

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

**MODELO DE APOIO À DECISÃO APLICADO AO
PLANEJAMENTO TERRITORIAL DE
SILVICULTURA BASEADO EM ANÁLISE
MULTICRITÉRIO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

TESE DE DOUTORADO

Damáris Gonçalves Padilha

Santa Maria, RS, Brasil.

2014

**MODELO DE APOIO À DECISÃO APLICADO AO
PLANEJAMENTO TERRITORIAL DE SILVICULTURA
BASEADO EM ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE
REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

Damáris Gonçalves Padilha

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

Orientadora: Prof^a. Jussara Cabral Cruz

Santa Maria, RS, Brasil.

2014

Gonçalves Padilha, Damáris

Modelo de apoio à decisão aplicado ao planejamento territorial de silvicultura baseado em análise multicritério de redes neurais artificiais / Damáris Gonçalves Padilha.-2014.

285 p.; 30cm.

Orientadora: Jussara Cabral Cruz

Coorientador: Rudiney Soares Pereira

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2014.

1. Modelagem ambiental 2. Dinâmica territorial 3. Cenários preditivos 4. Geotecnologias I. Cabral Cruz, Jussara II. Soares Pereira, Rudiney III. Título.

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Damáris Gonçalves Padilha. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: damarispadilha@gmail.com

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

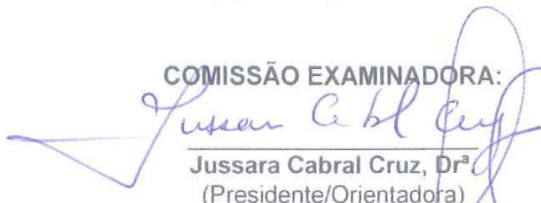
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

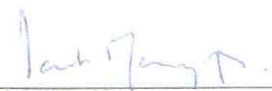
**MODELO DE APOIO À DECISÃO APLICADO AO
PLANEJAMENTO TERRITORIAL DE SILVICULTURA BASEADO
EM ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

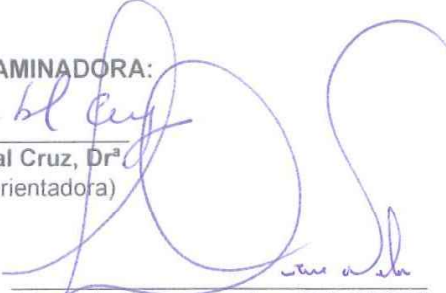
elaborado por
Damáris Gonçalves Padilha

Como requisito parcial para obtenção de grau de
Doutor (a) em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:


Jussara Cabral Cruz, Dr^a
(Presidente/Orientadora)


Paulo Alexandre M. Sousa, Dr.
(ULisboa- Portugal)


Liare de Souza Webber, Dr^a. (UFSM)


Camilo Allyson S. de Farias, Dr. (UFMG)


Edson Luis Piroli, Dr. (UNESP)

Santa Maria, 30 de Junho de 2014.

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Edmar Gonçalves Padilha
e Ana Maria Zaczeski, com amor
DEDICO!*

AGRADECIMENTOS

Quando uma etapa está para se findar é inevitável que nos lembremos de tudo que se passou até chegarmos ao nosso objetivo, sendo imprescindível recordar e agradecer aqueles que com seu apoio, incentivo e alegria tornaram o caminho menos árduo e mais gratificante, e os quais merecem o meu agradecimento.

Primeiramente a Deus que está sempre presente na minha vida, dando-me coragem, força, saúde e a oportunidade de conviver com pessoas maravilhosas.

A Universidade Federal de Santa Maria, por permitir realizar um curso de pós-graduação de forma gratuita e de qualidade e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal pela oportunidade de realização do curso de doutorado.

A CAPES pela viabilização econômica e oportunidade do estágio “sanduíche” fundamental para realização dessa tese.

A Professora Dra. Jussara Cabral Cruz por sua orientação, ensinamentos, amizade e confiança depositada para realização desse trabalho.

Ao Professor Dr. Paulo Alexandre Morgado Sousa por me receber na Universidade de Lisboa e aceitar co-orientar o trabalho, sendo fundamental na sua construção e aperfeiçoamento, e por apresentar uma disponibilidade e simpatia incomparável.

Ao colega Ivo Elesbão por intermediar e oportunizar esse encontro, ótima indicação!

Ao professor Mário Luiz Trevisan, pelas discussões produtivas, companheirismo, amizade e momentos de “filosofias” diversas.

A aquele com quem divido uma vida, meu amor, Gustavo Baumart Vieira, por todo carinho, dedicação e compreensão pelas horas e até meses da minha ausência no decorrer do curso, por acreditar que eu era capaz, sendo a calma e a força que por vezes me faltava.

A minha família, pelo amor, apoio e incentivo constantes, em especial aos meus pais Edmar Gonçalves Padilha e Ana Maria Zaczski, nunca haverá palavras suficientes para descrever a minha gratidão e orgulho por vocês.

A todos os meus irmãos pelo carinho e incentivo, em especial ao Denilson Gonçalves Padilha, pelo apoio, cumplicidade, ajuda e pelo exemplo de persistência, dedicação, determinação, e parceria diária mesmo estando distante.

A irmã de coração que conquistei juntamente com este título, Josita Soares Monteiro, pela amizade sincera, parceria, carinho, alegria, e por fazer parte da minha vida de uma forma tão especial, tornando-se fundamental nesta reta final, e claro, por proporcionar uma grande amizade com o nosso querido André Moreira.

Ao Grupo de Pesquisa Gestão dos Recursos Hídricos (GERHI) do Departamento de Engenharia Saneamento e Ambiental pela oportunidade de engrandecer meus conhecimentos junto aos seus pesquisadores, e ainda, me proporcionar grandes amigos, pessoas especiais que de alguma forma contribuíram para esta conquista. A vocês meus amigos Edner Baumhardt, Elisandra Maziero, João Francisco C. Horn, Pedro Pasotini, Régis Leandro Lopes da Silva, Calinca Barão de Ávila, Pamina Dias Lampert, o meu muito obrigado.

As pessoas que tornam alguns meses da minha vida muito mais felizes do que eu poderia imaginar, e me ensinaram a amar outro país como se fosse o meu, amenizando grandemente a saudade da família e tornando-se agora parte dela. Sandra Domingues (Sandrinha), Lucir Alves (PP), Inês Sampaio Fontes, Blanca Casares Guillén (Blanquita) e Cecília Duarte (Cici), obrigada pelos momentos inesquecíveis que passamos enquanto estive em Lisboa e pela alegria que essa “malta” me proporciona diariamente, nas conversas animadas e no apoio incondicional.

Aos amigos e compadres Carlos Roberto Santos da Silva e Viviane Flain e afilhado Luiz Davi, pela amizade, carinho e inúmeros momentos de alegria e descontração fundamentais na minha vida.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Camilo Allyson Simões de Farias, Prof. Edson Luís Piroli, Prof^a Liane de Souza Weber e Prof. Paulo Alexandre Morgado Sousa, pela presença e por contribuir para o enriquecimento dessa tese.

Ao coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (PPGEF) Frederico Dimas Fleig e as secretárias, Cerlene (Tita) e Rone pela eficiência e simpatia com que sempre me receberam.

A todos aqueles que de alguma forma colaboraram para o desenvolvimento desta tese, o meu muito obrigado.

"Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende".

Leonardo da Vinci.

"Sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira, você chega lá".

Ayrton Senna

RESUMO

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

MODELO DE APOIO A DECISÃO AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL DE SILVICULTURA BASEADO EM ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Autora: Damáris Gonçalves Padilha
Orientadora: Jussara Cabral Cruz
Santa Maria, 30 de junho de 2014.

A preocupação com as progressivas intervenções humanas sobre os recursos naturais acabam por intensificar pesquisas voltadas à compreensão da capacidade de suporte dos ecossistemas frente às atividades econômicas que se desejam introduzir sobre o território no futuro. Entre as modernas técnicas de modelagem dos problemas de gestão do território, estão os modelos voltados à gestão florestal, dos quais, a utilização dos modelos de redes neurais artificiais (RNA) tem se mostrado uma alternativa promissora em relação às técnicas de regressão para o manejo dos recursos florestais. Para isso, propõe-se uma abordagem metodológica de apoio à decisão, baseada em uma análise multicritério com a aplicação de RNA, visando contribuir para a elaboração de melhores instrumentos de políticas públicas voltadas ao planejamento e ordenamento do território. A bacia hidrográfica do Ijuí está localizada entre as coordenadas geográficas 27°45' e 26°15' N e 53°15' e 56°45' E, e apresenta 10.731,86 km² de área. A proposta metodológica tem como foco a análise de cenários preditivos (“*what if*”) voltados a avaliação da inserção da atividade de silvicultura frente a outras ações de interesse sobre o território. Para isso foram selecionados 21 indicadores, sendo consideradas quatro ações que permeiam as discussões no âmbito das mudanças territoriais, sendo elas: a não previsão de qualquer ação sob o território (*Nothing*), o aumento da atividade florestal (ExFlo), o crescimento da atividade agrícola (ExAgri) e a ação que preconiza a conservação das florestas nativas (Cons). Foram também estabelecidos cinco cenários: Condição Atual (CA), Crescimento econômico (+Econ), Decrescimento econômico (-Econ), Impacto social positivo (+Idese) e Impacto social negativo (-Idese). O treinamento das RNA foi realizado no software *Statistica*[®] 12.0 utilizando o modelo de rede *multilayer perceptron* (MLP), sendo processadas estruturas de redes sob diferentes parâmetros de ajustamento. Para os cenários *Nothing* foram utilizadas as redes com duas camadas ocultas e 10 neurônios escondidos e para os cenários com as ações ExAgri, Cons e ExFlo, apenas uma camada oculta e dez neurônios escondidos. Realizada em ambiente SIG, a simulação da inserção das ações nos diferentes cenários resultou em vinte cenários preditivos e a sua análise demonstrou que em não prevendo nenhuma ação, as áreas com floresta nativa tendem a diminuir sobre o território em qualquer que seja o cenário, assim como o uso Silvicultura, podendo este último deixar de ocorrer quando em um cenário -Idese. Para a ação ExFlo, os cenários que se apresentaram menos favoráveis foram -Idese e -Econ. No entanto, para a ação Cons, os únicos cenários favoráveis ao aumento da atividade silvícola foram o CA e +Idese sendo que este último apresentou-se favorável também para a ação ExAgri. A pesquisa apontou que o uso de métodos estatísticos associados aos SIG, em especial as RNA, possibilitou executar uma modelagem preditiva, apresentando os possíveis cenários decorrentes da introdução das ações que são de interesse, bem como a formulação de diretrizes para o seu planejamento. O método abordado apresenta-se como uma ferramenta alternativa do planejamento territorial, no entanto, o mesmo requer a consideração das suas limitações enquanto um mecanismo de abstrações da realidade dos acontecimentos sobre o território. Diante disso, fica uma certeza evidente, a necessidade de que os órgãos de pesquisa em geotecnologias e as inúmeras instituições de ensino invistam na pesquisa e na geração de conhecimento baseados nos modelos de análise territorial com o uso das RNA, de forma a tornar todos esses procedimentos de predição mais ágeis, confiáveis e realizados com menores custos.

Palavras-chave: Modelagem ambiental; Dinâmica territorial; Cenários preditivos; Geotecnologias.

ABSTRACT

Doctoral Thesis
Graduate Program in Forestry
Federal University of Santa Maria

DECISION SUPPORT MODEL FOR FORESTRY PLANNING THROUGH MULTICRITERIA ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS ANALYSIS

Author: Damáris Gonçalves Padilha
Advisor: Jussara Cabral Cruz
Santa Maria, 30 de June de 2014.

As landscape became humanized biodiversity declines due to habitat depletion and the conservational biodiversity-oriented landscape planning can no longer be ignored. Nonetheless, economic activities are equal important and can't be put apart. Over the last decade of the XXI century there is a growing need for educated decision making regarding planning policies that combine social, economic, cultural and environmental features. Nowadays, spatial planning policies have been enhanced by embedded modern technologies. In this study we propose a bottom-up approach methodology for forestry planning development. To pursue this, several concepts, methods and technologies are assembled together, such as artificial neural networks (ANN), namely Multilayer perceptron (MLP), who shows to be a promising alternative to regression techniques, Geographic Information Systems (GIS), Multicriteria analysis and Scenario building. Finally, a decision support model for forestry planning through multicriteria artificial neural network is set up. The watershed of Ijuí is located between the geographical coordinates 27 ° 45' - 26 ° 15' N and 53 ° 15' - 56 ° 45' E, and have 10.731,86 km² in area. The methodology focuses on the analysis of predictive scenarios ("what if") aimed at assessing silviculture activity against other stocks of interest over the territory. Based on the 21 variables selected four actions has been take in account as the most representative of the different agents interest involved namely: no action taking place on the territory (Nothing), increased forestry activity (ExFlo), activity growth agricultural (ExAgri) and the action that advocates the conservation of native forests (Cons). For these four actions, five scenarios was setting up: Current Condition (CA), economic growth (+ Econ), economic degrowth (-Econ), positive social impact (+Idese) and negative social impact (-Idese). The training of ANN was performed with the software Statistica ® 12.0 to perform multilayer perceptron network (MLP) to run different parameters for the different scenarios. Therefore, for the Nothing scenarios MLP parameters were two hidden layers and 10 hidden neurons, and for the scenarios with ExAgri, Cons and ExFlo actions, only one hidden layer and ten hidden neurons were used. Performed in a GIS environment, actions spatial simulations occurring under different scenarios resulted in twenty predictive output's. Results analysis show that in not predicting any action, areas with native forest tend to decrease over the territory in whatever scenario, so as forestry use, these latter analysis may not occur if a scenario is -Idese. For ExFlo action scenarios that were presented less favorable -Idese e -Econ. However, for the action Cons, the only favorable to increased forestry activity scenarios were CA and + Idese and the latter case also presented favorable for ExAgri action. In synthesis, this study showed that a bottom-up approach model combining statistical methods associated with GIS, in particular ANN, is able to capture and model the complexity of forestry planning through predictive modeling, presenting future alternative scenarios based on local agents interests or actions, and provide with proven accuracy results to feed educated policies guidelines. Although, the method discussed is presented as an alternative tool of territorial planning, however, it requires consideration of its limitations as a mechanism of abstractions from the reality of events over the territory. Therefore, it is an obvious certainty, the need for research institutions in geo and the numerous educational institutions to invest in research and generation of knowledge-based models for territorial analysis with the use of ANN in order to make all these more streamlined procedures for predicting, reliable and performed with smaller costs.

Keywords: Environmental Modeling; Territorial dynamics; Predictive scenarios; Geotechnology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de um neurônio biológico típico.	55
Figura 2 - Representação de um neurônio artificial.	57
Figura 3 - Neurônio artificial com uma camada oculta.	61
Figura 4 - Arquiteturas de redes neurais artificiais: a) Rede sem camada oculta, b) Rede com uma camada, c) Rede com múltiplas camadas, d) Redes recorrentes	63
Figura 5 - Ilustração das direções de propagação do sinal funcional e do erro.	66
Figura 6 - Classificação estrutural e funcional de redes neurais artificiais.	67
Figura 7 - Aprendizagem supervisionada.	67
Figura 8 - Aprendizagem não supervisionada.	68
Figura 9 - Ilustração das direções de propagação do sinal funcional (ativação) e do erro (<i>backpropagation</i>).	71
Figura 10 - Função limiar.	74
Figura 11 - Função sigmoide.	75
Figura 12 - Função hiperbólica.	75
Figura 13 - Tipos de cenários.	78
Figura 14 - Localização da bacia hidrográfica do rio Ijuí (RS).	85
Figura 15 - Ocorrência natural dos biomas.	86
Figura 16 - Localização das regiões hidrográficas da bacia do rio Ijuí.	87
Figura 17 - Variável áreas prioritárias para conservação da biodiversidade.	89
Figura 18 - Mapa da ocorrência potencial da fauna terrestre.	92
Figura 19 - Mapa da ocorrência potencial da flora terrestre.	94
Figura 20 - Mapa da declividade.	96
Figura 21 - Mapa das formações geológicas.	98
Figura 22 - Mapa da geomorfologia.	101
Figura 23 - Mapa das classes de resistência dos solos a impactos ambientais.	104
Figura 24 - Localização das estações meteorológicas.	109
Figura 25 - Temperatura média mensal para o período.	110
Figura 26 - Precipitação média mensal para o período de dados.	112
Figura 27 - Mapa das estações pluviométricas e área de influência da bacia.	115
Figura 28 - Mapa climatológico na região da bacia.	116
Figura 29 - Mapa infraestrutura viária e ferroviária.	120
Figura 30 - Alteração do uso e cobertura da terra (%) na bacia hidrográfica do Ijuí.	124
Figura 31 - Índice desenvolvimento socioeconômico para o ano de 2006.	127
Figura 32 - Índice desenvolvimento socioeconômico para o ano de 2009.	128
Figura 33 - PIB per capita dos municípios no ano de 2006.	131
Figura 34 - PIB per capita dos municípios no ano de 2010.	131
Figura 35 - Estrutura fundiária.	134
Figura 36 - Mapa do índice agrícola.	138

Figura 37 - Porcentagem de municípios por número de habitantes para 2006 e 2011.....	140
Figura 38 - Mapa da população total por município no ano de 2006.....	141
Figura 39 - Mapa da população total por município no ano de 2011.....	141
Figura 40 - Número de empregos formais por setor de produção.....	142
Figura 41 - Mapa do emprego formal na atividade florestal no ano de 2006.....	145
Figura 42 - Mapa do emprego formal na atividade florestal no ano de 2011.....	145
Figura 43 - Estrutura metodológica do modelo conceitual utilizado na pesquisa....	148
Figura 44 - Estrutura metodológica do treinamento das RNA do tipo MLP.....	153
Figura 45 - Ações propostas para análise dos cenários preditivos.....	155
Figura 46 - Considerações para construção das ações.....	157
Figura 47 - Construção das variáveis que representam as distintas ações.....	158
Figura 48 - Cenários preditivos para avaliação da bacia hidrográfica.....	160
Figura 49 - Uso e cobertura no ano de 2013, representando a ação <i>Nothing</i>	168
Figura 50 - Uso e cobertura considerando a ação de expansão agrícola (ExAgri). 169	
Figura 51 - Uso e cobertura considerando a ação conservacionista (Cons).....	170
Figura 52 - Uso e cobertura considerando a ação de expansão florestal (ExFlo). .	171
Figura 53 - Estrutura das redes neurais com uma e duas camadas ocultas e dez neurônios escondidos.....	174
Figura 54 - Valores de <i>Training perf.</i> e <i>Error</i> para os Cenários x Ações.....	176
Figura 55 - <i>Ranking</i> da influência das variáveis na dinâmica do território frente as diferentes ações para cenário Condição Atual.....	177
Figura 56 - <i>Ranking</i> com as dez variáveis de maior influência sobre a dinâmica do território nas diferentes ações para o cenário Condição Atual.....	179
Figura 57 - Alterações para o uso e cobertura de 2013 para 2018 para o cenário Condição Atual sem ação (<i>Nothing</i>).....	180
Figura 58 - Condição Atual sem ação (<i>Nothing</i>).....	181
Figura 59 - Alterações para o uso e cobertura de 2013 para 2018 para o cenário Condição Atual com ação ExAgri.....	183
Figura 60 - Condição Atual com a ação Expansão Agrícola (ExAgri).....	184
Figura 61 - Alterações para o uso e cobertura de 2013 para 2018 para o cenário Condição Atual com ação Cons.....	185
Figura 62 - Condição Atual com a ação Conservacionista (Cons).....	187
Figura 63 - Alterações para o uso e cobertura de 2013 para 2018 para o Cenário Condição Atual com ação ExFlo.....	188
Figura 64 - Condição Atual com a ação Expansão Florestal (ExFlo).....	189
Figura 65 - Importância atribuída as variáveis para as diferentes ações para o cenário Crescimento Econômico.....	191
Figura 66 - <i>Ranking</i> com as dez variáveis de maior influência sobre a dinâmica do território nas diferentes ações para o cenário Crescimento Econômico.....	192
Figura 67 - Alterações no uso e cobertura do território do ano de 2013 para 2018 com a ação <i>Nothing</i>	193
Figura 68 - Cenário Crescimento Econômico sem ação (<i>Nothing</i>).....	195

Figura 69 - Alterações sobre o território para 2018 com a ação de expansão agrícola.....	196
Figura 70 - Cenário Crescimento Econômico com a ação Expansão Agrícola (ExAgri).	198
Figura 71 - Alterações sobre o território para 2018 para a ação conservacionista..	199
Figura 72 - Cenário Crescimento Econômico com a ação Conservacionista (Cons).	201
Figura 73 - Alterações sobre o território para o ano de 2018 com a ação de Expansão Florestal.....	202
Figura 74 - Cenário Crescimento Econômico com a ação Expansão Florestal (ExFlo).....	204
Figura 75 - <i>Ranking</i> com as dez variáveis de maior influência sobre a dinâmica do território nas diferentes ações para o Cenário Decrescimento Econômico.....	206
Figura 76 - Cenário Decrescimento Econômico sem ação (<i>Nothing</i>).....	207
Figura 77 - Cenário Decrescimento Econômico com a ação Expansão Agrícola (ExAgri).	208
Figura 78 - Cenário Decrescimento Econômico com a ação Conservacionista (Cons).	209
Figura 79 - Cenário Decrescimento Econômico com a ação Expansão Florestal (ExFlo).....	210
Figura 80 - Cenário Decrescimento Econômico: a) Ação <i>Nothing</i> , b) Ação ExAgri, c) Ação Cons, d) Ação ExFlo.	211
Figura 81 - Importância atribuída as variáveis para as diferentes ações.	212
Figura 82 - <i>Ranking</i> com as dez variáveis de maior influência sobre a dinâmica do território nas diferentes ações para o Cenário Impacto Social Positivo.....	214
Figura 83 - Cenário Impacto Social Positivo sem ação (<i>Nothing</i>).	215
Figura 84 - Cenário Impacto Social Positivo com a ação Expansão Agrícola (ExAgri).	216
Figura 85 - Cenário Impacto Social Positivo com a ação Conservacionista (Cons).	217
Figura 86 - Cenário Impacto Social Positivo com a ação Expansão Florestal (ExFlo).....	218
Figura 87 - Possíveis alterações no Cenário Impacto Social Positivo: a) Ação <i>Nothing</i> , b) Ação ExAgri, c) Ação Cons, d) Ação ExFlo.	219
Figura 88 - Importância atribuída as variáveis para as diferentes ações para o Cenário Impacto Social Negativo.	220
Figura 89 - <i>Ranking</i> com as dez variáveis de maior influência sobre a dinâmica do território nas diferentes ações para o Cenário Impacto Social Negativo.	221
Figura 90 - Possíveis mudanças no Cenário Impacto Social Negativo: a) Ação <i>Nothing</i> , b) Ação ExAgri, c) Ação Cons, d) Ação ExFlo.	223
Figura 91 - Cenário Impacto Social Negativo sem ação (<i>Nothing</i>).....	224

Figura 92 - Cenário Impacto Social Negativo com a ação Expansão Agrícola (ExAgri).....	225
Figura 93 - Cenário Impacto Social Negativo com a ação Conservacionista (Cons).....	226
Figura 94 - Cenário Impacto Social Negativo com a ação Expansão Florestal (ExFlo).....	227
Figura 95 - Porcentagem da atividade de silvicultura nos os distintos cenários.	232

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das RNA.....	64
Tabela 2 - Valores relativos das áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade.	89
Tabela 3 - Valores conservativos relativos às espécies da fauna ameaçada de extinção.	91
Tabela 4 - Valores relativos ao status conservativo atribuídos às espécies (ameaçadas e endêmicas) da flora.	93
Tabela 5 - Classes de declividade e área de abrangência.....	95
Tabela 6 - Valores correspondentes às formações geológicas e área de abrangência.....	97
Tabela 7 - Descrição do modelado de relevo.	99
Tabela 8 - Modelados do relevo.	100
Tabela 9 - Classes de resistência solos existentes na bacia e área de abrangência.....	103
Tabela 10 - Tipo de clima e respectivos índices de umidade.....	107
Tabela 11 - Estações meteorológicas do INMET para os dados de temperatura. ...	108
Tabela 12 - Média mensal das estações meteorológicas para o período de dados.	109
Tabela 13 - Estações meteorológicas relativas aos dados pluviométricos.....	111
Tabela 14 - Valor do Índice de umidade calculado para as estações pluviométricas e respectiva tipologia climática.	114
Tabela 15 - Classificação e extensão da estrutura da rede viária e ferroviária.	118
Tabela 16 - Dimensões dos <i>buffers</i> das vias e ferrovias.....	118
Tabela 17 - Valor atribuído à variável estradas e ferrovias.	120
Tabela 18 - Descrição das imagens utilizadas nos dois períodos de dados.	122
Tabela 19 - Classes de uso e ocupação nos anos de 2006 e 2013.....	122
Tabela 20 - Valores do IDESE mínimo, máximo e médio nos anos de 2006 e 2009.	126
Tabela 21 - Porcentagem dos valores do IDESE para os anos de 2006 e 2009. ...	127
Tabela 22 - Porcentagem de municípios por classes da participação dos municípios no PIB para os anos de 2006 e 2009.	130
Tabela 23 - Porcentagem de propriedades acima de 10 ha e área de abrangência.....	133
Tabela 24 - Índice agrícola e área de abrangência.	138
Tabela 25 - Total de habitantes por município para os anos de 2006 e 2011.....	139
Tabela 26 - Municípios que apresentam emprego formal no setor florestal.....	143
Tabela 27 - Emprego formal nos anos de 2006 e 2010.	144
Tabela 28 - Parâmetros utilizados para o treinamento das redes.	154
Tabela 29 - Descrição da condição dos diferentes cenários.	161
Tabela 30 - Cenários x Ações.	162

Tabela 31 - Uso e cobertura das distintas ações.....	167
Tabela 32 - Parâmetros das RNA que apresentaram melhores resultados de ajustamento.	173
Tabela 33 - Resultado das redes neurais para os distintos cenários preditivos.	174

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição das classes de resistência dos solos a impactos ambientais .	102
Quadro 2 - Indicadores utilizados para o modelo de multicritério.....	150
Quadro 3 - Descrição dos Cenários x Ações.....	163
Quadro 4 - Variáveis dependentes e independentes para análise dos cenários preditivos.....	164
Quadro 5 - Classificação hierárquica dos usos nos cenário predictivos, e possíveis causas para as mudanças ocorridas.....	235
Quadro 6 - Diretrizes estratégicas de acordo com a classificação referente às mudanças sobre o território nos cenários predictivos.	236
Quadro 7- Análise dos cenários predictivos frente à expressividade dos usos sobre o território.	240
Quadro 8 - Resumo da análise de aplicabilidade do modelo de RNA para tomada de decisão.	251

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP:	Área de Preservação Permanente
CAPES:	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBERS:	<i>China-Brazil Earth Resources Satellite</i>
CPEF:	Companhia Paulista de Estradas de Ferro
CREA-RS:	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do RS
CPRM:	Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais -
DRH:	Departamento de Recursos Hídricos
DNIT:	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte
EPAGRI:	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FEE:	Fundação de Economia e Estatística
FEPAM:	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Luiz Roessler
GERHI:	Grupo de Pesquisa Gestão de Recursos Hídricos
GIS:	<i>Geographic Information System</i>
IA:	Inteligência Artificial
i. e:	Isto é (do latim <i>id est</i>)
e. g:	Por exemplo (do latim <i>exempli gratia</i>)
IBAMA:	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDESE:	Índice Desenvolvimento Socioeconômico
IDH:	Índice de Desenvolvimento Humano
INEMET:	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE:	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MMA:	Ministério do Meio Ambiente
RAIS:	Relação Anual de Informações Sociais
RNA:	Redes Neurais Artificiais
SIG:	Sistema de Informação Geográfica
UFSM:	Universidade Federal de Santa Maria
UTM:	<i>Universal Transverse of Mercator</i>

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Valores do IDESE para os anos de 2006 e 2009 dos municípios pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Ijuí.	281
Apêndice B - Análise Multivariada: Análise Factorial (Componentes Principais)	282
Apêndice C - Treinamento das diferentes estruturas de redes neurais do tipo MLP.....	285

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	31
1.1 Hipóteses	33
1.2 Objetivo Geral.....	33
1.3 Objetivos Específicos	34
2. REVISÃO DE LITERATURA	35
2.1 A atividade de silvicultura.....	35
2.2 Planejamento e gestão de bacia hidrográfica	38
2.3 Modelos de apoio à decisão	40
2.3.1 Fatores que influenciam o processo de decisão	46
2.3.2 Seleção de indicadores	49
2.4 Redes neurais artificiais	53
2.4.1 Histórico do estudo das redes neurais	58
2.4.2 Arquitetura das redes neurais artificiais.....	60
2.4.3 Treinamento das redes neurais artificiais	64
2.4.4 Multilayer perceptron network - MLP	69
2.4.5 Algoritmo <i>backpropagation</i>	69
2.4.5.1 Função de ativação	73
2.5 Cenários para modelos de apoio à decisão.....	76
2.5.1 Cenários normativos.....	79
2.5.2 Cenário exploratório	80
2.5.3 Cenários preditivos.....	81
3. DIAGNÓSTICO DA ÁREA DE ESTUDO	85
3.1 Localização da área.....	85
3.2 Descrição dos indicadores.....	88
3.2.1 Indicadores biofísicos	88
3.2.1.1 Áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade	88
3.2.1.2 Ocorrência potencial da fauna terrestre	90
3.2.1.3 Ocorrência potencial da flora terrestre	92
3.2.1.4 Declividade	95
3.2.1.5 Geologia	96
3.2.1.6 Geomorfologia	98
3.2.1.7. Resistência dos solos.....	101
3.2.1.8. Clima	105
3.2.1.8.1 Balanço Hídrico Climatológico - BHC	105
3.2.1.8.2 Temperatura média	107
3.2.1.8.3 Precipitação média	110
3.2.1.8.4 Capacidade Máxima de Água Disponível (CAD).....	112
3.2.2 Indicadores antropogênicos	116
3.2.2.1 Infraestrutura	117
3.2.2.2 Uso e cobertura da terra.....	121

3.2.2.3 Índice de desenvolvimento socioeconômico	124
3.2.2.4 Produto Interno Bruto - PIB.....	129
3.2.2.5 Estrutura fundiária.....	132
3.2.2.6 Índice agrícola	136
3.2.2.7 População total	139
3.2.2.8 Emprego formal	142
4. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	147
4.1 Proposta metodológica	147
4.2 Seleção dos indicadores.....	149
4.2 Sistema de Informação Geográfica.....	151
4.3 Redes neurais artificiais.....	152
4.4 Elaboração dos cenários	154
4.4.1 Ações para o território.....	154
4.4.2 Cenários preditivos	159
4.5 Análise de sensibilidade	165
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	167
5.1 Ações	167
5.2 Treinamento das redes neurais	172
5.3. Cenários	176
5.3.1 Cenário Condição Atual (CA).....	176
5.2.1.1 Cenário Condição Atual (CA): Ação Expansão Agrícola (ExAgri).....	182
5.2.1.2 Cenário Condição Atual (CA): Ação Conservacionista (Cons)	185
5.2.1.3 Cenário Condição Atual: Ação Expansão Florestal (ExFlo).....	188
5.2.2 Cenário Crescimento Econômico (+Econ).....	191
5.2.2.1 Cenário Crescimento Econômico (+Econ): Sem ação (<i>Nothing</i>)	193
5.2.2.2 Cenário Crescimento Econômico (+Econ): Ação Expansão Agrícola (ExAgri).....	196
5.2.2.3 Cenário Crescimento Econômico (+Econ): Ação Conservacionista (Cons)	199
5.2.3 Cenário Decrescimento Econômico (-Econ).....	205
5.2.4 Cenário Impacto Social Positivo (+Idese)	212
5.2.5 Cenário Impacto Social Negativo (-Idese)	220
5.3 Análise das alterações sobre o território frente às distintas ações para os cenários preditivos	228
5.3.1 Sem ação (<i>Nothing</i>).....	228
5.3.2 Ação Expansão Agrícola (ExAgri).....	229
5.3.3 Ação Conservacionista (Cons)	229
5.3.4 Ação Expansão Florestal (ExFlo).....	230
5.4 Avaliação dos cenários mais favoráveis para atividade florestal	231
5.5 Diretrizes de apoio à tomada de decisão.....	233
5.5 Análise da aplicabilidade do modelo para tomada de decisão	241
5.5.1 Fase de planejamento	241
5.5.2 Fase da análise	242
5.5.3 Fase de decisão	247

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	257
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	261
APÊNDICES	279

1. INTRODUÇÃO

As dificuldades relativas ao processo decisório que envolve o planejamento territorial não se constituem de um problema contemporâneo. O desejo do homem em definir o seu espaço e organizá-lo teve início nos primórdios dos tempos, onde a confecção dos primeiros mapas, apesar da utilização de materiais bastante rudimentares, trouxe às antigas civilizações a possibilidade de organizar e otimizar o uso do seu território, e proporcionou-lhe arquivar conhecimentos culturais e sabedoria para os povos descendentes.

No entanto, quanto mais conhecimento a humanidade adquire com o passar dos tempos, mais complexos vão se tornando a sociedade e os sistemas que a envolvem, exigindo a inevitável evolução dos modelos dirigidos ao planejamento territorial.

Aliado a essa complexidade, surgem às tecnologias de informação que oferecem a possibilidade de organização, armazenamento de grandes volumes de informação e análise das informações, apresentando-se como instrumentos potencializadores de uma gestão informada e eficaz dos ecossistemas e dos possíveis usos atribuídos para o território.

Independente da motivação a que se atribuem esses modelos, a consequente complexidade do ambiente natural sugere uma urgência do desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão que permitam confrontar os problemas específicos que se apresentam aos responsáveis pela sua gestão.

A preocupação com as progressivas intervenções humanas sobre os recursos naturais acabam por intensificar pesquisas quantitativas e qualitativas voltadas à compreensão da capacidade de suporte dos ecossistemas frente às atividades econômicas que se desejam introduzir sobre o território no futuro.

No entanto, como já descrito por Souza; Takahashi (2012) os eventos futuros são desconhecidos, inesperados e, mesmo que cálculos de previsão possam oferecer algumas estimativas; não há como prever o comportamento de eventos sem precedentes. Logo, traçar uma estratégia observando as condições que poderão ocorrer no futuro, não é uma tarefa simples, podendo esse processo ser

ainda mais complexo quando somado a um período de incertezas, mudanças ou crises.

Há, portanto, a necessidade de que a decisão seja tomada com base na análise das diferentes probabilidades, buscando encontrar a que se apresente mais adequada à situação avaliada, e no caso do planejamento territorial, aquela que atenda a necessidade e os anseios da maioria dos envolvidos no processo decisório. Neste sentido, a análise multicritério (AMC) torna-se uma ferramenta de apoio à gestão territorial, tendo como principal objetivo auxiliar os indivíduos (ator ou decisor) a articular suas preferências na presença de ambiguidades e incertezas, tornando sua decisão mais coerente considerando os distintos interesses que se apresentam.

Entre as modernas técnicas de modelação dos problemas de gestão do território, estão os modelos voltados à gestão florestal, dos quais, a utilização dos modelos de redes neurais artificiais segundo tem se mostrado uma alternativa promissora em relação às técnicas de regressão para o manejo dos recursos florestais.

Contudo, ocorre uma intensificação na medida em que se compreende que a gestão florestal carrega problemas não-lineares, intrínsecos da dinâmica dos processos naturais dos ecossistemas onde a atividade está inserida.

Diversos estudos e aplicações têm sido desenvolvidos visando sua adaptação e parametrização para diversas situações como a estimação do volume de árvores, do crescimento e da produção florestal, dentre outras aplicações. A utilização dessa ferramenta tem demonstrado um enorme potencial na área florestal permitindo a modelagem matemática de diversas variáveis e fenômenos de difícil compreensão e estimação por métodos clássicos¹.

Diante disso, a elaboração ou o aperfeiçoamento metodológico dos modelos de tomada de decisão sobre o uso e ocupação territorial tornam-se um desafio, pois ao mesmo tempo em que se avalia a sua viabilidade prática, também se requer uma confiabilidade científica, já que há a possibilidade de assumi-los como instrumentos na efetivação dos planejamentos ambientais locais, regionais, estaduais etc.

¹ <http://www.dapflorestal.com.br/curso/9/redes-neurais-artificiais-aplicada-a-ciencia-florestal>

Apoiada a este entendimento, a presente pesquisa pretende avaliar cenários futuros de probabilidade frente a distintas ações que se desejam introduzir sobre o território da bacia hidrográfica, bem como, as variáveis indicadoras potenciais para o planejamento territorial voltado à atividade de silvicultura. Para isso, propõe-se uma abordagem metodológica de apoio à decisão, baseada em uma análise multicritério com a aplicação de redes neurais artificiais aliadas às ferramentas de geotecnologia.

1.1 Hipóteses

Considerando a importância da elaboração de modelos de avaliação do território, contemplando abordagens capazes de minimizar a subjetividade dos processos de tomada de decisão, e cujo resultado pode ser expresso em mapas geoespacializados, formulam-se as seguintes hipóteses:

- Um modelo de predição construído com a abordagem das redes neurais artificiais permite a formulação de diretrizes para auxiliar os processos de tomada de decisão frente ao uso e ocupação do território, e em particular a atividade florestal.

- Os cenários resultantes das redes neurais artificiais permitem analisar as possíveis mudanças que podem ocorrer no território e identificar as ações consideradas favoráveis à atividade silvícola frente aos diferentes cenários preditivos.

1.2 Objetivo geral

Propor uma metodologia para subsidiar os processos de tomada de decisão que envolvem a atividade de silvicultura, com base em um modelo multicritério, com intuito de auxiliar na formulação de políticas públicas de uso do território em nível de bacia hidrográfica.

