da terra na Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Arenal, Santa Maria/RS**. 2006. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

BENEDETTI, A. C. P. **Modelagem dinâmica para simulação de mudanças na cobertura florestal das Serras do Sudeste e Campanha Meridional do Rio Grande do Sul**. 2010. 166f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BINKOWSKI, P. **Conflitos ambientais e significados sociais em torno da expansão da silvicultura de eucalipto na “Metade Sul” do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Ciências Econômicas, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Porto Alegre, 2009.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS**. Ontario: Pergamon, 1994. 305 p.

BOLDRINI, I. I.; FERREIRA, P. M. A.; ANDRADE, B. O.; SCHNEIDER, A. A.; SETUBAL, R. B.; TREVISAN, R.; FREITAS, E. M. **Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica**. Porto Alegre: Pallotti, 2010. 64 p.

BOLFE, E. L.; SIQUEIRA de., O. J. W.; PEREIRA, R. S.; ALBA, J. M. F.; MIURA, A. K.; Uso, ocupação das terras e banco de dados geográficos da metade sul do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.39, n.6, p.1729-1737, 2009.

BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel. Disponível em <<http://www.bracelpa.org.br>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

BRASIL. Lei n. 12.651 de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 mai. 2012. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 12 jan. 2013.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches**. 1. ed. Virginia: Regional Research Institute, West Virginia University, 2000.

BURROUGH, P. A.; McDONNEL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford: Clarendon Press, 1998. 333p.

CABRERA, A. L.; WILLINK, A. **biogeografia da América Latina**. Washington: OEA. 2 ed., 1980. 117 p.

CÂMARA, G.; AGUIAR, A. P. D.; ESCADA, M. I.; AMARAL, S.; CARNEIRO, T.; MONTEIRO, A. M. V.; ARAUJO, R.; VIEIRA, I.; BECKER, B.; WILLIAN, F.; FEARNSSIDE, L. P. M.; ALBERNAZ, A. K. M.; VASCONCELOS, H. L.; FERREIRA, L. V. Amazonian Deforestation Models. **Science**, v. 307. n. 5712, 2005.

CÂMARA, G. **Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos**. 1995. 282f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1995.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Princípios básicos em Geoprocessamento. In: ASSAD. E. D. ; SANO E. E. (Org.). **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998. p. 3-11.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1999. 136 p.

CONSEMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/consema/consema>>. Acesso em 01 fev. 2013.

CORDEIRO, J. L. P.; HASENACK, H. A cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Ministério do Meio Ambiente do Brasil, Brasília. p. 285-299. 2009.

DELGADO, S. A distribuição de probabilidade dos retornos das ações no Brasil: uma abordagem não-paramétrica. **Revista de Econometria**, Rio de Janeiro, vol. 15, n. 1, abril - out. 1995.

DEMATTE, M. E. S. P. Recomposição de matas ciliares na região de Jaboticabal, SP. In: ANAIS DO SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, 1989, Campinas. **Anais...**Campinas: Fundação Cargill, 1989. P. 160-170.

DOOGE, J. C. I. **Linear theory of hydrologic systems**. Technical Bulletin, n. 1468. Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, Washington DC, 1973. 327 p.

DRUCK, S.; CARVALHO, S. M.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, M. V. **Análise Espacial de dados geográficos**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2004. 209p.: il. color.

EASTMAN, R. J. Tradução Português. Hasenack, H.; Weber, E. IDRISI for Windows versão 2. **Manual do Usuário**. Versão Digital. Introdução; Exercícios Tutoriais. Porto Alegre: Centro de Recursos Idrisi, Brasil, 1998. 218p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Disponível em: <<http://www.embrapa.gov.br>>. Acesso em 27 fev. 2012.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental. Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br>>. Acesso em 12 dez. 2012.

FERRARI, R. **Modelagem Dinâmica do Uso e Cobertura da Terra da Quarta Colônia, RS**. 2008. 130f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FIGUEIRÓ, A. S.; SELL, J. C. **O Bioma Pampa e o Modelo de Desenvolvimento em Implantação no Alto Camaquã.** VI Seminário Latino Americano de Geografia Física, II Seminário Ibero Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra, Maio de 2010.

FOELKEL, E. Cultivo e reflorestamento com os Pinus. **Pinus Letter**, n.1, 2008. <http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_01.html>. Acesso em 12 jan. 2013.

GARCIA, R. A.; SOARES-FILHO, B. S.; SAWYER, D. O. Socioeconomic dimensions, migration, and deforestation: an integrated model of territory organization for the Brazilian Amazon. **Ecological Indicators**. v 7. p. 719-730, 2007.

GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O.; STEYAERT, L. T. **Environmental Modeling with GIS.** New York: Oxford University Press, 1993. 488p.

GRACIOLI, C. R. **Efeitos da silvicultura do eucalipto na dinâmica da vegetação em áreas de pecuária no Rio Grande do Sul, Brasil.** 2010. 145f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

GREMONINI, L.; VICENTINI, E. **Autômatos Celulares: Revisão Bibliográfica e Exemplos de Implementações.** Curitiba: UNICENTRO, 2008. Revista Eletrônica. Disponível em: <http://web03.unicentro.br/especializacao/Revista_Pos/CE-Autom.pdf>. Acesso em 02 out. 2012.

GRIGIO, A. M. **Evolução da paisagem do baixo curso do Rio Piranhas-Assu (1988-2024): uso de autômatos celulares em modelo dinâmico espacial para simulação de cenários futuros.** 2008. 216f. Tese (Doutorado em Geodinâmica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

GUASSELLI, L. A.; LUDERITZ, D. S.; SUERTEGARAY, D. M. A.; DUCATI, J. R.; FONTANA, D. C.; Macrozoneamento do Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**. Porto Alegre, v.33, n.1, p.3-11, 2006.

HAGEN, A. Fuzzy Set Approach to Assessing Similarity of Categorical Maps. **International Journal of Geographical Information Science**, Palma, v 17. n. 3, p. 235-249, 2003.

HASENACK, H. (org.) **Mapeamento da cobertura vegetal do Bioma Pampa.** In: Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Sumário Executivo do mapeamento da cobertura vegetal dos biomas brasileiros. Brasília: MMA/SBF. 2006.

HASENACK, H.; WEBER, E.(org.) Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD).

HASSE, G. **Eucalipto: histórias de um imigrante vegetal**. Porto Alegre: Já Editores, 2006. 127p.

HAYKIN, S. **Redes Neurais: princípios e práticas**. Porto Alegre: Bookman, 2000. 900 p.

HEIDEN, G.; IGANCI, J. R. V. Sobre a paisagem e a flora. In: STUMPF, E. R. T.; BARBIERI, R. L.; HEIDEN, G. (Org.). **Cores e formas no bioma Pampa: plantas ornamentais nativas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. p. 23-35.

HENDGES, E. R.; PEREIRA, R.; ANDRES, J. Dinâmica das áreas de floresta nativa no Rio Grande do Sul no período de 1988 a 2020. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.42, n.5, p.828-833, 2012.

HENDGES, E. R. **Modelos estocásticos da dinâmica da paisagem florestal e simulação de cenários para o Estado do Rio Grande do Sul no período de 1988 a 2020**. 2007. 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de vegetação do Brasil e biomas do Brasil**. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 25 jul. de 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 23 jul. de 2012.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 08 jul. 2012.

JRC – Joint Research Centre – European Commission/Institute for Remote Sensing Applications. ESA - European Space Agency/ESRIN – Earthnet Programme Office. **Modelling Deforestation Processes – A Review**. Trees Series B: Research Report n° 1. Luxembourg: ECSC-EC-EAEC, 1994.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**. New York, v. 33, n.1, p.159-174, 1977.

LETT, C.; SILBER, C.; BARRET, N. Comparison of a cellular automata network and an individual-based model for the simulation of forest dynamics. **Ecological Modelling**. New York, v.121, n.2-3, p.277-293, 1999.

LIMA, L. S. de. **Implementação de um modelo hidrológico distribuído na plataforma de modelagem Dinamica EGO**. 2011. 95f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. [tradução: André Schneider...et al.] **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 540p.: il. color.

MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: campos sulinos**. Porto Alegre: EST, 2004. 110p.