1.3 Objetivos específicos

a) Selecionar indicadores capazes de representar as características do território, em dois períodos temporais (para que exista um histórico da dinâmica), para a construção de cenários preditivos;

b) Determinar de ações voltadas aos diferentes interesses sobre o uso do território, e de diferentes cenários para a bacia hidrográfica;

c) Construir um modelo de multicritério baseado em redes neurais artificiais para avaliação de mudanças futuras no território, considerando a realização das ações nos diferentes cenários considerados.

d) Analisar as mudanças ocorridas no território considerando a expansão da atividade florestal, em relação às demais ações, indicando o 'Onde?' (onde ocorreram as mudanças); o 'Quê?' (o que mudou e para qual uso mudou); e o 'Quanto?' (quanto é que este uso mudou e/ou provavelmente irá mudar num futuro próximo);

e) Avaliar as ações que se apresentam mais favoráveis frente aos diferentes cenários preditivos gerados;

f) Com os resultados dos cenários propor diretrizes que servirão de apoio para a tomada de decisão em relação à prática da atividade florestal frente às demais ações de interesse sobre o território.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A atividade de silvicultura

A exploração florestal no Brasil tem sido desde a época do descobrimento, o motor do seu desenvolvimento econômico. Nos finais do século XIX, com a expansão da atividade agrícola e da rede de caminho-de-ferro, Rambo (2006) descreve que surgiram os primeiros sinais de preocupação quanto ao esgotamento dos recursos naturais e aos efeitos ambientalmente negativos sobre os ecossistemas locais, como consequência das atividades continuadas e sem planejamento de sobre-exploração do patrimônio florestal nativo do país.

Consequentemente, Edmundo Navarro de Andrade, um dos precursores da atividade florestal no Brasil, iniciou uma série de experiências no início do século XX, na busca de espécies florestais capazes de produzir mais rapidamente a matéria-prima desejada. O resultado dessa demanda levou à seleção do *Eucalyptus* e a sua posterior introdução no Brasil, em 1908, através da principal companhia ferroviária nacional, necessitada dos principais produtos oriundos da madeira do eucalipto (lenha, carvão e dormentes). O eucalipto como matéria-prima foi utilizado por outras indústrias, primeiro pelo mobiliário e mais tarde, durante a década de 50, pela celulose. No entanto, segundo Rambo (2006) só na década seguinte com a introdução de incentivos ao reflorestamento é que se tornou universal o interesse pelo cultivo do eucalipto e de outras espécies de crescimento rápido (pinus e acácia-negra), e assim, o subsequente destaque da atividade silvícola no quadro da economia brasileira.

Desde então, a cadeia produtiva de florestas plantadas no Brasil expandiu-se e caracteriza-se atualmente pela diversidade de produtos e serviços, compreendendo um conjunto de atividades que incluem desde a produção e a colheita até a transformação da madeira no produto final. Essa expansão favoreceu o crescimento da procura de matérias-primas de base florestal e consequentemente trouxe de novo à superfície as preocupações anteriores de sustentabilidade

ambiental, que tinham sido, entretanto, encobertas com a introdução de novas espécies florestais de crescimento elevado.

Assim, nos últimos anos, têm-se assistido a inserção na legislação ambiental de algumas salvaguardas que reduzem a pressão que a exploração florestal exerce sobre os ecossistemas naturais, nomeadamente em relação àqueles mais vulneráveis e/ou frágeis a esta atividade, contribuindo assim para sua conservação e sustentabilidade.

Segundo Baumhardt (2010) o modelo de produção florestal baseado em plantações comerciais é relativamente recente e, por isso, a extensão de áreas plantadas ainda é reduzida no planeta. Mas apesar disso, o autor destaca que esse modelo está em evolução e aperfeiçoamento crescente, à medida que o conhecimento científico se desenvolve, procurando superar as muitas e incessantes indagações ambientais, sociais e econômicas que essa atividade desperta. Até à data, a maior parte da investigação e desenvolvimento tem sido centralizada quer no melhoramento genético quer na otimização da gestão florestal, o que tem proporcionado ganhos significativos na produtividade florestal, alcançando algumas espécies de *Eucalyptus* um incremento médio anual (IMA) superior a 40 m³/ha/ano, e proporcionando assim menores ciclos de colheita para os plantios florestais dessas espécies. Note-se, contudo que estes valores apenas são possíveis face às condições edafo-climáticas (e.g. solo, precipitação) e socioeconômicas (e.g. verticalização do setor, qualidade da mão de obra) excepcionais do país para a prática desta atividade.

Estas potencialidades do país resultaram em uma área ocupada por plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus*, em 2012, superior a 6,6 milhões de hectares, representando cada espécie, respetivamente, cerca de 76% e 24% desse total. A maior parte (cerca de 87%) dessa área encontra-se concentrada em apenas sete Estados, de acordo com a seguinte distribuição: Minas Gerais (22%), São Paulo (18%), Paraná (12%), Santa Catarina (10%), Bahia (9%), Mato Grosso do Sul (9%) e Rio Grande do Sul (7%) (ABRAF, 2013).

Neste contexto, o Estado do Rio Grande do Sul ocupa uma posição de destaque, apresentando uma área de plantação aproximadamente igual a 450 mil hectares, em 2012, e um sector florestal com um horizonte promissor de crescimento. Este destaque não é por acaso, já que nos últimos anos o Estado tem sido palco de disputa entre as principais empresas do setor que têm realizado

avultados investimentos nesta área, nomeadamente através da plantação de novos maciços florestais, da ampliação da cadeia produtiva (por ex., novas fábricas de produção de celulose), da aposta na qualificação dos sistemas de gestão e nas áreas de investigação e desenvolvimento e do estabelecimento de parcerias e ações de fomento.

Apesar do potencial produtivo que a atividade florestal nas terras da metade norte do Estado do Rio Grande do Sul apresentam, atualmente o foco principal do projeto de expansão desta atividade está centrado na metade sul do Estado, mais especificamente no bioma Pampa que, em território brasileiro, tem sua ocorrência restrita a este Estado. Alguns fatores como os baixos índices socioeconômicos, mão-de-obra barata, uma estrutura agrária baseada em grandes extensões de terra e a situação econômica precária dos produtores de gado fizeram dessa região segundo Grandó (2008), o território preferencial para o investimento pelas principais empresas deste setor.

Esta expansão acelerada traz consigo a necessidade de equilibrar a excelência em produtividade e competitividade econômica desta região com as suas repercussões ambientais e socioeconômicas sobre os sistemas que suportam o desenvolvimento dessa atividade, numa ótica de sustentabilidade. Conciliar os interesses legítimos dos operadores econômicos privados, que buscam, sobretudo, o lucro numa perspectiva de curto prazo, face aos interesses socioeconômicos da sociedade em geral, incluindo as preocupações ambientais, tem estado no centro dos conflitos e das discussões sobre as vantagens e desvantagens desta atividade em todas as esferas da comunidade gaúcha.

Assim, após debates públicos, o governo do Estado, em parceria com outros órgãos técnicos ambientais, empresas e entidades representantes da iniciativa privada da silvicultura gaúcha, assumindo a sua responsabilidade em estabelecer novas regras para a expansão do setor florestal, instituiu o Zoneamento Ambiental para a Atividade da Silvicultura do Rio Grande do Sul (ZAS), com o objetivo de aumentar a produção no setor florestal sem deixar de preservar os recursos naturais da região. O Zoneamento Ambiental tornou-se um instrumento de comando e controle que visa apoiar os processos de planejamento e ordenamento do território e, conseqüentemente, da utilização dos seus recursos naturais, com o intuito de minimizar os impactos decorrentes de uma ação antrópica desordenada.

Apesar de existir um consenso quanto aos impactos (positivos e negativos) gerados pela atividade florestal e a necessidade de regrá-la, várias vezes dissonantes têm-se levantado, discutido a respeito dos critérios de licenciamento adotados, sobretudo, em relação à interpretação das regras adotadas pelo Zoneamento e à sua aplicação legal.

2.2 Planejamento e gestão de bacia hidrográfica

A pressão sobre os recursos naturais tem se intensificado ao longo dos anos e conseqüentemente, o espaço onde estes se encontram diminui consideravelmente, emergindo assim a necessidade de uma gestão responsável dos recursos naturais, advinda do planejamento e do ordenamento do território realizado de forma efetiva.

As bacias hidrográficas são consideradas as unidades territoriais para implementação da política nacional de recursos hídricos¹, o que, por conseguinte, nos remete a elaboração do seu planejamento ambiental, ou seja, a organização do seu território buscando um melhor desempenho considerando a sua vocação natural.

O uso das bacias hidrográficas como unidade de planejamento ambiental e de gerenciamento de recursos hídricos está previsto no Código Estadual de Meio Ambiente do RS², no seu Art. 18 onde está descrito que “*O planejamento ambiental terá como unidades de referência as bacias hidrográficas*” [...] e, enfatiza no Art. 121, que o planejamento ambiental terá como preceito, “*a adoção da bacia hidrográfica como unidade básica de planejamento e intervenção, considerando o ciclo hidrológico na sua integridade*”.

No Rio Grande do Sul o ZAS estabeleceu como unidade de planejamento ambiental as Unidades de Paisagem Natural (UPN). Estas unidades foram conceituadas por SEMA/FEPAM (2010) como regiões naturais homogêneas

¹ Lei Federal 9.433/97 Art. 1º, inciso V- Política Nacional de Recursos Hídricos.

² Lei Estadual 11.520/00, Art. 18º e Art.º 121 – inciso IV - Código Estadual de Meio Ambiente do RS.

representativas das diversas regiões do Estado, estabelecidas mediante critérios de setorização do território pelas suas características fisionômicas e paisagísticas originais.

No entanto, de acordo com Pires et al. (2002), atualmente há um consenso muito bem fundamentado no meio científico segundo o qual a bacia hidrográfica é a unidade ambiental mais adequada para o tratamento dos componentes e da dinâmica das interrelações concernentes ao planejamento e à gestão do desenvolvimento, especialmente em âmbito regional.

Na concepção de Ghezzi (2003) a bacia hidrográfica torna-se a unidade ideal para se efetuar trabalhos de planejamento de um modo geral, pois fornecem subsídios para que sejam efetuados diversos estudos ambientais, capazes de integrar as distintas dimensões (antropogênicas e biofísicas). Já o manejo em bacias hidrográficas para Lima (2008) é uma forma integrada de visualizar ou de pensar a respeito das atividades antrópicas em um território qualquer, assim como, os seus efeitos diretos e indiretos sobre o solo e a água.

No Brasil, o gerenciamento das bacias hidrográficas tem passado por um processo lento de regulamentação no que diz respeito aos seus recursos hídricos. Mesmo assim, várias iniciativas de gestão integrada de bacias hidrográficas já foram iniciadas, contribuindo para um processo de gestão mais estruturado e formalizado.

De um modo geral, as abordagens acerca do planejamento das atividades antrópicas e do uso dos recursos naturais, baseadas em modelos clássicos, têm falhado por dissociarem as questões socioeconômicas dos aspectos ambientais inerentes. Para Souza; Fernandes (2010) é fundamental o estabelecimento de planos que utilizem uma abordagem sistêmica integrada e participativa envolvendo o estudo das dimensões antrópicas, biofísicas e econômicas, inerentes ao local ou região onde forem aplicados.

Para Pires et al. (op. cit.) as novas abordagens devem estar voltados à adoção de medidas de gerenciamento dos problemas ambientais, as quais consideram a capacidade de resiliência dos recursos naturais, e a melhoria das práticas de manejo das atividades, com o intuito de otimizar o uso e estabelecer os limites de exploração dos recursos na bacia hidrográfica.

2.3 Modelos de apoio à decisão

Desde o início da civilização o ser humano sempre procurou algo que o amparasse no seu processo de decisão, buscando inicialmente, conforme descrito por Bispo (1998), o auxílio nas divindades para que pudesse tomar decisões consideradas sábias. Isso porque, segundo o autor diversas culturas antigas buscavam em pessoas com “poderes místicos” o auxílio para as suas decisões, já que se considerava que essas pessoas podiam ter contato direto com os deuses e suas orientações eram divinas.

Assim, de acordo com o autor, “as pessoas entendiam que as decisões tomadas eram consideradas sábias e livres de erros”, e quando essas não proporcionavam o resultado esperado, atribuíam-se os erros às divindades que não estavam felizes, tornando as decisões nesta época fortemente influenciadas pelas entidades divinas e seus representantes. Apesar da religião ainda ter influência em alguns processos decisórios, na atualidade outros são os fatores que acabam, em conjunto ou individualmente, apresentando maior influência nos processos dependentes de uma decisão.

Ainda que os fatores influentes nos processos decisórios atualmente sejam em número mais elevado e representem interesses distintos, as teorias de decisão, seus sistemas e modelos de apoio continuam a ter como meta, facilitar a ação do decisor em realizar uma escolha, ou seja, tomar uma decisão face às alternativas que se apresentam. Porém, não o bastante para o mundo contemporâneo saber qual é a escolha a ser feita, torna-se necessário também compreender as consequências advindas das distintas possibilidades, assim como, ser capaz de analisar o “o que” ou “quem” ela pode afetar seja positiva ou negativamente.

A teoria da decisão tornou-se preponderantemente prescritiva e normativa, procurando estabelecer regras e modelos para que um decisor racional escolha, entre as alternativas possíveis, o melhor curso de ação. Seus modelos procuram orientar o decisor a tomar boas decisões, particularmente àquelas que podem ser programadas, com o objetivo de melhorar a eficiência pela ampliação da racionalidade (LEITÃO, 2003). Esses modelos de apoio à decisão têm evoluído com o passar dos anos, tornando-se por vezes indispensáveis para aqueles que

necessitam não apenas de alternativas para a solução de problemas, mas precisam compreender as consequências que cada uma das alternativas pode resultar.

Decisões permeiam todas as atividades humanas, seja em nível pessoal ou em nível organizacional, e muitas dessas são tomadas de maneira informal ou intuitiva. No entanto, ao longo dos tempos, a necessidade de melhores decisões levou à busca de abordagens sistemáticas e estruturadas que conduzissem a um processo decisório mais satisfatório (MEIRELLES; GOMES, 2009).

Para os autores o objetivo principal de uma ferramenta de apoio à decisão é aprimorar sua racionalidade, ou seja, aumentar a perspectiva de que uma escolha conduza a um resultado satisfatório. A escolha racional pode ser definida como sendo aquela que se baseia em tudo que o decisor sabe, julga e sente, satisfazendo suas preferências de forma eficaz e lógica. Como resultado, a inclusão da racionalidade em uma decisão para Brown (2005, apud MEIRELLES; GOMES, 2009) acaba por melhorar a sua qualidade na medida em que se baseia em todo o conhecimento e expertise disponíveis, além de tornar transparentes as motivações subjacentes.

Tomar decisões no contexto atual é algo complexo e administrar esta complexidade é o desafio de todo dirigente moderno (BISPO, 1998). Para tanto são imprescindíveis que tenhamos ferramentas de qualidade para dar suporte ao moderno processo decisório. Já é compreensível que as dificuldades relativas ao processo decisório não constituem um problema recente, associado a isto, as pressões sobre o uso de recursos naturais têm se tornado cada vez mais intensas e a tarefa de gerenciamento desses recursos pelos profissionais envolvidos, tem sido particularmente difícil.

As decisões relacionadas com o ambiente são por vezes complexas, pois segundo Boas (2005) buscam alcançar objetivos tangíveis e/ou intangíveis dos quais envolvem aspectos essencialmente quantitativos e/ou eminentemente qualitativos. Toda essa complexidade tem dificultado e atrasado os processos que envolvem a escolha de caminhos alternativos e o uso de instrumentos que auxiliem na melhor escolha de políticas, programas e projetos que envolvem o território.

Para Vetorazzi (2006) a alocação das atividades sobre o território tem sido um dos problemas mais frequentes que os profissionais da área ambiental têm enfrentado na atualidade, pois ao inserir uma restrição (ambiental, financeira, social ou cultural) sobre o território, as mesmas acabam por reduzir as alternativas de

modo significativo e o processo de tomada de decisão torna-se dominado por incertezas e, conseqüentemente, riscos, para os tomadores de decisão.

A complexidade do ambiente tem constituído nos últimos anos a motivação de diferentes abordagens de pesquisas que tem como objetivo compreender esse processo dinâmico e interdependente. Aliada a essa motivação surgem os modelos voltados à análise territorial, os quais consistem na representação sintetizada dos acontecimentos ocorrentes em um determinado território.

Durante esse processo, têm ocorrido mudanças de percepção que partem da avaliação científica de temas ambientais, em particular, em direção a uma análise mais integrada, que forneça vínculos entre as variáveis ambientais e os sistemas humanos; em outras palavras, uma análise que relacione as variáveis biofísicas e as socioeconômicas (BATISTELLA; MORAN, 2008).

Os modelos de planejamento territorial compreendem, de maneira geral, a avaliação de n indicadores (ou fatores) relativos às características locais, usualmente tratadas por técnicos de diferentes áreas, constituintes de uma equipe multidisciplinar. Em geral, cabe a essa equipe multidisciplinar ou ao projetista, identificar, no momento do diagnóstico, quais serão os n indicadores que farão parte da avaliação em cada um dos ambientes avaliados. Porém, essa definição por parte da equipe multidisciplinar nem sempre acontece de forma unânime, não raro, ocorrendo, no início do processo de avaliação, dúvidas sobre o quanto cada indicador ou variável apresenta-se significativo dentro do modelo de avaliação proposto.

Para Kiker et al. (2005) a tomada de decisão no caso de projetos ambientais pode ser complexa e aparentemente insolúvel, principalmente devido ao inerente conflito de escolhas entre os fatores sócio-político, ambientais, ecológicos e econômicos. No entanto, para todo problema apontado no decorrer de um planejamento Santos (2004) afirma que há sempre uma ou mais alternativas de solução, e cabe ao planejador encontrar estratégias para prover medidas da distância entre o que é perfeitamente certo e completamente errado, apresentando assim as múltiplas alternativas para a tomada de decisão.

Entre diversos métodos dirigidos à tomada de decisão, a análise multicriterial apresenta-se bastante adequada para aplicação em planejamento territorial, isso porque tem por objetivo propor metodologias e ferramentas para ajudar a estruturar os problemas de decisão e de avaliação inerentes ao território. Esse tipo de análise

leva em conta a totalidade dos pontos de vista pertinentes, auxiliando na descrição, modelagem e agregação das preferências e escolha da melhor alternativa sobre o território, ou ainda, auxilia na ordenação das alternativas segundo múltiplos critérios determinados pelos agentes envolvidos no processo.

A análise multicritério estuda formas de auxiliar o homem, neste contexto denominado decisor, a tomar decisões na presença de incertezas e conflitos de interesses. Normalmente, um único ponto de vista é insuficiente para incluir toda a informação necessária e todas as contradições inerentes ao problema. (PARREIRAS, 2006). Justificando assim, a importância de considerar vários critérios em uma análise de decisão.

Para Santos et al. (2005) quando há um problema multicritério com um número finito de alternativas, o ideal seria escolher dentre as alternativas, a que fosse melhor em todos os critérios, o que resultaria numa resposta direta, porém isso raramente ocorre. Diante disso, a análise multicritério busca uma alternativa que, comparada com outra, seja uma boa opção de escolha, principalmente quando os indicadores nos seus variados aspectos já tenham sido adequadamente quantificados.

Na atualidade existem diferentes métodos multicriteriais para auxiliar a tomada de decisão, mas segundo Fidalgo (2003) e Zuffo (1998) a escolha do método depende de fatores como o problema particular considerado, os objetivos do estudo, as preferências dos tomadores de decisão entre outros a ver no item 2.3.1. Para modelos ambientais Santos (2004) descreve que uma das características da avaliação multicritério é a de contemplar a diversidade natural em n aspectos e considerar a sua variabilidade, atribuindo a eles pesos de importância dentro de cada composição do modelo.

No entanto, para se determinar a sustentabilidade de um sistema os modelos devem utilizar em sua análise indicadores que contemplem os mais diversos aspectos (econômicos, sociais, ambientais dentre outros). Como uma abordagem alternativa para a melhoria dos sistemas de apoio à tomada de decisão Sheppard; Meitner (2005) enfatizam que se devem integrar as ideias do decisor às tecnologias dispostas para o processamento da informação.

Essa integração tem nos últimos anos, contribuído para evolução dos modelos ambientais ao tempo em que são capazes de apresentar ao decisor, ou

equipe, n alternativas (cenários) comparatórias do ambiente sob análise, com um tempo de resposta mais que satisfatório.

Como facilitador deste processo Host et al. (1995) destacam que os bancos de dados espaciais (públicos e privados) e as tecnologias SIG em conjunto com a análise estatística multivariada têm proporcionado uma abordagem mais padronizada para o desenvolvimento de classificações ecológicas em nível regional. Estes métodos buscam a otimização de um conjunto de funções-objetivo, através de critérios e julgamento das alternativas de solução de um problema (SANTOS et al., 2005).

A integração de sistemas de informação geográfica (SIG) e de métodos de decisão multicritério vem proporcionando inúmeros benefícios para a resolução de problemas de planejamento e gerenciamento do mundo real (ZAMBON et al., 2005). Na compreensão de Malczewski (2006) essa integração entre técnicas de Tomada de Decisão Multicritérios (TDMC) e SIG tem promovido um avanço considerável nas abordagens convencionais de análise de adequação de uso do território pela sobreposição de mapas.

A possibilidade de espacialização dos dados em ambiente SIG e a visualização das alternativas para tomada de decisão na forma de mapas propicia aos decisores uma melhor compreensão dos cenários resultantes das distintas alternativas em análise, assim como, a identificação de regiões que possam receber maior ou menor interferência de acordo com a alternativa escolhida.

A TDMC em ambiente SIG pode ser pensada como um processo que combina e transforma dados espaciais e não-espaciais (entrada) em uma decisão resultante (saída). Os procedimentos (ou regras de decisão) de TDMC definem um relacionamento entre os mapas de entrada e o mapa de saída (MALCZEWSKI, 2006). O autor destaca que os procedimentos envolvem a utilização de dados geográficos, as preferências dos tomadores de decisão e o tratamento dos dados e as preferências de acordo com regras de decisão especificadas.

Para Sheppard; Meitner (2005) o fato dos modelos tornarem-se mais complexos, não indica que os resultados são sempre mais confiáveis. Abrangência e complexidade não conduzem necessariamente a uma maior precisão (LOUCKS, 1987). Portanto, Parker et al. (1995 apud SHEPPARD; MEITNER, 2005) salientam que as previsões e resultados do modelo devem ser acompanhados com alguma

indicação sobre o seu nível de confiança, evitando assim que os resultados sejam sobrevalorizado, ou inteiramente desconsiderados.

É notório que os modelos de apoio à decisão têm sido aprimorados com o intuito de comprovar a confiabilidade dos seus resultados, minimizando os possíveis erros por meio de distintos procedimentos estatísticos. No entanto, isso não remete a uma conclusão de que um modelo recente seja mais confiável que os seus antecessores.

O fato de surgir uma nova geração de Sistemas de Apoio à Decisão não descarta e não substitui os sistemas antigos e tradicionais, tratando-se, portanto de uma evolução (*upgrade*) dos métodos já existentes. Muitas vezes, os novos sistemas trabalham em conjunto com os antigos, para a solução dos problemas, para o gerenciamento dos negócios e para a elaboração de novas estratégias (BISPO, 1998). Portanto, ao mesmo tempo em que as pesquisas apresentam respostas positivas à análise proposta, ocorre também um aperfeiçoamento dos modelos voltados à tomada de decisão, tornando-os adequados para cada situação específica.

Neste contexto Bispo (1998) salienta que em alguns casos é possível que não haja um único sistema de apoio capaz de apresentar as respostas ou alternativas que se desejam. Portanto, torna-se fundamental efetuar a análise por mais de um modelo ou sistema, buscando assim alternativas que sejam compatíveis com os interesses da maioria dos envolvidos no processo, o que não tem sido uma tarefa fácil de ser executada.

Para Souza; Fernandes (2010) um dos grandes desafios que os governos e a sociedade em geral têm de enfrentar é o de desenvolver e usar sistemas de apoio à decisão, capazes de conciliar os benefícios das atividades econômicas com as externalidades que essas práticas impõem sobre os sistemas que as suportam.

O desafio encontra-se, sobretudo, na elaboração de políticas públicas e de instrumentos de regulação que influenciem adequadamente, numa perspectiva de sustentabilidade, os comportamentos dos diversos *stakeholders*, devido à dificuldade que os decisores (públicos e privados) têm em compreender e interpretar quais os indicadores que são realmente importantes e o porquê de considerá-los dessa forma.

Portanto, torna-se fundamental o estudo de modelos que visam contribuir para a elaboração de melhores instrumentos de apoio à decisão de políticas

públicas voltadas ao planejamento e ordenamento do território, em nível bacias hidrográficas, e a construção de modelos multicritérios de apoio à decisão capazes de trabalhar com níveis de complexidade inerentes ao território e que estejam sustentados numa perspectiva de desenvolvimento sustentável para os ecossistemas sócio-ecológicos nele presentes.

2.3.1 Fatores que influenciam o processo de decisão

Toda decisão tem consequências e envolvem certo nível de riscos. Para se tomar uma decisão não basta saber o que se quer, mas é necessário existir alguns fatores para alcançar o objetivo estabelecido. Na concepção de Bispo (1998) alguns fatores exercem influência direta no processo decisório, pois antes mesmo de existir o problema, já existem estes fatores e, quando o problema surge, o mesmo é inserido em um cenário onde estes fatores estão embutidos.

O autor descreve que normalmente estes fatores não fazem parte das variáveis indicadoras que compõe a análise (problema), tão pouco das alternativas para a sua solução, porém estão sempre presentes e exercem grande influência (individual ou coletiva) na solução dos problemas que demandam de uma decisão.

Ao longo de uma análise territorial ou ambiental, por exemplo, várias decisões são tomadas por diferentes protagonistas, decisões essas que acabam por interferir sobre os diferentes agentes envolvidos dependendo do nível de compreensão que os mesmos têm sobre a análise. Em suma, estes fatores dizem respeito às condições que favorecem ou não a compreensão dos envolvidos no processo decisório, frente ao(s) objetivo(s) da decisão, podendo facilitar ou dificultar todo processo.

Alguns fatores como o grau de instrução e conhecimento, a cultura, o nível social e qualidade de vida, a religião, costumes e crenças, a ética moral e profissional, e até mesmo, o fator emocional podem ser considerados influentes no momento da tomada da decisão. Isso porque, esses fatores acabam por explicitar as preferências individuais ou coletivas dos integrantes do processo decisório, gerando assim os diferentes conflitos de interesse.

Outra questão que tem acalentado as discussões entre os componentes das equipes técnicas responsáveis pelos planejamentos e zoneamentos, por exemplo, é a determinação dos indicadores (variáveis) participantes na construção dos modelos de análise. Isso porque, a inclusão ou não de uma variável no modelo não segue (e nem deve seguir) um padrão previamente estabelecido, o que acaba por gerar um número bastante diverso de modelos e variáveis que na maioria dos casos correspondem às preferências de grande parte da equipe responsável.

Em suma os modelos baseados em análise ambiental têm contemplado inúmeras variáveis, embora nem sempre seja justificada a forma de seleção dos temas abordados e/ou dos dados utilizados. Fidalgo (2003) observou que essa diversidade está associada principalmente às características da área de estudo, à disponibilidade de dados e ao procedimento metodológico adotado para a elaboração do diagnóstico. O que para o autor, remete a uma relação direta com a composição da equipe técnica multidisciplinar, responsável pela determinação dos indicadores e dos procedimentos para sua análise.

Essa pode ser uma resposta sobre a enorme subjetividade inerente nos modelos em que a sua construção e resultados dependem do desenvolvimento, da análise e da conclusão por um grupo de pessoas, onde há a multidisciplinaridade de conhecimento e conseqüentemente de opiniões. Leitão (1993) descreve que nem toda decisão segue um raciocínio analítico, pois as pessoas pensam e sentem, e que muitas vezes, sentem mais do que pensam, resultando, portanto, em decisões que ocorrem tanto no plano afetivo (emoção, instinto, impulso) como no cognitivo (razão, lógica) ou ainda por intuição.

Portanto, é compreensível que a subjetividade torna-se intrínseca nos processos de tomada de decisão, pelo menos em alguma das fases do processo, pois, segundo o autor todo ser humano não só decide e age norteado, consciente ou inconscientemente, por uma hierarquia de valores sejam eles econômicos, políticos, burocráticos, teóricos, estéticos, culturais, sociais etc., mas também se deixa influenciar por suas crenças pessoais; e isso acaba por afetar as suas decisões.

Por outro lado, o autor salienta que os valores políticos não são explicitamente reconhecidos pela maioria dos agentes decisórios, embora orientem muitas de suas decisões e ações, e que é de grande importância que ocorra a visualização de quanto esses valores e crenças agem sobre os participantes do

processo decisório para ampliar a capacidade perceptiva do decisor, minimizando ao máximo a subjetividade inerente a sua decisão.

March (1994) ressalta a existência de estudos que sugerem que nem todas as alternativas, preferências e consequências podem ser consideradas pelo agente, o qual tende a focar em algumas e a ignorar outras. Já que o ser humano não tem a capacidade de processar todas as informações disponíveis para analisar uma determinada situação, ocorre uma seleção arbitrária dos dados a serem utilizados.

Embora a subjetividade da avaliação não possa ser completamente eliminada, Fidalgo (2003) descreve que seu efeito no resultado final pode ser minimizado mediante a inclusão da ponderação dos critérios (ou variáveis) segundo a objetividade da avaliação, em conjunto com a importância do critério.

Assim, essa subjetividade pode ser minimizada quando, ao processo decisório, são associadas ferramentas e técnicas computacionais capazes de trabalhar com um grande número de “problemas” ou situações das quais demandam de um enorme volume de informações.

Uma das técnicas que auxiliam o processo decisório é TDMC já descrita no Item 2.3, no entanto, segundo Malkzewski (2004), há duas considerações de importância crítica para a TDMC espacial: (i) as capacidades do Sistema de Informações Geográficas (SIG) de aquisição, armazenamento, extração, manipulação e análise de dados; e (ii) as capacidades da TDMC de combinar os dados geográficos e as preferências do tomador de decisão em valores unidimensionais de decisões alternativas.

Para o autor há diversos problemas associados à implementação de métodos de tomada de decisão em ambiente SIG, podendo resumir segundo ele em 3 principais:

- Primeiro, é bem conhecido que os dados de entrada dos procedimentos de avaliação multicritérios em SIG têm as propriedades de inexatidão, imprecisão e ambiguidade. Apesar deste conhecimento, os métodos tipicamente assumem que os dados de entrada são precisos e exatos. Alguns esforços têm sido feitos para lidar com esse problema, combinando-se procedimentos multicritérios em SIG com análise de sensibilidade e análise de propagação de erros.
- O segundo problema relaciona-se com a padronização de critérios não comensuráveis. Há muitos métodos diferentes de padronização que podem ser usados em avaliações multicritérios em SIG. Para esse fim é importante notar que diferentes métodos de padronização podem levar a diferentes padrões de adequação de uso da terra, por exemplo. A abordagem mais comum para padronização de critérios é o método da transformação linear. Entretanto, não há uma boa justificativa teórica e empírica para o uso deste

método. Uma vez que os critérios de avaliação agem como medidas de proximidade da utilidade do tomador de decisão, os diferentes valores de critérios refletem diferentes níveis de utilidade para o tomador de decisão. Se os valores forem mudados ou distorcidos pelo processo de transformação, a estrutura de preferências intra e interatributos pode ser afetada.

- Terceiro, dada a grande variedade de regras de TDMC, há uma questão sobre qual dos métodos é o melhor a ser usado em uma situação particular. Este é um problema não resolvido em análise de decisão. Diversos estudos demonstram que as diferentes regras de decisão geram padrões de adequação de uso da terra consideravelmente diferentes. Sugere-se que dois ou mais métodos devem ser aplicados para diluir o efeito do viés da técnica. Outra solução para esse problema é a integração entre TDMC e técnicas de Inteligência Artificial (IA), para desenvolver o suporte à decisão multicritérios "inteligente", ou baseada no conhecimento.

Não existe método ou princípio normativo aplicável a todas as situações decisórias. A decisão é um processo complexo e contingencial, pois depende da situação, do ambiente em que se processa e da configuração dos fatores que a influenciam. Para decidir é preciso perceber o conjunto dos fatores que interagem numa situação decisória, é preciso captar o processo interativo existente nos fatores identificados, usando a capacidade de pensar e sentir a situação em exame, onde o decisor é parte do contexto (LEITÃO, 1993).

Sob este entendimento, torna-se imperativo a elaboração de modelos integradores e dinâmicos, capazes de analisar os critérios (indicadores) constituintes da análise territorial, e avaliar a importância de cada critério por meio de uma abordagem metodológica confiável que considere as características intrínsecas do território, resultando em diferentes cenários de possibilidades baseados nas ações que se deseja introduzir sobre ele.

2.3.2 Seleção de indicadores

Para Dumanski (1997) a sustentabilidade só pode ser alcançada através do esforço coletivo daqueles imediatamente responsáveis pela gestão dos recursos. No entanto, a complexidade e interdependência dos três pilares do desenvolvimento sustentável (econômico-social-ambiental) têm desafiado aqueles que buscam desenvolver e utilizar indicadores para medir e avaliar esse desenvolvimento.

Para Mendoza; Prabhu (2002) critérios e indicadores tornaram-se ferramentas primordiais na aplicação do princípio da gestão sustentável dos recursos, sendo necessário para isto, desenvolver metodologias que de forma holística e sistemática possam gerar indicadores relevantes, sejam eles para uma floresta particular ou para uma unidade de gestão.

O uso do termo “indicadores” vem se tornando mais frequente nos últimos anos devido à popularização do conceito de sustentabilidade e a necessidade de ferramentas para sua mensuração e monitoramento. Silva (2009) fundamentado em inúmeros autores conclui que, “indicador são parâmetros de indicação, variáveis que expressam valores, que aponta ou fornece informação sobre o estado do fenômeno, meio ou área com uma significância estendida maior que a obtida diretamente pela observação das propriedades”.

Para Santos (2004) pode-se dizer que indicadores são parâmetros, ou funções derivadas deles, que tem a capacidade de descrever um estado ou uma resposta dos fenômenos que ocorrem no meio, os quais devem ter a capacidade de gerar modelos que representem as realidades, além de vir enriquecido de entendimento técnico político, social e de conhecimento lógico Segundo Mendoza; Prabhu (2002) pode ser vistos como variáveis que podem ser usadas para medir o status ou condição de um sistema ou processo. No caso de processos ambientais, as variáveis respondem a um determinado regime de perturbações.

Para Sousa (2001) os indicadores são uma abstração da realidade, que transmitem informação sobre o desempenho do que se pretende analisar, refletindo sempre as aspirações de quem os seleciona.

No entanto, a seleção de variáveis indicadoras pode apresentar-se como um processo crítico na abordagem metodológica, pois além da sua relação com o modelo conceitual (quanto ao poder da variável de indicar o estado do sistema em relação a processos ou padrões avaliados), pode haver outras limitações que impõem cuidados na sua seleção.

No caso da seleção de variáveis indicadoras relacionadas a um modelo baseado em redes neurais artificiais para análise territorial, por exemplo, algumas limitações referem-se ao volume de informações a serem processadas o que necessita de um potencial maior de hardware para o processamento dos dados. Outro fator importante na escolha dos indicadores que irão constituir o modelo de análise, é a escala dos dados utilizados. Muitas vezes a escala de determinados

temas é menor, como é comum com mapas temáticos, como por exemplo, os que descrevem as características biofísicas (solos, geologia, geomorfologia).

Neste caso, UFSM; UNIPAMPA (2009) explicam que podem ser efetuados cruzamentos com estes mapas, porém, a qualidade do todo será determinada pela base da escala dos mapas de menor detalhamento. Ou seja, o grau de incerteza incorporado pela variável é maior quanto menor a escala em comparação com a base cartográfica utilizada. Os autores descrevem ainda que “às vezes, o bom senso recomenda a não utilização de uma variável, uma vez que esta pode acrescentar mais incertezas que certezas no assessoramento ao processo de tomada de decisões [...]”.

No caso da análise territorial com foco para a atividade de silvicultura a variável a ser considerada além de atender os requisitos citados, deve levar em consideração a estrutura e a dinâmica dos processos naturais e antrópicos que ocorrem sob o território, seja ele bacia hidrográfica, unidades de paisagem, biomas, etc.

De maneira geral, indicadores são elaborados visando simplificação, quantificação, análise e comunicação, o que permite entender fenômenos complexos e torná-los mensuráveis e compreensíveis. A tomada de decisão, por exemplo, é um processo dinâmico e complexo, sendo constituído de diferentes níveis de decisão da sociedade, ou seja, implica diferentes ordens de considerações; culturais, econômicas, institucionais, políticas e ambientais (POMPERMAYER, 2003).

Ferramentas fundamentais para tomadores de decisão e para a sociedade, os indicadores permitem tanto criar cenários sobre o estado do território, quanto aferir ou acompanhar os resultados de uma decisão tomada, podendo, por exemplo, ser empregados para avaliar e comparar territórios de diferentes dimensões e de diferentes complexidades.

Os indicadores podem ser utilizados também para avaliar e projetar as tendências a longo do tempo, bem como as respostas dadas pelos governos e pelos cidadãos, sendo úteis para prognosticar cenários futuros e nortear ações preventivas. Se forem bem estruturados, facilitarão a integração das informações, simplificando a manipulação do banco de dados e a apresentação dos resultados da análise, sem prejuízo para a qualidade da interpretação.

No entanto, não se deve jamais esquecer que a principal característica dos indicadores é a sua capacidade de quantificar e simplificar a informação. Para Moita Neto (2004) a objetividade da pesquisa científica só começa depois da escolha das variáveis e das metodologias de análise, antes disto à atividade científica é completamente subjetiva. Portanto, fica claro que o resultado de toda pesquisa científica está contaminada pelo viés da nossa subjetividade.

Entretanto, Silva (2003) salienta que isso é esperado uma vez que, para a maioria dos critérios, não há regras ou normas estabelecidas que permitam avaliações precisas. Diante disso, o que se tem buscado é a redução da subjetividade nos modelos de avaliação, com o estabelecimento de novas estratégias fundamentadas no entendimento a cerca das variáveis utilizadas nos planejamentos já implementadas, na capacidade de representação dos indicadores á realidade do local, e na habilidade do modelo estatístico em responder a complexidade das informações que são apresentadas.

Os indicadores carregam um conjunto de características do território que, ao serem confrontados podem resultar em cenários que apresentam o seu comportamento naquele momento. Estes por sua vez, podem ser utilizados para interpretar os fenômenos que ocorrem no local, permitindo estabelecer as relações de causa-efeito e a realização de previsões sobre o seu comportamento a médio e longo prazo.

Quando comparado com os outros tipos ou formas de informação, segundo Gallopin (1996), uma importante característica do indicador é a sua relevância para a política e para o processo de tomada de decisão. Os indicadores mais desejados, são os que resumem ou simplificam as informações relevantes, fazem com que certos fenômenos que ocorrem na realidade se tornem mais aparentes. (SILVA, 2008).

Isso acaba por evidenciar o quanto a definição e estruturação dos indicadores é uma fase importante na elaboração de um modelo para o auxílio a tomada de decisão. Contudo, tão importante quanto à determinação dos indicadores é também a escolha do método (ou modelo) a ser construído para a análise desses indicadores.

Cabe destacar, que os indicadores podem apresentar uma variação ao longo do tempo, necessitam da previsão de programa de monitoramento intensivo e constante, pois quando representam características biofísicas os dados necessitam

de atualizações periódicas para sejam capazes de representar o mais próximo da realidade daquilo que está sob análise.

Poggiani et al. (1998) descreveram que

“os indicadores, quando bem escolhidos, podem ser utilizados para interpretar os fenômenos naturais e permitem estabelecer relações de causa-efeito e fazer previsões sobre o comportamento, a médio e longo prazo, quanto à sustentabilidade do ecossistema”.

Para os autores, os dados, devidamente armazenados e organizados permitirão detectar pontos críticos de funcionamento do ecossistema florestal, estabelecer correlações entre diferentes eventos, levantar hipóteses para embasar novas pesquisas com o objetivo final de averiguar a validade dos indicadores escolhidos.

2.4 Redes neurais artificiais

Desenvolvimentos recentes em análise espacial mostram que a Inteligência Artificial (IA) oferece novas oportunidades à análise da adequação e ao planejamento de uso da terra (VETORAZZI, 2006), incluindo técnicas computacionais modernas que podem ajudar a modelar e esboçar sistemas complexos para interferência na tomada de decisão.

Os modelos baseados em IA, segundo Lima (2006) têm como principal característica a flexibilidade de inclusão de regras expressas em uma linguagem de fácil compreensão que incorporam na modelagem o conhecimento especializado e a experiência dos operadores.

A inteligência artificial trabalha basicamente com duas abordagens: a abordagem simbólica, baseada na lógica e a abordagem conexista, baseada nas redes neurais artificiais, ou seja, na simulação do cérebro humano (ROSA, 2011).

As redes neurais artificiais (RNA) são estruturas de mapeamento não lineares que possuem algumas características de desempenho baseadas nas redes neurais biológicas (cérebro), e que objetiva encontrar uma resolução mais eficiente para problemas considerados complexos, apresentando alta capacidade de processamento das informações. Segundo Lima (2006a) as RNA são instrumentos

capazes de expressar o conhecimento empírico adquirido da relação entre variáveis dependentes e independentes de um sistema.

Cerqueira; De Andrade; Poppi. (2001) definem que “Redes neurais é o nome dado a um conjunto de métodos matemáticos e algoritmos computacionais especialmente projetados para simular o processamento de informações e aquisição de conhecimento do cérebro humano”.

Assim, sendo inspiradas no sistema nervoso biológico, as RNA apresentam funcionamento semelhante a alguns procedimentos humanos, ou seja, aprendem pela experiência (exemplos), generalizam os exemplos através de outros e abstraem características (Wasserman, 1989). Logo, tal como o cérebro humano, uma RNA é capaz de aprender e tomar decisões baseadas em seu próprio aprendizado.

Desta forma, na concepção de Spörl (2007) esse tipo de rede pode ser interpretado como um esquema de processamento capaz de armazenar conhecimento baseado em aprendizagem (experiência) e disponibilizar este conhecimento para a aplicação em questão.

Portanto, como uma RNA tem sua estrutura de processamento baseada na neurobiologia humana, se faz necessário compreender seu funcionamento e composição para que seja possível entender a analogia que lhes é aplicada.

O neurônio biológico é dividido basicamente em três partes, sendo elas: os dendritos (ramificações) responsáveis pela recepção dos estímulos (impulsos), o corpo celular (ou soma) responsável pelos processos metabólicos, onde o impulso é processado e novos impulsos são gerados com destino ao exterior da célula, e o axônio responsável por enviar esses impulsos para os dendritos de outros neurônios.

O ponto de contato da extremidade do axônio de um neurônio e o dendrito de outro é chamado de espaço sináptico ou sinapse. As sinapses segundo Braga et al. (2000) é a responsável pela união funcional dos n neurônios, e conseqüentemente pela construção da rede neural e do seu fluxo de transmissão das informações entres esses neurônios. A Figura 1 é uma representação da estrutura de um neurônio biológico do qual se faz a analogia ao funcionamento das redes neurais artificiais.

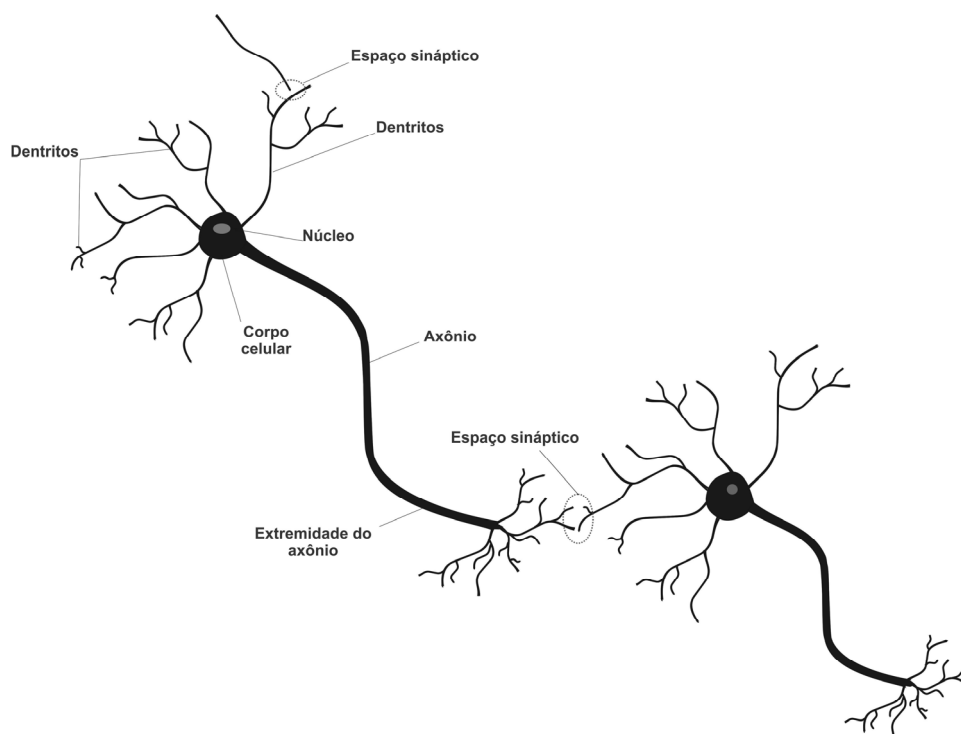


Figura 1 - Estrutura de um neurônio biológico típico.

Fonte: Baseado em Haykin (2008)

Segundo Haykin (2008) um neurônio biológico pode ser associado a um dispositivo computacional elementar do sistema nervoso que possui várias entradas e saídas, onde as entradas ocorrem através das conexões sinápticas, que conectam a árvore dendrital aos axônios de outras células nervosas. Também conhecido como espaço sináptico, essas conexões correspondem ao local onde são transferidos os estímulos provenientes de outras células que é transferido para os dendritos pelos neurotransmissores (HAYKIN, 2008).

Fazendo uma analogia ao cérebro humano, o conhecimento da rede é adquirido pelo processo de aprendizagem. A intensidade das conexões (pesos sinápticos) entre as unidades de processamento (neurônios) são empregadas para armazenar o conhecimento obtido pela rede. Todo conhecimento adquirido pela rede neural biológica está implícito nas sinapses sendo assim pressuposto que ocorra nas redes neurais artificiais. Entretanto, no caso das RNA as sinapses são os pesos, ou valores de entrada da rede, e no caso dos neurônios biológicos esse peso representa a memória da rede.

O neurônio artificial, ou nó neural, é um processador bastante simples. Ele pega as informações do mundo exterior ou de outros nós, toma uma única decisão

sobre elas e passa o resultado, por meio de um único canal de saída, para o próximo nó neural. Quando muitos desses nós neurais são ligados para formar uma rede, o efeito combinado é a capacidade de tomar decisões complexas (LIMA, 2006a).

Essa capacidade de aprender por intermédio de exemplos e fazer inferências sobre o que aprendeu, melhorando gradativamente o seu desempenho, é uma das propriedades mais importantes de uma rede neural artificial. Para que ocorra o processo de aprendizagem as redes neurais utilizam um algoritmo para ajustar os pesos de suas conexões o qual é chamado de algoritmo de aprendizagem, que veremos no item 2.4.3.

A forma como as unidades de processamento e suas interconexões estão estruturadas determina o tipo de RNA; isso porque cada rede pode apresentar uma arquitetura de processamento ou tipologia distinta. Apesar da grande variedade de arquiteturas, cada qual é adequada para funcionalidades específicas, à qualidade do modelo de redes neurais dependerá da escolha de um tipo de rede neural adequado ao problema que se está modelando. A princípio, nenhum tipo de rede pode garantir respostas sempre corretas para o modelo (LIMA, 2006a).

O autor salienta ainda que as RNA têm sido utilizadas em problemas em que a relação entre variáveis não é totalmente conhecida, em problemas de difícil modelagem, nos quais pequenas alterações nos dados de entrada não produzem grandes mudanças nos resultados, e também em problemas em que uma grande quantidade de dados esteja disponível para aprendizado ou simulação.

Além disto, é importante reconhecer que os neurônios artificiais que usamos para construir nossas RNA são muito primitivos, se comparados aos neurônios encontrados no cérebro. No entanto, com a profusão de novas teorias, tanto no estudo das redes neurais artificiais, quanto no estudo da fisiologia cerebral, espera-se que nos próximos anos este ramo da ciência seja um estudo muito mais sofisticado do que é atualmente (CASTRO; CASTRO, 2013).

Uma RNA nada mais é, portanto, do que um instrumento projetado para delinear o modo pelo qual o cérebro irá desempenhar as funções de interesse. O neurônio artificial, por sua vez é uma estrutura lógico matemática que procura simular a forma, o comportamento e as funções de um neurônio biológico (LIMA, 2006a).

Assim sendo, os dendritos são substituídos por entradas, cujas ligações com o corpo celular artificial são realizadas por meio de elementos chamados de peso (simulando as sinapses). Os estímulos captados pelas entradas são processados pela função de soma; o limiar de disparo do neurônio biológico é substituído pela função de transferência (LIMA, 2006a).

Cada uma das n entradas $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ (dendritos) é multiplicada por um peso correspondente $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ originando entradas ponderadas, de forma análoga à força das sinapses, podendo ser positivas (excitatório) ou ser negativas (inibitório). Todas as entradas ponderadas são somadas, resultando em um valor a ser comparado com o valor limite para ativação do neurônio. Portanto, se o valor alcançar o valor limite de ativação do neurônio, ele ativará uma função de ativação (f) e gera uma saída y_1 (axônio), do contrário ele ficará inativo (Equação 1).

A representação de um neurônio artificial baseado em McCulloch e Pitts (1943) pode ser observada na Figura 2.

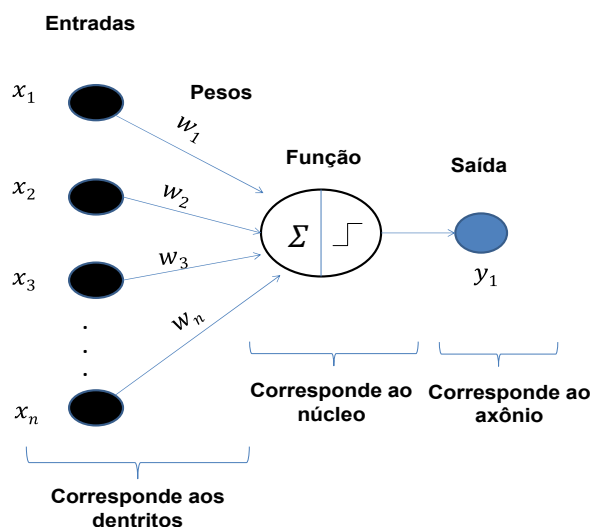


Figura 2 - Representação de um neurônio artificial.

Fonte: Baseado nos conceitos de McCulloch e Pitts (1943).

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n x_i w_i\right)$$

Equação 1

Onde:

x = valores de entrada de cada neurônio

n = número de neurônios de entrada

w = peso de cada neurônio da rede

f = função sigmoide

Essas conexões, em comparação com o sistema biológico, representam o contato dos dendritos com outros neurônios, formando assim as sinapses. A função da conexão em si é tornar o sinal de saída de um neurônio em um sinal de entrada de outro ou, ainda, orientar o sinal de saída para o mundo externo (mundo real). (LIMA, 2006a). As diferentes possibilidades de conexões entre as camadas de neurônios podem gerar n números de estruturas de redes neurais diferentes, as quais algumas delas são abordadas no Item 2.4.2.

2.4.1 Histórico do estudo das redes neurais

Os estudos das redes neurais artificiais passaram por um processo de evolução marcado inicialmente por um período de ascensão e entusiasmo seguido por anos de êxodo e inércia nas pesquisas, retomando emergência anos mais tarde em consequência do avanço do desenvolvimento tecnológico e dos novos conceitos teóricos que fortaleceram o interesse científico pelas RNA, que resultaram no seu ressurgimento e evolução.

A origem dos primeiros estudos sobre as Redes Neurais Artificiais ocorreu nos anos 40, tendo desde então evoluído em conceitos e aplicações, resultando na proposição de novos modelos de redes neurais até os dias atuais. No entanto, o ponto de partida do estudo das RNA é atribuído a Warren S. McCulloch e Walter Pitts em 1943, com a publicação do artigo "*A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*", o qual culminou as atividades nessa linha de pesquisa; resultando alguns anos mais tarde (1958) na criação por Frank Rosenblatt do algoritmo chamado Perceptron, que posteriormente da origem aos modelos denominados de MLP (*Multilayer Perceptron*). Neste modelo segundo Binoti (2010), as sinapses (pesos) são ajustáveis, permitindo que seja feito treinamento para classificar certos tipos de padrões, ou seja, dividindo o espaço de entrada em regiões distintas para cada uma das classes existentes.

Porém, entre o início da década de 60 até o final dos anos 70, os estudos das RNA permaneceram em um mescla de estagnação e incertezas advindas de conceitos, os quais não respondiam a necessidade de resolução dos problemas

existentes, e da limitação tecnológica da época em executar funções para um enorme volume de informações.

Entretanto, no início dos anos 80, muitos pesquisadores que persistiram no estudo das RNA passaram a publicar propostas para a exploração do desenvolvimento de redes neurais, como também, as possibilidades de sua aplicação, sendo esta época profundamente marcada pelo reaparecimento das redes baseadas em *Perceptrons*. O modelo que permitiu esse ressurgimento foi o de redes multi-nível, ou multi-camadas onde o novo algoritmo de aprendizado criado por Rumelhart e McClelland em 1986, chamado *Back-Propagation* resolveu em grande parte os problemas de aprendizado existentes até então (OSÓRIO; BITTENCOURT, 2000).

A partir dessa época os estudos e modelos fundamentados nas redes neurais retornaram com força, tendo evoluído e ganhado espaço no mundo científico, destacando-se na criação de modelos promissores na resolução de problemas, auxiliados pela atual estrutura tecnológica que permitem desenvolver práticas arrojadas de arquiteturas neurais obtendo performances superiores se comparados aos sistemas de origem.

Sendo amplamente utilizadas para soluções de problemas complexos, onde o comportamento das variáveis não é rigorosamente conhecido, as RNA nas últimas décadas têm sido aplicadas nas mais diversas áreas do conhecimento como saúde (HAMMAD et al., 1996; RIPLEY, 1998; SANTOS, 2005); economia e mercado (MULLER, 2006; MIRANDA et. al, 2012), e agricultura (GLERIANI, 2005).

Por consequência nos anos mais recentes a área ambiental tem construído e aplicado modelos baseados em RNA descrevendo a sua eficiência para uso no sensoriamento remoto (ROJAS 2005; CHAGAS, 2008; RAMIRÉZ et al., 2012); análise e monitoramento ambiental (BRUNI, 2000; CARVALHO e ROMANELL, 2007; ANTONIO, 2011; CHENG et al., 2012; SOARES, 2013), modelagem e degradação ambiental (MAS et al, 2004; MACHADO, 2005; CHAGAS et al., 2008), planejamento e ordenamento territorial (MEDEIROS, 1999; MORGADO et. al, 2007) entre outras.

Desses emergentes, a atividade florestal tem utilizado RNA para diferentes trabalhos de avaliação do desenvolvimento e monitoramento de florestas (GORGENS, 2006; BINOTTI, 2010; SILVA et al, 2009; CASTRO 2012; CASTRO et. al, 2013), usufruindo desses modelos de avaliação para potencializar os processos de planejamento e gerenciamento do territorial frente às atividades.

Uma das principais vantagens das redes neurais é capacidade para lidar com funções não lineares e a possibilidade de manipulação eficiente de grandes quantidades de dados, principal razão para o seu uso na modelagem dados geográficos.

No entanto, para Lima (2006a) a grande vantagem das RNA na modelagem de sistemas é que elas não necessitam de uma relação física bem definida entre os dados de entrada e de saída. Porém a desvantagem segundo o autor é que RNA podem ser vistas como "caixas-pretas", nas quais quase não se sabe por que a rede chega a um determinado resultado, uma vez que os modelos não apresentam justificativas para suas respostas. Neste sentido, o autor salienta que pesquisas vêm sendo realizadas visando à extração de conhecimento de redes neurais artificiais, e na criação de procedimentos explicativos, onde se tenta justificar o comportamento da rede em determinadas situações.

De maneira geral uma RNA pode ser caracterizada por três aspectos principais que podem variar de combinação dependendo da característica do sistema de estudo escolhido, sendo eles: (1) o padrão de conexões entre as unidades (arquitetura ou tipologia), (2) o método de determinação dos pesos das conexões (algoritmo de treinamento ou aprendizado) e (3) sua função de ativação, as quais são descritas nos itens a seguir.

2.4.2 Arquitetura das redes neurais artificiais

O primeiro passo para que as RNA possam induzir um modelo para o conjunto de dados é a definição de sua arquitetura. Para Faceli et al. (2011) a escolha da arquitetura mais promissora para um conjunto de dados não é uma tarefa simples, pois demanda de um processo de tentativa e erro, onde diferentes configurações são avaliadas, podendo ser um processo exaustivo pelo elevado custo de tempo e esforço.

As RNA podem apresentar-se topologicamente distintas e não existe uma regra que defina uma aplicação específica para cada tipologia, sendo que cada modelo deve considerar à que seja mais adequada para alcançar o seu objetivo. No entanto, as RNA seguem sempre um padrão estrutural que apresenta: camada de

entrada, camada intermediária ou oculta e camada de saída. Mas para Markou; Singh (2003) uma rede neural padrão é útil apenas se o usuário escolhe sua arquitetura corretamente.

A camada de entrada corresponde a todos os indicadores que farão parte do modelo e a camada de saída refere-se à resposta (resultado) da rede. Não há um limite para os dados de entrada, o que proporciona aos tomadores de decisão a possibilidade de inclusão de todos os indicadores considerados relevantes para a análise que se deseja.

Entre a camada de entrada e saída, existe um número de camada oculta ou também chamada de camada “escondida” ou “*hidden layer*”, que executa a classificação das características da rede. A esta disposição das camadas e número de neurônios por camada, é chamada de arquitetura da rede neural.

A Figura 3 é uma representação da arquitetura de um neurônio artificial com uma camada oculta, baseado nos conceitos de McCulloch; Pitts (1943).

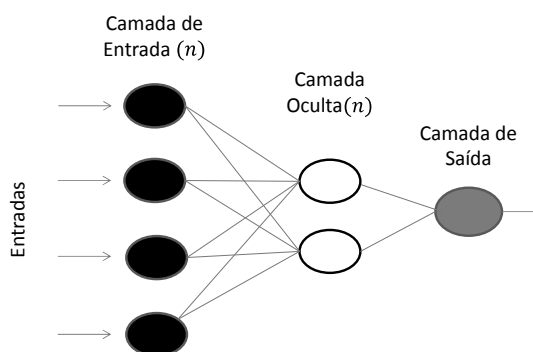


Figura 3 - Neurônio artificial com uma camada oculta.

Fonte: Baseado nos conceitos de McCulloch e Pitts (1943).

Apesar das inúmeras possibilidades da estrutura de uma rede, é de conhecimento que uma arquitetura composta por até duas camadas escondidas são suficientes para resolver qualquer problema. Segundo Cybenko (1989, apud FACELI et al., 2011) uma rede com uma camada intermediária pode implementar qualquer função contínua e a utilização de duas camadas intermediárias permite a aproximação de qualquer função.

A característica principal da camada escondida é que seus elementos se organizam de tal forma que cada elemento aprenda a reconhecer características diferentes do espaço de entrada, assim, o algoritmo de treinamento deve decidir que características que devem ser extraídas do conjunto de treinamento. A desvantagem em utilizar camada escondida é que o aprendizado se torna muito mais difícil (VIEIRA; ROISENBERG, 2013).

Machado (2005) descreve que o número de neurônios na camada intermediária é arbitrário, e que uma RNA com poucos neurônios nessa camada não são capazes de se ajustar ao problema proposto. O autor destaca que há várias regras matemáticas que de alguma forma auxiliam na determinação do número de neurônios nesta camada, mas o que se tem visto em termos práticos é um ajuste por tentativa.

No caso das camadas de entradas o autor destaca o trabalho realizado por Tokar; Johnson (1999), os quais descrevem que as entradas são em função do tamanho do banco de dados disponível, ou seja, o número de entradas pode ser tão grande quanto for o tamanho do banco de dados. Não havendo a priori um limite para as entradas da rede. A camada de saída ou output por sua vez, tem a funcionalidade igual às camadas escondidas, no entanto os outputs são passados para fora da rede neural.

Para Braga et al. (2000) a definição da arquitetura de uma RNA é um parâmetro importante na sua concepção, uma vez que ela restringe o tipo de problema que pode ser tratado pela rede. Para a resolução de problemas de classificação, por exemplo, Silva; Oliveira (2013) descrevem que uma rede neural com uma camada escondida é mais que suficiente, assim como os problemas de estimação de função também podem ser resolvidos utilizando-se apenas uma camada, mas, às vezes, pode ser necessária a utilização de duas camadas escondidas.

Portanto, as unidades de uma rede neural podem se conectar de diferentes modos, resultando em diferentes arquiteturas de interconexão de neurônios e os parâmetros que definem a arquitetura de uma rede segundo Soares (2013) são: (i) número de camadas da rede, (ii) número de neurônios em cada camada, (iii) tipo de conexão entre os neurônios e (iv) topologia da rede.

Em geral, identificam-se classes de arquiteturas bastante distintas, no entanto as mais importantes são: redes com uma única camada, redes multicamadas e

redes recorrentes. Algumas dessas arquiteturas citadas, incluindo a rede sem camada oculta estão apresentadas na Figura 4.

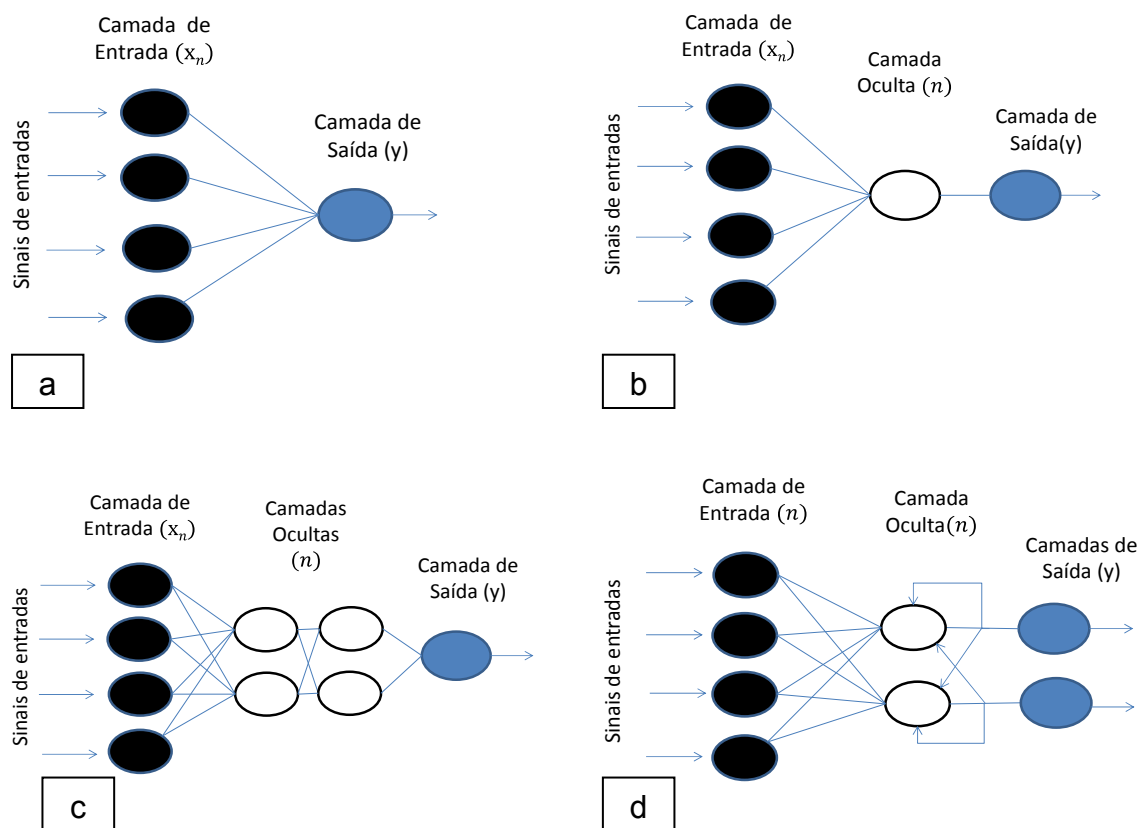


Figura 4 - Arquiteturas de redes neurais artificiais: a) Rede sem camada oculta, b) Rede com uma camada, c) Rede com múltiplas camadas, d) Redes recorrentes.

Fonte: Baseado em Braga et al. (2000).

A característica principal desses modelos de estrutura são:

a) Redes sem camada oculta: existe camada de entrada e qualquer saída da rede.

b) Redes de camada única: só existe uma camada de neurônio entre qualquer entrada e qualquer saída da rede.

c) Redes de múltiplas camadas: existe mais de um neurônio entre alguma entrada e alguma saída da rede.

d) Redes recorrentes: apresentam "laços" de realimentação e podem não apresentar camadas ocultas.

Basicamente todas as redes neurais são compostas por neurônio, camada e sinapses, mas a grande diferença de uma RN para outra reside nas suas formas de treinamento/ aprendizado e de correção das sinapses pelo erro. Então o número de neurônios e camadas de RNA depende de sua funcionalidade ou do seu próprio propósito (Miranda et al. 2012). Na Tabela 1 são apresentados alguns dos modelos de RNA mais popularmente utilizadas.

Tabela 1 - Classificação das RNA.

Classificação das Redes Neurais Artificiais	
Siglas	Classes
MLP	<i>Multilayer Perceptron Network</i>
RBF	<i>Radial Basis Function Network</i>
SOFM	<i>Kohonen Self-Organization Feature Map</i>
Linear	<i>Linear Network</i>
PNN	<i>Probabilistic Neural Network</i>
GRN	<i>Generalized Regression Neural Network</i>
PCA	<i>Principal Components Network</i>
Cluster	<i>Cluster Network</i>

Os principais tipos de redes utilizadas na área florestal são *multilayer perceptrons (MLP)* e *radial basis function (RBF)* (CASTRO, 2012).

2.4.3 Treinamento das redes neurais artificiais

Diversas são as estruturas de redes neurais assim como as formas de categorizá-las. No entanto, o primeiro ponto a ser analisado no processo de seleção se refere ao algoritmo de aprendizado a ser utilizado para ajustar os parâmetros escolhidos.

Barreto (2002) descreve que *“Aprender é o ato que produz um comportamento diferente a um estímulo externo devido a excitações recebidas no passado e é de certa forma sinônimo de aquisição de conhecimento”*.

Conforme já se sabe, as RNA têm a capacidade de obter conhecimento a partir de seu ambiente através de um processo de aprendizado. O conhecimento obtido pelas RNA é armazenado nos pesos sinápticos e nos parâmetros que definem a função de transferência dos neurônios.

Para Braga et al. (2000) o treinamento consiste no ajuste dos parâmetros da rede a partir de dados de treinamento (exemplos) a fim de desempenhar uma determinada tarefa. Segundo descrito por Faceli et al. (2011) vários algoritmos tem sido propostos na literatura para o ajuste dos parâmetros, ou seja, para a definição dos valores dos pesos associado às conexões da rede que fazem com que o modelo obtenha melhor desempenho, geralmente medido pela acurácia preditiva.

Esses algoritmos referenciados como algoritmos de treinamento, segundo os autores são formados por um conjunto de regras bem definidas que especificam quando e como deve ser alterado o valor de cada peso.

O treinamento da rede normalmente é demorado, pois requer muitos “ciclos”, ou seja, deve-se mostrar á rede varias vezes tudo que se deseja que ela aprenda. Depois do treinamento a rede deve ser capaz de, numa única propagação (único ciclo), reconhecer o padrão no qual foi ensinada (fase de reconhecimento) (ROSA, 2011).

Rohn; Mine (2003, apud SOARES, 2013) destacaram que para o aprendizado não é necessário um conhecimento detalhado sobre as relações entre as variáveis envolvidas no problema, contudo, as redes necessitam de uma quantidade considerável de dados históricos para que consigam extrair satisfatoriamente as características relevantes, existentes no conjunto de dados.

O problema de aprendizagem consiste em achar a combinação de pesos ideal para que uma função de rede aproxime-se de uma dada função (f) tanto quanto possível. Uma vez que um tipo de rede neural é determinada, uma arquitetura e uma função é recomendada, o processo seguinte é a formação da rede, ou seja, iniciam-se os processos interativos de ajustamento dos pesos conectando as entradas para os neurônios escondidos e neurônios escondidos para neurônios de saída.

Rosa (2011) descreve que o processo de treinamento inicia quando cada unidade numa camada é conectada a toda unidade da primeira camada em direção

para frente, ou seja, cada unidade de camada de entrada é conectada a todas as unidades de camada escondida, nessa direção. As ativações fluem a partir da camada de entrada através da camada escondida para a camada de saída (Figura 5).

O conhecimento da rede é codificado nos pesos das conexões entre as unidades. Os níveis de ativação das unidades da camada de saída determinam a saída da rede. A existência da camada escondida permite que a rede desenvolva representações internas, o comportamento dessas unidades escondidas é automaticamente aprendido, não é pré-programado (ROSA, 2011).

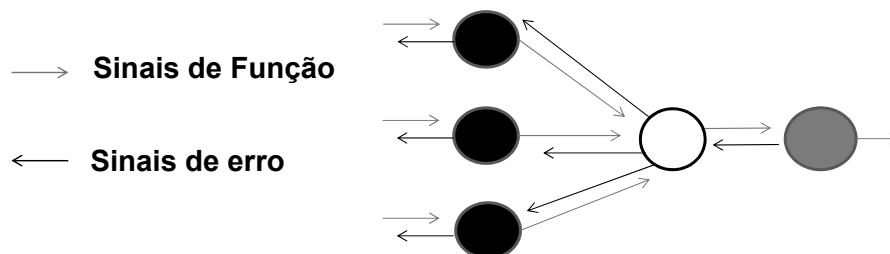


Figura 5 - Ilustração das direções de propagação do sinal funcional e do erro.

Após a fase de aprendizagem a rede está pronta para aplicações posteriores, caso tenha a capacidade de generalizar, ou seja, gerar respostas coerentes para dados não conhecidos (BRAGA et al., 2000).

Diversos autores propuseram algoritmos de treinamento para RNA seguindo dois paradigmas de aprendizado: o aprendizado supervisionado e o não supervisionado. Na Figura 6 apresenta-se a classificação de alguns dos modelos de RNA, conforme seu aprendizado.

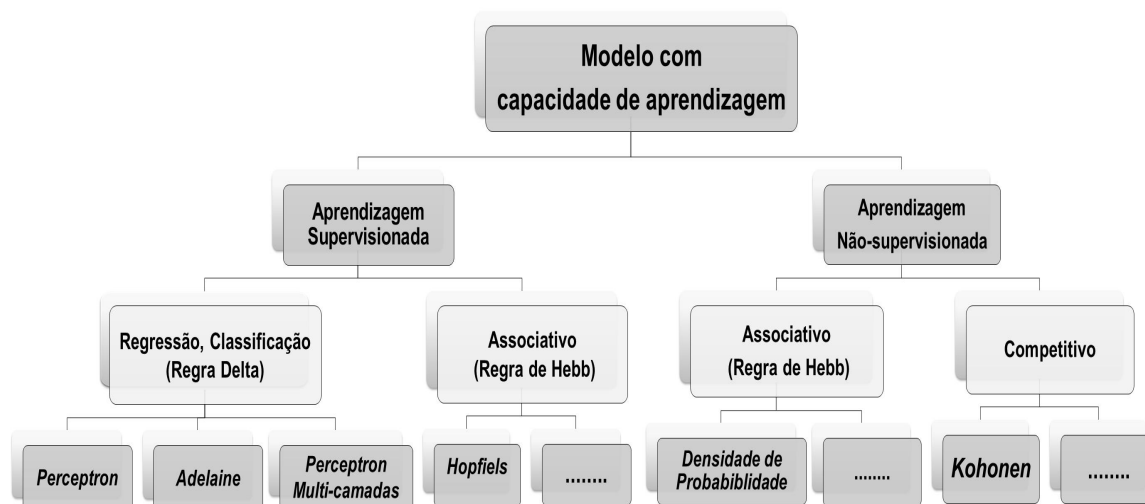


Figura 6 - Classificação estrutural e funcional de redes neurais artificiais.

Fonte: Adaptado de Rauber (2013).

No aprendizado supervisionado (Figura 7), um “agente” externo apresenta à rede neural alguns conjuntos de padrões de entrada e seus correspondentes padrões de saída, sendo necessário ter um conhecimento prévio do comportamento que se deseja ou se espera da rede (FERNEDA, 2006). Para cada entrada, o “agente” ou “supervisor” indica explicitamente se a resposta calculada é boa ou ruim, ou seja, até o momento em que o erro e os padrões de saída gerados pela rede alcancem um valor mínimo desejado (MEDEIROS, 1999).

A resposta fornecida pela rede neural é comparada à resposta esperada. O erro verificado é informado à rede para que sejam feitos ajustes dos pesos de entrada a fim de melhorar suas futuras respostas, até que a rede produza os resultados desejados.

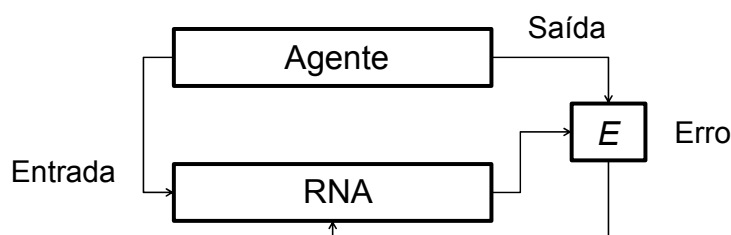


Figura 7 - Aprendizagem supervisionada.

Fonte: Adaptado de Haykin (2001).

Na aprendizagem não supervisionada o processo de aprendizado não é acompanhado por agente externo, estando somente os padrões de entrada disponíveis para a rede neural. A rede processa as entradas e, detectando suas regularidades, tenta progressivamente estabelecer representações internas para codificar características e classificá-las automaticamente (FERNEDA, 2006), ou seja, esse tipo de aprendizado (Figura 8) não fornece a saída correta para a rede durante o seu treinamento. A rede se adapta somente em resposta às suas entradas, aprendendo a reconhecer padrões e estruturas em seus conjuntos de entrada. (FACELI et al., 2011).

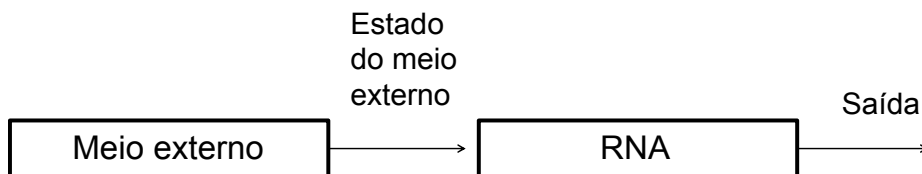


Figura 8 - Aprendizagem não supervisionada.

Fonte: Adaptado de Haykin (2001).

Para Faceli et al. (2011) a melhor maneira de treinar uma rede neural é reunir uma grande variedade de exemplos que exibam as verdadeiras características nas quais você está interessado, pois uma rede neural é somente tão boa quanto os dados de treinamento, de modo que grande cuidado deve ser tomado para selecionar um número suficiente de exemplos corretos.