MEIRELLES, M. S. P.; MOREIRA, F. R. CÂMARA, G. Técnicas de inferência espacial. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G. ALMEIDA, C. M. de. (Org.) **Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 447 - 496.

MORA, A. L. **Aumento da produção de sementes geneticamente melhoradas de Acacia mearnsii De Wild. (Acácia-negra) no Rio Grande do Sul**. Curitiba: UFPR, 2002. 140p. (Tese de Doutorado em Ciência Florestal, Setor de Ciências Agrárias, UFPR)

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. rev. e ampl. Viçosa: UFV, 2011. 307p.

MULLER, I. **Avaliação da produtividade da Acacia mearnsii De Wild (acácia-negra) em função de diferentes espaçamentos**. 2006. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

NASA. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. 2008. Disponível em: <<http://www.nasa.gov/>>. Acesso em: 11 jun. 2012.

NOGUEIRA, R. **Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. 2. Ed. Florianópolis: UFSC, 2008. 314p.

NOVAES, M. R. de. **Análise da redução da queima na colheita da cana-de-açúcar por meio de modelagem dinâmica espacial**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, 2010.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blücher, 2010. 387p.

OLIVEIRA, H.A. Acácia-negra e tanino no Rio Grande do Sul. Canoas: La Salle, 1968. V. 2, 121 p.

PEDROSA, B. M. **Ambiente Computacional para Modelagem Dinâmica Espacial**. 2004. 111p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.

PEDROSA, B. M.; CAMARA, G. Modelagem Dinâmica e Sistemas de Informações Geográficas. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G. ALMEIDA, C. M. de. (Org.). **Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 237-280.

PILLAR, V. P.; MULLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. **Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**. Ministério do Meio Ambiente do Brasil, Brasília. 2009.

RECHIUTI, L. V. **Processamento de Imagens Digitais**. São José dos Campos: INPE – CTA, 1996. 59p.

RESENDE, M. D. V.; HIGA, A. R.; HELLER, J. B.; STEIN, P. P. Parâmetros genéticos e interação genótipo x ambiente em teste de procedência e progênies de Acácia negra (*Acacia mearnsii*). **Boletim de Pesquisas florestais**. Colombo, n. 24/25, p. 55-65, jan/dez. 1992.

RIO GRANDE DO SUL. Governo do Estado, Secretaria do Meio Ambiente. **Inventário Florestal Contínuo**. Disponível em: <<http://coralx.ufsm.br/ifcrs/index.php>>. Acesso em: 12 nov. 2012.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2000. 220p.

ROCHA, J.; SOUSA, P. M; TENEDÓRIO, J. A. Geosimulação e Análise Espacial: Redes Neurais e Autômatos Celulares na Previsão de Alterações nos Padrões de Uso e Ocupação do Solo. **Inforgeo**, Lisboa, v. 16, n. 17, p.123-137, 2001.

RODRIGUES, H.O.; SOARES-FILHO, B. S.; COSTA, W.L. S. Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. In: Simpósio Brasileiro de

Sensoriamento Remoto, 13., 2007. Florianópolis. **Anais...XIII SBSR**. São José dos Campos: INPE, p. 3089-3096.

RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. **O Sensor MODIS e Suas Aplicações Ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 423 p.

SABINS, F. F. **Remote Sensing: principles and interpretation**. 3. rd. New York: W. F. Freeman and Company, 1999. 494p.

SEMA. SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Disponível em <<http://www.sema.gov.br>>. Acesso em 22 jul. de 2012.

SEPLAG. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, GESTÃO E PARTICIPAÇÃO CIDADÃ. Disponível em <<http://www.seplag.rs.gov.br>>. Acesso em 21 jul. de 2012.

SCHNEIDER, P. R.; FLEIG, F.D.; FINGER, C.A.G.; KLEIN, J. E. M. Crescimento da acácia-negra (*Acacia mearnsii*) em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 101-112, 2000.

SILVA, D. A. da. **Sistemas Sensores Orbitais**. São José dos Campos: INPE – CTA, 1995. 69 p.

SILVA, A. de B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: Conceitos e fundamentos**. Campinas: UNICAMP, 2003. 236 p.

SIMON, A. A. Produção de mudas de acácia-negra - plantio 1998. Montenegro: TANAGRO, 1999. 3p. (Relatório Técnico).

SKOLE, D. L. Data on global land-cover change: acquisition, assessment, and analysis. In: MEYER, B. W.; TURNER, L. B. (Org.). **Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 537p.

SOARES FILHO, B. S. **Modelagem dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. 1998. 299 f. Tese (Doutorado Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SOARES FILHO, B. S. DINÂMICA – Um software para simulação de dinâmica de paisagens. **Anais do II Workshop em Tratamento de Imagens, NPDI/DCC/UFMG**, 2001.

SOARES-FILHO, B. S., PENNACHIN, C.; CERQUEIRA, G. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**, v.154, p. 217-234, 2002.

SOARES-FILHO, B.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; CERQUEIRA, G.; DIAZ, M. del 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**, n. 10, 2004. p. 745-764.

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; CERQUEIRA, G. C.; COSTA, W. L. S.; ARAÚJO, W. L.; OLIVEIRA, L. B. R. Software Dinamica EGO: Environment for Geoprocessing Objects. CSR/UFMG. Versão 1.2.1. 2005

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H.; COSTA, W. L. **Modelagem de dinâmica ambiental com Dinamica EGO**. Belo Horizonte: Centro de Sensoriamento Remoto, 2009. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/tutorial/Dinamica_guia_pratico_portugues.pdf> Acesso em 30 jan. de 2014.

STRECK, E. V. KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. D.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2008. 222p.

SUTTIE, J. M.; REYNOLDS, S. G.; BATELLO, C. **Grasslands of the World**. FAO Eds. 2005.

TANAC. TANAC S.A Construindo o futuro todos os dias. Disponível em <<http://www.tanac.com.br>>. Acesso em 21 jul. de 2012.

TONIETTO, L.; STEIN, P.P. Silvicultura da acácia negra (*Acacia mearnsii* De Wild) no Brasil. *Florestar Estatístico*, v.4, n.12, p. 11-16. Nov.1996/ Out.1997.

TURNER, B. L.; MEYER, W. B.; SKOLE, D. Global land-use/land cover change: Towards an integrate study. **Ambio**, Londres, v.23, n.1, p. 91-95, 1994.

VENTURIERE, A.; SANTOS, J. R. dos. Técnicas de classificação de imagens para análise da cobertura vegetal. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Org.). **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998. p. 351-371.

VERDUM, R. **O pampa ainda desconhecido**. Revista do Instituto Humanitas Unisinos - IHU Online. São Leopoldo, 7 agosto de 2006, n. 183, p.4-9.

VENZKE, T. S. **Estudo das matas ciliares da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, RS, Brasil**. Monografia de Especialização. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009. 54p.

VENZKE, T. S. Florística de comunidades arbóreas no Município de Pelotas, Rio Grande do Sul. **Rodriguesia**, v.63, n.3, p. 571-578, 2012.

VIANA, V. M. Conservação da biodiversidade de fragmentos de florestas tropicais em paisagens intensamente cultivadas. **In: Abordagens interdisciplinares para a conservação da biodiversidade e dinâmica do uso da terra no novo mundo**. Gainesville: Conservation International do Brasil/Universidade Federal de Minas Gerais/University of Florida, 1995. p. 135-154.

XAVIER DA SILVA, J. Geoprocessamento em estudos ambientais: uma perspectiva sistêmica. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G. ALMEIDA, C. M. de. (Org.) **Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 447 - 496.

XIMENES A, de C.; ALMEIDA, C. M. de.; AMARAL, S.; ESCADA, M. I. S.; AGUIAR, A. P. D. de. Modelagem Dinâmica do Desmatamento na Amazônia. **Boletim de Ciências Geodésicas**. Curitiba, v. 14, n. 3, p. 370-391, 2008.

WOLFRAM, S. **Theory and Applications of Cellular Automata**: Including. New York: Selected Papers, 1986.

APÊNDICES

Apêndice A – Municípios integrantes da área de estudo.

Ordem	MUNICÍPIO
A	Aceguá, Agudo, Alegrete, Alvorada, Amaral Ferrador, Arambaré, Araricá, Arroio do Meio, Arroio do Padre, Arroio dos Ratos, Arroio, Grande.
B	Bagé, Barão do Triunfo, Barra do Ribeiro, Bom Retiro do Sul, Brochier, Butiá.
C	Caçapava do Sul, Cacequi, Cachoeira do Sul, Cachoeirinha, Camaquã, Campo Bom, Candelária, Candiota, Canguçu, Canoas, Capão do Leão, Capela de Santana, Cerrito, Cerro Grande do Sul, Charqueadas, Chuvisca, Colinas, Cristal, Cruzeiro do Sul.
D	Dilermando de Aguiar, Dois Irmãos, Dom Feliciano, Dom Pedrito, Dona Francisca.
E	Eldorado do Sul, Encruzilhada do Sul, Estância Velha, Esteio, Estrela
F	Fazenda Vilanova, Faxinal do Soturno, Formigueiro, Forquetinha.
G	General Câmara, Glorinha, Gravataí, Guaíba.
H	Harmonia, Herval, Hulha Negra.
I	Igrejinha, Itaara, Ivoti.
J	Jaguarão, Jaguari.
L	Lajeado, Lavras do Sul, Lindolfo Collor.
M	Manoel Viana, Maratá, Mariana Pimentel, Mata, Mato Leitão, Minas do Leão, Montenegro, Morro Redondo.
N	Nova Esperança do Sul, Nova Santa Rita, Novo Hamburgo, Novo Cabrais, Nova Hartz.
P	Pântano Grande, Paraíso do Sul, Pareci Novo, Parobé, Passo do Sobrado Paverama, Pedras Altas, Pedro Osório, Pelotas, Pinheiro Machado, Piratini, Portão, Porto Alegre
Q	Quarai
R	Restinga Seca, Rio Pardo, Rolante, Rosário do Sul
S	Santa Cruz do Sul, Santa Clara do Sul, Santana da Boa Vista, Santa Margarida do Sul, Santa Maria, Santana do Livramento, Santo Antonio da Patrulha, São Francisco de Assis, São Gabriel, São Jerônimo, São João do Polêsine, São Jose do Hortêncio, São Leopoldo, São Lourenço do Sul, São Martinho da Serra, São Pedro do Sul, São Sebastião do Caí São Sepé, São Vicente do Sul, Sapiranga, Sapucaia do Sul, Sentinela do Sul, Sertão Santana.
T	Tabaí, Taquara, Taquari, Tapes, Teutônia, Toropi, Triunfo, Turuçu.
U	Uruguiana
V	Vale Verde, Venâncio Aires, Vera Cruz, Vila Nova do Sul.

Apêndice B – Cálculo dos Pesos de Evidência para as transições de uso e cobertura da terra, sendo (2)Floresta, (3)Solo Exposto, (4)Água e (5)Campo.

```

:distance/distance_to_2
2,3
:distance/distance_to_3  0:500  500:750  750:1000  1000:1250  1250:1750  1750:10000
2,3  1.52185  0.390903  -0.414275  -1.02131  -1.67917  -2.52616
:distance/distance_to_4  0:500  500:4250  4250:4500  4500:5000  5000:5250  5250:5500  5500:5750  5750:6750  6750:7000  7000:7250  7250:9250
9250:50750
2,3  1.74621  1.31838  0.374067  0.195349  0.0461678  -0.14193  -0.0504321  -0.216855  -0.843109  -0.743791  -1.07678  -2.31786
:distance/distance_to_5  0:500  500:750  750:1000  1000:2250
2,3  -0.136364  0.274799  0.511134  0.578303
:static_var/agri_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
2,3  -0.869258  0.280751  -0.593662  0.170157  0.0505284  -0.292553  0.153391  0.0784506  -0.00454468  0.680182  0.751504  0.620477  -
0.619965
:static_var/altimetria_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8
2,3  -1.5836  0.213656  0.825152  -2.60849  -2.09619  -4.66832  0
:static_var/bov_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
2,3  -0.852931  0.82799  -0.791517  -0.6922  -0.144466  0.118335  0.653352  0.771824  1.52129  3.08572  2.49163  2.13085  2.88759
:static_var/demo_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
2,3  -0.852931  0.0502029  -2.74687  -2.00853  -1.46466  -1.21633  -1.35756  -0.746259  -0.289724  -1.23944  0.597401  0.863583  0.00970099
:static_var/drenagem_distance  1:2  2:3
2,3  -0.0209078  0.0410772
:static_var/estrada_distance  1:2  2:3
2,3  0.0700271  -0.628403
:static_var/ovinos_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13
2,3  -0.852931  -0.353048  -0.343213  0.492912  1.68925  1.85627  1.28285  1.18255  -1.00089  -0.0138295  -0.16798  -0.884658
:static_var/pib_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
2,3  -0.852931  0.368209  -0.654284  -2.17976  -1.47818  -1.78892  -3.18666  -1.17805  -1.77244  -1.41932  -1.03891  -0.309126  -0.173915
:static_var/pop_rural_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
2,3  -0.852931  0.82639  -0.106826  0.0199069  0.279969  -1.39011  -1.27895  -1.44019  -1.72834  -1.88099  -2.07752  -0.490754  -1.13984
:static_var/pop_urb_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
2,3  -0.852931  0.0734218  -1.42476  -1.72505  -1.93114  -1.43181  -0.645101  -0.638314  -1.02732  0.320508  1.11207  1.09851  -0.0736012

```

```

:distance/distance_to_2
2,4

:distance/distance_to_3  0:500  500:750  750:1000  1000:1250  1250:1500  1500:1750  1750:3500  3500:3750  3750:10000
2,4  1.25705  0.352222  -0.0757385  -0.285082  -0.656265  -0.99434  -1.35262  -2.30816  -2.57039

:distance/distance_to_4  0:500  500:750  750:1000  1000:3500  3500:3750  3750:4500  4500:4750  4750:5000  5000:10500  10500:12250  12250:12500
12500:12750  12750:13000  13000:13250  13250:13500  13500:50750
2,4  2.42426  1.68155  1.24005  0.892217  0.490993  0.210037  -0.364657  -0.0245747  -0.239932  -0.510282  -1.2336  -0.852116  -1.29585  -
0.762541  -1.40399  -1.48838

:distance/distance_to_5  0:500  500:750  750:1000  1000:2250
2,4  -0.337868  0.440322  0.985185  1.22079

:static_var/agri_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
2,4  0.157241  0.48511  -0.153083  -0.536561  -0.199041  -0.644327  0.30459  0.18938  0.101896  0.414281  -0.219201  1.19499  -1.20291

:static_var/altimetria_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8
2,4  0.136043  0.835084  -0.123983  -0.904392  -1.25058  -1.79599  0

:static_var/bov_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
2,4  0.201738  0.302287  0.194383  -0.442999  -0.314284  -0.479069  -0.0874751  0.806615  0.610576  2.50096  1.8742  1.57389  2.62211

:static_var/demo_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
2,4  0.201738  -0.087655  -0.973161  -1.20518  -0.94899  0  -0.736531  0.066665  0.104252  0.597987  1.97077  2.59769  1.56546

:static_var/drenagem_distance  1:2  2:3
2,4  0.00187211  -0.00380488

:static_var/estrada_distance  1:2  2:3
2,4  0.0933089  -0.99169

:static_var/ovinos_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13
2,4  0.201738  0.0652158  -1.18045  0.430572  1.07059  1.25659  -0.0577728  -1.02963  0  0.319521  -0.240094  0

:static_var/pib_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
2,4  0.201738  0.0666511  -0.657669  -0.443019  0.0311747  -0.511104  -0.190723  -0.122566  0.651167  0.399857  -0.0124096  1.0961  0.348678

:static_var/pop_rural_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
2,4  0.201738  0.573057  -0.101914  -0.570026  -0.768334  -0.482172  0.586277  0.19657  -0.770837  0.126336  -1.74417  0  0

:static_var/pop_urb_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
2,4  0.201738  -0.0672235  -1.19521  -0.698552  -2.46279  -0.8573  0.628257  0.755908  1.44609  1.37232  2.44152  2.47439  1.80639