O parâmetro taxa de aprendizado segundo Silva; Oliveira (2013) tem grande influência durante o processo de treinamento da rede neural. Uma taxa de aprendizado muito baixa torna o aprendizado da rede muito lento, ao passo que uma taxa de aprendizado muito alta provoca oscilações no treinamento e impede a convergência do processo de aprendizado e geralmente seu valor varia de 0.1 a 1.0.

De acordo com Silva; Oliveira (2013) existem vários métodos para a determinação do momento em que o treinamento de uma rede neural deve ser encerrado. Uma boa determinação destes critérios é fundamental para um bom treinamento e conseqüentemente uma boa generalização. Os critérios de parada mais utilizados são número de ciclos e o erro, os quais estão descritos no Item 2.4.5.

2.4.4 Multilayer perceptron network - MLP

A MLP é um sistema robusto, muitas vezes capaz de modelar relações complexas entre as variáveis (MAS et al., 2004). Uma rede MLP pode ter uma ou mais camadas intermediárias (entre as camadas de entrada e de saída), em que seus neurônios, geralmente, possuem funções de ativação de base sigmoidais (BINOTI, 2010).

As redes do tipo MLP têm sido utilizadas com sucesso para a solução de vários problemas envolvendo altos graus de não-linearidade. Seu treinamento é do tipo supervisionado e utiliza um algoritmo muito popular chamado retro-propagação do erro (*error backpropagation*) (FACELI et al., 2011).

Em uma MLP, cada neurônio realiza uma função específica. A função implementada por um neurônio de uma dada camada é uma combinação das funções realizadas pelos neurônios da camada anterior que estão conectados a ele. À medida que o processamento avança de uma camada intermediária para a camada seguinte, o processamento realizado (e a função correspondente) se torna mais complexa (FACELI et al., op. cit.).

As RNA do tipo MLP são formadas por um conjunto de neurônios dispostos em camadas, uma camada de entrada, uma ou mais camadas intermediárias e uma camada de saída. Cada um dos neurônios da camada de entrada está conectada a todos os neurônios da camada intermediária. Da mesma forma, cada neurônio da camada intermediária está conectada com todos os neurônios da camada de saída. Não há conexões diretas entre a camada de entrada e a camada de saída (WIEGERT, 2005).

2.4.5 Algoritmo *backpropagation*

O algoritmo de treino de uma rede neural artificial ajusta os pesos sinápticos de modo que a rede, dadas às entradas apresentadas, produza o resultado desejado.

O algoritmo *backpropagation* foi desenvolvido em 1969 por Bryson e Ho e tornou-se o algoritmo de treinamento da rede neural mais popular desde então, e ainda é um dos mais úteis (SECOA, 2012). Segundo os autores ele tem os requisitos de memória mais baixos do que a maioria dos algoritmos e, normalmente, atinge um nível de erro aceitável muito rapidamente. Em casos onde o conjunto de dados é muito grande ou apresenta redundância, este algoritmo tem se apresentado eficiente para sua modelagem.

Segundo Abadalla; Volotão (2013) esse algoritmo permite o ajuste de pesos em cada uma das camadas da rede, sendo projetado para minimizar a soma do erro quadrático entre a saída calculada por uma estrutura multicamadas e a desejada. Durante o treinamento, a intenção é que este erro diminua, mas para que isso ocorra, é necessário que os pesos sejam iterativamente ajustados.

Uma classificação mais geral que pode ser dada ao algoritmo *backpropagation* é a de um método de otimização [...] (WIEGERT, 2005). Segundo Silva e Oliveira (2013) um dos problemas enfrentados no treinamento de redes neurais tipo MLP com treinamento *backpropagation* diz respeito à definição de seus parâmetros. Para os autores, pequenas diferenças nestes parâmetros podem levar a grandes diferenças tanto no tempo de treinamento como na generalização obtida.

Basicamente o algoritmo de propagação retorno, ou retro-propagação do erro apresenta segundo SECOA (2012) duas fases para cada padrão: uma fase de propagação do sinal funcional (*feedforward*) e uma de retro-propagação do erro (*Feedback*) descritas a seguir:

- Fase *Feedforward*: os valores das entradas são distribuídos através da rede, das camadas de entrada para a saída.
- Fase *Feedback*: os erros são propagados em direção oposta de fluxo de dados, da camada de saída para a primeira camada oculta.

No primeiro padrão a saída obtida é comparada com a saída desejada para esse padrão em particular, se esta não estiver correta o erro é calculado. Durante essa fase os pesos das conexões são mantidos fixos. No *feedback* os pesos das conexões dos neurônios das camadas internas vão sendo modificadas conforme o erro é retropropagado, ou seja, ocorre um ajustamento dos pesos de maneira que a distância entre a resposta da rede e a resposta desejada seja reduzida (Figura 9).

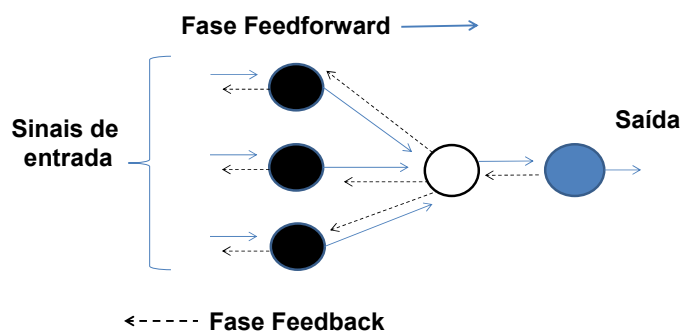


Figura 9 - Ilustração das direções de propagação do sinal funcional (ativação) e do erro (*backpropagation*).

Fonte: Adaptado de Braga et al. (2000).

Segundo Rosa (2011) algoritmo *backpropagation* geralmente atualiza seus pesos depois de ver cada par de entrada-saída e depois de vistos todos os pares entrada-saída (e muitas vezes ajustados seus pesos) diz que uma época se completou. As Épocas ou *Epoch* representam o número de atualizações ocorridas nos pesos e “vieses”, onde o número de épocas representa os estágios de aprendizado de uma RNA.

No entanto Silva; Oliveira (2013) destacam que um número excessivo de ciclos pode levar a rede à perda do poder de generalização (*overfitting*), mas por outro lado, com um pequeno número de ciclos a rede pode não chegar ao seu melhor desempenho (*underfitting*). Sendo assim, os autores sugerem um valor entre 500 e 3000 ciclos de treinamento. O treinamento de rede *backpropagation* usualmente requer muitas épocas (ROSA, op. cit.).

Em uma abordagem por ciclo os pesos são atualizados após todos os exemplos de treinamento terem sido apresentados. Esta técnica é geralmente mais estável e o treinamento é menos influenciado pela ordem de apresentação dos padrões, mas ela pode ser lenta se o conjunto de treinamento for grande e redundante (SILVA; OLIVEIRA, op. cit.). Outra desvantagem segundo os autores é que ela requer mais memória, mas quando comparada com o treinamento incremental, o treinamento por *epoch* é geralmente mais estável embora mais lento.

De acordo Wiegert (2005) no início do treinamento os erros são altos e as RNA são capazes de ajustar apenas funções mais simples, portanto, à medida que o número de *epochs* aumenta, o erro diminui e torna-se possível o mapeamento de

funções mais complexas. No entanto, o autor salienta que “*nem sempre aumentar o número de epochs significará um melhor desempenho da RNA no ajuste de funções, pois já no início do processo de treinamento, os pesos rapidamente se ajustam para uma situação genérica [...]*”.

A Equação 2 descrita por Faceli et al. (2011) ilustra como é feito o ajuste dos pesos de uma rede MLP pelo algoritmo *backpropagation*:

$$W_{jl}(t+1) = W_{jl}(t) + \eta x^j \delta_l \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

W_{jl} = representa o peso entre o neurônio l e o j -ésimo atributo de entrada ou a saída do j -ésimo neurônio da camada anterior,

δ_l = indica o erro associado ao l -ésimo neurônio,

x^j = indica a entrada recebida por esse neurônio (o j -ésimo atributo de entrada ou a saída do j -ésimo neurônio da camada anterior),

η = taxa de aprendizagem

A função *erro* que é usada para avaliar o desempenho da rede neural no processo de treinamento e segundo SECOA (2012) mede o quão perto as previsões da rede estão do alvo e, portanto, quanto ajustamento de pesos deve ser aplicado pelo algoritmo de treinamento em cada interação.

Segundo Silva; Oliveira (2013) o erro consiste em encerrar o treinamento após o erro médio quadrático ficar abaixo de um valor a pré-definido. Porém os autores ressaltam que um erro médio quadrático muito pequeno não implica necessariamente numa boa generalização (i.e. bom desempenho com dados não vistos anteriormente), mas que este valor depende muito do problema da análise. Uma sugestão é estabelecer um valor de 0.01 no primeiro treinamento e depois ajustá-lo em função do resultado. Como os valores dos erros são conhecidos apenas para os neurônios da camada de saída, o erro para os neurônios das camadas intermediárias precisa ser estimado.

Faceli et al. (op.cit.) descreve que os ciclos de apresentação dos dados de treinamento e eventuais ajustes de pesos no *backpropagation* são inteirados até que seja atingido um critério de parada, sendo que diferentes critérios podem ser utilizados.

“Se as taxas de erro da rede para os dados de treinamento e de validação forem plotadas em um gráfico, vai ser observado que o início do treinamento das duas taxas tendem a cair, em um dado momento, a taxa de erro e de validação pode começar a subir. Isso é um indicio de que a rede parou de aprender e esta se tornando super ajustada aos dados de treinamento, nesse ponto da rede deve ser finalizado” Faceli et al. (2011).

A autora descreve que esse processo de encerrar o treinamento da rede quando a taxa de erro para o conjunto de validação começa a subir é conhecido como validação cruzada com *early stop*.

Cabe destacar o que foi descrito por Rumelhart et al. (1986)

“Um obstáculo que havia para utilizar redes multicamadas era a ausência de um algoritmo para o treinamento dessas redes, o que foi transposto com a proposta de um algoritmo de treinamento baseado em gradiente descendente denominado backpropagation”.

No entanto segundo Faceli et al. (op. cit.) para que esse algoritmo seja utilizado, a função de ativação precisa ser contínua, diferenciável e, de preferência não decrescente, e destacou que a função do tipo sigmoide obedece a esses requisitos.

Uma rede neural totalmente treinada pode ser usada para fazer previsões sobre quaisquer dados futuros com variáveis que são pensados para gerar as mesmas relações subjacentes e processos como o conjunto original usado para treinar o modelo (SECOA, 2009). A seguir será apresentando algumas das funções mais aplicadas nas redes neurais artificiais.

2.4.5.1 Função de ativação

A função de ativação antecede a função de transferência e tem por atribuição repassar o sinal para a saída do neurônio. É uma função de ordem interna, cuja atribuição é fazer acontecer um nível de ativação dentro do próprio neurônio, ou seja, é uma decisão tomada pelo neurônio sobre o que fazer com o valor resultante do somatório das entradas ponderadas. Essa decisão terá um efeito restrito ao próprio neurônio.

A função “*f*” em princípio pode ser qualquer função matemática, embora na prática exista um conjunto de funções que são as mais utilizadas. Dentre as várias

funções de ativação utilizadas na modelagem com redes neurais, três são notoriamente mais aplicadas, função de limiar e função sigmoide:

a) Função limiar (degrau): a saída do neurônio é igual à zero, quando seu valor for negativo e 1, quando seu valor for positivo (Figura 10) e, é expressa pela Equação 3.

$$\varphi(v_j) = \begin{cases} +\gamma & \text{se } v_j \geq 0 \\ -\gamma & \text{se } v_j < 0 \end{cases} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

φ : Função de ativação

v_j : é o valor de ativação do neurônio j

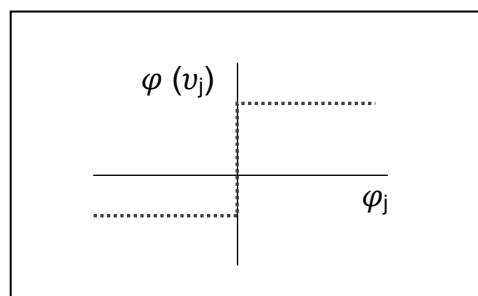


Figura 10 - Função limiar.

b) Função sigmoide logística: É a função de transferência mais utilizada em redes neurais. Esta função (Figura 11) também é a que mais se aproxima da saída de um neurônio biológico. É definida como uma função crescente, que apresenta um balanço entre o comportamento linear e não-linear. Matematicamente, a função sigmoide é escrita como segue a Equação 4.

$$\varphi(v_j) = \frac{1}{1 + \exp(-\alpha v_j)} \quad \text{Equação 4}$$

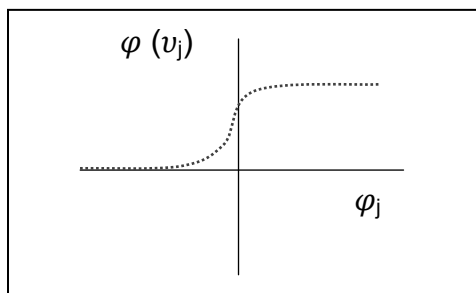


Figura 11 - Função sigmoide.

A função sigmoide, que converte um valor de entrada em uma saída com amplitude entre 0,0 e 1,0, sendo, portanto uma função de normalização. Essa função apresenta gradiente descendente, ou seja, seu critério de parada (para evitar *overfitting*) é parar assim que erro no conjunto de validação começar a aumentar.

c) Função sigmoide tangente hiperbólica: Assim como a função logística, esta função também possui forma de "s", tendo como papel simplesmente converter uma entrada qualquer em uma saída entre -1 e 1 (Figura 12) e é representada pela Equação 5:

$$\varphi(v_j) = \operatorname{tgh} \frac{v_j}{2} = \frac{1 - \exp(-v_j)}{1 + \exp(-v_j)} \quad \text{Equação 5}$$

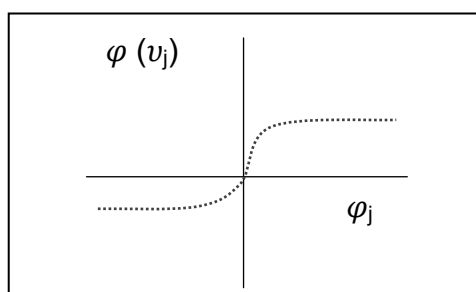


Figura 12 - Função hiperbólica.

Mesmo com todo processo observado no desenvolvimento das RNA, tanto em diversidade de arquiteturas e algoritmo de treinamento como em melhoras de precisão, a capacidade preditivas dessas redes ainda está muito aquém da capacidade do cérebro humano (FACELI et al., 2011).

É importante notar também que cada uma dessas redes neurais tem sido especificamente projetada para uma tarefa específica, de modo que não se pode adquirir uma rede neural para previsão de tempo e esperar que ela faça um bom trabalho de previsão de mercado. Portanto, para cada objetivo deve-se buscar um tipo de rede que seja ajustada e treinada para responder especificamente a análise que se deseja.

A contribuição de uma metodologia baseada em redes neurais artificiais está em servir de subsídio para a gestão territorial ordenada e sustentável, que minimize os problemas relacionados com a ocupação desordenada que venham a causar possíveis danos sociais e ambientais.

2.5 Cenários para modelos de apoio à decisão

Como as decisões e as escolhas do processo de planejamento e ordenamento lidam sempre com questões relacionadas ao tempo futuro, à construção de cenários representa uma ferramenta importante, particularmente à medida que aumentam as incertezas sobre esse futuro.

Para EEA (2011) ferramentas e técnicas, como planejamento de cenários pode ajudar a compreender as questões de complexidade, incerteza e surpresas, uma vez que facilitam a pensar no futuro e assim ajudam a predizer de onde as surpresas podem vir, apesar de não ser possível prevê-los.

Para Alcamo (2001) os cenários são ferramentas eficazes para resumir e sintetizar o conhecimento científico de maneira que os gestores possam usa-los para desenvolver políticas que visualizam os diferentes aspectos e relações que envolvem, por exemplo, problemas ambientais, na sua grande escala de tempo e espaço. Caracterizando assim, como um artefato valioso na resolução de problemas cada vez mais complexos. Porém o autor deixa claro que a característica

fundamental de um bom cenário é que ele contenha informações suficientemente abalizadas e claras para que os usuários possam compreender as hipóteses e a mensagem que ele objetiva.

Na análise de Searce; Fulton; Bernini (2004) os cenários são projetados para aumentar nosso pensamento sobre as oportunidades e ameaças que o futuro pode trazer, além de pensá-las de forma cuidadosa seja para uma tomada de decisões de curto ou de longo prazo. O autor destaca que, bem feitos os cenários são um meio pelo qual grandes mudanças podem ser vislumbradas e concretizadas.

A construção de cenários lida, normalmente, com sistemas altamente complexos – sistemas não-lineares – e dinâmicos, que convivem com contínuas mudanças estruturais e com elevado grau de incerteza sobre os caminhos dessas mudanças. Normalmente esses cenários devem lidar com realidades nas quais os resultados de uma mudança original não são proporcionais às causas, também múltiplas e diversificadas (BUARQUE, 2003). Para o autor os cenários tratam, da descrição de um futuro – possível, imaginável ou desejável – para um sistema e seu contexto, bem como do caminho ou da trajetória que o conecta com a situação inicial do objeto de estudo, como histórias sobre a maneira como o mundo (ou uma parte dele) poderá se mover e se comportar no futuro.

Imaginar cenários é como fazer análise de conjuntura, só que para situações prováveis no futuro, tentando criativamente projetar (ou fixar no tempo) prováveis comportamentos. O cenário desejado será sempre a “utopia futura”, a síntese entre o presente e os graus de liberdade que as circunstâncias futuras e desconhecidas condicionarão nossos planos, projetos e desejos (DE TONI, 2006).

Para SECOA (2012) os cenários são considerados “uma ferramenta de apoio à decisão: a) para melhorar informar os tomadores de decisão sobre problemas de conflitos emergentes que podem se desenvolver no futuro em suas áreas de estudo de caso; b) para testar e avaliar possíveis ações que podem executar bem contra diversos estados futuros; c) para apoiar a resolução de conflitos; e, e) para ajudar a encontrar soluções plausíveis para futuros problemas existentes e / ou possível. Eles facilitam pensar no futuro e assim ajudar a prever de onde as surpresas podem vir, apesar de não ser possível prevê-los (EEA, 2011).

Porém, o tipo de abordagem que é mais útil para construção dos cenários desejados vai depender das questões a serem abordadas e do objetivo da

investigação. Portanto, dependendo do propósito estabelecido, haverá um tipo de cenário mais apropriado para responder ao que está sendo analisado.

Na Figura 13 apresentam-se as distintas tipologias de cenários e as situações as quais são frequentemente aplicados.

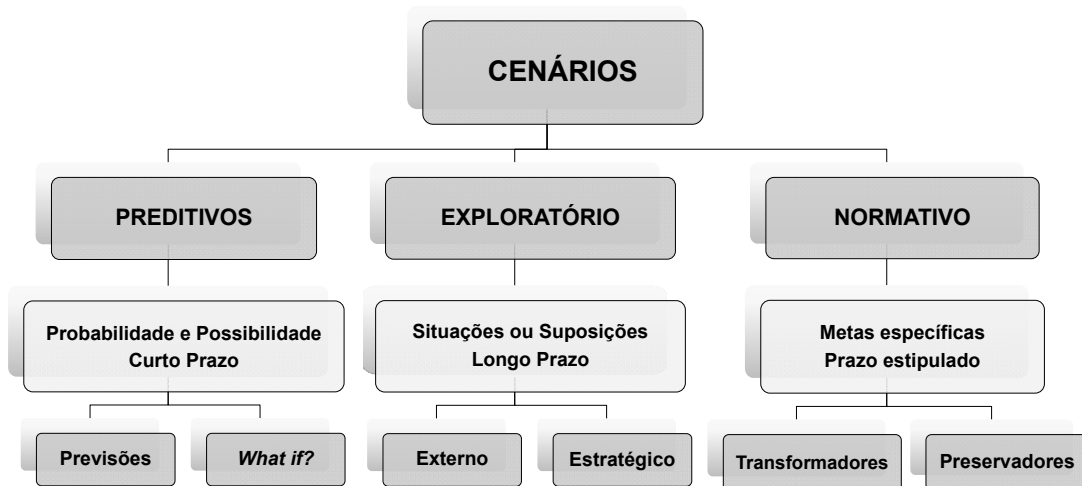


Figura 13 - Tipos de cenários.

Fonte: Adaptado de Börjeson et al. (2006).

Com referência ao período temporal da análise EEA (2011) descreve que para pensamentos futuros de longo prazo são frequentemente utilizados os cenários do tipo exploratórios ou normativos, enquanto que para fins de curto prazo, as técnicas preditivas são mais habituais.

Os cenários, por serem baseados na tese do indeterminismo, não podem e nem pretendem eliminar a incerteza, prever o que vai acontecer e oferecer segurança e tranquilidade aos agentes econômicos. Entretanto, se trabalham e convivem com a incerteza, os cenários procuram analisar e sistematizar as diversas probabilidades dos eventos e dos processos por meio da exploração dos pontos de mudança e das grandes tendências, de modo que as alternativas mais prováveis sejam antecipadas (BUARQUE, 2003).

Slack et al. (2013) também destacam que o planejamento de cenários não está necessariamente preocupado em chegar a um consenso, mas em enxergar a possível variedade de opções e elaborar planos em vez de tentar evitar aqueles que são menos desejáveis e tomar ações para seguir o mais desejado.

Os cenários têm como principal finalidade preparar os interessados (i.e. governo, instituição empresa) para as crescentes incertezas do futuro, ajudar a tomada de decisão para a formulação de objetivos, diretrizes e estratégias alternativas, identificar ameaças e oportunidades originadas de mudanças no contexto atual e também a ajudar na elaboração dos planos estratégicos institucionais.

2.5.1 Cenários normativos

Os cenários normativos têm como ponto de partida algumas metas explicitamente definidas, de modo que se busca elencar as atividades necessárias para alcançar tais metas no prazo estipulado (SOUZA; TAKAHASHI, 2012), ou seja, descrevem um futuro desejável ou definem uma meta específica para o futuro.

Segundo SECOA (2012) os cenários normativos (ou cenários de visão) buscam definir uma meta específica para o futuro e procuram explorar as possíveis maneiras de atingir esse objetivo, sendo que esses tipos de cenários tratam de questões do tipo: “como esse objetivo pode ser alcançado?” ou “como é que vamos chegar lá?”.

Eles consistem em dois tipos diferentes, que se distinguem pela forma como a estrutura do sistema é tratada (isto é, as ligações e as relações entre as diversas partes do sistema e, juntamente com as condições de fronteira, que governam o desenvolvimento do sistema) (SECOA, op. cit.), sendo eles cenários normativos preservadores e transformadores.

Segundo Börjeson et al. (2006) , no caso dos cenários normativos do tipo “preservadores”, responde-se à pergunta: “Como podemos atingir o objetivo por meio ajustes na situação atual?”. No caso dos cenários normativos do tipo “transformadores”, responde-se à pergunta: “Como se pode alcançar o objetivo por meio de mudanças na situação atual?”.

Os cenários “preservadores” são adequados quando se busca elucidar o modo pelo qual um alvo pode ser alcançado, mantendo-se uma relação custo-benefício satisfatória, ou seja, seu propósito é otimizar. Em contrapartida, os cenários “transformadores” são adequados quando ajustes marginais da situação

atual não são suficientes, de modo que para se alcançar o objetivo é necessária uma sequência de quebra de tendências (Börjeson et al., 2006).

De acordo com Buarque (2003) o cenário normativo (ou desejado), deve aproximar-se das aspirações do decisor em relação ao futuro, refletindo a melhor previsão possível. Embora se trate de ajustar o futuro aos desejos, para ser um cenário, a descrição deve ser plausível e viável e não apenas a representação de uma vontade ou de uma esperança. Desse ponto de vista, o autor salienta que se pode dizer que o cenário normativo ou desejado é uma utopia plausível, capaz de ser efetivamente construída e, portanto, demonstrada – técnica e logicamente – como viável.

2.5.2 Cenário exploratório

Os cenários exploratórios tentam explorar situações ou suposições que são consideradas como possíveis em diversas perspectivas. Em geral, os cenários exploratórios são elaborados para as análises em longo prazo, a fim de permitir mudanças mais profundas que os cenários de curto prazo. Além disso, esse tipo de cenário pode ser útil quando se pretende explorar as consequências de suposições alternativas e não tão prováveis (SOUZA; TAKAHASHI, 2012).

Para Buarque (2013) os cenários exploratórios têm um conteúdo essencialmente técnico, decorrem de um tratamento racional das probabilidades e procuram intencionalmente excluir as vontades e os desejos dos formuladores no desenho e na descrição dos futuros. Até mesmo quando procura analisar a postura e a estratégia dos atores sociais (com seus desejos), o trabalho tem uma conotação técnica de interpretação do processo político. Para o autor “trata-se de apreender para onde, provavelmente, estará evoluindo a realidade estudada, para que os decisores possam escolher o que fazer e possam se posicionar positivamente naquela situação”.

Geralmente este tipo de cenário é considerado mais “visionário” por desviar o olhar dos acontecimentos mais prováveis e ser capaz de visualizar outras opções menos provável, mas que se apresentam como cenários de futuros alternativos possíveis. Assim, os cenários exploratórios são capazes de analisar diferentes

visões do futuro sejam elas apreciadas ou não, como também as suas possíveis consequências IEEP et al. (2009). Para o autor, esses cenários diferem dos demais simplesmente por considerar as escalas de tempo mais longas e as mudanças mais profundas.

Os cenários exploratórios são definidos segundo Börjeson et al. (2006) pelo fato de que eles respondem à pergunta O que pode acontecer?. Os cenários exploratórios podem ser distinguidos em dois tipos: os cenários exploratórios do tipo "externo", qual busca responder à pergunta: "O que pode acontecer com a evolução dos fatores externos?"; ou os cenários exploratórios do tipo "estratégico" o qual pretende responder à pergunta: "O que pode acontecer se agirmos de determinado modo?".

De um lado, os cenários "externos" analisam as consequências de fatores externos sobre o ambiente, permitindo que se formulem estratégias e políticas robustas frente a diversas situações. Por outro lado, os cenários "estratégicos" analisam as possíveis consequências de decisões estratégicas específicas, permitindo que se avalie o impacto dessas decisões em relação ao resultado esperado (Börjeson et al., op. cit.).

Além disso, embora a maioria dos cenários pertença a apenas um dos tipos, há casos em que são utilizados métodos mistos. O mais útil cenário/abordagem segundo SECOA (2012), sempre dependerá das questões específicas a serem tratadas, bem como o tempo e os recursos disponíveis, e, portanto, não é apropriado para selecionar a priori certo tipo de cenário/abordagem sem o conhecimento específico de sua finalidade e sem que opções políticas devam ser comparados.

2.5.3 Cenários preditivos

Cenários de tendência inicial (cenários preditivos) assumem que as tendências atuais continuarão no futuro, e pode incluir variantes políticas para diferentes desenvolvimentos prováveis de setores com base em um futuro próximo alternativas de decisão (SECOA, op. cit.).

Para Souza; Takahashi (2012) os cenários preditivos tentam prever o que vai acontecer no futuro e estão intrinsecamente relacionados aos conceitos de

probabilidade e de possibilidade. Os autores descrevem que geralmente, essas previsões fundamentam-se na extrapolação de dados históricos e que, além disso, esses tipos de cenários são desenvolvidos, primariamente, para facilitar o planejamento e a adaptação diante de situações esperadas.

De acordo com Börjeson et al.(2006)

“os cenários preditivos podem ser de dois tipos distintos em função da condição em que expressam o que vai acontecer, podendo ser do tipo “previsões” o qual busca responder à pergunta “O que vai acontecer se as prováveis condições ocorrerem?” ou podem ser do tipo “*what if?*” (probabilístico) o qual busca responder à pergunta “O que vai acontecer, se algum evento específico ocorrer?”

Os cenários “*what if?*”, segundo aos autores, na verdade, representam uma série de cenários previsões, na qual as suposições prováveis foram deliberadamente determinadas. Ainda, ambos os cenários são mais adequados para as análises em curto prazo, em que as incertezas não são tão grandes.

Portanto, os cenários preditivos tratam basicamente da questão “o que vai acontecer?”, e segundo SECOA (2012), eles descrevem futuros prováveis, assumindo que as tendências atuais vão continuar no futuro.

Por fim, de uma forma mais generalista, os cenários apresentam-se com ferramentas capazes de projetar e especular acontecimentos sobre o futuro com a finalidade de auxiliar nos processo que envolve a tomada de decisão, ao esclarecer as consequências que podem advir, dadas as políticas e estratégias atuais, ou as ações que se projetam.

A elaboração de cenários não é tarefa simples, depende de muitas variáveis combinadas: do grau de informação disponível, do grau de consenso do grupo, da legitimidade do processo decisório, da complexidade do problema a ser enfrentado, do grau de governabilidade do ator que planeja e assim por diante (DE TONI, 2006).

Carvalho; Romanel (2007) descrevem que “problemas de previsão são complexos já que as informações disponíveis do problema podem ser limitadas e o sistema pode ser incerto. A grande questão é qual a precisão da previsão. Isto é importante devido o resultado da previsão ser normalmente utilizado na tomada de decisão”. A precisão da previsão permite aos usuários da rede neural determinar a confiança da saída da rede neural. Também permite incluir a saída estimada da rede como parte de um esquema de estimação global (CARVALHO; ROMANEL, 2007).

De acordo com SECOA (2012) antes de qualquer metodologia ser aplicada, o primeiro passo deve ser sempre identificar, compreender e definir claramente a questão estratégica de interesse, a partir da posição estratégica no mundo real, considerando a perspectiva de, pelo menos, um dos atores envolvidos no processo.

Para o autor qualquer metodologia de construção de cenários deve incluir pelo menos os seguintes elementos sobre cada cenário:

a) Um ano base (ou período), juntamente com uma descrição do estado das coisas neste ano (período);

b) Um horizonte de tempo (quadro), juntamente com uma descrição do estado de coisas no final do ano (período) do cenário;

c) Um espaço / cobertura geográfica e;

d) Uma descrição das alterações do evento passo a passo que explicam como o estado futuro (horizonte temporal) ocorreu / desenvolvido a partir do presente (ano base).

Além destes elementos, os cenários também podem incluir intervalos de tempo intermediário, entre o presente e o horizonte de tempo, descrevendo o estado futuro em cada um desses anos (períodos) em tempo.

3. DIAGNÓSTICO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização da área

Na região hidrográfica do rio Uruguai está inserida a bacia hidrográfica do Ijuí, localizada na região norte - noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 26°15' e 27°45' de latitude Sul e 53°15' e 56°45' de longitude Oeste (Figura 14).

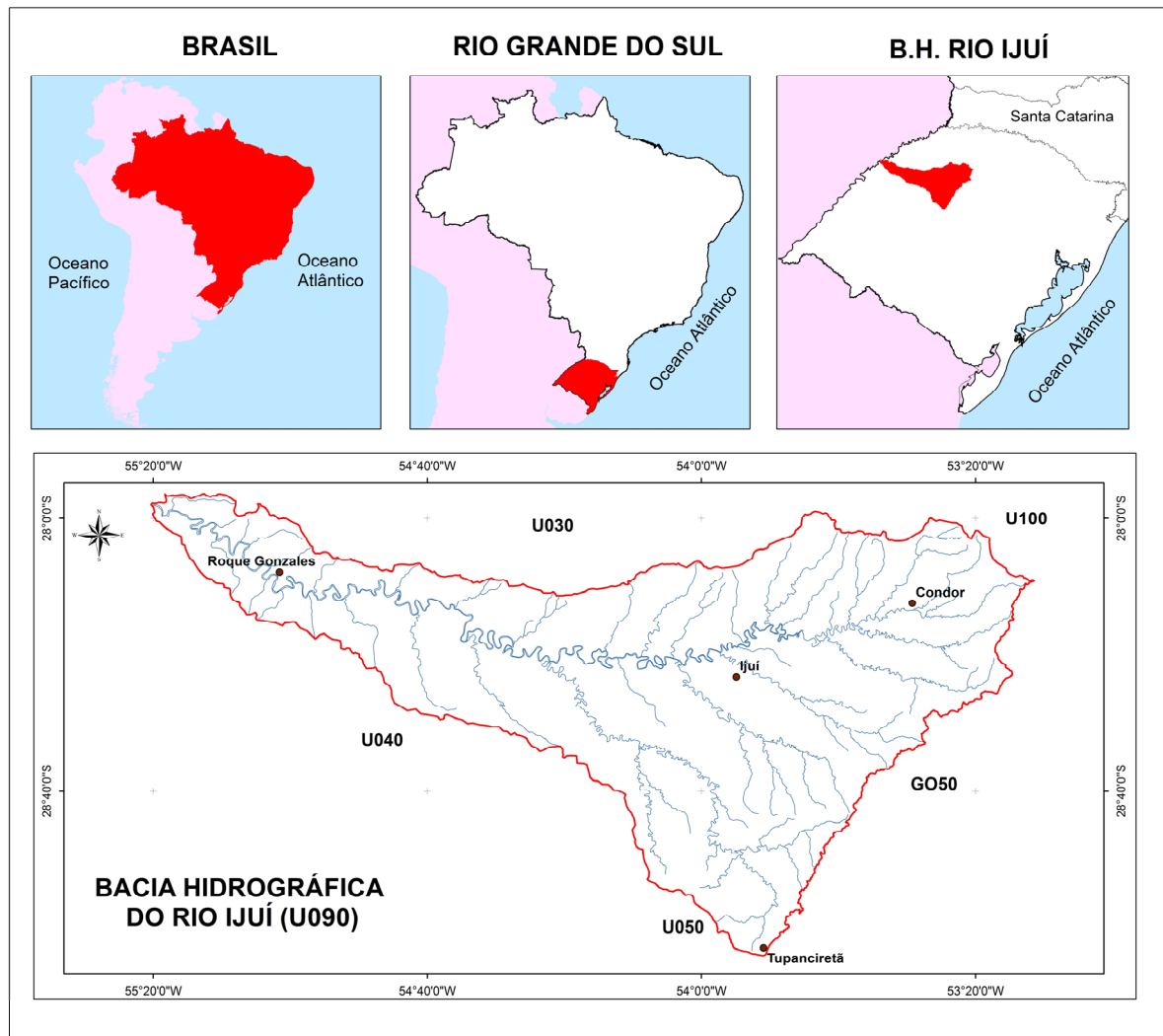


Figura 14 - Localização da bacia hidrográfica do rio Ijuí (RS).

A escolha da área experimental atende a importância da análise de uma bacia hidrográfica que compreende dois biomas estruturalmente diferenciados (Mata Atlântica e Pampa) e amplamente ameaçados pelas atividades antrópicas, a qual dispõe de um banco de dados essencial para análise do modelo proposto.

Com uma área de drenagem de 10.731,86 km² a bacia hidrográfica abrange 38 municípios, onde os mais populosos são Ijuí com 78.915 habitantes, Santo Ângelo com 76.278 e Panambi com 38.058 habitantes com influência direta na bacia.

Localizada em uma importante zona de transição entre os biomas Mata Atlântica e Pampa, da qual a bacia apresenta uma proporção de 73,32% e 26,68% de cada um dos biomas respectivamente. Na Figura 15 pode-se observar a distribuição das áreas de ocorrência natural dos biomas no território da bacia hidrográfica do rio Ijuí, conforme os dados disponíveis pelo MMA.

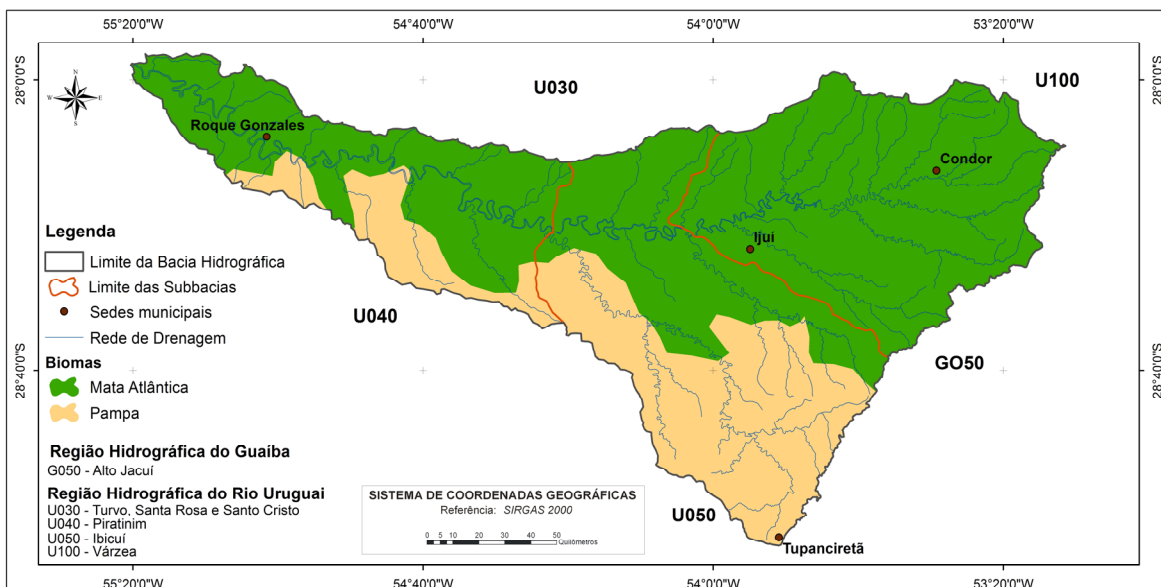


Figura 15 - Ocorrência natural dos biomas.

Fonte: Adaptado de MMA (2007a)

Os principais rios formadores dessa bacia hidrográfica são os rios Ijuzinho, Conceição, Potiribu, Caxambu, Faxinal, Fiúza e Palmeira. A bacia hidrográfica do rio Ijuí tem como confrontantes a bacia hidrográfica do Turvo, Santa Rosa e Santo

Cristo (U030), bacia hidrográfica do Piratini (U040), bacia hidrográfica do Ibicuí (U050), bacia hidrográfica do Várzea (U100) e bacia hidrográfica do Alto Jacuí (G050). Na Figura 16 apresentam-se as três grandes regiões hidrográficas da bacia do rio Ijuí: a região do alto Ijuí com aproximadamente 35,14% da área total, seguida pelo médio Ijuí com 38,90% e a região do baixo rio Ijuí com aproximadamente 25,97% do seu total.

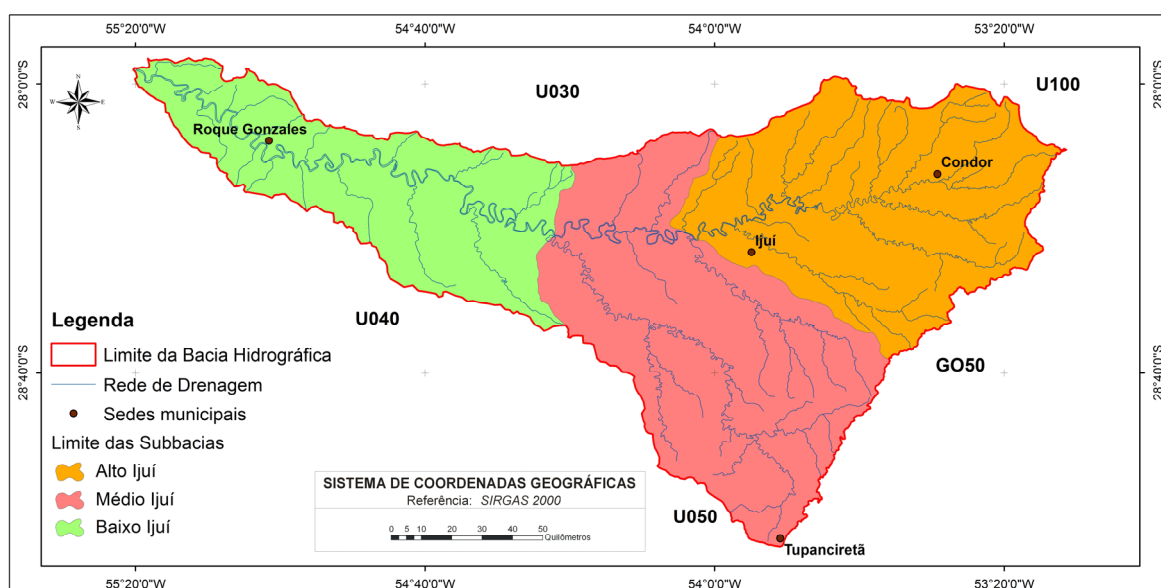


Figura 16 - Localização das regiões hidrográficas da bacia do rio Ijuí.

O rio principal, de mesmo nome, caracteriza-se por um extremo potencial hidroelétrico, ainda pouco explorado, mas com grande possibilidade de vir a ser em curto prazo (NAKASE, 2008), sendo esta bacia palco de um estudo pioneiro, realizado pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul (FEPAM) no ano de 2001, em busca de diretrizes para o licenciamento ambiental de atividades do setor de geração de energia hidroelétrica na bacia o qual poder ser explorado em FEPAM (2004).

3.2 Descrição dos indicadores

Os indicadores (variáveis) escolhidos para o estudo foram separados em 2 (dois) aspectos distintos que caracterizam as informações referentes ao território da bacia hidrográfica, sendo eles: aspecto biofísico e aspecto antropogênico. Todos os indicadores foram mapeados e convertidos para o formato raster, sendo que a construção dos mapas deu pela atribuição de valores reais para a área correspondente ao território da bacia hidrográfica e de valor 0 (zero) para áreas externas ao seu limite.

Com objetivo de padronizar os mapas (*raster*) para posterior construção das redes neurais artificiais, foi atribuído um número de identificação (Id) para os atributos dos mapas os quais a fonte tem origem de outros autores, a exemplo, os mapas que apresentam originalmente uma escala de fragilidade, sendo mantida a escala de importância atribuída originalmente pelos autores. Quanto aos construídos neste trabalho, manteve-se o valor original da informação utilizada, exceto aqueles onde a informação foi organizada em classes de atributos (i.e. mapas de declividades).

3.2.1 Indicadores biofísicos

3.2.1.1 Áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade

O planejamento de uma atividade florestal deve contemplar o manejo do entorno dos remanescentes de áreas naturais de interesse conservacionista, sejam elas de floresta, de campo ou áreas úmidas (banhados). Assim, o mapeamento das áreas que apresentam prioridade para conservação é fundamental para o planejamento de ações que minimizem possíveis impactos e que potencialize os efeitos de resiliência dos remanescentes.

O indicador áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade foi construído por UFSM; UNIPAMPA (2011) a partir dos mapas de áreas prioritárias

para conservação, da reserva da biosfera da mata atlântica e das zonas de amortecimento de unidades de conservação de proteção integral e uso sustentável disponibilizados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2007). Este mapa classifica as áreas em termos de Alta, Muito Alta e Extremamente Alta prioridade para a conservação da biodiversidade. As áreas consideradas prioritárias para conservação da biodiversidade na bacia hidrográfica do rio Ijuí podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores relativos das áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade.

Prioridade	Id	Área (km ²)
Não Prioritária	1	8.513,61
Alta	2	1.402,53
Extremamente Alta	3	8.15,72
Total	-	10.731,86

O mapa das áreas consideradas prioritárias para a conservação da biodiversidade é representado pela Figura 17.

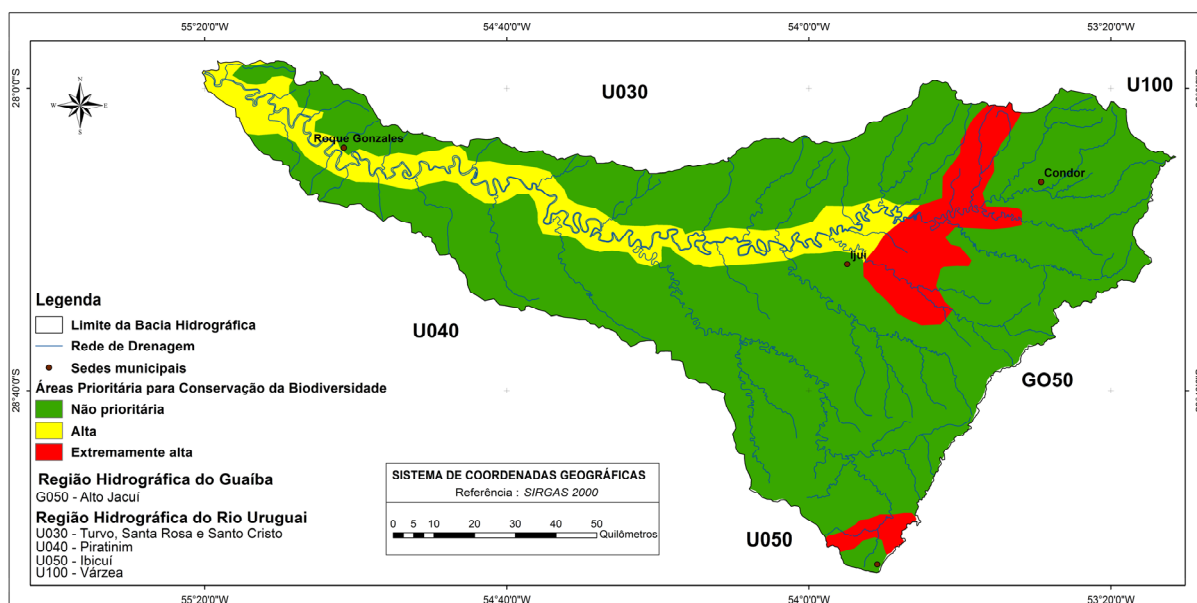


Figura 17 - Variável áreas prioritárias para conservação da biodiversidade.

Fonte: Adaptado de UFSM; UNIPAMPA (2011).

A bacia hidrográfica do Ijuí apresenta duas áreas consideradas como de potencial extremamente alto para conservação da biodiversidade, sendo uma a nordeste principalmente nos municípios de Ijuí e Nova Ramada, Ajuricaba, Bozano, Panambi e Condor, descrita por MMA (2007) como “mosaico Bozano-Ajuricaba” que se apresenta como potencializador para conexão de macro ecossistemas, proteção dos recursos hídricos da região e de pesquisas sobre o ecossistema que tem como formação a floresta estacional decidual. Segundo o autor esta região tem a extração de madeira, a atividade agrícola extensiva, a contaminação dos recursos hídricos e a fragmentação dos ecossistemas como as principais ameaças.

A segunda área de extrema importância está inserida no bioma pampa, caracterizada como “mosaico nascentes do rio Jaguari” e apresenta potencial para inserção de uma unidade de conservação segundo MMA (2007), podendo ser introduzida a atividade agropecuária sustentável em campo nativo. As principais ameaças dessa área são a pecuária extensiva e a produção agrícola de grãos e outros cultivos de rotação anual.

Nas áreas no entorno do rio principal (Ijuí), do ponto da sua jusante até a altura do município de Bozano (a montante), MMA (2007) caracteriza como sendo o “Corredor do Turvo-Ijuí” e o considera como de alta prioridade para conservação. Inserido na formação da floresta estacional decidual este corredor apresenta grande potencial turístico, de educação ambiental, pesquisa científica, beleza cênica, além da presença de espécies de peixe de alto valor econômico. No entanto, a região vem sofrendo ameaças no ecossistema local, como a exemplo da pesca e da caça predatória, a presença de espécies da fauna exótica observada por UFSM; UNIPAMPA (2011) e a perda da biodiversidade em função da fragmentação das áreas de floresta nativa, aceleradas pela expansão das áreas agrícolas e de pecuária, fator econômico que impulsiona a região da bacia.

3.2.1.2 Ocorrência potencial da fauna terrestre

Para elaboração do mapa de ocorrência potencial da fauna terrestre, foram utilizados os dados levantados por UFSM; UNIPAMPA (op. cit.) que, por sua vez, utilizo as listas oficiais brasileira (MMA, 2003) e do Estado do Rio Grande do Sul

(Marques et al., 2002). Somente foram incluídas as espécies para as quais foram encontradas informações que permitissem a estimativa de seu habitat potencial a partir dos planos de informações disponíveis para a escala do estudo.

O valor conservativo¹ de cada espécie foi então obtido através da ponderação do status de conservação e do grau de endemismo da espécie. Para este estudo o valor conservativo é convertido em um número identificador (id), sendo mantida a escala de importância atribuída originalmente por UFSM; UNIPAMPA (2011). Na Tabela 3 são apresentados os valores relativos ao valor conservativo das espécies para bacia hidrográfica.

Tabela 3 - Valores conservativos relativos às espécies da fauna ameaçada de extinção.

Status de Conservação	Não endêmica	Endêmica da Unidade da Federação ou do Bioma
Criticamente em Perigo/Provavelmente Extinta	3 ²	5
Em Perigo	2	4
Vulnerável	1	3

Fonte: Adaptado de UFSM; UNIPAMPA (2011).

Com a aplicação do valor conservativo para as espécies da fauna ameaçada de extinção obtiveram-se os mapas da ocorrência potencial da fauna terrestre apresentado na Figura 18.

¹ Valor conservativo expressa uma avaliação do habitat potencial de espécies em relação ao risco de extinção, que é maior para as espécies presumivelmente extintas ou criticamente em perigo, de acordo com as categorias da *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) e com o endemismo.

² Número de identificador relativo ao valor conservativo.

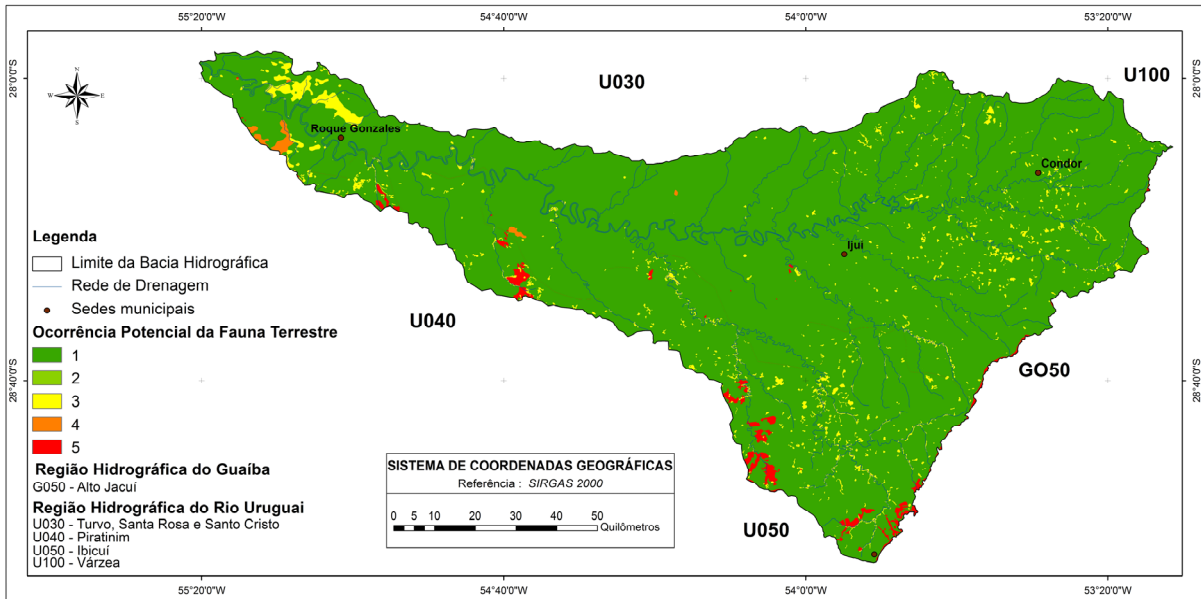


Figura 18 - Mapa da ocorrência potencial da fauna terrestre.

Fonte: Adaptado de UFSM; UNIPAMPA (2011).

As áreas que apresentam maior ocorrência concentram-se na região do baixo e médio Ijuí, justo que são as áreas onde se encontra a maior proporção de remanescentes de floresta nativa, que foi utilizado como fator de associação para determinação da ocorrência a fauna potencial.

3.2.1.3 Ocorrência potencial da flora terrestre

Tão importante quanto a determinação dos locais com ocorrência da fauna vulnerável e ameaçada, são as áreas de ocorrências das espécies da flora que se apresentam como vulneráveis ou em perigo de extinção. No planejamento territorial esse indicador salienta a importância de medidas de conservação dos remanescentes próximos das áreas que expressam um número maior de ocorrência dessas espécies, principalmente daquelas que pertencem à lista de ameaçadas de extinção.

Este indicador foi elaborado por UFSM; UNIPAMPA (2011) em que foi feita a consulta das listas oficiais de espécies da flora ameaçadas de extinção para a área de estudo, sendo elas: as listas oficiais brasileiras (MMA, 2008) e a lista oficial do

Estado do Rio Grande do Sul (FONTANA; BENCKE; REIS, 2003). As espécies não presentes nas listas de espécies ameaçadas, mas para as quais existiam informações de que fossem espécies endêmicas da região também foram incluídas no estudo.

Para cada espécie os autores buscaram na literatura informações que permitissem a vinculação da sua ocorrência com as formações vegetais presente no mapeamento do Bioma Mata Atlântica (MMA, 2007a). O valor conservativo de cada espécie foi obtido através da ponderação do status de conservação e do grau de endemismo da espécie e para área da bacia. Novamente o valor conservativo foi transformado para valores reais obedecendo ao nível de importância atribuído. Na Tabela 4 são apresentados os valores relativos ao *status* conservativo das espécies de interesse especial (ameaçadas e endêmicas) da flora.

Tabela 4 - Valores relativos ao status conservativo atribuídos às espécies (ameaçadas e endêmicas) da flora.

Status de Conservação	Não endêmica	Área km ²	Endêmica do Uruguai	Área km ²
Em Perigo	3 ³	320,65	5	119,48
Vulnerável	2	0,25	4	28,84
Sem <i>status</i> de conservação	1	10.262,63	3	--

Fonte: Adaptado de UFSM/UNIPAMPA (2011).

O mapa relativo ao indicador ocorrência potencial da flora terrestre da bacia do rio Ijuí é apresentado na Figura 19.

³ Classe com o valor da área (km²) unidas pelo valor conservativo.

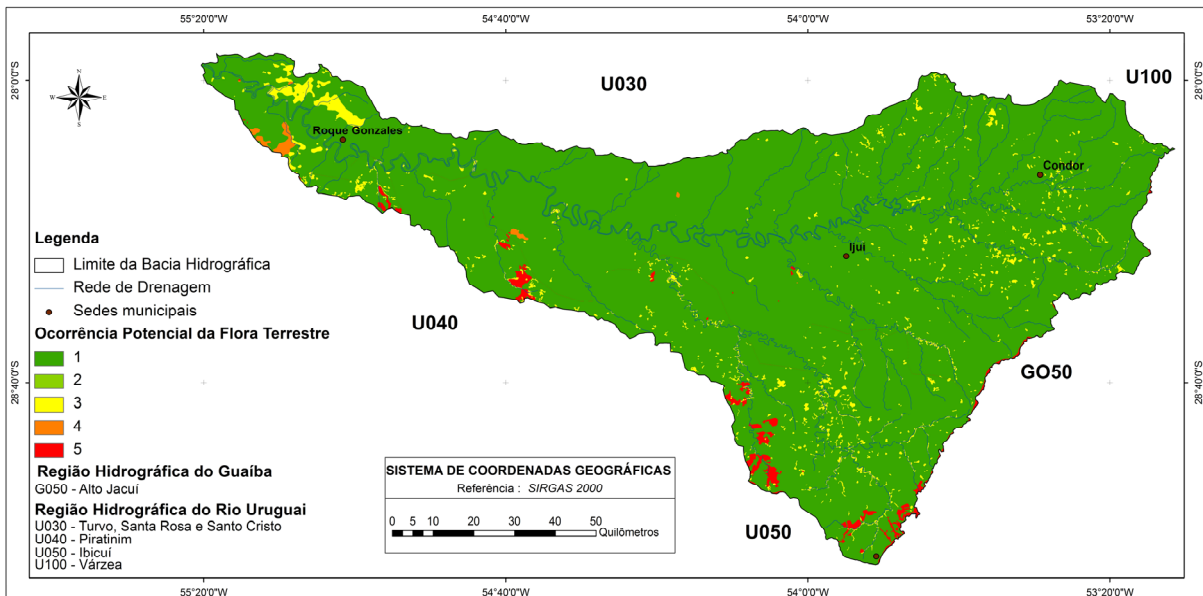


Figura 19 - Mapa da ocorrência potencial da flora terrestre.

Fonte: Adaptado de UFSM; UNIPAMPA (2011).

As áreas em vermelho apresentam os locais onde ocorrem as espécies endêmicas e em perigo de extinção. Em laranja estão as áreas que representam as espécies endêmicas e com *status* de conservação vulnerável. Já as manchas em amarelo correspondem à ocorrência de espécies não endêmicas em perigo de extinção e as que não apresentavam *status* de conservação, mas que são consideradas endêmicas da região da bacia do alto e médio rio Uruguai em território brasileiro. Em seguida, representadas pelas áreas em verde claro estão às espécies com *status* vulnerável de conservação, mas que não apresentam caráter endêmico para a bacia. E por fim, as áreas em verde escuro apresentam os locais onde não há a ocorrência de espécies com um *status* de conservação ou endemismo.

A região do médio Ijuí é onde ocorre maior concentração de espécies da flora que são endêmicas da região da bacia do médio e alto Uruguai e que apresentam *status* de conservação vulnerável ou em perigo de extinção, estando distribuídas principalmente nos municípios de Jóia, Tupaciretã e Cruz Alta. Já a região do baixo Ijuí, por apresentar uma grande concentração de fragmentos de floresta nativa da bacia hidrográfica é, conseqüentemente, a que mantém a maior ocorrência de espécies endêmicas em *status* vulnerável ou sem *status* de conservação.

3.2.1.4 Declividade

A declividade é um indicador importante a ser analisado nos estudos que envolvem o planejamento do território, uma vez que este indicador pode mostrar regiões de restrição para uma determinada atividade. As classes de declividade tornam-se uma componente fundamental em uma análise das condições do território para a prática da atividade silvícola, pois a condição (declive) do terreno determina o sistema de manejo a ser utilizado, adequando os processos desde o plantio até a colheita e transporte, com o intuito de alcançar a produtividade esperada. Outro fator diz respeito às condições de instabilidade das encostas, as quais podem ser mais intensas em terrenos mais acidentados, originando uma maior susceptibilidade à ocorrência de processos erosivos diversos, diminuindo a capacidade do território em suportar a atividade que se propõe.

Foram determinadas classes de declividade analisando-se o quão susceptível ao escorregamento de material podem estar as áreas de encostas da bacia, sendo considerado para isso não apenas o quanto íngremes podem se apresentar, mas também a análise realizada por UFSM; UNIPAMPA (2011) sobre o tipo de material geomorfológico que as áreas apresentam. Na Tabela 5 são apresentadas as classes de declividade da bacia hidrográfica e o valor relativo para cada classe.

Tabela 5 - Classes de declividade e área de abrangência.

Classes de declividade	Id	Área (km²)
0 - 3%	1	4.335,54
3 - 8%	2	5.820,84
8 - 20%	3	569,91
20 - 45%	4	5,24
45 - 75%	5	0,29
>75%	6	0,04
Total	-	10.731,86

A bacia hidrográfica do rio Ijuí apresenta um relevo suave ondulado a ondulado que varia entre 5 a 30% de declividade, sendo que aproximadamente 99% da sua área estão entre as classes de 0 e 20%. Apesar de pouco acentuada, a bacia apresenta cerca de 5,48 km² de área com declive acima de 20%, mesmo que de forma esparsa sobre o território, estas áreas se concentram na maioria em regiões próximas à rede de drenagem, realçando a importância de que medidas conservativas sejam consideradas no momento em que se planeja a inserção de uma atividade próxima a esses locais. O mapa das classes de declividades ocorrentes na bacia hidrográfica pode ser observado na Figura 20.

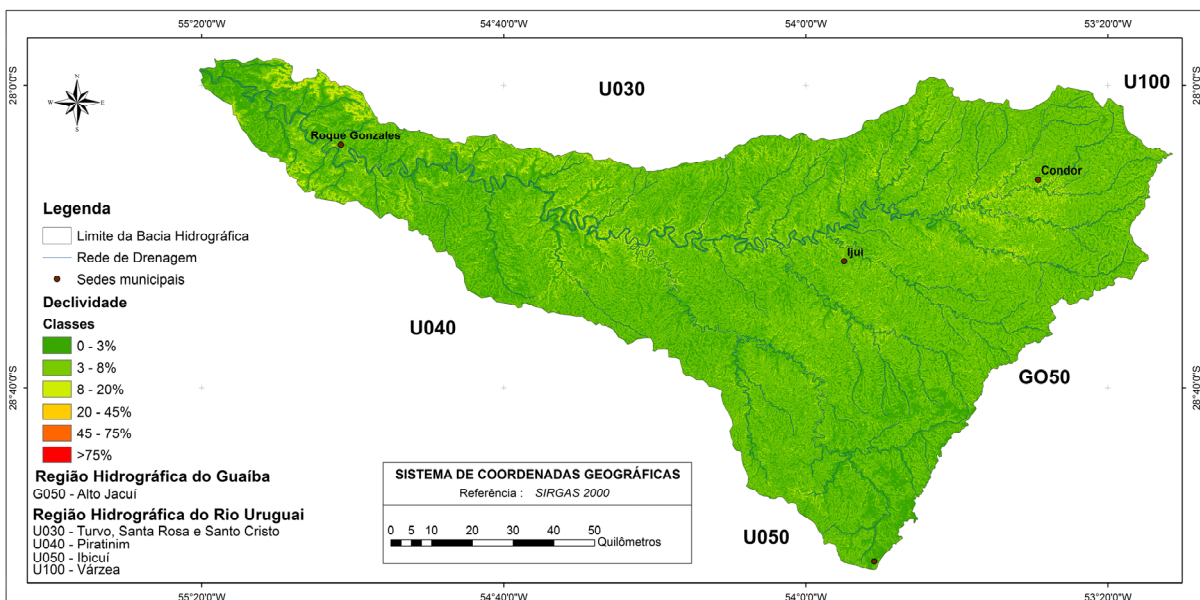


Figura 20 - Mapa da declividade.

Fonte: Adaptado de UFSM; UNIPAMPA (2011).

3.2.1.5 Geologia

O mapa dessa variável foi construído por UFSM; UNIPAMPA (2011) com base no mapa geológico modificado da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais - CPRM (2003) e nos trabalhos de campo, sendo que os autores atribuíram valores de fragilidade para as litologias considerando os depósitos superficiais

associados e os tipos de movimentos de massa predominantes. As fragilidades atribuídas pelos autores foram então reescaladas em valores reais.

Na bacia podem ser encontradas três principais formações geológicas: a Formação Serra Geral (Vulcânicas intermediárias e ácidas), Formação Serra Geral (Vulcânicas básicas) e a Formação Tupanciretã. A Tabela 6 apresenta as três formações ocorrentes na bacia de estudo e litologias, e respectiva área de abrangência.

Tabela 6 - Valores correspondentes às formações geológicas e área de abrangência.

Formações	Litologias	Id	Área (km²)
Formação Serra Geral- Vulcânicas intermediárias e ácidas	riolitos, riodacitos, dacitos	1	244,62
Formação Serra Geral - Vulcânicas básicas	basaltos, andesitos	2	10.039,00
Formação Tupanciretã	arenitos	3	448,15

As formações geológicas apresentam-se de forma muito distinta sobre o território, tendo como predominante a formações denominadas como Serra Geral, que somadas representam cerca de 95% do território da bacia, distribuídas da nascente à foz. Com apenas 448,15 km², a formação Tupanciretã ocorre em pouco mais de 4% do território e concentra-se ao sul nos municípios de Tupanciretã, Cruz Alta e Boa Vista do Cadeado. A distribuição de cada uma das formações pode ser observada na Figura 21.

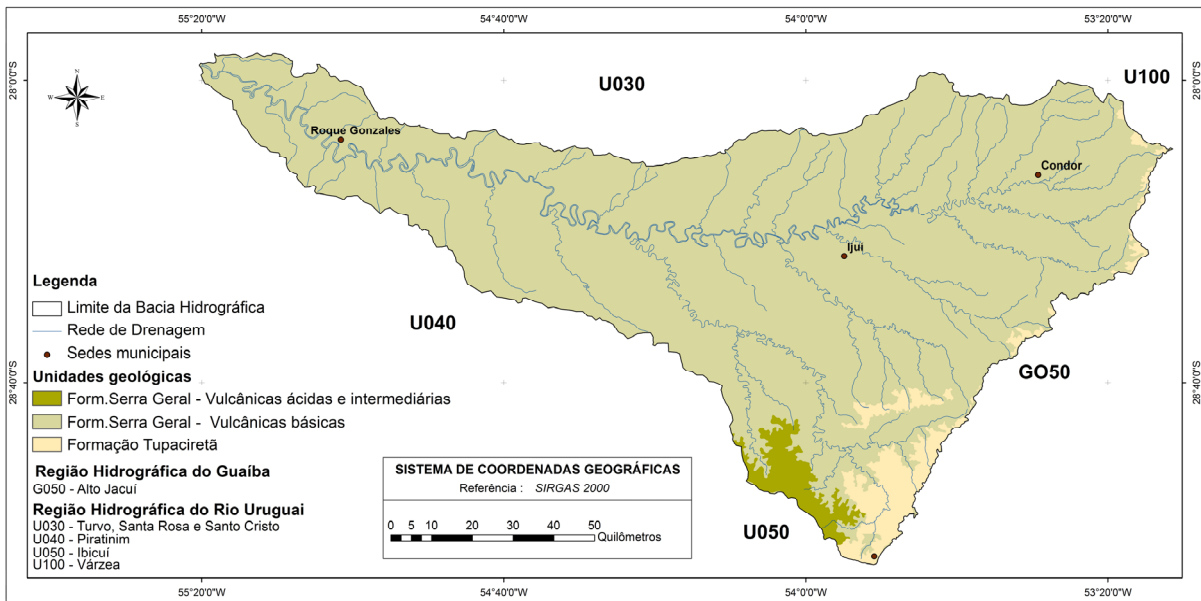


Figura 21 - Mapa das formações geológicas.

Fonte: Adaptado de UFSM; UNIPAMPA (2011).

3.2.1.6 Geomorfologia

Os tipos de modelados de relevo são respostas aos diferentes processos que ocorrem sobre a superfície da Terra, além de condicionar a formação de alguns tipos de depósitos superficiais, como colúvios e tálus, e a presença de algumas feições erosivas como ravinas e voçorocas (UFSM; UNIPAMPA, 2011).

Segundo os autores, as características morfológicas encontradas na região da bacia hidrográfica são heterogêneas em função das diferenciações litológicas relacionadas à Formação Serra Geral, que se constitui no substrato litológico principal da bacia hidrográfica do alto e médio Uruguai.

A diferenciação entre rochas vulcânicas ácidas e básicas corresponde a variações nos tipos de modelado de relevo encontrados, que vão desde áreas planas, mais ou menos conservadas, até porções aonde a dissecação, conduzida pelos cursos de água, origina um relevo intensamente fragmentado (UFSM; UNIPAMPA, op.cit.).

Foram mapeados pelos autores os seguintes modelados de relevo para a região hidrográfica onde está inserida a bacia hidrográfica do Ijuí: Acumulação, Aplainamento e Dissecação. O modelado de relevo Dissecação, definido pela

combinação das variáveis Densidade de Drenagem e Aprofundamento, foi dividido pelos autores em três categorias com relação a sua intensidade: D1 (aprofundamento de 20 m a 50 m), D2 (aprofundamento de 50 m a 150 m) e D3 (aprofundamento acima de 150 m), sendo que na área de estudo não há a ocorrência da categoria do tipo D2. Na Tabela 7 são apresentados os tipos de modelados de relevo que segundo UFSM; UNIPAMPA (2011) ocorrem nas bacias do alto e médio Uruguai.

Tabela 7 - Descrição do modelado de relevo.

Modelado de relevo	Morfologia e depósitos superficiais
Acumulação (A)	Planícies de terraços aluviais e lacustres com declividade muito fraca. Cicatrizes de movimentos de massa nas margens dos rios.
Aplainamento (P)	Modelado aplainado, levemente ondulado, colúvios com linhas de pedra e fraca dissecação. Declividades fracas. Podem ocorrer sulcos e
Dissecação(D1)	Modelado côncavo-convexo com densidade de drenagem variando de fina à grosseira. Inclinação de vertentes entre 10 e 18 graus. Movimentos de massa, sulcos, ravinas e voçorocas. Colúvios e Modelado convexo-côncavo com aprofundamento entre 50 m e 150 m.
Dissecação(D2)	Inclinação de vertentes entre 18 e 45 graus. Formas de erosão acelerada são comuns. Lajeados, tálus, cristas, cornijas e quedas Modelado plano-convexo com forte controle estrutural. Declividade entre 35 e 45 graus ou maior que 45 graus. Aprofundamentos maiores que 150 m. Esporões, cristas, escarpas, cornijas, leitos rochosos.
Dissecação(D3)	Colúvios com espessura variada, presença de tálus.

Fonte: Adaptado de RADAMBRASIL (1986 apud UFSM; UNIPAMPA, 2011).

Os tipos de modelado de relevo que ocorrem na bacia hidrográfica do Ijuí e respectiva área de abrangência, com o respectivo valor de identificação dos pixels são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Modelados do relevo.

Modelado de relevo	Id	Área (km²)	Área (%)
Acumulação (A)	4	2.414,53	22,5
Aplainamento (P)	2	0,07	0,0006
Dissecação (D1)	3	8.248,93	76,86
Dissecação (D3)	1	68,32	0,63

A bacia apresenta a predominância do modelado de relevo tipo dissecação de fraca intensidade (D1), com aprofundamento de vales entre 20 m e 50 m. O modelado D3, que indica maior intensidade de dissecação, ocorre de forma esparsa pela bacia, mas quase sempre associado às margens dos cursos d'água, isto significa que nestas regiões ocorrem vales mais fechados e que fornecem sedimentos para as áreas de acumulação do médio e baixo curso do rio, sendo este modelo o segundo mais representativo sobre o território. Já o modelado de acumulação, representa 22,5% território e se constitui de vales mais abertos com declividades menos acentuadas.

Embora menos representativos no território da bacia, os modelados de aplainamento ocorrem na porção à jusante, e são modelos de relevo com topos achatados, localizados em regiões de altitudes elevadas, mas de pouca ocorrência na região da bacia hidrográfica. Na Figura 22 é apresentado o mapa da geomorfologia da área de estudo.

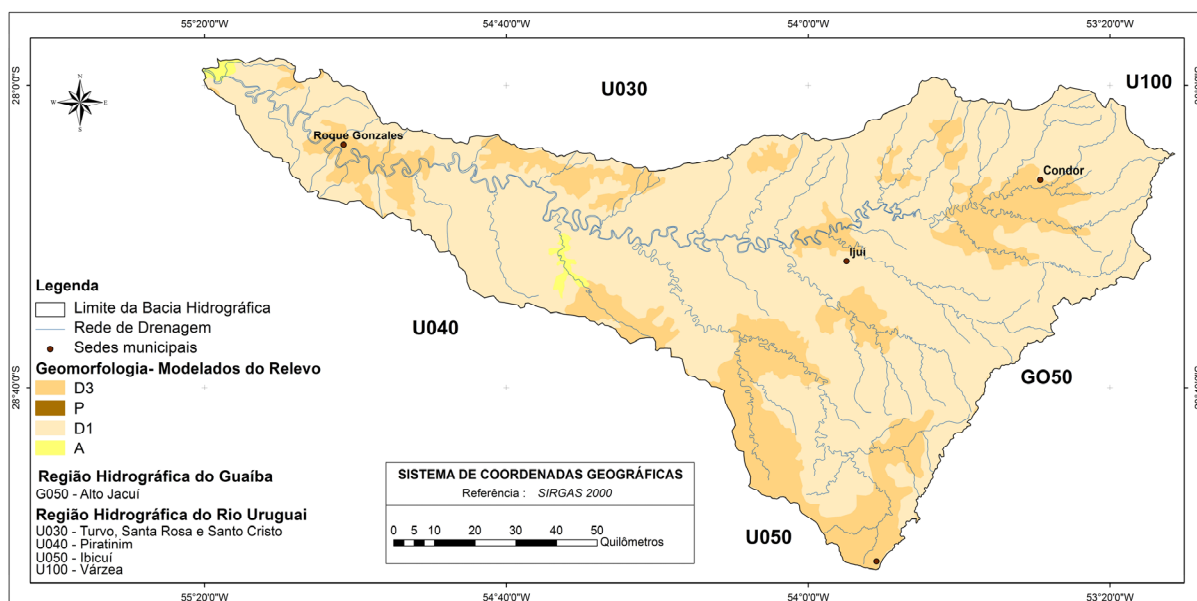


Figura 22 - Mapa da geomorfologia.

Fonte: Adaptado de UFSM; UNIPAMPA (2011).

3.2.1.7. Resistência dos solos

De acordo com Dias et al. (2008) os solos apresentam um conjunto de características que os torna adequados ou não à produção florestal. Esta capacidade produtiva por sua vez, pode ser analisada para diferentes atividades que se projeta para determinado território. Apesar da escala utilizada nos levantamentos de solo não acompanhar a necessidade do grau de informação exigida por algumas atividades, apresenta-se de fundamental importância para compreensão das limitações que possam ocorrer.

Para este indicador utilizou-se o mapa de solos do Rio Grande do Sul na escala 1:250.000, elaborado por FEPAM (2001a), os quais caracterizam para a região da Bacia, seis classes de solos distintas. Estes por sua vez, apresentam diferentes classes de resistências a impactos ambientais, as quais segundo Giassom; Inda JR; Nascimento (2005) são determinadas em função da sua profundidade, textura, gradiente textural, drenagem, lençol freático, lençol suspenso, risco de inundação, suscetibilidade à erosão, relevo, declividade, aptidão agrícola e tipo de argilomineral.

Assim, os solos podem ser então classificados em 4 (quatro) classes de resistência a impactos ambientais de acordo com os seus fatores de formação ou da tipologia do terreno, sendo elas: Alta (A); Média (B); Baixa (C) e Muito Baixa (D).

O Quadro 1 apresenta a descrição dos fatores que compreendem as distintas classes de resistência dos solos.

Fator do solo ou do terreno	Classes de resistência a impactos ambientais			
	Alta (A)	Média(B)	Baixa(C)	Muito baixa(D)
Profundidade	>150cm	100 a150cm	50 a 100cm	>50cm
Textura	Argilosa (>35% argila)	Média (15 a 35% argila)	Arenosa (<15% argila)	Arenosa (<15% argila)
Gradiente	Sem ou pouco	Com	Abrupto	Com ou sem
Drenagem	Bem ou moderada	Forte ou acentuada	Imperfeita ou excessiva	Mal ou muito mal
Lençol Freático	Ausente	Ausente ou eventualmente suspenso	Alto	Superficial
Lençol suspenso	Não	Não	Sim	Sim
Risco de inundação	Nulo	Nulo	Raro	Ocasional a frequente
Erodibilidade	Ligeiramente moderada	Moderada a forte	Forte	Fortemente a muito forte
Relevo	Plano, suave ondulado ou ondulado	Ondulado	Fortemente ondulado	Fortemente ondulado ou montanhoso
Declividade	<3%,3-8%,8-20%	8-20%	20-45%	>45%
Aptidão	Boa	Boa regular	Regular a restrita	Restrita

Quadro 1 - Descrição das classes de resistência dos solos a impactos ambientais

Fonte: Adaptado de Fepam (2001a).

A região apresenta a predominância dos solos tipo Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf), como pode ser observado na Tabela 9, que encontram-se distribuídos ao longo de toda bacia hidrográfica, recobrando aproximadamente 59% do seu total. A tipologia de menor ocorrência é a denominada de Argissolo Amarelo

Alumínico (PVA) que apresenta cerca de 97,71 km² correspondendo a 0,93 % do total das classes de solo.