```

```

:distance/distance_to_2
2,5
:distance/distance_to_3 0:500 500:750 750:1000 1000:1250 1250:3500 3500:10000
2,5 0.808233 0.301143 -0.0107998 -0.238536 -0.450466 -0.623227
:distance/distance_to_4 0:500 500:6500 6500:6750 6750:9000 9000:10000 10000:10500 10500:10750 10750:13000 13000:13250 13250:50750
2,5 0.744058 0.531432 0.184191 0.0308956 -0.128817 -0.32943 -0.147117 -0.304438 -0.526537 -0.506168
:distance/distance_to_5 0:500 500:750 750:2250
2,5 0.102698 -0.419166 -0.576152
:static_var/agri_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
2,5 0.0428833 0.0481562 -0.2333 -0.047914 0.0483915 -0.0817666 0.0140394 0.0119828 0.00170986 0.647462 0.675955 -0.167015 -
0.0144891
:static_var/altimetria_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8
2,5 -0.848668 0.264088 0.313607 -0.490569 -0.462172 -0.672544 -0.791169
:static_var/bov_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
2,5 0.0226525 0.348681 -0.240472 -0.139675 0.159676 0.0904231 0.217738 -0.0290607 0.37581 1.33445 1.46297 0.849002 1.63166
:static_var/demo_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
2,5 0.0226525 0.028461 -0.41689 -0.354452 -0.303061 -0.210664 -0.179777 -0.367215 -0.356278 -0.757098 -0.487695 -0.815457 -
0.685809
:static_var/drenagem_distance 1:2 2:3
2,5 -0.0263959 0.0514487
:static_var/estrada_distance 1:2 2:3
2,5 0.00180485 -0.0116872
:static_var/ovinos_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13
2,5 0.0226525 -0.0167714 -0.183349 0.196797 0.606858 0.478938 0.21583 0.0827967 -0.0146406 1.48324 0.872336 0.255742
:static_var/pib_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
2,5 0.0226525 0.0376251 0.0792377 -0.0647065 -0.271084 -0.984989 -0.345852 -0.120852 -0.253856 -0.199132 -0.124855 -0.352018
0.282226
:static_var/pop_rural_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
2,5 0.0226525 0.265332 -0.0618709 0.0751668 0.164345 0.0321871 -0.372955 -0.405871 -0.604404 -0.132294 0.534693 0.377712
0.496996
:static_var/pop_urb_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
2,5 0.0226525 0.0280964 -0.0283615 -0.286816 -0.34837 -0.317731 -0.575143 -0.505556 -0.967836 -0.105513 -0.500527 -0.536277 -
0.79573

```



```

:distance/distance_to_2  0:500  500:750  750:1000  1000:1750  1750:2000  2000:17250
3,2  1.08  0.419852  0.175185  -0.0365961  -0.225871  -0.391684

:distance/distance_to_3
3,2

:distance/distance_to_4  0:500  500:750  750:50500
3,2  -0.180217  0.00891545  0.00822638

:distance/distance_to_5  0:500  500:750  750:1000  1000:2500  2500:2750
3,2  0.203913  -0.494109  -0.74632  -0.944975  0

:static_var/agri_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
3,2  0.338461  -0.486513  -0.226639  -0.492931  -0.233061  0.110052  -0.0470383  0.553191  0.310449  0.0641659  0.265362  0.580399  1.28816

:static_var/altimetria_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8
3,2  0.189962  0.333782  -0.533244  0.706403  0.543448  0.912461  0

:static_var/bov_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
3,2  0.419086  -0.719493  -0.0062967  0.50572  0.141362  -0.36187  -0.546043  -0.649999  -0.745115  -0.695248  -1.1547  -0.930113  -0.458921

:static_var/demo_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
3,2  0.419086  -0.00952627  1.48488  0.991052  0.897773  0.815823  0.356357  -0.155876  -0.520498  -0.380947  -0.879735  0.00554975  -
0.849337

:static_var/drenagem_distance  1:2  2:3
3,2  -0.0540565  0.102427

:static_var/estrada_distance  1:2  2:3
3,2  0.00181646  -0.0103135

:static_var/ovinos_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13
3,2  0.419086  0.214518  -0.235742  -0.403973  -0.776559  -0.440004  -0.770748  -1.45731  -1.77878  -1.47085  -2.10712  -1.6542

:static_var/pib_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
3,2  0.419086  -0.329604  0.63633  0.577853  1.19342  0.817193  1.36939  0.899226  0.355701  0.295065  0.160076  0.116486  0.90358

:static_var/pop_rural_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
3,2  0.419086  -0.714616  -0.236192  0.89138  0.433021  0.243876  1.02139  0.634772  0.644704  1.15966  0.751076  0.529548  -0.23577

:static_var/pop_urb_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
3,2  0.419086  -0.0165342  0.800244  1.23931  0.740804  0.140627  0.0510335  0.486062  -0.636774  -0.629455  -0.625679  -1.28774  -0.101396

```

```

:distance/distance_to_2 0:500 500:750 750:1000 1000:1250 1250:2000 2000:2500 2500:4750 4750:5000 5000:9250 9250:9500 9500:11250
11250:11500 11500:11750 11750:12250 12250:12500 12500:17250
3,4 1.48546 0.677215 0.215481 -0.0180372 -0.236107 -0.452254 -0.664798 -1.02268 -1.33064 0 -2.44359 0 -1.52151 -2.01444 0
0

:distance/distance_to_3
3,4

:distance/distance_to_4 0:500 500:750 750:1000 1000:1250 1250:2000 2000:9000 9000:9250 9250:50000
3,4 1.90401 0.625767 0.331595 0.0716907 -0.186566 -0.461513 -1.0426 -1.18647

:distance/distance_to_5 0:500 500:750 750:2750
3,4 -0.233116 0.293123 0.43897

:static_var/agri_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
3,4 -0.324906 -0.627358 -0.0108018 0.000404614 -0.288725 -0.030224 0.0856759 0.206275 0.14965 0.295126 0.0452727 0.641088
0.0871916

:static_var/altimetria_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8
3,4 -0.209788 0.515891 -0.678716 -0.425441 -2.46363 0 0

:static_var/bov_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
3,4 -0.169871 -0.86965 0.312943 0.317444 -0.198711 -0.462816 -0.496301 -0.598351 -0.567172 -0.166778 -0.206284 0.0557419
0.284206

:static_var/demo_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
3,4 -0.169871 -0.0743185 0.818037 1.25534 1.03169 -0.204451 0.364405 1.2725 0.328354 0.488505 0.709196 1.03478 0.283988

:static_var/drenagem_distance 1:2 2:3
3,4 -0.133225 0.22766

:static_var/estrada_distance 1:2 2:3
3,4 0.0671967 -0.498004

:static_var/ovinos_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13
3,4 -0.169871 0.174111 -0.354983 -0.470703 -0.41126 0.0768666 -0.406026 -0.393808 -2.19292 -1.26083 -2.1335 -2.23264

:static_var/pib_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
3,4 -0.169871 -0.374159 0.473117 0.347812 0.411607 0.940013 1.19052 0.458935 1.07337 0.848066 0.781255 0.878538 1.33199

:static_var/pop_rural_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
3,4 -0.169871 -0.688684 -0.0640308 0.359857 0.342422 0.451031 1.87801 1.02389 -0.217808 -0.613255 -0.0220077 -1.09568 -1.97166

:static_var/pop_urb_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
3,4 -0.169871 -0.0719349 -0.0723518 1.20003 -0.360511 0.0917809 0.625782 1.2686 0.619586 0.508686 0.731669 -0.104279 1.3727