Tabela 9 - Classes de resistência solos existentes na bacia e área de abrangência.

Sigla	Nomenclatura	Classe de resistência	Id	Área (km²)
LVdf	Latossolo Vermelho Distroférico	A	1	6.368,23
LVaf	Latossolo Vermelho Aluminoférico	A	1	948,94
LVd	Latossolo Vermelho Distrófico	A	1	660,34
NVe	Nitossolo Vermelho Eutrófico	A	1	1.026,79
PVA	Argisolo Amarelo Alumínico	C	2	97,79
RLd	Neossolo Litólico Eutrófico	D	3	1.629,77

Em relação a classes de resistência, pode-se observar que a classe do tipo “A” ocorre em mais de 83% da bacia, caracterizando-a como de resistência Alta aos possíveis impactos ambientais referentes aos tipos de solos. Essa classe mantém no território da bacia a predominância dos solos do tipo Latossolo Vermelho, que se caracterizam pela homogeneidade e profundidade do perfil (profundos a muito profundos) e por serem altamente intemperizados, apresentando uma ótima aptidão para atividade agrícola e florestal desde que apresentem as concentrações de fertilidade química necessária. No caso do solo do tipo Latossolo Vermelho Distrófico, Streck et al. (2008) destacam que por serem originados de arenito e apresentarem textura mais arenosa são mais susceptíveis à erosão, exigindo práticas intensivas quando utilizados para culturais anuais.

Por outro lado, não há ocorrência na região da bacia das classes de resistência do tipo “B” (média), e pouco menos de 20% da bacia apresenta classes entre baixa e muito baixa resistência a impactos, salientando a necessidade de medidas cautelares ao implantar uma atividade nas regiões de ocorrências dessas classes.

Determinadas as classes de resistência para cada tipo de solo é gerado o mapa das classes de resistência dos solos aos impactos ambientais da região da

bacia hidrográfica do rio Ijuí. Esse mapa caracteriza o grau de susceptibilidade dos solos na região da bacia à ocorrência de impactos, os quais podem ser intensificados de acordo com a atividade que se inserir sobre o território. Na Figura 23 apresenta-se a distribuição das classes de resistência dos solos nas regiões da bacia hidrográfica do rio Ijuí.

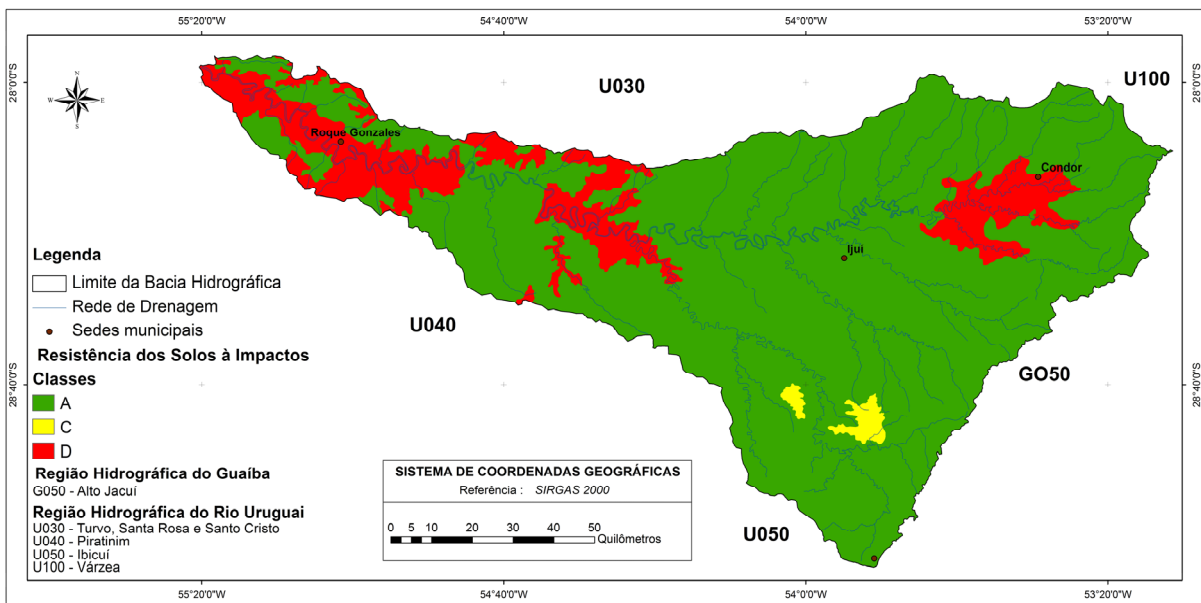


Figura 23 - Mapa das classes de resistência dos solos a impactos ambientais.

Fonte: Adaptado de UFSM; UNIPAMPA (2011).

A região do baixo Ijuí é onde se concentra grande parte dos solos de menor resistência aos impactos ambientais, com a predominância dos solos tipo Neossolo, caracterizados como solos jovens e pouco profundos. Como apresentam pouca profundidade para o desenvolvimento de raízes e armazenamento de água, estando também associados a regiões com relevo forte ondulado, e em geral com o afloramento de rochas, este tipo de solo mantém fortes restrições para atividades de culturas anuais.

Em consequência, recomendam-se cuidados intensivos quando estes tipos de solos são submetidos a uma atividade qualquer, tendo como prioridade a inserção de ações voltadas a sua conservação e preservação.

3.2.1.8. Clima

Considerada uma base de dados de extrema importância para subsidiar a implantação e planejamento de diversas áreas de desenvolvimento socioeconômico e ambiental de uma região, o zoneamento climático ao delimitar regiões climaticamente homogêneas, permite compreender os demais indicadores que contribuem para a dinâmica do território.

Embora mudanças climáticas ocorram em médio e longo prazo, o zoneamento climático deve ser reavaliado e atualizado constantemente visando obter maiores informações sobre as condições climáticas e, sobretudo, proporcionar maior adequação dos investimentos socioeconômicos na região (CARVALHO et al., 2008). Isso porque grande parte das atividades agrícolas e florestais no Brasil é dependente da dinâmica de distribuição das chuvas e conseqüentemente da capacidade de cada região em manter a água disponível para essas atividades, que são dependentes de fatores como o tipo de solo, temperatura, cobertura vegetal entre outros.

Em estudos climáticos, o balanço hídrico climatológico (BHC) normal de um local ou região é considerado um dos melhores referenciais para a caracterização climática (CARVALHO et al., 2008).

3.2.1.8.1 Balanço Hídrico Climatológico - BHC

O balanço hídrico pode fornecer parâmetros para construção de uma tipologia climática com base em variáveis que, além de definidas mais objetivamente, possuem maior interdependência com outros componentes e fatores ambientais (NIMER; BRANDÃO, 1985).

O cálculo do balanço hídrico climatológico possui como aplicações principais a caracterização regional da disponibilidade hídrica, a caracterização de períodos de secas e da aptidão hídrica regional para culturas e para determinação das melhores épocas de semeadura, no caso da agricultura (SILVA, 2010). Segundo a autora o

balanço hídrico é um sistema contábil onde o solo funciona como uma caixa, a chuva como entrada de água e a evapotranspiração como saída.

Desenvolvido por Thornthwaite; Mather (1955) o BHC fornece informações da disponibilidade hídrica local ou regional, pelo cálculo da deficiência hídrica (Def), excesso hídrico (Exc), retirada e reposição de água no solo. De acordo com Carvalho et al. (2008), para a sua elaboração efetua-se o balanço entre entradas e saídas de água no sistema solo-planta levando em conta a capacidade de armazenamento de água (CAD) pelo solo ocorrente na região.

Existe mais de um sistema metodológico de inferir sobre o balanço hídrico ambiental, sobretudo o de avaliar a evapotranspiração potencial, variável chave para a inferição do balanço hídrico (NIMER; BRANDÃO, 1985).

Entretanto, para os autores, “o sistema de Thornthwaite possui a vantagem de poder ser aplicado a partir de variáveis mais facilmente disponíveis, tais como: temperatura, precipitação pluviométrica, graus de latitude e tempo/hora de luz solar, sem que o produto de sua aplicação seja de menor qualificação”, sendo este o motivo para que esse sistema seja o de maior divulgação e aplicação em todo mundo.

Com a construção do indicador Índice de Umidade foi realizado o balanço hídrico climatológico da região de estudo, utilizando para isso, dados como a temperatura média, a pluviosidade média e o valor da capacidade de água disponível (CAD) correspondente. Segundo o Método de Thornthwaite; Mather (1955) descrito detalhadamente por Vianello; Alves (1991) o Índice de Umidade de Thornthwaite (I_u) é calculado pela diferença entre o Índice excedente (I_h) e Índice de aridez (I_a) que é expressa da seguinte forma:

$$I_u = I_h - I_a \quad \text{Equação 6}$$

Os quais são calculados pelas seguintes expressões:

$$I_h = 100(Exc/ETP) \quad \text{Equação 7}$$

$$I_a = 100(Def/ETP) \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

Exc = Excedente hídrico

Def = Deficiência hídrica

ETP = Evapotranspiração potencial

Na Tabela 10 são descritos os valores de Índices de umidade (*Iu*) gerados a partir dos parâmetros do BHC de Thornthwaite; Mather (1955), que servem de parâmetro para determinação do clima da região de estudo.

Tabela 10 - Tipo de clima e respectivos índices de umidade.

Tipo de Clima		<i>Iu</i> (%)
A	Super úmido	$Iu \geq 100$
B ₄	Úmido	$80 \leq Iu < 100$
B ₃	Úmido	$60 \leq Iu < 80$
B ₂	Úmido	$40 \leq Iu < 60$
B ₁	Úmido	$20 \leq Iu < 40$
C ₂	Subúmido	$0 \leq Iu < 20$
C ₁	Subúmido seco	$-33,3 \leq Iu < 0$
D	Semi-árido	$-66,7 \leq Iu < -33,3$
E	Árido	$-100 \leq Iu < -66,7$

Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2008).

3.2.1.8.2 Temperatura média

Os dados da temperatura média foram obtidos das estações meteorológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e disponíveis no site do instituto. Foram utilizados os dados referentes aos anos de 1984 a 1987 e de 1990 a

2011, totalizando 24 anos de dados coletados e posteriormente consistidos⁴. As estações meteorológicas utilizadas para coleta dos dados de temperatura são descritas na Tabela 11.

Tabela 11 - Estações meteorológicas do INMET para os dados de temperatura.

Código	Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
83912	Cruz Alta	-28,60	-53,67	472,5
83881	Iraí	-27,18	-53,23	247,1
83914	Passo Fundo	-28,21	-52,40	684,05
83907	São Luiz Gonzaga	-28,40	-55,01	245,11

Foram escolhidas as estações que se localizam mais próximas da área objeto do estudo e que apresentam menor número de falhas na coleta dos dados. A Figura 24 demonstra a localização das estações meteorológicas dos dados de temperatura referentes à região em que está inserida a bacia hidrográfica.

Das quatro estações em que foram coletados os dados, apenas a estação Cruz Alta está localizada na área da bacia hidrográfica do rio Ijuí, e a estação São Luiz Gonzaga encontra-se em uma região limítrofe à bacia na sua jusante. Apesar das estações Iraí e Passo Fundo estarem localizadas mais distantes da área de estudo, são capazes de representar a distribuição dos dados para a região ao entorno da bacia hidrográfica. Na Tabela 12 são apresentados os valores referentes à temperatura média mensal calculada para o período de análise nas quatro estações meteorológicas.

⁴ Correção das falhas de informações nos dados coletados.

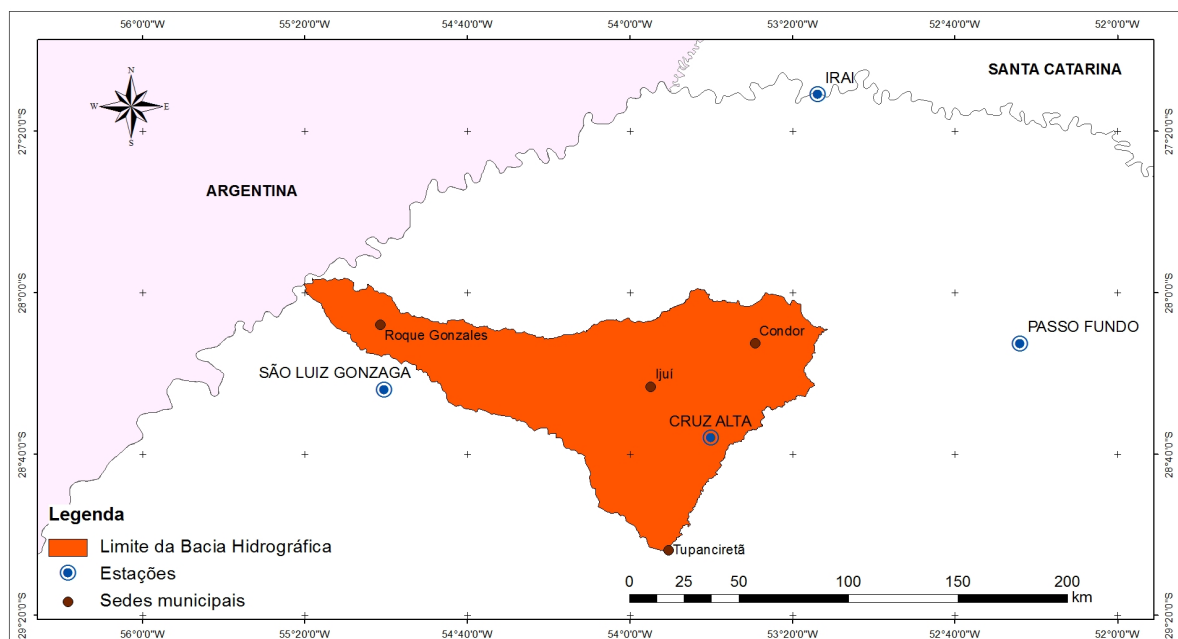


Figura 24 - Localização das estações meteorológicas.

Tabela 12 - Média mensal das estações meteorológicas para o período de dados.

Temperatura média mensal para o período de dados (Graus)				
Mês	Estações			
	Cruz Alta	Iraí	Passo Fundo	São Luiz Gonzaga
Jan	23,61	25,47	22,25	26,10
Fev	22,89	24,85	21,69	25,12
Mar	21,87	23,75	20,71	24,01
Abr	19,05	20,41	18,12	20,90
Mai	15,59	16,37	14,72	17,32
Jun	13,70	15,25	13,02	15,68
Jul	12,82	14,50	12,35	14,62
Ago	14,84	16,65	14,25	16,80
Set	15,90	18,33	15,19	18,03
Out	18,85	21,06	18,02	20,93
Nov	21,21	22,93	20,04	23,19
Dez	23,36	24,83	22,04	25,46

A temperatura média manteve um padrão de distribuição em todas as estações durante o período, sendo que a estação São Luiz Gonzaga registrou as

médias mais elevadas de temperatura na maioria dos meses. Em contraponto, a estação Passo Fundo registrou as médias de temperaturas mais baixas, como demonstrado na Figura 25.

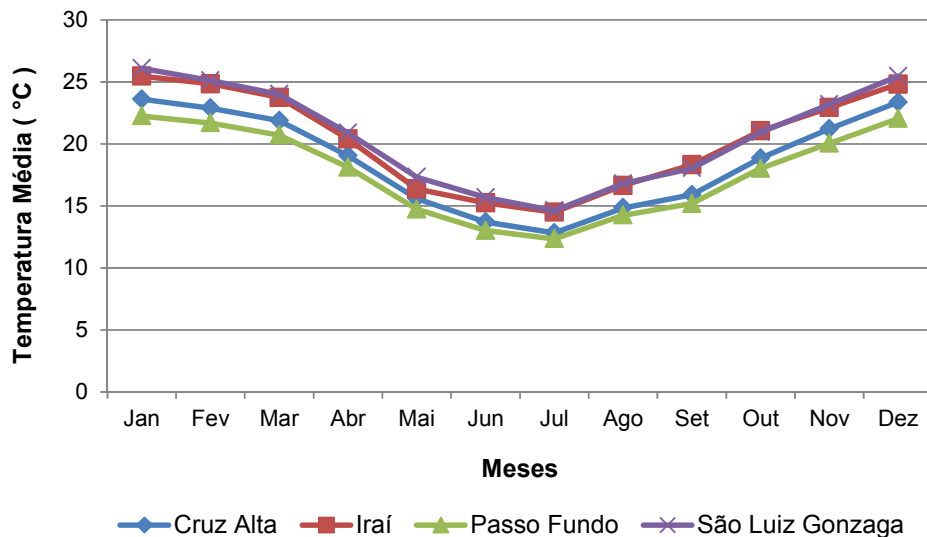


Figura 25 - Temperatura média mensal para o período.

A bacia está inserida em uma região onde a média para os meses de verão não ultrapassam os 25°C de temperatura e as médias mínimas permanecem em torno de 12°C. No entanto, a região pode apresentar nos meses de inverno temperaturas abaixo dos 5°C.

3.2.1.8.3 Precipitação média

A precipitação média foi obtida através dos dados das estações pluviométricas da Agência Nacional das Águas (ANA), disponíveis para download no site da respectiva agência.

Foram utilizados os dados referente aos anos de 1983 a 2012, exceto os anos de 2007 e 2009 os quais apresentaram um número muito elevado de falha nos dados coletados na maioria das estações. Portanto, totalizando 17 anos de dados

coletados foi então realizada a consistência dos dados relativos à precipitação para o devido preenchimento das falhas existentes. Na Tabela 13 apresentam-se as estações meteorológicas utilizadas para coleta dos dados de precipitação do respectivo período.

Tabela 13 - Estações meteorológicas relativas aos dados pluviométricos.

Código	Estação	Latitude (°)	Longitude (°)
2754009	Tucunduva	-27,65	-54,44
2755001	Porto Lucena	-27,84	-55,02
2852006	Carazinho	-28,28	-52,79
2853023	Condor	-54,32	-28,38
2853028	Anderson Clayton	-28,65	-53,60
2854003	Giruí	-28,01	-54,33
2854005	Passo Major Zeferino	-28,73	-54,63
2854006	Passo Viola	-28,20	54,61
2854013	São Bernardo	-28,90	-54,07
2855001	Garruchos	-28,16	-55,63
2855002	Passo do Sarmiento	-28,20	-55,32
2953030	Tupãciretã	-29,09	-53,82

Ganham destaque os meses de outubro e abril que apresentaram as maiores médias em praticamente todas as estações durante o período analisado. No entanto, o mês de agosto foi o que manteve as menores médias em praticamente todas as estações para o mesmo período. A precipitação média mensal calculada para o período de dados nas estações que compreendem a região da bacia pode ser observada na Figura 26.

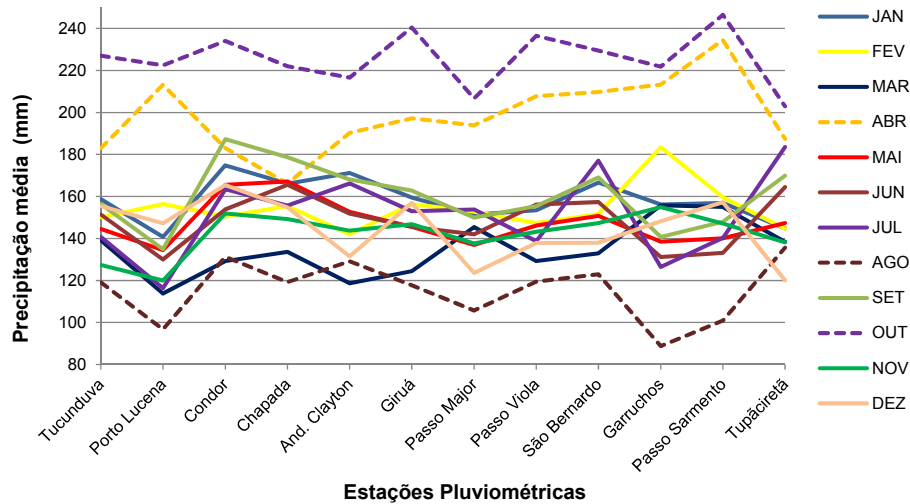


Figura 26 - Precipitação média mensal para o período de dados.

Os valores mínimos mensais foram relativamente baixos nos meses de agosto e janeiro, indicando que, quando ocorrem estiagens, as mesmas podem ser severas. Foram detectados alguns episódios de precipitação mensal nula. Da mesma forma, quando se analisam os valores máximos médios mensais, percebem-se vários episódios de grandes volumes precipitados. Percebe-se que em meses como outubro os valores ultrapassam os 250 mm mensais.

Nas estatísticas de máximas diárias, os valores médios ultrapassam os 200 mm por dia em muitas estações. A verificação dos valores máximos diários mês a mês indica que os valores máximos anuais podem ocorrer em diversos meses do ano, não se identificando um período mais provável de chuvas intensas.

3.2.1.8.4 Capacidade Máxima de Água Disponível (CAD)

Uma vez que o objetivo é determinar o armazenamento de água no solo, é imprescindível saber qual a máxima quantidade de água que o solo em questão pode reter, na forma líquida (UFES, 2002), até a profundidade efetiva das raízes da cultura que se pretende inserir no território em análise. Essa grandeza denomina-se Capacidade Máxima de Água Disponível (CAD), a qual pode ser determinada segundo o autor por meio da seguinte expressão:

$$\text{CAD} = \frac{(\text{CC}-\text{PMP}) * \text{Da} * z}{10}$$

Equação 9

Em que:

CAD = capacidade máxima de água disponível (mm);

CC = umidade do solo à capacidade de campo (%peso);

PMP = umidade do solo ao ponto de murcha permanente (%peso);

Da = densidade aparente do solo (g/cm^3);

z = profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (cm).

O cálculo da CAD para bacia considerou a inserção do cultivo de floresta plantada sobre o território. Os respectivos valores para uso da CAD considerados para este trabalho foram determinados segundo pela Fundação Zoobotânica do Estado do Rio Grande do Sul⁵, respeitados os solos presentes na região de localização das estações pluviométricas.

A partir das informações (temperatura média, pluviosidade média e CAD) foi possível obter por meio da Equação 6 os valores do lu respectivo a cada estação, podendo assim determinar os tipos de clima ocorrentes no território da bacia hidrográfica, conforme descritos na Tabela 14.

⁵ http://www.fzb.rs.gov.br/novidades/silvicultura/recursos_hidricos- Acesso em março de 2013

Tabela 14 - Valor do Índice de umidade calculado para as estações pluviométricas e respectiva tipologia climática.

Código	Estação	CAD (mm)	Iu (%)	Clima	Id	Área (km²)
2853023	Condor	400	97,150	Úmido - B4	1	8.099,08
2854013	São Bernardo	400	92,263	Úmido - B4	1	
2953030	Tupã	350	89,831	Úmido - B4	1	
2853028	Anderson Clayton	350	89,509	Úmido - B4	1	
2854003	Giruá	400	86,176	Úmido - B4	1	
2854005	Passo Major Zeferino	100	84,543	Úmido - B4	1	1.660,98
2854012	Coimbra	400	78,318	Úmido - B3	2	
2855001	Garruchos	260	70,591	Úmido - B3	2	
2855002	Passo do Sarmento	400	61,405	Úmido - B3	2	
2754009	Tucunduva	400	59,510	Úmido - B2	3	
2755001	Porto Lucena	260	56,951	Úmido - B2	3	971,74
2854006	Passo Viola	400	57,124	Úmido - B2	3	

Para determinação da área de influência de cada estação foi realizada a Krigagem Linear⁶ (em software ArcGIS[®]10) dos pontos de localização das estações de pluviosidade correspondentes aos dados utilizados para a bacia hidrográfica, resultando assim na projeção sobre o território dos valores relativos ao clima calculado para as regiões que cada estação compreende e conseqüentemente para a região da bacia hidrográfica.

Inserida em uma área classificada como de clima do tipo úmido, a bacia apresenta 03 classes distintas, variando do tipo úmido B4 ao úmido B2, de acordo com a classificação de Thornthwaite; Mather (1955) (Figura 27).

⁶ Krigagem: Método geoestatístico estimador que leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas (CÂMARA; AGUIAR, 1996).

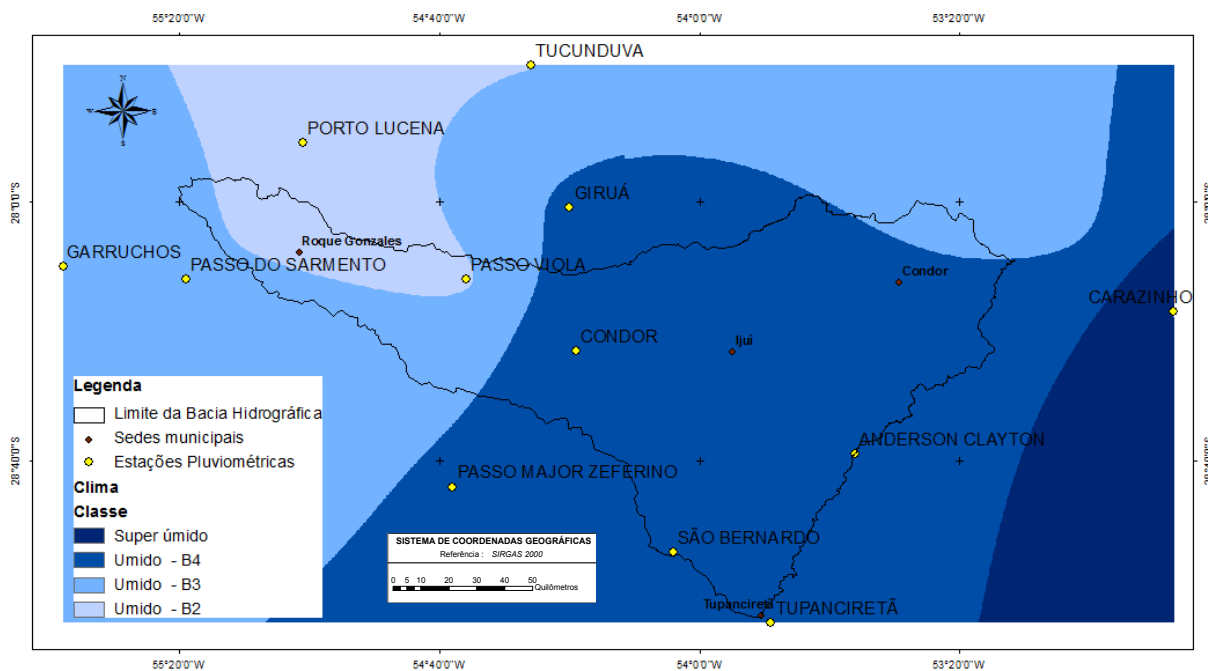


Figura 27 - Mapa das estações pluviométricas e área de influência da bacia.

Pode-se observar na Figura 28 que mais de 75% da área da bacia está inserida em uma região de clima tipo úmido-B4, caracterizado por apresentar um índice de umidade elevado (entre 80 e 100%) apresentando uma precipitação total acumulada que pode ultrapassar os 1700 mm. Por outro lado, menos de 10% da bacia está inserida em uma região caracterizada como sendo de clima úmido B2, que segundo os autores não ultrapassa, em média, 1600 ml precipitado em um ano.

As três regiões climáticas classificadas para a área da bacia hidrográfica do rio Ljuí são apresentadas na Figura 28.

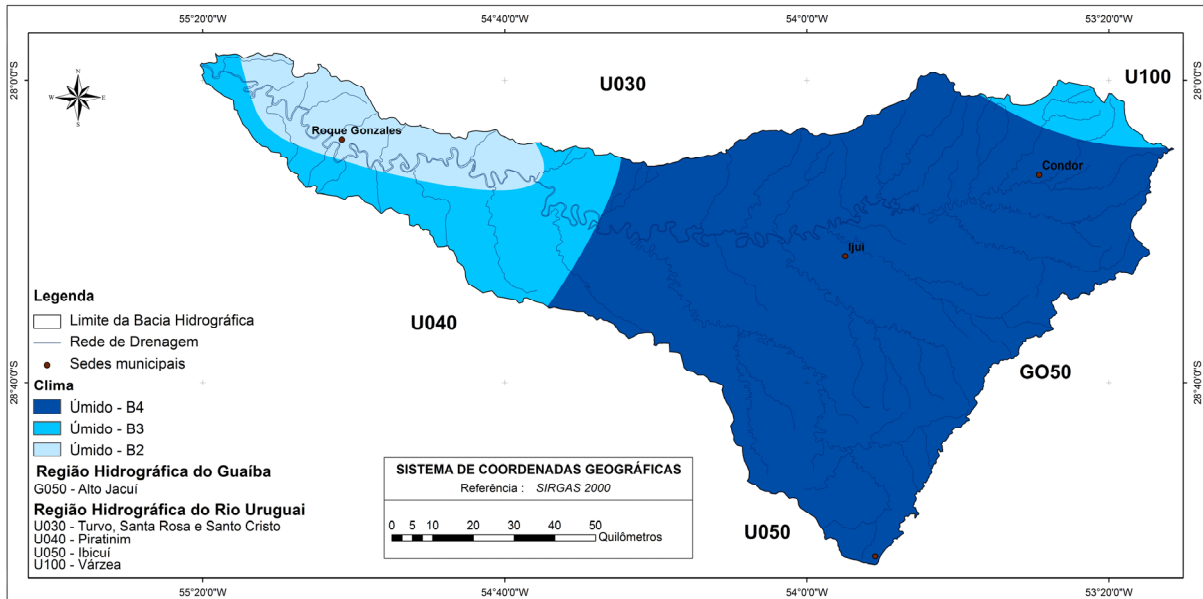


Figura 28 - Mapa climatológico na região da bacia.

De acordo com Nakase (2008) a demanda hídrica da bacia é distribuída da seguinte forma: 77% referem-se à irrigação de terras altas, 12,5% corresponde ao abastecimento urbano e industrial, 2,34% ao abastecimento rural, 7,30% para criação animal e menos de 1% para irrigação de arroz.

3.2.2 Indicadores antropogênicos

Qualquer que seja o modelo de empreendimento que se é proposto remete-se a um determinado impacto, seja ele positivo ou negativo. No caso das mudanças que podem ocorrer sobre o território esses impactos não alcançam esferas apenas ambientais, mas também sociais, econômicas e também culturais da região de interesse. Esses valores de impactos positivos e negativos podem ser descritos pelos indicadores antropogênicos.

No que se refere à atividade de silvicultura existem alguns parâmetros de interesse antropogênicos que são considerados fundamentais para análise da viabilidade da implantação em um determinado local. Isso ocorre devido ao fato de que áreas que apresentam baixos índices de desenvolvimento, por exemplo, podem ser introduzidas em processo de tomada de decisão sobre a alocação desses

empreendimentos, no intuito de proporcionar uma melhoria em alguns dos indicadores dessa área.

As principais fontes de informação para a construção dos indicadores antropogênicos são extraídas do Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Ministério do Trabalho e do Emprego. No contexto deste trabalho as análises são desenvolvidas sobre as unidades básicas político-administrativas dos municípios, sendo selecionados aqueles pertencentes à bacia hidrográfica do rio Ijuí. São também utilizados alguns dados referentes à área de estudo cedidos por UFSM; UNIPAMPA (2011).

3.2.2.1 Infraestrutura

O indicador Infraestrutura visa apresentar áreas com os melhores acessos, fundamentais para auxiliar o processo de planejamento e definição das áreas potenciais para a implantação da atividade de silvicultura. Segundo a ABRAF (2012) um dos fatores que diminui o nível de atratividade para investimentos em florestas plantadas é a limitação imposta pela infraestrutura deficiente do país em vias de acesso, rodovias, ferrovias e portos, o que acarreta em custos adicionais ao transporte da madeira para as fábricas e para o escoamento dos produtos.

A infraestrutura nacional atrofiada gera gargalos operacionais e aumento dos custos logísticos da atividade industrial [...], as maiores empresas nacionais de base florestal, possuem um custo com logística da ordem de 9,5% (ABRAF, 2012). A proximidade da rede viária para Da Costa (2001) influencia na aptidão, pois afeta a produção, o escoamento da madeira e os custos inerentes à produção. Portanto, quanto menor for esta distância, mais adequada é a área, pois facilita o suprimento de água, insumos, mão-de-obra e principalmente o escoamento da produção, diminuindo custos inerentes desse processo.

Para a construção desse indicador, foi levantada e atualizada a rede viária com base em mapas disponibilizados pelo DNIT, FEPAM, e Epagri sendo classificada de acordo com a sua dominialidade (Municipal, Estadual e Federal), e estrutura conforme apresentado na Tabela 15. As ferrovias também foram

consideradas no mapeamento por apresentarem-se como uma ótima alternativa de escoamento da produção florestal.

Tabela 15 - Classificação e extensão da estrutura da rede viária e ferroviária.

Infraestrutura	Extensão (km)
Municipal não pavimentada	4.461,85
Municipal pavimentada	15,05
Estadual não pavimentada	357,03
Estadual pavimentada	67,33
Federal pavimentada	145,70
Federal não pavimentada	114,64
Total de vias pavimentadas	228,08
Total de vias não pavimentadas	4.933,53
Ferrovia	227,08

Assim, considerando a estrutura que as rodovias (com pavimentação e sem pavimentação) e as ferrovias pertencentes à bacia hidrográfica apresentam, geram-se distintos *buffers*⁷ no entorno das rodovias com distâncias de um, cinco e dez quilômetros, respectivamente conforme apresenta a Tabela 16.

Tabela 16 – Dimensões dos *buffers* das vias e ferrovias.

Via	Buffer (km)
Rodovia pavimentada	01 e 05
Rodovia não pavimentada	01
Ferrovia	10

⁷ Técnica utilizada para representações de níveis de distanciamento nos mapas, o qual gera uma região de entorno aos elementos (*shapefile*) selecionados.

Para as rodovias pavimentadas foram construídos um *buffer* de um quilometro de distancia das vias e outro representando cinco quilômetros. No caso das rodovias não pavimentadas foi gerado apenas um buffer com uma distancia de um quilometro de todas as vias. No caso das ferrovias existentes na região, foi gerada uma área de entorno de 10 quilômetros.

A distância da infraestrutura considera uma maior potencialidade para inserção da atividade de silvicultura quanto mais próxima à atividade esteja de uma via de acesso, e melhor seja a infraestrutura que a via apresenta.

Essa identificação e mapeamento se faz necessário, pois segundo Malinovski et al. (2004) a construção, reforma e manutenção das estradas representam, depois da floresta, o maior investimento num empreendimento florestal.

Portanto, considera-se que quanto mais próxima à área de implantação de um empreendimento florestal estiver de uma rodovia com pavimentação, menores serão os custos envolvendo a construção e manutenção das estradas e, portanto, mais adequada economicamente para atividade ela estará.

Posteriormente é atribuído para cada *buffer* um valor de identificação, destacando a importância do local levando em conta a relação estrutura da rede viária *versus* distância da área do investimento, sendo determinado de acordo com a Tabela 17. Como ocorrem sobreposições das áreas de cada um dos distintos *buffers* é necessário que seja observado as condições a que cada região se refere conforme a respectiva tabela supracitada.

Portanto, considera-se que quanto menor for o valor atribuído para a região, maior seriam as potencialidades econômicas deste indicador para atividade de silvicultura. Sendo assim, as áreas que estiverem localizadas até um quilometro das rodovias pavimentadas, por exemplo, apresentariam menores custos em relação à implantação ou manutenção das vias de acesso, e conseqüentemente, menor seria o tempo para o deslocamento até a área do investimento, tornando-se uma área com maior potencial econômico para atividade.

Ao contrário, as áreas localizadas acima de 10 km de distância de um acesso sem pavimento estariam classificadas como as que apresentam menor potencial, tanto pela distância a ser percorrida até a área do empreendimento, como também, pelas condições de acesso que a rodovia pode apresentar exigindo maiores investimentos para sua adequação às necessidades que requer a atividade florestal.

Tabela 17 - Valor atribuído à variável estradas e ferrovias.

Via	Rodovia pavimentada até 1 km de distância	Rodovia pavimentada até 5 km de distância	Rodovia não pavimentada até 1 km de distância	Rodovia pavimentada acima de 5 km de distância	Ferrovia	Rodovia não pavimentada acima de 10 km de distância
Rodovia pavimentada até 1 km de distância	1	7	8	9	10	11
Rodovia pavimentada até 5 km de distância	-	2	12	13	14	15
Rodovia não pavimentada até 1 km de distância	-	-	3	12	16	17
Rodovia pavimentada acima de 5 km de distância	-	-	-	4	18	19
Ferrovia	-	-	-	-	5	20
Rodovia não pavimentada acima de 10 km de distância	-	-	-	-	-	6

Na Figura 29 é apresentada a distribuição das áreas de maior a menor influência em relação ao indicador infraestrutura viária e ferroviária.

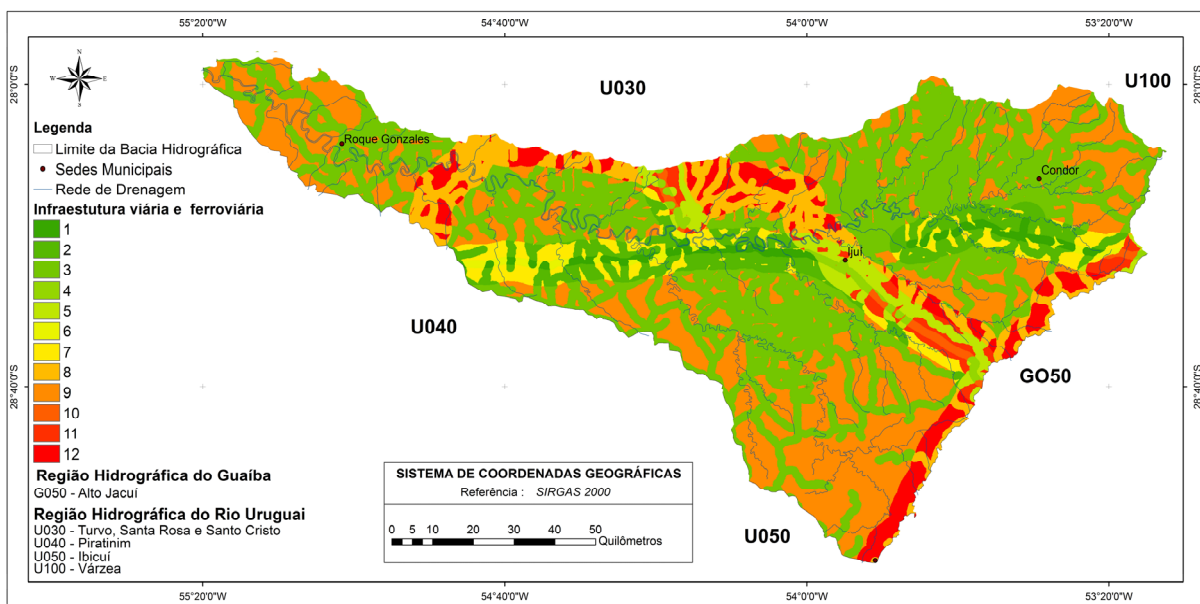


Figura 29 - Mapa infraestrutura viária e ferroviária.