```

```

:distance/distance_to_2  0:500  500:17250
3,5  0.10112  -0.00747949

:distance/distance_to_3
3,5

:distance/distance_to_4  0:500  500:750  750:1500  1500:15000  15000:15250  15250:23500  23500:23750  23750:50500
3,5  -0.763335  -0.335208  -0.154895  0.0111639  0.255197  0.510499  1.03106  1.5322

:distance/distance_to_5  0:500  500:750  750:1000  1000:1250  1250:1500  1500:1750  1750:2750
3,5  0.261531  -0.73286  -1.15716  -1.42449  -1.75596  -2.25436  -2.4814

:static_var/agri_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
3,5  0.0787532  -0.0311034  -0.0354988  -0.359363  -0.153356  -0.0255163  -0.0589528  0.270827  0.161921  0.123436  0.207269  0.214384
0.867822

:static_var/alimetria_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8
3,5  -0.167791  0.110834  -0.204613  0.66689  0.628414  0.745602  0

:static_var/bov_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
3,5  0.144745  -0.0923084  -0.0703238  0.357172  0.10912  -0.106345  -0.241629  -0.441739  -0.524823  -0.427097  -0.641141  -0.64977  -
0.847154

:static_var/demo_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
3,5  0.144745  0.0101743  1.17357  1.18627  1.00848  0.761217  0.339593  -0.246798  -0.613807  -0.840937  -1.26835  -0.633765  -2.0904

:static_var/drenagem_distance  1:2  2:3
3,5  -0.0337494  0.0658071

:static_var/estrada_distance  1:2  2:3
3,5  -0.00537486  0.0298031

:static_var/ovinos_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13
3,5  0.144745  0.143168  -0.148661  -0.182335  -0.362087  -0.306937  -0.716179  -0.676014  -0.603699  -0.775151  -0.621507  -0.557678

:static_var/pib_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
3,5  0.144745  -0.18646  0.466832  0.481725  1.04363  0.788835  1.1634  1.00064  0.461356  -0.0960722  -0.358248  -0.408568  0.302882

:static_var/pop_rural_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
3,5  0.144745  -0.32266  -0.155522  0.510819  0.215407  0.211938  0.565725  0.438341  0.507434  0.978935  0.832361  0.506963  0.57683

:static_var/pop_urb_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
3,5  0.144745  -0.00206015  0.897509  1.17357  0.800177  0.287928  0.0353509  0.167031  -0.73757  -0.903405  -1.67302  -2.35086  -1.77775

```

```

:distance/distance_to_2  0:500  500:750  750:1000  1000:1250  1250:1500  1500:2000  2000:2250  2250:2500  2500:2750  2750:3000  3000:3250
3250:4000  4000:4250  4250:4500  4500:5000  5000:5250  5250:5500  5500:10500
4,2  0.905831  -0.490033  -0.359798  -1.34449  -1.16703  -0.880426  -0.483545  -1.24183  -2.48294  -1.82057  -0.11582  -0.585824  -0.808968
0.0665012  -0.305062  0.0665012  0  0
:distance/distance_to_3  0:500  500:750  750:1000  1000:2750
4,2  0.0104445  -0.236965  0.376656  0.52326
:distance/distance_to_4
4,2
:distance/distance_to_5  0:500  500:750  750:1000  1000:2250
4,2  0.475451  -0.0793091  -0.464127  -0.580709
:static_var/agri_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
4,2  -0.206792  -0.140759  -0.256365  -0.66318  0.0143155  0.238872  -0.284742  0.505164  0.738595  0.910471  -0.437635  -0.84979  0
:static_var/altimetria_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8
4,2  0  0.0431902  -0.201616  -0.360943  0  0  0
:static_var/bov_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
4,2  -0.206792  0.306452  -0.180178  0.0816694  0.643576  -0.376834  -0.311935  -0.521285  -0.0288089  -0.316491  0.135494  -0.338964  0
:static_var/demo_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
4,2  -0.206792  0.0984099  -0.311935  1.03785  -1.03211  2.77455  0.423176  0.0296873  -1.90758  -0.403502  -2.06173  -1.0649  -0.0542125
:static_var/drenagem_distance  1:2  2:3
4,2  0.0380296  -0.0435895
:static_var/estrada_distance  1:2  2:3
4,2  -0.0120346  0.157717
:static_var/ovinos_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13
4,2  -0.206792  0.0388332  -0.223451  -0.0709698  -0.0693003  -0.808968  0.0665012  -0.808968  0  0  0  0
:static_var/pib_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
4,2  -0.206792  -0.189053  1.03356  0.634485  0.52326  0.390741  0.549928  -1.7898  -0.918167  -0.649903  0.370066  -0.73148  0.161811
:static_var/pop_rural_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
4,2  -0.206792  -0.249352  0.071057  0.0401839  0.593327  0.994626  -0.243116  -0.248393  0.209602  0  0  0  0
:static_var/pop_urb_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
4,2  -0.206792  0.0885298  -0.0288089  0.07908  1.7331  -1.21443  0.79355  0.165347  -1.12742  -2.00036  -1.13747  -0.158745  -0.322964

```



```

:distance/distance_to_2 0:500 500:3250 3250:3500 3500:11000
4,3 -0.332014 -0.138445 0.734429 1.09556

:distance/distance_to_3 0:500 500:750 750:1000 1000:1250 1250:1500
4,3 0.115186 -1.31852 -2.68512 0 -0.469544

:distance/distance_to_4
4,3

:distance/distance_to_5 0:500 500:750 750:1000 1000:1250 1250:1500 1500:1750 1750:2000 2000:2250
4,3 0.451969 0.0353344 -0.456446 -0.902408 -1.31002 -0.844237 -0.549587 0.629068

:static_var/agri_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
4,3 -0.757226 0.365718 -0.425518 -0.165461 -0.148935 0.222365 -0.592656 0.434008 0.709111 0.590545 0.0499686 -0.574905 -
0.0640789

:static_var/altimetria_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8
4,3 -1.45037 -0.546136 0.996867 0.513999 0 0 0

:static_var/bov_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
4,3 -0.714666 1.10013 -0.61202 -0.519344 0.773386 0.525958 0.860397 0.852212 1.34469 1.14894 1.58732 1.07802 1.6099

:static_var/demo_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
4,3 -0.714666 0.31565 -2.2751 -1.46942 -0.98037 0 -0.674988 -0.591099 -0.844237 -0.351761 -1.3594 -1.11852 -1.42072

:static_var/drenagem_distance 1:2 2:3
4,3 -0.00812975 0.00887014

:static_var/estrada_distance 1:2 2:3
4,3 -0.0160758 0.205176

:static_var/ovinos_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13
4,3 -0.714666 -0.327412 0.70439 1.01289 1.23087 0.872015 2.06415 0.341386 0 -0.0640789 0 0

:static_var/pib_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
4,3 -0.714666 0.792128 0.398738 -0.551222 -1.06261 -1.83478 -1.37241 -0.964865 -2.92055 -1.83874 -1.40699 -1.06566 -0.597377

:static_var/pop_rural_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
4,3 -0.714666 1.02367 0.722717 0.233296 0.383498 -0.0405484 -1.69747 -1.15101 -0.123502 1.03453 0 0.629068 0

:static_var/pop_urb_distance 1:2 2:3 3:4 4:5 5:6 6:7 7:8 8:9 9:10 10:11 11:12 12:13 13:14
4,3 -0.714666 0.314569 -1.07568 -1.66094 -0.817851 -1.08265 -0.946468 -0.824365 -0.0948505 -0.795941 -1.08573 -1.10553 -1.55216

```

```

:distance/distance_to_2  0:500  500:750  750:1250  1250:4250  4250:4500  4500:4750  4750:5000  5000:5250  5250:5500  5500:6000  6000:6250
6250:6500  6500:6750  6750:7000  7000:7250  7250:7500  7500:8000  8000:8250  8250:8500  8500:10500
4,5  0.601324  -0.258578  -0.524955  -0.410989  0.439874  -0.60158  0.439874  -0.0709517  -0.333316  -1.29473  -0.407424  1.06848  3.14792
1.13302  2.23163  0  0.152192  0.845339  0  0

:distance/distance_to_3  0:500  500:750  750:1500
4,5  0.0232738  -0.188315  -0.0575287

:distance/distance_to_4
4,5

:distance/distance_to_5  0:500  500:750  750:1000  1000:1250  1250:1500  1500:1750  1750:2000  2000:2250
4,5  0.752121  -0.216762  -0.900823  -2.22658  -0.806063  -2.33271  0  0

:static_var/agri_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
4,5  -0.0929306  0.542768  -0.69055  -0.670012  -0.341827  0.27327  -1.34896  0.304533  0.909878  0.975959  0.341202  -0.00641321  2.6371

:static_var/altimetria_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8
4,5  0.845339  -0.375675  0.763702  1.11104  0  0  0

:static_var/bov_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
4,5  -0.0929306  1.504  -0.61111  -0.01884  0.45348  0.124793  0.649224  -0.147913  1.01239  0.239203  1.38434  0.909878  0.439874

:static_var/demo_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
4,5  -0.0929306  0.34695  -1.65336  -0.352364  0  2.6371  -0.225102  -1.27092  -2.04503  -0.540955  -2.89233  -2.81179  -1.96473

:static_var/drenagem_distance  1:2  2:3
4,5  0.214095  -0.30477

:static_var/estrada_distance  1:2  2:3
4,5  -0.0483915  0.515586

:static_var/ovinos_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13
4,5  -0.0929306  -0.144924  0.354716  0.738959  0.530846  0.776346  1.02766  -0.94642  0  0  0  0

:static_var/pib_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
4,5  -0.0929306  0.556897  1.09318  0.666931  -1.40595  -1.61851  0  -0.828637  -1.82881  -1.54113  -1.13566  -2.42708  -1.39271

:static_var/pop_rural_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
4,5  -0.0929306  0.634847  0.518862  0.478095  0.812549  1.10587  -1.48728  -1.76071  -1.31415  1.2508  0  1.53849  0

:static_var/pop_urb_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
4,5  -0.0929306  0.345306  -0.859409  -1.44467  0.314711  -2.04503  -0.219372  -1.19588  -1.26487  -1.22152  -1.96807  -2.54749  -2.11864

```

```

:distance/distance_to_2  0:500  500:750  750:1000  1000:1750  1750:2000  2000:8250  8250:8500  8500:16750
5,2  1.25669  0.344647  0.00574247  -0.264014  -0.497143  -0.750079  -1.44551  -1.68492

:distance/distance_to_3  0:500  500:1750  1750:2000  2000:11250
5,2  -0.209999  -0.03921  0.255922  0.379771

:distance/distance_to_4  0:500  500:750  750:1000  1000:9250  9250:9500  9500:21250  21250:21500  21500:51250
5,2  0.28201  -0.123932  -0.360115  -0.293728  -0.0270369  0.1604  0.448875  0.510132

:distance/distance_to_5
5,2

:static_var/agri_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,2  -0.0593516  -0.322565  -0.0165706  0.0602715  -0.0809954  0.0668049  0.143508  0.206621  0.117551  -0.182391  -0.134088  0.295057
0.492214

:static_var/altimetria_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8
5,2  0.0520179  0.0526906  -0.26415  0.198716  0.283075  0.453502  1.12002

:static_var/bov_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,2  -0.048692  -0.513605  0.18863  0.200495  -0.116924  -0.239945  -0.115371  -0.0696358  -0.135364  -0.858735  -1.3553  -1.11368  -0.897761

:static_var/demo_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,2  -0.048692  -0.0204562  0.567267  0.416896  0.434163  0.596527  0.386437  0.210715  0.450255  0.324843  -0.108496  0.129953  1.12002

:static_var/drenagem_distance  1:2  2:3
5,2  -0.00504299  0.00961577

:static_var/estrada_distance  1:2  2:3
5,2  -0.0113474  0.0566713

:static_var/ovinos_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13
5,2  -0.048692  0.0796543  0.136718  -0.135192  -0.646462  -0.493434  -0.438517  -0.244546  -0.469725  -1.26429  -1.48398  -1.11619

:static_var/pib_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,2  -0.048692  -0.126196  0.0754176  0.578898  0.229166  0.343283  0.442184  0.276173  0.403184  0.673426  0.66395  0.76891  0.705484

:static_var/pop_rural_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,2  -0.048692  -0.500032  -0.0601975  0.251956  0.171683  0.259634  0.502881  0.424886  0.598286  0.692973  0.0504306  0.194698  -0.976046

:static_var/pop_urb_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,2  -0.048692  -0.0252407  0.236933  0.352185  0.544956  0.437516  0.0746786  0.238734  0.154752  0.164351  0.475808  1.52799  1.61689

```



```

:distance/distance_to_2  0:500  500:1000  1000:1250  1250:2250  2250:3000  3000:6000  6000:6500  6500:17250
5,3  -0.695613  -0.452459  -0.219678  -0.0166148  0.169637  0.370675  0.605983  0.537436

:distance/distance_to_3  0:500  500:750  750:1000  1000:2000  2000:3250  3250:4250  4250:4500  4500:11250
5,3  0.406318  0.00161667  -0.163534  -0.337067  -0.515915  -0.687777  -0.909317  -1.08712

:distance/distance_to_4  0:500  500:750  750:2750  2750:4250  4250:9250  9250:9500  9500:14500  14500:34500  34500:34750  34750:51250
5,3  0.917882  0.646287  0.427239  0.244302  0.0709522  -0.113451  -0.266418  -0.43834  -1.60736  -1.68093

:distance/distance_to_5
5,3

:static_var/agri_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,3  -0.551373  0.268587  -0.0711277  0.161014  0.16991  0.00392734  -0.0746441  -0.320301  -0.381058  -0.0734179  -0.129087  -0.0776702  -
0.88317

:static_var/altimetria_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8
5,3  -0.793435  -0.370618  0.33454  -0.370118  -0.217731  -1.07173  0

:static_var/bov_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,3  -0.533009  0.554587  -0.137346  -0.383219  -0.144507  0.0143127  0.187702  0.247555  0.710225  0.811376  0.816268  0.954295  0.86293

:static_var/demo_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,3  -0.533009  0.0262869  -1.81355  -1.61556  -1.17699  -1.41473  -0.892259  -1.00399  -0.654387  -0.448881  -0.572146  -0.67732  0.3149

:static_var/drenagem_distance  1:2  2:3
5,3  0.000399303  -0.000767425

:static_var/estrada_distance  1:2  2:3
5,3  0.0395452  -0.233763

:static_var/ovinos_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13
5,3  -0.533009  -0.168286  0.0694875  0.207145  0.341555  0.367849  0.640201  0.214  -0.238962  0.433071  0.531712  -0.0348898

:static_var/pib_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,3  -0.533009  0.214535  -0.887851  -1.47742  -1.62108  -1.64578  -1.79749  -1.26918  -0.814176  -0.757823  -1.02527  -0.700604  -1.33834

:static_var/pop_rural_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,3  -0.533009  0.430354  0.095047  -0.4282  -0.452155  -1.12398  -1.49838  -1.75511  -1.80116  -1.8119  -1.193  -0.207209  -0.511028

:static_var/pop_urb_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,3  -0.533009  0.0509959  -1.71787  -1.69624  -1.3174  -1.20219  -1.33179  -1.17901  -0.715889  -0.268105  0.494572  1.53942  0.403417