Analisando os valores considerados pela Tabela 17, podemos observar que o mapa da Figura 29, apresenta uma escala com os valores de 1 a 12, o que demonstra não ocorrer as áreas correspondentes aos cruzamentos com aos valores acima desta escala.

3.2.2.2 Uso e cobertura da terra

O planejamento de uma atividade a qual se deseja implementar sobre o território tem a premissa de determinar e expor os usos e ocupações já inseridas na área objeto da ação, assim como, a análise das possíveis alterações que essas ações podem causar no território.

As atividades florestais passaram nos últimos anos a serem praticadas em áreas de melhor fertilidade, as quais por muito anos eram automaticamente destinadas à produção agrícola ou à pecuária, e passam agora a competir com estas formas de uso. Portanto, estabelecida a importância desse indicador para o objetivo do estudo que aqui se propõe, consideraram-se um período de mudanças do uso e cobertura do território da bacia hidrográfica de 06 anos, utilizando para isso as informações referentes aos anos de 2006 e 2013. A escolha das datas ocorre pelo fato dos investimentos no setor florestal no Estado do RS terem ganhado maior espaço a partir do ano de 2005, o que vem a refletir nos dados coletados pelas imagens de satélite capturadas a partir do ano de 2006.

Para os dados do ano de 2006 foram utilizadas as imagens oriundas do satélite Cbers 2, e para o ano de 2013 imagens do satélite LandSat 8, disponíveis gratuitamente pela *National Aeronautics and Space Administration – NASA*⁸ A definição pela utilização de distintas origens de imageamento, ocorreu pelo fato de não haver disponível um imageamento da região da bacia pelo satélite LandSat8, para o ano de 2006, com um mínimo adequado de recobrimento de nuvens para sua posterior classificação. Sendo assim, foi determinada utilização de imagens Cbers 2

⁸ <http://earthexplorer.usgs.gov/> - Acesso em junho de 2013

disponíveis para a região da bacia e que apresentavam um menor recobrimento de nuvens no período.

Na Tabela 18 são apresentadas as características das imagens utilizadas para a classificação do uso e ocupação da terra da bacia para os dois períodos.

Tabela 18 - Descrição das imagens utilizadas nos dois períodos de dados.

Imagens	Órbita ponto	Data	Pixel(m)	Ano	Fonte
Cbers 2 CCD	160-131	07/07	20*20	2006	NASA
	160-132	11/12			
	161-132	10/10			
	162-131	04/10			
LandSat 8 OLI	223-079	11/02	30*30	2013	NASA
	223-080	11/02			
	224-079	18/03			

As classes de uso e ocupação determinadas para a bacia hidrográfica do Ijuí e respectivas áreas de abrangência nos anos de 2006 e 2013, podem ser observadas na Tabela 19.

Tabela 19 - Classes de uso e ocupação nos anos de 2006 e 2013.

Classes de Uso e Cobertura	Id	Área (km ²) 2006	(%)	Área (km ²) 2013	(%)	≠
Agricultura	1	6.832,25	63,66	7.366,35	68,64	+4,98
Campo	2	2.513,89	23,42	1.210,40	11,28	-12,15
Floresta Nativa	3	1.005,94	9,37	1.971,12	18,37	+8,99
Água	4	302,95	2,82	92,72	0,86	-1,96
Silvicultura	5	6,92	0,06	14,49	0,14	+0,07
Área Urbana	6	69,91	0,65	76,78	0,72	+0,06
Total	-	10.731,86	100	10.731,86	100	-

A classe de uso e ocupação predominante na bacia é a de agricultura, isso porque, a região em que está inserida é tradicionalmente conhecida pela produção agrícola extensiva, principalmente de grãos. Nota-se que entre os anos de 2006 e 2013 a agricultura ganha espaço em aproximadamente 5% do território da bacia hidrográfica advinda, sobretudo das áreas classificadas como campo, as quais se inserem tanto as áreas de campo nativo, como as utilizadas pela prática da pecuária.

Em consideração aos números apontados pelo Censo Agropecuário do IBGE do ano de 1996, observa-se que entre 1970 e 1996 houve uma perda de 3,5 milhões de hectares na superfície de pastagens naturais (campos) no Rio Grande do Sul, o que corresponde a uma taxa de conversão de quase 140 mil hectares por ano. (SILVA, 2012). O autor destaca de forma preocupante o fato que o Rio Grande do Sul ter apenas 0,36% dos ecossistemas campestres protegidos por algum tipo de unidades de conservação, mostrando-se ser pouco valorizado tanto pelo poder público quanto pela sociedade.

No entanto, o aumento mais expressivo ocorre para a classe denominada floresta nativa, a qual apresenta um ganho em torno de 9,0%, representando uma área aproximada de 965km². Esse aumento deve-se primeiramente à qualidade inferior das imagens correspondentes ao primeiro período (2006), tornando mais difícil a determinação das classes de uso e ocupação.

Outro fator importante para que houvesse o aumento dessa classe no período analisado foi a maior exigência por parte dos órgãos ambientais para o enquadramento da legislação ambiental nas propriedades rurais e municípios da bacia hidrográfica, fazendo com que se efetivassem muitas das áreas caracterizadas por Lei como sendo de preservação permanente e/ou reserva legal. Apesar do aumento expressivo as áreas de floresta nativa representam em 2013 apenas 18,37% do território da bacia, com predominância da vegetação remanescente da Floresta Estacional Semidecidual (Mata Atlântica).

Porém, no que diz respeito à biodiversidade da região, apesar de não quantificada neste trabalho, ela reflete-se nos indicadores fauna e flora. Assim, nota-se que a principal ameaça às espécies representantes da fauna na região da bacia tem sido a fragmentação as áreas de vegetação natural, bem como a sua conversão para outras formas de uso e ocupação, ocasionando a perda do seu hábitat.

Em relação à atividade silvícola, ainda que pouco expressiva, é possível identificar que durante o período de 6 anos ocorreu um pequeno aumento das áreas de efetivo plantio, assim como das áreas urbanas e urbanizadas na região da bacia. É importante ressaltar o fato de que a diminuição da classe Água, a qual corresponde aos cursos d'água, barragens e açudes são devido a confusões que ocorrem no momento da classificação dos usos, em função das distintas datas de obtenção das imagens e da sua baixa resolução espacial. Um exemplo é a ocorrência de possível confusão da refletância da vegetação em estágio juvenil nas imagens de 2006, passando estas a serem identificadas como uso água. As alterações (em porcentagem) das classes de uso e ocupação da bacia hidrográfica entre os anos de 2006 e 2013 são apresentadas na Figura 30.

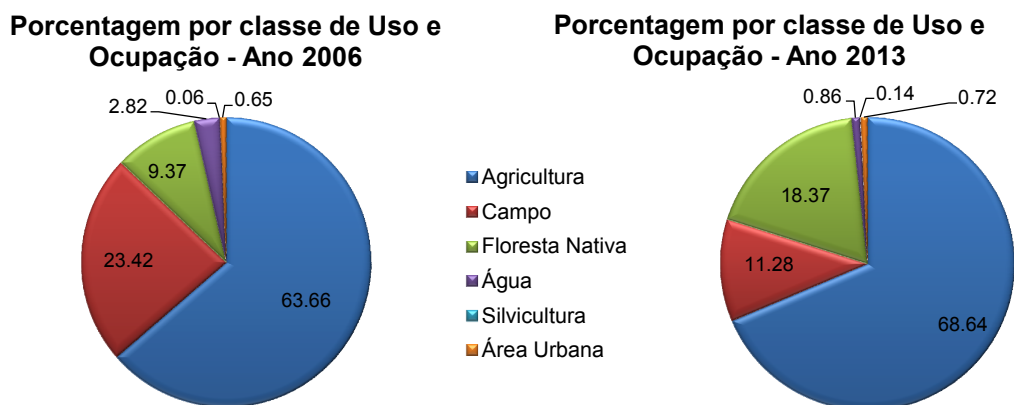


Figura 30 - Alteração do uso e cobertura da terra (%) na bacia hidrográfica do Ijuí.

3.2.2.3 Índice de desenvolvimento socioeconômico

Para analisar a região dos investimentos quanto aos aspectos sociais, será utilizado o Índice Desenvolvimento Socioeconômico (IDESE) elaborado pela Fundação de Economia e Estatística (FEE). Embora contemple variáveis econômicas na base de cálculo, este índice é composto, na maior parte, por indicadores sociais.

O IDESE é um índice sintético, composto por 12 indicadores divididos em quatro blocos: Educação, Renda, Saneamento, Domicílios e Saúde, de acordo com a fundação supracitada. Esses indicadores são transformados em índices e, posteriormente agregados segundo os blocos aos quais pertencem, gerando assim, quatro novos índices (um para cada bloco). A agregação dos índices desses blocos resulta então no valor do respectivo IDESE, neste caso um valor respectivo para cada município.

Com este índice é possível classificar uma determinada região quanto ao seu nível de desenvolvimento, porque a escolha dos limites é feita com base em parâmetros internacionais (tal como adotado pela ONU no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)), permitindo assim, que as unidades geográficas às quais os índices se referem sejam classificadas quanto ao seu nível de desenvolvimento em relação a qualquer localidade (FEE, 2013). Portanto, assim como no IDH, as unidades geográficas podem ser classificadas pelos índices segundo Grando; Fochezatto (2008) em três grupos: baixo desenvolvimento (índices até 0,499), médio desenvolvimento (entre 0,500 e 0,799) e alto desenvolvimento (maiores ou iguais a 0,800) (FEE, 2008).

O IDH permite acompanhar a melhoria na qualidade de vida da população através da relação entre o crescimento econômico e a melhoria das condições de bem estar social e leva em conta os indicadores socioeconômicos de renda, educação e longevidade (ABRAF, 2012). Portanto, o IDESE assim como o IDH, possui uma escala fixada entre zero e 1, e quanto mais próximo de 1 significa que mais desenvolvida está a sociedade daquele município no que refere-se aos parâmetros socioeconômicos.

Para construção desse indicador, foram utilizados os dados disponíveis no site da Fundação de Economia e Estatística para os anos de 2006 e 2009 (último ano de dados disponíveis). No ano de 2006 os municípios da bacia apresentaram um índice médio de desenvolvimento, permanecendo na faixa de 0,72, sendo que o município de Nova Ramada foi o que apresentou o menor valor respectivo ao índice (0,6143) e o município de Ijuí manteve o índice mais elevado dos municípios pertencentes à bacia hidrográfica, alcançando o valor 0,80.

Para o ano de 2009 o índice médio teve um pequeno aumento e apresentou um valor 0,7408 (Tabela 20). Neste ano o município que manteve o índice mais baixo foi Bozano com 0,6502, tornando-o protagonista da maior queda do IDESE

para o respectivo período (2006 e 2009), o qual diminuiu cerca de 4%. Em seguida, o município de Ajuricaba foi o segundo com a maior queda do índice, próximo de 1,36%, que pode ser observado no Apêndice A.

Em contraponto, o município com o maior crescimento do IDESE é Augusto Pestana, com aproximadamente 10% de elevação no respectivo período, seguido do município de Nova Ramada, que apesar de manter valores considerados baixos, teve um crescimento significativo de 6,51%. Assim, a bacia hidrográfica ao manter os valores médios de IDESE entre 0,72 e 0,74 para os dois períodos, pode ser enquadrada segundo Grando et al. (2008) na classe de médio desenvolvimento socioeconômico.

Tabela 20 - Valores do IDESE mínimo, máximo e médio nos anos de 2006 e 2009.

IDESE	2006	2009
Índice mínimo	0,6143	0,6502
Índice máximo	0,8000	0,8219
Média da bacia	0,7408	0,7209

Para uma melhor visualização o IDESE dividiu-se em 5 classes de agrupamentos. Nota-se pela Tabela 21 que no ano de 2006 a classe predominante é a com valores entre 0,65 e 0,70, passando no ano de 2009 a uma expressão quase igualitária (0,33%) nas as classes superiores correspondentes aos valores de 0,70 a 0,80 de IDESE. Isso demonstra uma melhora significativa do índice nos municípios que compreendem a região da bacia hidrográfica e conseqüentemente uma melhora dos fatores que compõem o índice.

Tabela 21 - Porcentagem dos valores do IDESE para os anos de 2006 e 2009.

Classe	Área 2006 (%)	Área 2009 (%)
0,60 – 0,65	4,39	2,01
0,65 – 0,70	62,03	19,37
0,70 – 0,75	26,73	33,74
0,75 – 0,80	6,84	33,06
> 0,80	4,39	11,81
Total	100	100

É expressivo o aumento da classe com valores de IDESE acima de 0,80, demonstrando que um número maior de municípios da bacia alcançaram as classes que representam alto desenvolvimento socioeconômico. Nas Figuras 31 e 32 podem-se observar os mapas das classes do IDESE para os anos 2006 e 2009 respectivamente.

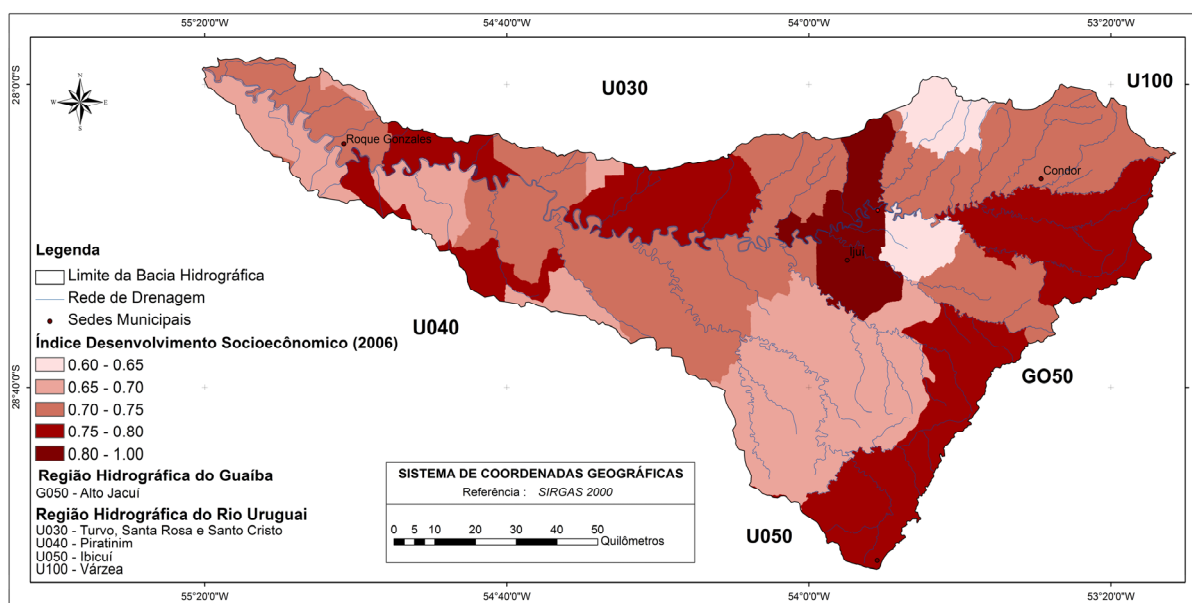


Figura 31 - Índice desenvolvimento socioeconômico para o ano de 2006.

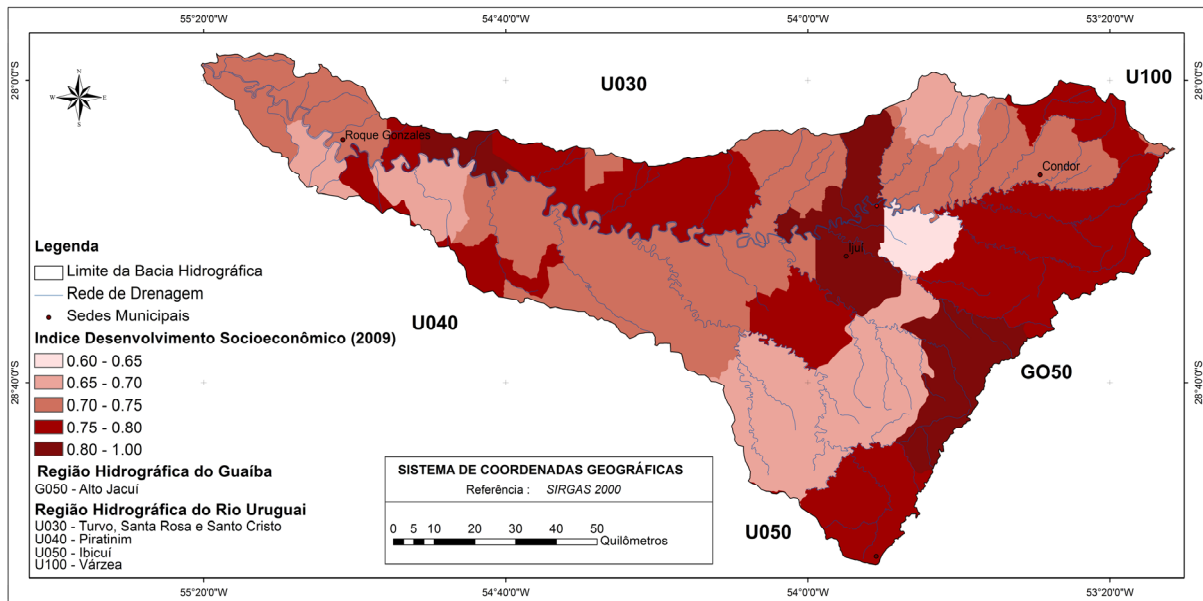


Figura 32 - Índice desenvolvimento socioeconômico para o ano de 2009.

Observa-se que a região leste da bacia hidrográfica (alto rio Ijuí) é a que apresenta maiores nuances de crescimento para os valores deste índice, pois é a região onde houve um número maior de municípios que passaram para as classes com índice acima de 0,65 como são os casos de Nova Ramada, Palmeira das Missões, Pejuçara e Augusto Pestana.

Este índice apresenta grande relevância quando se considera a introdução de investimentos no setor florestal para uma determinada região, visto que é capaz de demonstrar as regiões que apresentam carência nos indicadores constituintes da construção do IDESE, na qual a introdução da atividade florestal possa apresentar-se como uma alternativa viável para sua melhoria. Como os dados estão distribuídos em nível municipal, para a inserção no conjunto dos indicadores que forma a RNA, são mantidos para este indicador os valores reais do índice de cada município, possibilitando verificar as pequenas mudanças sobre o território.

3.2.2.4 Produto Interno Bruto - PIB

O produto interno bruto (PIB), expressa a soma (em valores monetários) de todos os bens e serviços finais produzidos numa determinada região (País, Estado ou município) em um período determinado (ano, mês, semestre, etc.), sendo considerado um dos indicadores econômicos mais utilizados para mensurar a atividade econômica de uma região.

Segundo Nakase (2008) considerando a bacia hidrográfica do rio Uruguai nacional, as sub-regiões do RS que apresentam o PIB mais elevado são as do Ijuí e do Apauê-Inhandava, estando em torno de 3,5 bilhões de reais, seguidas pelas sub-regiões do Várzea, do Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo e do Ibicuí. Em nível municipal o PIB mais elevado pertence à Erechim com 1,3 bilhões, Passo Fundo (1,2 bilhões), Uruguaiana (1 bilhão) e Ijuí com aproximadamente 943 milhões de reais. O autor destaca ainda que entre os anos de 1985 e 2005 a bacia hidrográfica do Ijuí perdeu representatividade do setor da agropecuária no PIB regional a qual permanecia próxima dos 35%, passando (em 20 anos) a representar apenas 10% do seu valor. Essa queda também aconteceu com o setor da indústria a qual diminuiu aproximadamente 5% da sua representatividade. No entanto, no período analisado o autor destacou o crescimento do setor de serviços que apresentou um aumento próximo de 20% no valor PIB para a região da bacia, fortalecendo a importância desse setor para economia regional.

Os dados do PIB referentes aos municípios integrantes da bacia foram obtidos no site da Fundação de Economia e Estatística (FEE-RS)⁹, sendo utilizados para análise os valores referente à participação no PIB pelos municípios integrantes da bacia nos anos de 2006 e 2010, último ano com dados disponíveis (Tabela 22).

⁹ Disponível em <http://www.fee.rs.gov.br/feedados/consulta/ sel_modulo_pesquisa.asp - Acesso em março de 2013

Tabela 22 - Porcentagem de municípios por classes da participação dos municípios no PIB para os anos de 2006 e 2009.

Classe PIB Participação (%)	Id	2006 Municípios (%)	2010 Municípios (%)
0 – 0,10	1	84,00	76,00
0,10 – 0,20	2	2,63	5,26
0,20 – 0,40	3	7,89	10,52
0,40 – 0,60	4	2,63	2,63
> 0,60	5	2,63	5,26
Total		100	100

A região da bacia apresentou crescimento na participação do PIB Estadual em mais 75% dos municípios entre 2006 e 2010, representando um aumento significativo de 9,38%, fortalecendo o setor econômico Estadual onde, segundo a FEE, o Estado do RS apresentou em 2010 um desempenho bastante positivo, com o PIB (em valores nominais) crescendo 17,0%. Apesar de ocorrer um aumento da participação da região da bacia, 76% dos municípios estão na classe de 0 a 0,01% de participação, demonstrando a necessidade de fortalecimentos dos setores contribuintes.

Porém, é significativo o aumento para a classe de 0,20 a 0,40 representando que gradativamente os municípios da região estão se desenvolvendo em algum dos setores, ganhando destaque na economia Estadual, como é o caso dos municípios que passaram para a classe acima de 0,60% demonstrando o crescimento na economia regional. A Figura 33 apresenta o mapa das classes relativas ao valor do PIB per capita no ano de 2006 dos municípios integrantes da bacia hidrográfica do rio Ijuí e a Figura 34 os valores respectivos ao ano de 2010.

As principais alterações ocorreram em alguns dos municípios da região leste da bacia, como o município de Cruz Alta que passou de uma participação de 0,56% para 0,67% durante o período.

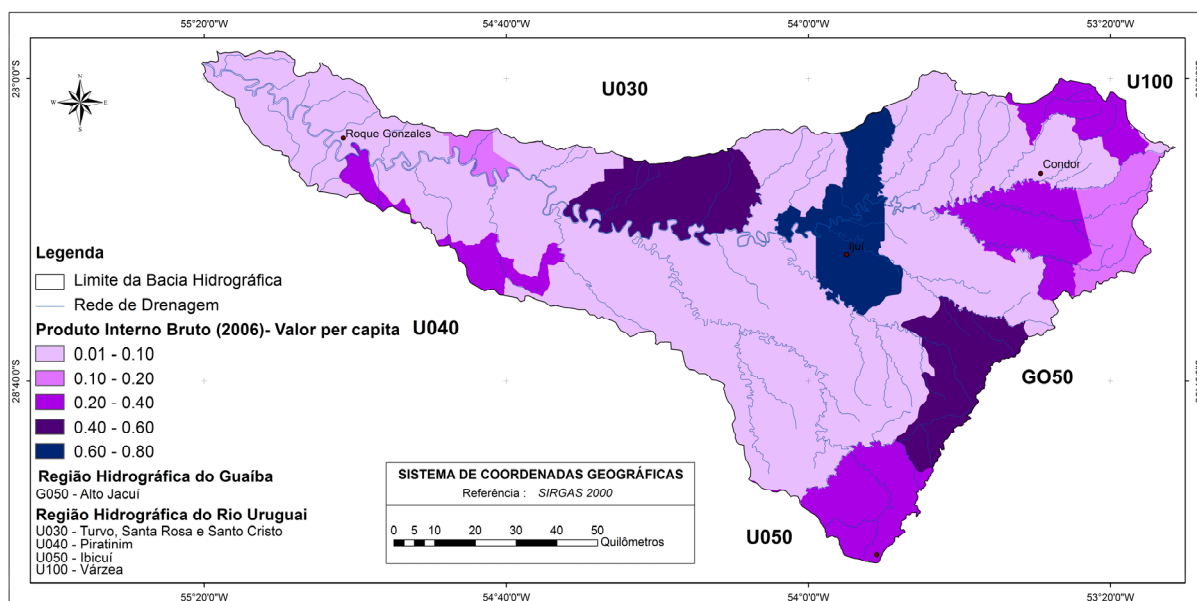


Figura 33 - PIB per capita dos municípios no ano de 2006.

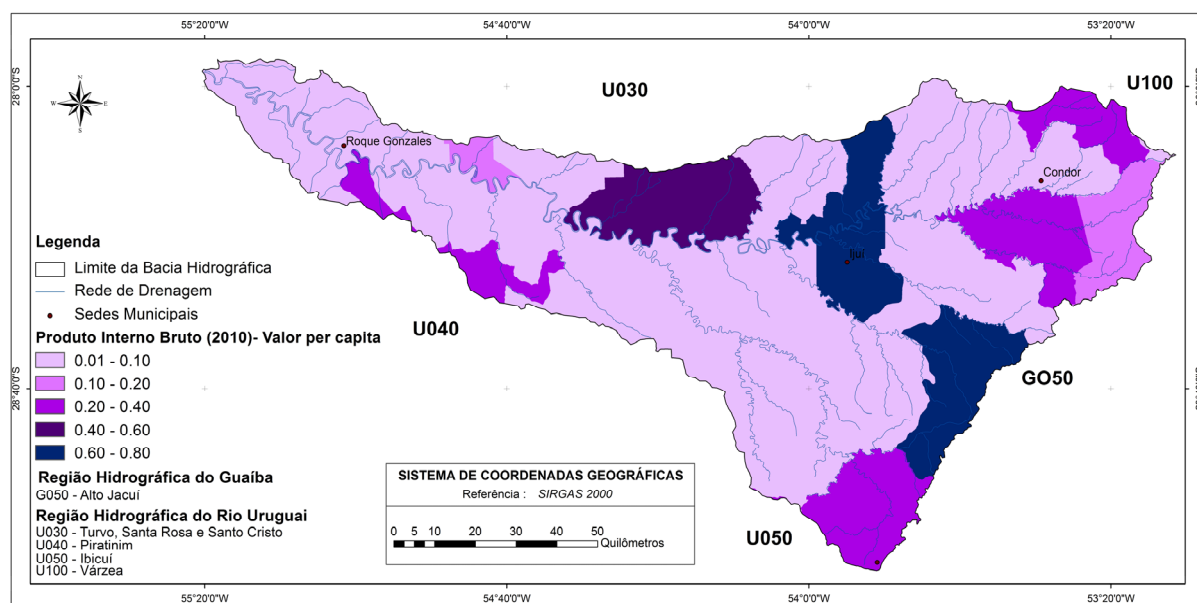


Figura 34 - PIB per capita dos municípios no ano de 2010.

O PIB é um dos indicadores econômicos de grande importância no que se refere à introdução dos investimentos do setor florestal, pois tem sido observado segundo FEE (2008) que apesar de representarem apenas 4,6% do PIB do RS, em 2004, 12 dos 57 municípios localizados na metade Sul do Estado, contemplados com os investimentos florestais apresentaram PIB per capita acima do estadual e

dentre os 45 restantes, somente sete permaneceram numa faixa com PIB até 20% inferior ao do RS. Demonstrando que a inclusão da atividade florestal nestas regiões proporcionou uma melhoria significativa das condições econômicas na região.

3.2.2.5 Estrutura fundiária

A estrutura fundiária do Estado do Rio Grande do Sul se diferencia de acordo com a região, alternando predomínio de grandes e médias propriedades com médias e pequenas unidades de produção. De acordo com os dados publicados pela Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã (SEPLAG)¹⁰ em 2013, do total dos estabelecimentos do Estado, 85,8% possuem menos de 50 hectares, ocupando 24,4% da área utilizada pela agropecuária. No entanto, as propriedades com mais de 500 hectares representam 1,83% dos estabelecimentos, ocupando 41,9% da área rural.

Na bacia hidrográfica do rio Ijuí 84,92% dos estabelecimentos rurais possuem área menor que 50 hectares e um pouco mais de 1,5% das propriedades tem área acima de 500 hectares, de acordo com o último censo agropecuário do IBGE.

Na construção desse indicador foram consideradas de cada município apenas as propriedades rurais com área acima de 10 hectares, as quais tem sido observado um maior interesse por parte dos agricultores na implantação da atividade de silvicultura como complementar as atividades já existentes. Essa definição também se atribui ao fato de que a implantação sistemas de parceria agricultor/empresas, como a exemplo dos programas de fomento florestal, são mais intensificados nas propriedades a partir dessa dimensão, sendo já realizados por outros Estados como Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, etc.

Programas de fomento florestal do ponto de vista social, segundo ABRAF (2012) atenuam a concentração fundiária, viabilizam atividades locais, criam e diversificam oportunidades de renda adicional, injetando recursos nos municípios respectivos, e auxiliam a fixação do homem no campo. As modalidades descritas

¹⁰ <http://www1.seplag.rs.gov.br/atlas> - Acesso em: 10 de novembro de 2013.

pelo autor como as mais frequentes são o fornecimento de mudas de espécies florestais, insumos, assistência técnica, programas de antecipação de renda ao produtor e garantia da compra da madeira pela empresa à época da colheita, o que até 2011 já teria beneficiado mais de 15 mil proprietários rurais e ultrapassado os 439 mil hectares destinados à execução desse tipo de programa.

Os dados relativos à estrutura fundiária foram obtidos do banco de dados pertencentes ao último censo agropecuário realizado pelo IBGE no ano de 2006. Apresentando as informações em nível municipal, este indicador considerou o valor percentual de propriedades com área acima de 10 hectares existente em cada um dos 38 municípios integrantes da bacia hidrográfica. Os valores percentuais das propriedades por município foram organizados em 5 classes distintas, conforme apresentado na Tabela 23, contendo a porcentagem de municípios por classe e respectivas áreas de abrangência sobre o território foco do estudo.

Tabela 23 - Porcentagem de propriedades acima de 10 ha e área de abrangência.

Propriedades rurais (por município) com área acima de 10 ha (%)	Id	Municípios por classe (%)	Área (%)
0 - 50	1	7,89	4,46
50 - 60	2	44,0	29,70
60 - 70	3	28,0	36,0
70 - 80	4	15,0	27,82
>80	5	2,60	2,01
Total	-	100	100

Pode-se observar que aproximadamente 65% do território da bacia hidrográfica é formado por propriedades com área acima de 10 ha. No entanto, se considerarmos as três grandes regiões da bacia (baixo, médio e alto Ijuí) é notório pela Figura 35 que a região do baixo rio Ijuí é a que apresenta a maior concentração de propriedades com áreas abaixo de 10 ha, caracterizando uma região de pequenas propriedades rurais. Como já observado no indicador do PIB, esta região

apresenta pouca participação no desenvolvimento econômico Estadual quando comparada com as regiões do médio e alto Ijuí, demonstrando ser um setor ainda pouco desenvolvido nesta microrregião.

O mapa dos municípios classificados pela concentração (porcentagem) de propriedades rurais acima de rurais acima de 10 ha pode ser observado na Figura 35.

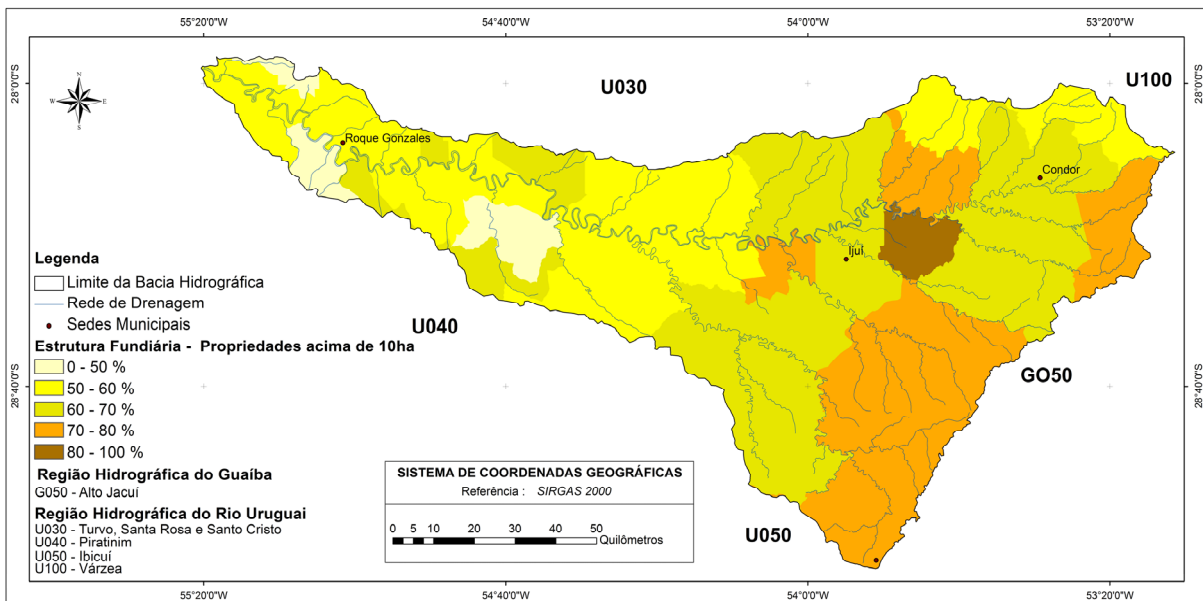


Figura 35 - Estrutura fundiária.

As regiões do médio e alto rio Ijuí concentram as propriedades com a maior área (ha), a exemplo do município de Cruz Alta que apresenta mais de 37% das propriedades rurais com área acima de 100 ha, seguido do município de Santa Bárbara do Sul com 24% das propriedades e Tupanciretã com 20%. Localizados na região do médio e alto Ijuí esses três municípios se destacam no setor agropecuário, tendo como foco principal a produção agrícola de grãos (soja e trigo).

Os municípios da bacia apresentam entre 51 e 80% das suas propriedades rurais com áreas menores que 50 ha. Como no caso do município de Salvador das Missões que possui 98% das propriedades rurais com área até 50 ha, seguida dos municípios de Cerro Largo e São Paulo das Missões que apresentam um pouco mais de 96% das suas propriedades com área até 50 ha.

A caracterização municipal e/ou regional das propriedades rurais traz informações de grande importância no contexto do planejamento estratégico para inserção da atividade silvícola sobre determinado território. A primeira, como já citado, diz respeito à inserção dos programas de fomento florestal, podendo ser classificado por modalidade (atividade) a ser exercida de acordo com a característica das propriedades que se encontram na região (área, atividade principal, porcentagem de utilização das terras, diversificação de atividade, etc.), tornando o programa mais eficiente à medida que se consideram essas características para definição da atividade mais adequada.

Algumas vantagens desse modelo de programa, é que o produtor apenas dispõe da área para realização da atividade, recebe mensalmente um salário da empresa parceira de acordo com a atividade que está sendo executada, e ao final do ciclo de produção recebe uma porcentagem sobre os lucros obtidos.

O incentivo à atividade silvícola, principalmente em pequenas propriedades, mesmo que não sendo como atividade principal, proporciona além de uma renda alternativa para o pequeno produtor, e produtos para o seu consumo, como por exemplo, a lenha e mourões, pode auxiliar na recuperação dos solos degradados, sobretudo pelos processos de erosão hídrica. Isso ocorre no momento em que propiciam a proteção contra os efeitos do escoamento superficial e carregamento das partículas de solo, e intensificam os processos de infiltração e armazenamento da água.

Em segundo, essa caracterização das propriedades em nível regional pode identificar algumas regiões (municípios, bacia hidrográficas, localidades, etc.) onde há a disponibilidade de áreas contíguas, ou que possam ser interligadas, minimizando os custos referentes aos processos de implantação, manejo, colheita e transporte intrínsecos da atividade. Também proporciona o aumento das áreas de corredores biológicos no momento em que plantios comerciais acabam servindo como um “elo” entre as áreas de fragmento de floresta nativa, procurando minimizar os processos de fragmentação dos habitats, o que dificilmente ocorre quando há sob o território usos do tipo pecuária, agricultura e/ou urbanização intensa.

3.2.2.6 Índice agrícola

O Rio Grande do Sul, tradicionalmente, apresenta-se como um Estado que se destaca pela sua produção agrícola e pecuária. Segundo SEPLAG¹¹ no ano de 2010, a agropecuária gaúcha contribuiu com 11,1% do Valor Adicionado Bruto Agropecuário (VAB) brasileiro. Embora na matriz do VAB Total do Rio Grande do Sul o setor participe com somente 8,7%, esta atividade possui grande importância para a economia gaúcha, pois dela derivam inúmeros segmentos da agroindústria havendo também uma grande influência da atividade no setor de exportações. O autor destaca também, a importância do setor para os pequenos municípios, onde é responsável por impulsionar inúmeras atividades, principalmente de comércio e serviços.