```



```

|:distance/distance_to_2  0:500  500:750  750:1000  1000:8500  8500:8750  8750:9250  9250:9500  9500:9750  9750:10000  10000:10250  10250:10500
10500:16750
5,4  1.12027  0.0841137  -0.208726  -0.318425  -1.16491  -0.857551  0  0.131519  0.519713  0.21337  0  0

:distance/distance_to_3  0:500  500:750  750:1000  1000:11250
5,4  0.536066  -0.042407  -0.430616  -0.583707

:distance/distance_to_4  0:500  500:750  750:1000  1000:1750  1750:2000  2000:2250  2250:2500  2500:3250  3250:4250  4250:5000  5000:5500
5500:22250  22250:22500  22500:22750  22750:23000  23000:25500  25500:26000  26000:26250  26250:26500  26500:26750  26750:27000  27000:27500
27500:27750  27750:28000  28000:28250  28250:28500  28500:28750  28750:29000  29000:29250  29250:29500  29500:29750  29750:30000  30000:30250
30250:30500  30500:30750  30750:31000  31000:31250  31250:31500  31500:31750  31750:32000  32000:32500  32500:33000  33000:33500  33500:34000
34000:34500  34500:35000  35000:35500  35500:36000  36000:36500  36500:37000  37000:41750  41750:42000  42000:45750  45750:46000  46000:46500  46500:46750  46750:51250
5,4  2.88256  1.4772  0.752023  0.510759  0.115067  0.424516  0.737969  0.519589  0.312498  0.115811  -0.165344  -0.347409  -2.20778  0
-1.40444  -0.970516  -1.44012  0  -1.79174  -0.729129  -1.76281  -1.26785  0.248058  0  -1.60901  -0.212886  -0.544841  -0.000384958  -
0.880187  -0.478095  -1.56995  0  -0.812039  -0.317752  0  -0.107068  -0.702248  -1.41932  0  -1.34043  -1.02292  -0.277424  -0.989678  0
-0.969027  0  -2.31575  0  -2.44141  0  -0.942401  0  0

:distance/distance_to_5
5,4

:static_var/agri_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,4  -0.24983  -0.359125  -0.356105  0.0721125  0.0898103  -0.163734  0.178428  0.310943  0.141513  0.357603  -0.146203  0.776973  -1.10906

:static_var/altimetria_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8
5,4  -0.80113  0.622029  -0.0615429  -0.756458  -1.65142  -0.985658  0.185199

:static_var/bov_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,4  -0.107068  -0.212419  0.211954  -0.156517  -0.191475  -0.379463  -0.511042  -0.0741037  0.626652  1.0213  0.650376  1.44385  1.38219

:static_var/demo_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,4  -0.107068  -0.0285758  0.605314  -0.954496  -0.0688348  -2.21537  -1.27052  0.765368  1.22006  1.87101  1.22434  1.02244  1.73321

:static_var/drenagem_distance  1:2  2:3
5,4  -0.027481  0.0507565

:static_var/estrada_distance  1:2  2:3
5,4  0.0387616  -0.228457

:static_var/ovinos_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13
5,4  -0.107068  0.0882864  -0.598566  -0.321721  0.109692  0.28223  0.650252  0.365246  -0.765912  0.667037  0.894996  -0.171476

:static_var/pib_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,4  -0.107068  -0.0489095  -0.0258046  0.121376  -1.1363  -0.138757  -0.546233  -0.405103  1.10985  0.836925  0.93637  0.508096  0.597011

:static_var/pop_rural_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,4  -0.107068  -0.0213489  0.00867718  0.0177577  0.183298  0.201508  0.462935  -0.288255  -0.891281  -0.0692873  -1.11301  -1.88191  0

:static_var/pop_urb_distance  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6  6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12  12:13  13:14
5,4  -0.107068  -0.0218174  -0.0510266  -0.406574  -0.714838  -0.325626  0.358088  -0.0287519  0.489612  1.27892  2.53952  3.09788  3.28609

```

Apêndice C – Valores dos índices Cramer(V) e Incerteza de Informação Conjunta (U) para a transições de campo para floresta.

Transição Campo para Floresta		Crammer			Entropy	
Primeira variável	Segunda variável	Chi ²	Crammer*	Contingency	Joint Entropy	Joint Information Uncertainty*
distance/distance_to_2	distance/distance_to_3	544.743.067.404.616	0.458679405472932	0.715999222697065	189.157.948.938.843	0.515078615039855
distance/distance_to_2	distance/distance_to_4	459.266.027.397.757	0.313912993909859	0.685581819222117	22.799.807.567.068	0.38417025835914
distance/distance_to_2	distance/distance_to_5	0	0	0	141.228.516.245.819	0
distance/distance_to_2	static_var/agri_distance	445.458.562.421.649	0.309158212753259	0.680019158075388	228.946.400.674.526	0.371347294311915
distance/distance_to_2	static_var/altimetria_distance	444.684.525.487.841	0.378310826655922	0.679701225977045	195.759.918.601.481	0.415273650601703
distance/distance_to_2	static_var/bov_distance	445.385.077.588.676	0.309132711642097	0.679989002853803	218.451.931.620.642	0.385790224850197
distance/distance_to_2	static_var/demo_distance	442.174.476.380.614	0.308016489950185	0.678665677239019	162.714.844.679.513	0.484893872264819
distance/distance_to_2	static_var/drenagem_distance	222.444.302.629.073	0.207256915516088	0.202943971932318	150.315.039.727.176	0.0317626975323597
distance/distance_to_2	static_var/estrada_distance	163.403.973.301.724	0.177635471622098	0.17489751289931	148.393.889.244.206	0.0236686967047055
distance/distance_to_2	static_var/ovinos_distance	447.403.401.265.103	0.309832358580808	0.680815089523979	195.923.997.554.693	0.421179541535062
distance/distance_to_2	static_var/pib_distance	452.106.346.118.205	0.311456525153032	0.682722803138117	187.860.070.701.054	0.43729032168231
distance/distance_to_2	static_var/pop_rural_distance	469.031.812.131.576	0.31723294449752	0.689396025585048	212.324.170.123.483	0.401643565627644
distance/distance_to_2	static_var/pop_urb_distance	443.320.549.792.376	0.30841540608251	0.679139369508215	16.579.123.142.375	0.478439955429568
distance/distance_to_3	distance/distance_to_4	468.181.597.632.928	0.425226727912844	0.689067793390805	201.409.217.242.845	0.417342011040619
distance/distance_to_3	distance/distance_to_5	0	0	0	113.543.151.607.722	0
distance/distance_to_3	static_var/agri_distance	461.444.677.494.029	0.42215623257549	0.686441170230883	198.915.660.394.116	0.430415660753506
distance/distance_to_3	static_var/altimetria_distance	502.493.727.015.672	0.440533264292735	0.701765905014048	163.665.957.513.524	0.50787483227452
distance/distance_to_3	static_var/bov_distance	450.517.500.578.156	0.417127879760212	0.682080968570908	18.889.748.654.733	0.445133193106591
distance/distance_to_3	static_var/demo_distance	450.811.934.295.078	0.417264163536003	0.682200113421868	133.021.296.910.891	0.578108170101305
distance/distance_to_3	static_var/drenagem_distance	24.016.774.605.396	0.21535538123077	0.210528763929885	122.537.693.100.649	0.0402655354869345
distance/distance_to_3	static_var/estrada_distance	161.746.927.920.583	0.176732494555023	0.174035448560642	120.724.487.126.327	0.0287578740671408
distance/distance_to_3	static_var/ovinos_distance	460.232.840.028.607	0.42160153871486	0.685963776082449	165.958.759.159.689	0.49473913476525
distance/distance_to_3	static_var/pib_distance	454.732.669.664.962	0.419074719743979	0.683777830456498	158.375.903.935.044	0.511107683205744
distance/distance_to_3	static_var/pop_rural_distance	454.541.013.403.676	0.418986396687303	0.683701087427108	183.694.544.145.869	0.456301410005351
distance/distance_to_3	static_var/pop_urb_distance	451.123.337.371.243	0.417408253458059	0.682326023650256	136.138.601.272.671	0.568749863454633

distance/distance_to_4	distance/distance_to_5	0	0	0	140.977.052.565.101	0
distance/distance_to_4	static_var/agri_distance	340.978.488.822.099	0.270483403932563	0.630101476448626	242.221.149.557.306	0.275372368913739
distance/distance_to_4	static_var/altimetria_distance	390.695.810.718.938	0.354602782535907	0.655761895227887	20.568.895.953.204	0.333199015856155
distance/distance_to_4	static_var/bov_distance	329.264.485.434.529	0.265796695580636	0.623449989117851	232.478.692.923.702	0.280544592447363
distance/distance_to_4	static_var/demo_distance	329.042.343.866.324	0.265707019257357	0.623321378493293	177.021.207.637.489	0.349749312057033
distance/distance_to_4	static_var/drenagem_distance	172.516.736.900.201	0.182521489647313	0.179555134279054	150.628.511.953.036	0.0244055609459466
distance/distance_to_4	static_var/estrada_distance	988.057.068.007.557	0.138130442064713	0.136831238670546	148.737.137.743.632	0.0157746486631358
distance/distance_to_4	static_var/ovinos_distance	330.094.173.124.592	0.266131364984625	0.623929513642091	210.155.569.345.694	0.304779244127369
distance/distance_to_4	static_var/pib_distance	329.584.880.805.208	0.265925982716218	0.623635319138472	202.539.507.436.361	0.313415770651813
distance/distance_to_4	static_var/pop_rural_distance	343.027.362.417.824	0.271294827988404	0.631239206336328	226.736.363.082.766	0.291532869183869
distance/distance_to_4	static_var/pop_urb_distance	336.958.669.963.624	0.268884303255807	0.627847381136836	179.883.980.991.938	0.347195618349558
distance/distance_to_5	static_var/agri_distance	0	0	0	139.919.698.932.197	-3,17E-02
distance/distance_to_5	static_var/altimetria_distance	0	0	0	105.829.808.588.383	0
distance/distance_to_5	static_var/bov_distance	0	0	0	12.943.262.703.758	0
distance/distance_to_5	static_var/demo_distance	0	0	0	0.735615129156939	0
distance/distance_to_5	static_var/drenagem_distance	0	0	0	0.11512252907089	0
distance/distance_to_5	static_var/estrada_distance	0	0	0	0.0894254970529739	0
distance/distance_to_5	static_var/ovinos_distance	0	0	0	106.961.829.279.836	0
distance/distance_to_5	static_var/pib_distance	0	0	0	0.992001101427902	2,24E-02
distance/distance_to_5	static_var/pop_rural_distance	0	0	0	124.449.608.554.747	3,57E-02
distance/distance_to_5	static_var/pop_urb_distance	0	0	0	0.766941769996609	-5,79E-02
static_var/agri_distance	static_var/altimetria_distance	585.109.092.596.863	0.433951491574408	0.72834794311124	183.998.064.938.791	0.502555982348145
static_var/agri_distance	static_var/bov_distance	938.047.750.053.656	0.38852613438697	0.802688738252855	194.937.550.928.392	0.552545999173844
static_var/agri_distance	static_var/demo_distance	556.110.912.540.853	0.299149631861669	0.719592541043055	148.791.967.108.962	0.606041573204307
static_var/agri_distance	static_var/drenagem_distance	263.261.132.102.296	0.225471554666468	0.219950014140986	148.705.577.403.728	0.0360079151386944
static_var/agri_distance	static_var/estrada_distance	189.926.230.168.221	0.191509737557707	0.188091575074255	146.905.925.014.571	0.0262836769003486
static_var/agri_distance	static_var/ovinos_distance	633.536.952.586.319	0.333493996432877	0.741780638539293	180.099.826.108.184	0.541002014913762
static_var/agri_distance	static_var/pib_distance	629.333.995.555.582	0.318235306182901	0.740669100077534	172.056.907.819.159	0.560914643711493
static_var/agri_distance	static_var/pop_rural_distance	8.033.913.473.774	0.359559972951914	0.779780992434771	192.430.062.918.506	0.544232953910437

static_var/agri_distance	static_var/pop_urb_distance	551.829.080.594.133	0.297995740092443	0.71825014636265	152.055.757.223.181	0.596066327061948
static_var/altimetria_distance	static_var/bov_distance	565.090.751.586.065	0.426463494936319	0.72236539336335	174.086.649.458.163	0.520064208338479
static_var/altimetria_distance	static_var/demo_distance	533.150.784.014.529	0.414235950957845	0.712235623978688	119.474.697.502.666	0.667999137294379
static_var/altimetria_distance	static_var/drenagem_distance	271.001.594.557.872	0.228762224088438	0.223001554145575	114.539.709.090.931	0.0477638174892435
static_var/altimetria_distance	static_var/estrada_distance	197.360.721.825.847	0.195221996331844	0.191604948727405	112.741.656.874.691	0.0353865939356677
static_var/altimetria_distance	static_var/ovinos_distance	597.574.748.212.336	0.438549762844237	0.73194113604156	150.396.584.189.249	0.586442722129999
static_var/altimetria_distance	static_var/pib_distance	607.582.944.686.839	0.442206934893424	0.734756012883961	142.621.540.251.335	0.608773381622075
static_var/altimetria_distance	static_var/pop_rural_distance	614.905.982.480.849	0.444863855153867	0.736777491029697	167.560.205.092.245	0.544722692362049
static_var/altimetria_distance	static_var/pop_urb_distance	534.844.016.761.392	0.41489321517705	0.712791774334166	122.504.218.107.302	0.657664441058245
static_var/bov_distance	static_var/demo_distance	583.122.975.130.433	0.306328807731841	0.72776627218063	137.542.096.958.569	0.644866329735146
static_var/bov_distance	static_var/drenagem_distance	26.142.712.642.295	0.2246848095498	0.219219479831374	13.822.250.965.926	0.0386302827953434
static_var/bov_distance	static_var/estrada_distance	190.943.700.311.636	0.192022029007537	0.188576853353727	136.414.159.729.278	0.0283434798026376
static_var/bov_distance	static_var/ovinos_distance	136.205.807.029.022	0.488989863374944	0.85119606981998	156.072.141.940.626	0.679561742928001
static_var/bov_distance	static_var/pib_distance	590.202.364.454.809	0.308182686429681	0.729827975361295	162.317.403.818.753	0.580103568539269
static_var/bov_distance	static_var/pop_rural_distance	688.273.395.195.258	0.332803783781327	0.75541357071061	184.759.331.469.848	0.544527299920842
static_var/bov_distance	static_var/pop_urb_distance	58.230.196.339.419	0.306113082966652	0.727525074005498	140.610.089.158.026	0.635693307187526
static_var/demo_distance	static_var/drenagem_distance	259.664.555.452.979	0.223926103489735	0.21851463185447	0.823572149216045	0.0638634219352003
static_var/demo_distance	static_var/estrada_distance	188.777.240.834.062	0.19092957427015	0.187541837470502	0.805518007989815	0.04732522884305
static_var/demo_distance	static_var/ovinos_distance	533.904.971.478.632	0.306149833045922	0.712483615239273	116.152.468.546.925	0.713158452150566
static_var/demo_distance	static_var/pib_distance	968.441.048.241.349	0.394770197246008	0.807206768799493	104.354.104.014.164	0.791929571316453
static_var/demo_distance	static_var/pop_rural_distance	659.364.446.344.623	0.325739576179915	0.748402341225443	131.804.272.792.332	0.668718485976477
static_var/demo_distance	static_var/pop_urb_distance	180.002.965.428.562	0.5382048338284	0.881240549396406	0.798276518485778	0.937442543526332
static_var/drenagem_distance	static_var/estrada_distance	829.067.790.914.234	0.0400122900835185	0.0399802989860446	0.204007307009511	0.00528696487176217
static_var/drenagem_distance	static_var/ovinos_distance	259.849.714.343.412	0.224005926706493	0.218588804801605	115.756.854.407.896	0.0458704170375787
static_var/drenagem_distance	static_var/pib_distance	259.752.072.324.591	0.223963836134903	0.21854969407438	107.995.554.283.271	0.0490786880844478
static_var/drenagem_distance	static_var/pop_rural_distance	26.045.942.994.101	0.224268578299821	0.218832837909094	133.242.606.008.287	0.0400002680797669
static_var/drenagem_distance	static_var/pop_urb_distance	259.679.324.268.444	0.223932471467589	0.21852054921539	0.854897916061643	0.0615972849928878
static_var/estrada_distance	static_var/ovinos_distance	188.999.798.173.713	0.191042088525507	0.187648464898457	113.950.312.052.538	0.0337186040718318
static_var/estrada_distance	static_var/pib_distance	191.665.618.982.059	0.19238468435388	0.188920302387348	106.181.012.852.011	0.0362788745686925

static_var/estrada_distance	static_var/pop_rural_distance	202.770.615.250.835	0.19787954202495	0.19411560791535	131.394.645.235.558	0.0299494820466539
static_var/estrada_distance	static_var/pop_urb_distance	189.892.271.277.811	0.191492615781227	0.188075353749095	0.836808641213482	0.045678125702974
static_var/ovinos_distance	static_var/pib_distance	579.296.557.005.711	0.318898530635016	0.726638374235544	140.004.270.731.859	0.64180293293755
static_var/ovinos_distance	static_var/pop_rural_distance	64.077.818.466.295	0.335394474426894	0.743672946821493	16.346.989.359.624	0.587192619985435
static_var/ovinos_distance	static_var/pop_urb_distance	541.502.357.661.338	0.308320371392045	0.71495736063332	118.943.596.944.046	0.704713236952001
static_var/pib_distance	static_var/pop_rural_distance	106.788.015.541.282	0.414542461718095	0.820628770160926	147.286.548.752.449	0.68288187787405
static_var/pib_distance	static_var/pop_urb_distance	871.504.657.275.169	0.374492065197769	0.792005935296504	107.409.515.623.974	0.778703761572579
static_var/pop_rural_distance	static_var/pop_urb_distance	691.372.188.482.549	0.333552128811969	0.75614147564415	13.397.547.376.507	0.66786365389518