No território dos municípios pertencentes à bacia hidrográfica do Ijuí, mais de 95% do cultivo agrícola constitui-se de culturas temporárias. Apesar de ser bastante diversa, os dados do IBGE¹² para o ano de 2012 demonstram que 65% dessa forma de cultura refere-se à produção de soja, 20% à produção de trigo e pouco mais de 8% à produção de milho e aveia. Algumas culturas merecem destaque, pois embora utilizem uma pequena porção do território, têm grande representação no total cultivado no Estado, como é o caso da cultura do linho, com cerca de 64,43 km² de área plantada em 2012 nos municípios pertencentes à bacia, representando aproximadamente 70% do total produzido no Estado. O mesmo ocorre com 50% do cultivo da aveia e do centeio, e pouco mais de 56% do girassol cultivado no RS estão no território dos municípios que pertencem à bacia.

A superioridade do cultivo de culturas temporárias nos municípios da bacia demonstra que as atividades de culturas permanentes são ainda pouco exploradas, mesmo representando aproximadamente 50% da produção das culturas permanentes do Estado, segundo os dados do IBGE para o ano de 2012.

O cultivo de espécies de citrus como a laranja, o limão e a tangerina, representam 38% da cultura permanente da bacia hidrográfica, seguido da produção de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) que representa 37%, e da produção de

¹¹ <http://www1.seplag.rs.gov.br/atlas> - Acesso em: dezembro de 2013

¹² <http://cidades.ibge.gov.br> - Acesso em: dezembro de 2013

variedades de uvas que representam 12% do total de culturas permanentes cultivadas nos municípios da bacia. No entanto, frente ao total produzido no Estado a bacia representa 14% da produção de citrus e pouco mais de 5% da produção de erva-mate.

A partir do censo agrícola de 2006, obtiveram-se as informações relativas à área por classe de tamanho de propriedades rurais, à área rural explorada, à área explorada com culturas permanentes e também temporárias, o que permitiu gerar o índice agrícola relativo por município. Ocorreu também a atualização das informações referentes aos municípios não contemplados pelo censo, foram obtidos através do site do IBGE¹³. O índice foi calculado segundo UFSM; UNIPAMPA (2011) da seguinte forma:

$$Iagr = Sct + (0,2 * Scp) \quad \text{Equação 10}$$

Em que:

Iagr: Índice agrícola;

Sct: Somatório das áreas ocupadas por todas as culturas temporárias, por município;

Scp: Somatório das áreas ocupadas por todas as culturas permanentes, por município.

Os autores consideraram, para fins de modelagem, que a perda de nutrientes é proporcional à perda de solos, e, portanto, no equacionamento utilizaram como critério que uma unidade de área de culturas temporárias equivale a 20% (quinta parte) da área das culturas permanentes no que se refere ao potencial poluidor, considerando-se que as perdas de solos em lavouras permanentes são menores do que as de lavouras temporárias na ordem da quinta parte. A Tabela 24 apresenta o índice agrícola (relativo) dos municípios da bacia e respectiva área de abrangência.

¹³ <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow> - Acesso em: dezembro de 2013

Tabela 24 - Índice agrícola e área de abrangência.

Índice Agrícola Relativo	Id	Área km ²	Área (%)
0 – 0,40	1	745,13	6,94
0,40 – 0,50	2	31,14	0,29
0,50 – 0,60	3	1.304,63	12,16
0,60 – 0,70	4	3.006,31	28,01
0,70 – 0,80	5	4.384,04	40,85
> 0,80	6	1.260,15	11,74
Total	-	10.371,86	100

Pode destacar que o índice agrícola é crescente ao passo em que seguimos para os municípios a montante da bacia (Figura 36). A região do baixo Ijuí, como também já observado no indicador PIB e IDESE é a região que apresenta os municípios com menor índice agrícola, de 0,20 até 0,50. No entanto cerca de 80% da bacia apresentou um índice agrícola acima de 0,60.

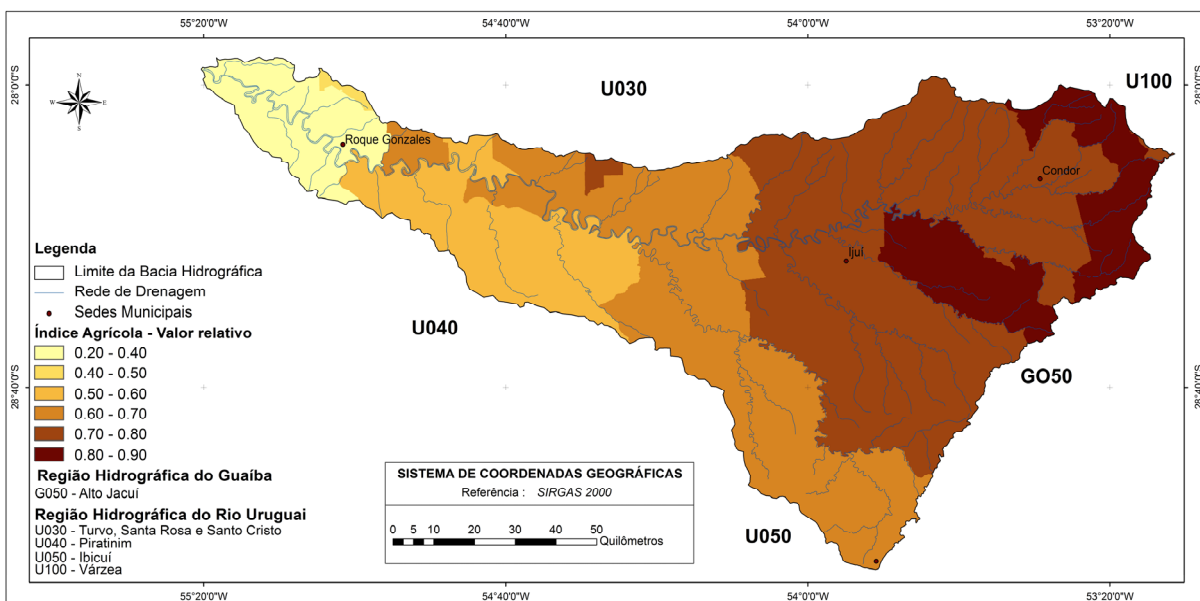


Figura 36 - Mapa do índice agrícola.

3.2.2.7 População total

Conforme dados do censo demográfico de 2010 a população total do Rio Grande do Sul é de 10.755.799 habitantes, e o Estado ocupa o quinto lugar entre os mais populosos do Brasil. De acordo com a SEPLAG¹⁴ os municípios gaúchos mais populosos se encontram, sobretudo na região em torno de Porto Alegre, na Região Metropolitana da Serra Gaúcha e na Aglomeração Urbana do Sul. A distribuição da população mostra uma tendência à concentração nas áreas urbanas, o que em 2010 já representava 85% da população gaúcha.

Na construção deste indicador foram utilizados os dados referentes aos municípios da bacia hidrográfica para os anos de 2006 e 2011. Na Tabela 25 é apresentado o número (por classes) de habitantes para os municípios para os respectivos anos.

Tabela 25 - Total de habitantes por município para os anos de 2006 e 2011.

Classe do nº de habitantes por município	Total população 2006	2006 (%)	Total população 2011	2011 (%)
< 5.000	36.552	6,61	39.785	7,53
5.000 – 10.000	108.951	19,70	100.292	18,98
10.000 – 20.000	38.150	6,90	37.844	7,16
20.000 – 40.000	149.793	27,09	132.043	24,99
40.000 – 60.000	64.774	11,71	627.760	11,88
60.000 – 70.000	154.707	27,98	155.583	29,45
> 70.000	36.552	6,61	39.785	7,53
Total	552.927	100,00	528.323	100,00

¹⁴<http://www1.seplag.rs.gov.br/atlas> - Acesso em: dezembro de 2013

Na região da bacia hidrográfica do Ijuí não há ocorrência de grandes metrópoles ou de municípios com grande concentração populacional. Em geral os municípios da região não ultrapassam os 60 mil habitantes, como pode ser observado na Tabela 25, onde se demonstra que mais de 71% dos municípios não ultrapassam esta classe. Embora em menor ocorrência na bacia, pouco mais de 7% de municípios não ultrapassam os 5 mil habitantes, os quais na maioria se concentram na região do baixo Ijuí.

É significativo o aumento da população nos municípios das classes acima de 40 mil habitantes do ano de 2006 para 2011, no entanto, o número total da população na região da bacia diminuiu em torno 4%. Esta diminuição pode estar relacionada pela busca por parte dos habitantes por novas oportunidades nas grandes cidades, por emprego, saúde e educação como é o caso dos municípios que oferecem ensino superior gratuito (universidades federais), fazendo com que ocorra uma diminuição gradual da população dos municípios pequenos e com menores recursos e oportunidades. Na Figura 37 pode-se observar a variação do número de habitantes (por classe) do ano de 2006 para 2011.

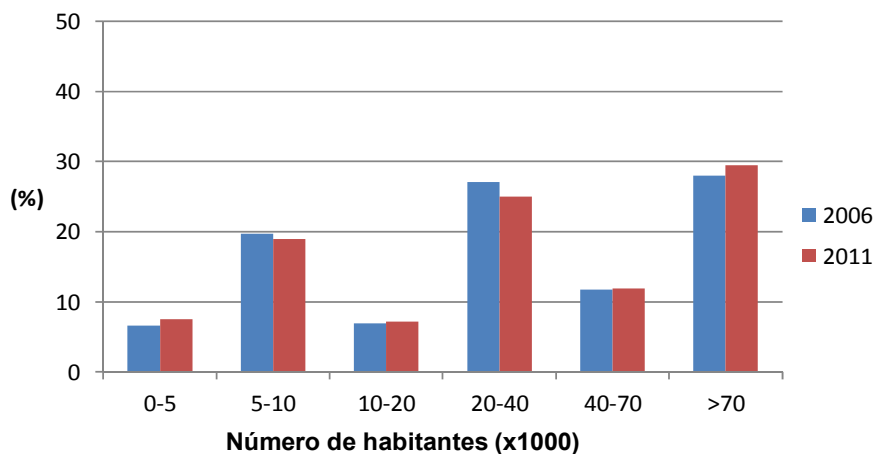


Figura 37 - Porcentagem de municípios por número de habitantes para 2006 e 2011.

As regiões do alto e médio Ijuí são as que concentram os municípios mais populosos como Ijuí, Santo Ângelo, Cruz Alta, Panambi, e Palmeira das Missões. Na Figura 38 e na Figura 39 são apresentados os mapas do total da população por município no ano de 2006 e 2011, respectivamente.

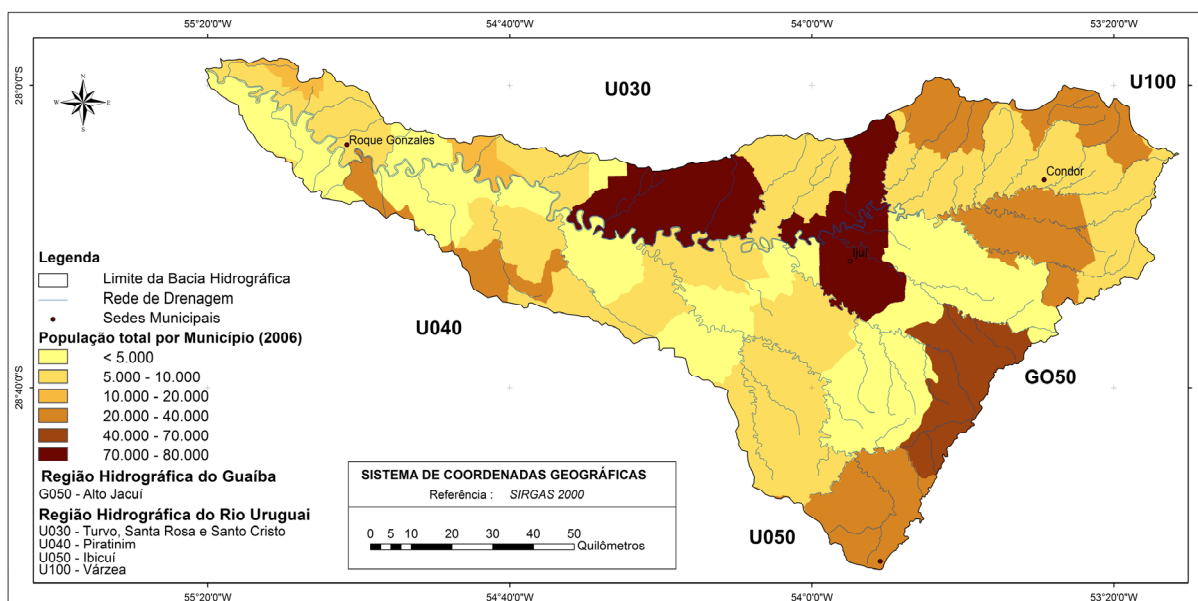


Figura 38 - Mapa da população total por município no ano de 2006.

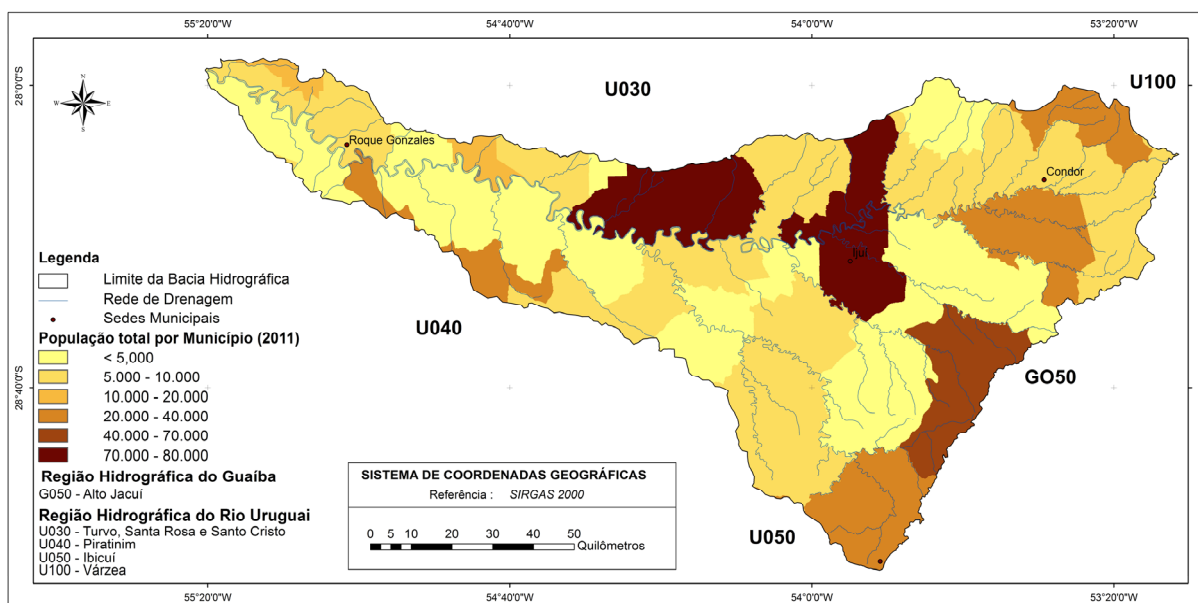


Figura 39 - Mapa da população total por município no ano de 2011.

3.2.2.8 Emprego formal

O número de empregos formais no Estado segundo o Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) alcançou 2,9 milhões em dezembro de 2011, representando um crescimento de 4,15% em relação ao estoque de emprego de dezembro de 2010. Em números absolutos, essa performance decorreu do acréscimo de 116,4 mil postos de trabalho, em relação a dezembro do ano anterior. No âmbito setorial, os melhores desempenhos em termos absolutos foram registrados pelos Serviços, com a geração de 49,4 mil postos, que representa um aumento em torno de 5,91%¹⁵.

O setor florestal tem suas atividades inseridas pelo MTE no setor denominado Agropecuária, Extração Vegetal e Pesca, o qual obtém cerca de 83.380 mil postos de trabalho no RS.

Para construção deste indicador são considerados os seguintes setores empregatícios na área florestal: o número de empregos na produção florestal, na fabricação de produtos de madeira, na fabricação de papel e celulose e produtos de papel. Foi então somado o número de empregos formais existente nestes setores para cada município. A Figura 40 apresenta o número de empregos no setor de produção florestal e nos setores de fabricação de papel, madeira e produtos de papel na área de estudo.

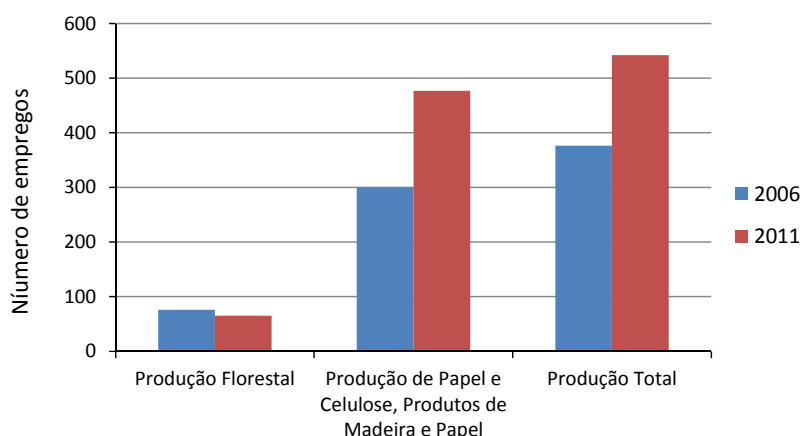


Figura 40 - Número de empregos formais por setor de produção.

¹⁵ <http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A39D953B90139DEFF8E254020/RAIS%202011%20RS.pdf>
Acesso em : janeiro de 2014

A soma das duas classes de atividades no ano de 2006 totaliza em 376 empregos formais na região da bacia, passando em 2011 a ser de 546 empregos formais na área florestal, representando um aumento acima de 140%. O número pouco expressivo de empregos formais na área florestal se deve ao baixo índice de produção florestal na região da bacia, sendo que muito dos plantios existentes sobre o território estão vinculados a pequenos produtores agrícolas os quais não exigem mão-de-obra formal para esta atividade por se tratar de pequenas áreas para consumo próprio.

Outro fator, é o (ainda) incipiente investimento da região no setor florestal, seja pelo seu potencial e histórico na produção agrícola, ou pela recente intensificação da atividade florestal no Estado, além de ocorrer incertezas e desinformação sobre a atividade silvícola, resultando em certo desinteresse ou mesmo um preconceito em relação a prática da atividade na região.

Embora a atividade florestal seja até então pouco expressiva na região, cerca de 73% dos municípios da bacia apresentam alguma forma de emprego formal na área. Na Tabela 26 observam-se os municípios que detêm emprego formal na atividade florestal e o total de empregos nos anos de 2006 e 2011.

Tabela 26 - Municípios que apresentam emprego formal no setor florestal.

Municípios	Total de empregos (2006 e 2011)	(%)
Santo Ângelo	155	16,88
Ijuí	154	16,78
Santa Bárbara do Sul	118	12,85
Panambi	116	12,64
Cruz Alta	51	5,56
Outros	324	35,29
Total	918	100

Por se caracterizar uma bacia agrícola, a atividade florestal que existe é restrita a alguns municípios, dos quais cinco apresentam mais de 65% do total do

emprego formal no setor na região da bacia, sendo os municípios de Santo Ângelo e Ijuí os de maior representatividade. A porcentagem de empregos formais (por classe) por município da bacia, nos anos de 2006 e 2010 são apresentadas na Tabela 27.

Tabela 27 - Emprego formal nos anos de 2006 e 2010.

Nº de emprego formal na atividade florestal por município	2006 (%)	2010 (%)
0 – 10	71,05	63,16
10 – 20	15,79	23,68
20 – 50	5,26	5,26
50 – 80	7,89	5,26
Acima de 80	0,0	2,63
Total	100	100

Em 2006 cerca de 71% dos municípios que pertencem à bacia hidrográfica, apresentavam no máximo 10 empregos formais na área florestal. É notória a ocorrência de um crescimento nos empregos formalizados, quando em 2010 a classe acima de 80 empregos por município ultrapassou os 2,5% dos municípios da bacia, assim como a classes de 10 a 20 empregos, passou de pouco mais 15% para 26,68 dos municípios da região. O setor florestal é ainda incipiente na região do Ijuí, no entanto o seu crescimento pode ser observado tanto pelo aumento das áreas de plantio no território da bacia como também pelo aumento da formalidade no trabalho do setor.

Embora o mapa apresente o número de empregos por classes, no momento em que este indicador é utilizado na construção do modelo RNA mantem-se para análise o valor (*por pixel*) correspondente ao número de empregos formais totais em cada município. Na Figura 41 e na Figura 42 apresentam-se os mapas relativos ao número de empregos formais na região da bacia hidrográfica do Ijuí nos anos de 2006 e 2011.

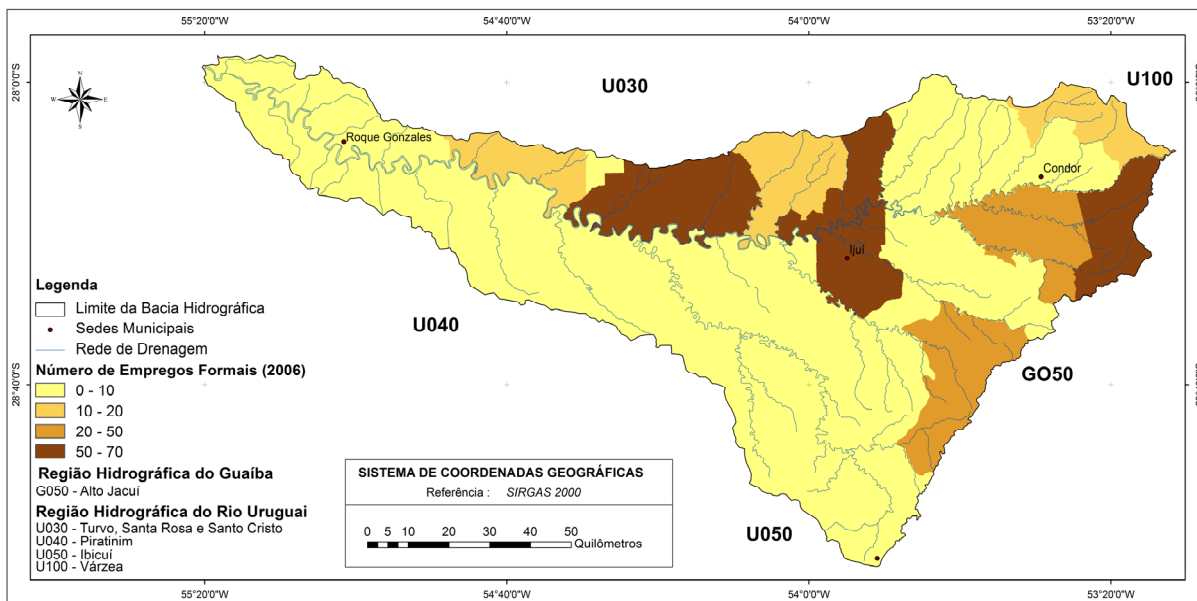


Figura 41 - Mapa do emprego formal na atividade florestal no ano de 2006.

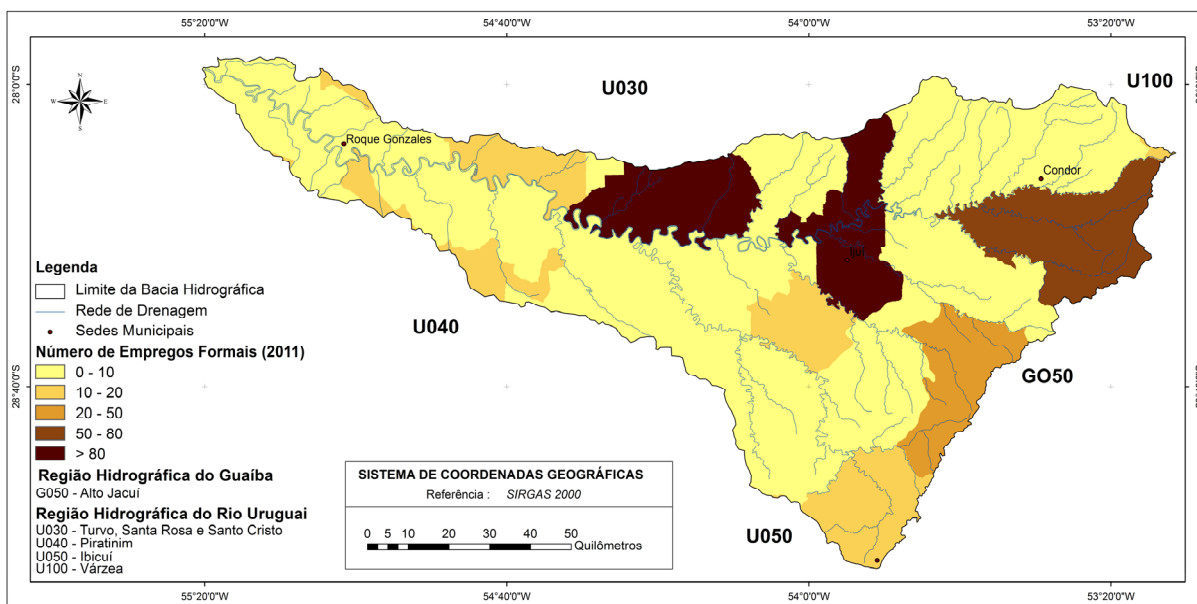


Figura 42 - Mapa do emprego formal na atividade florestal no ano de 2011.

4. ASPECTOS METODOLÓGICOS

4.1 Proposta metodológica

A proposta metodológica é realizada em escala de bacia hidrográfica, tendo como foco a análise de cenários preditivos (“*what if*”) focados na avaliação da inserção da atividade de silvicultura frente a outras ações de interesse sobre o território. Para o desenvolvimento dos métodos e técnicas da pesquisa, é inicialmente realizada a construção do seu quadro teórico e a definição da área experimental. Posteriormente é realizada a análise de um conjunto de pesquisas sob diferentes perspectivas de planejamento territorial e zoneamento de diferentes atividades, com o intuito de compreender os indicadores utilizados e o seu critério de seleção.

No passo seguinte são selecionados os indicadores constituintes do modelo proposto, considerando a sua importância na construção de cenários avaliativos da mudança territorial frente às diferentes ações. Em seguida, é estruturado o modelo multicritério com base nas redes neurais artificiais (RNA), onde se incluem todos os indicadores selecionados para dois períodos temporais, para resultar em uma previsão probabilística de alternativas futuras, geradas pelo processo de aprendizagem da rede, tomada o histórico das mudanças ocorridas entre os períodos escolhidos.

A partir do resultado obtido pelo modelo baseado nas RNA, é analisado o comportamento do território nos diferentes cenários quando realizada uma determinada ação, podendo assim, comparar as *nuances* que ocorrem entre os cenários dentro da escala temporal que se propõe. Posterior à avaliação dos cenários frente à exposição das diferentes ações, realiza-se uma análise de sensibilidades dos indicadores, onde são observados quais os ‘relativamente’ mais influentes nas mudanças verificadas, e que no conjunto apresentam-se mais expressivos na definição de cada cenário.

Esta etapa serve como auxílio no momento da tomada de decisão, pois torna mais compreensível a interação dos indicadores para aquela circunstância e permite

realizar uma escolha ou definir uma nova ponderação para os indicadores caso seja necessário. Essa nova ponderação, no entanto, resulta em alterações na composição dos cenários, pois atribui novos valores (pesos) aos indicadores.

Por fim os resultados expressos pelos cenários permitem a melhoria nas proposições de diretrizes voltadas à tomada de decisão frente aos desejos de utilização do território, uma vez que apresentam as possíveis alterações no território quando considerada a inserção de uma determinada ação em um cenário específico, considerando em especial nessa abordagem, a introdução da atividade de silvicultura. A estrutura metodológica para elaboração do modelo conceitual está descrita na Figura 43.

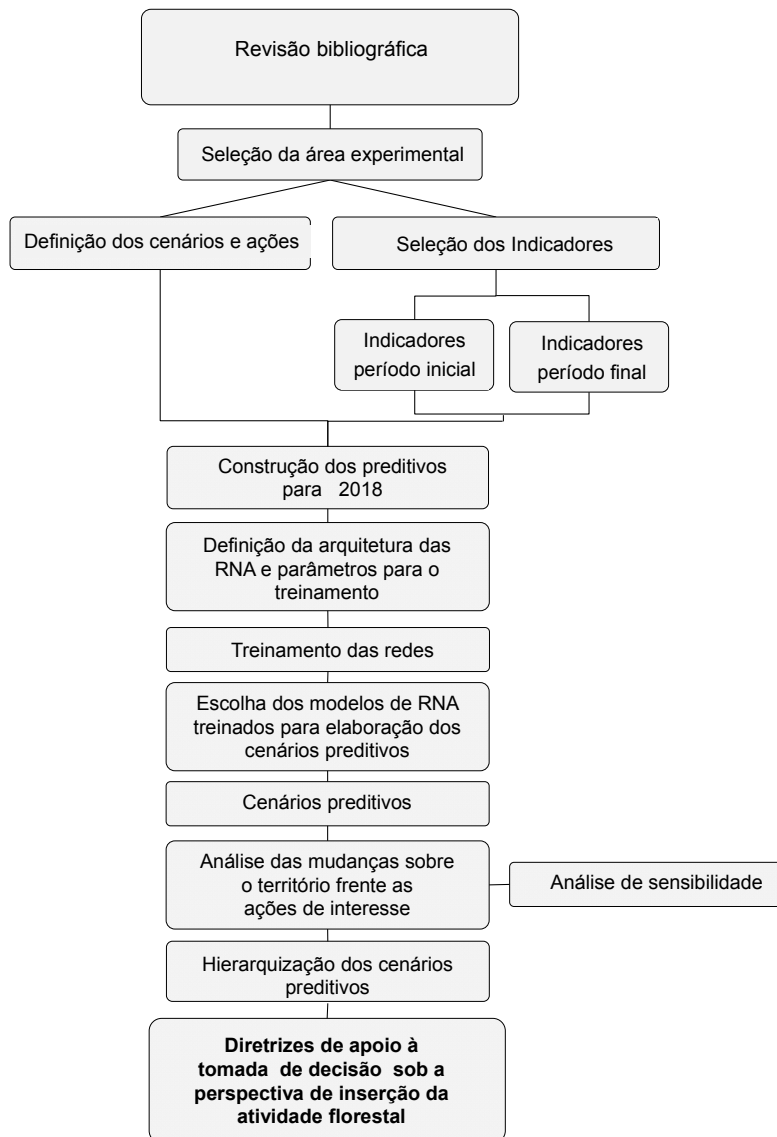


Figura 43 - Estrutura metodológica do modelo conceitual utilizado na pesquisa.

4.2 Seleção dos indicadores

A seleção dos indicadores está baseada em uma análise das variáveis estudadas em modelos de planejamento ambiental, análise ambiental integrada e zoneamentos de diferentes atividades, averiguando a sua relevância para a caracterização das feições antropogênicas e ambientais da região, assim como, a necessidade de inclusão de novos indicadores para o modelo de predição.

Leva-se em consideração a premissa que as informações referentes a cada indicador incluído no modelo, estejam presentes em 100% da área analisada. Entretanto, o fato de um indicador importante no contexto dessa abordagem não ocorrer na área objeto da pesquisa, como no caso das áreas de arenização e unidades de conservação, não exclui a necessidade de introduzi-los nos processos de avaliação se por acaso ocorram na área sob análise.

Dentre os indicadores escolhidos para estruturar o processo de análise, são também definidos fatores considerados de restrição, ou seja, áreas consideradas excludentes para a prática da atividade florestal. Estes fatores apresentam duas áreas distintas: uma com região sem restrições e outra com regiões de restrição absoluta, que representa as áreas que não poderão, sob qualquer hipótese, receber a locação desse tipo de empreendimento. Um exemplo são as áreas determinadas na categoria de áreas indígenas e quilombolas, as quais são incluídas na forma *booleana* (0 e 1) e são sobrepostas aos cenários.

Embora os indicadores sejam tratados no modelo multicritério como um conjunto único de informações, no momento da seleção é analisada a sua capacidade individual para expressar as características antropogênicas ou ambientais da região, proporcionando que ambas as condições conjuguem informações suficientes para sua representação, tornando o resultado mais fiável possível à realidade que se observa.

No Quadro 2 abaixo estão descritos os indicadores utilizados para o modelo de multicritério baseado em Redes Neurais Artificiais e como foram construídos.

Sigla	Ano da informação	Variável (MAPA)	Construção	Fonte	Escala	Unidade
USO06	2006	Uso e ocupação da Terra	Classes dos Usos e ocupação da Terra	NASA (2013)	Escala imagem	Classes de uso
USO12	2013					
INORD	2011	Infraestrutura	Rodovias (pavimentadas e não pavimentadas) e ferrovias	FRAGRIO (2011)	Estadual	Tipológica
ESTFUND	2010	Estrutura fundiária	% de Propriedades rurais acima de 10ha por município	IBGE (2013)	Municipal	Classes (%)
PIB06	2006	Produto Interno Bruto	Participação percentual por município	IBGE (2013)	Municipal	Classes (%)
PIB10	2010					
IDESE_06	2006	Índice de Desenvolvimento Socioeconômico	Educação	FFE (2013)	Municipal	Classes do índice
IDESE_11	2009		Renda			
			Domicílios			
			Saneamento			
		Saúde				
INDAGR	2012	Índice agrícola	Culturas permanentes (ha)	IBGE (2013)	Municipal	Classes (ha)
			Culturas perenes (ha)			
			Área total dos municípios			
EF_06	2006	Emprego formal do setor florestal	Nº de pessoas empregadas na produção florestal	RAIS (2013)	Municipal	Classes nº de empregados
EF_11	2011		Nº de pessoas empregadas na fabricação de produtos de base florestal			
POPT06_	2006	População total	Nº de habitantes por município	IBGE (2013)	Municipal	Classes nº de habitantes
POPT11_	2011					
DECLIV	2011	Declividade	Classes de declividade	FRAGRIO (2011)	1:50.000	Classes (%)
GEOL		Geologia	Unidades geológicas		1:250.000	Tipológica
GEOMORF		Geomorfologia	Unidades geomorfológicas		1:250.000	Tipológica
RSOLO		Resistência dos solos a impactos	Unidades de solos		1:250.000	Tipológica
IDUMIDADE	1983 à 2012	Índice de umidade	Pluviosidade média -	ANA (2012)	Estações Meteorológicas	mm/dia
	1984 à 987-1990 à 2011		Temperatura Média	INMET (2012)		Graus Celsius
	2013		Balanço Hídrico Climatológico	Baseado em Thornthwaite (1955)	-----	----
FAUNA	2011	Fauna terrestre	Ocorrência potencial da fauna terrestre (Status de conservação)	FRAGRIO (2011)	1:250.00	Classes de fragilidade
FLORA		Flora terrestre	Ocorrência potencial da flora terrestre (Status de conservação)			
CONSBIO		Áreas prioritárias	Remanescentes das formações florestais naturais ponderada inversamente pela declividade.			
	Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade					

Quadro 2- Indicadores utilizados para o modelo de multicritério.

4.2 Sistema de Informação Geográfica

O Sistema de Informação Geográfica tem sido considerado como facilitador nos processos de tomada de decisões que envolvem múltiplos critérios ou que apresentem grande volume de informação a ser analisada.

Devido às suas características relacionadas à análise espacial de dados, um SIG pode atender a necessidade que os planejamentos territoriais apresentam, em obter o resultado do processamento da informação em um ambiente geoespacializado, tornando possível sua expressão na forma de mapas temáticos o que facilita a compressão das características e da dinâmica do território pelos atores envolvidos no processo decisório.

Nesta abordagem são utilizados 3 (três) *softwares* de forma mais expressiva, onde dois são *softwares* de SIG, e em conjunto apresentam as ferramentas necessárias para obtenção dos resultados desejados, sendo eles: IDRISI Andes[®] Clark Labs e ArcGIS-ArcINFO 9.3[®] ESRI (*Environmental Systems Research Institute, Inc.*) utilizados para o processamento das informações em ambiente SIG e o *software* STATISTICA[®] 12 StatSoft para modelagem estatística dos dados.

Considerando que o banco de dados da bacia hidrográfica do Rio Ijuí é parcialmente cedida pelo projeto FragRio¹, o qual foi construído em ArcGIS[®], segue-se o mesmo padrão para a construção dos demais indicadores do modelo.

Uma vez construídos, os indicadores são exportados para o software IDRISI Andes[®] para a composição do conjunto de indicadores que expressam o comportamento do território para os diferentes cenários e ações que se desejam. Este conjunto de informações é exportado para o software STATISTICA 12[®] onde por meio da ferramenta *Data mining – Neural network- Custom Network Designer* é aplicado o processo de análise das RNA para construção dos cenários preditivos.

No entanto, como esse *software* não trabalha com dados espacializados, há a necessidade de que a modelagem estatística seja posteriormente inserida em ambiente SIG, possibilitando a visualização e análise das possíveis modificações que venham a ocorrer sobre o território. Portanto, para cada um dos cenários

¹ Projeto FragRio “Desenvolvimento metodológico e tecnológico para avaliação ambiental integrada aplicada ao processo de análise da viabilidade de hidrelétricas” MMA/FATEC/UNIPAMPA/UFSM, 2009-2012.

preditivos considerados, é elaborado para sua análise, um conjunto de indicadores específicos que descrevem o possível cenário socioeconômico a ocorrer e a ação que se deseja introduzir (ver item 4.4.2).

4.3 Redes neurais artificiais

Assim como a definição dos indicadores, a escolha da tipologia da rede é fundamental para que o modelo apresente o desempenho desejado. Para os objetivos propostos a arquitetura de rede utilizada é a denominada de Perceptrons de Múltiplas Camadas (MLP- *multilayer perceptron*).

Na literatura tem-se recomendado que no momento da procura pela arquitetura da rede, se inicie pela que apresenta estrutura mais simples, ou seja, com poucas camadas ocultas e em seguida, gradativamente, seguindo para as tipologias de multicamadas, aumentando o seu número ao passo que se obtenham melhores resultados.

Portanto, inicia-se o teste com o número de 1 (uma) camada oculta, sendo consequentemente crescente. Os resultados vão sendo comparados pela medida de erro, e uma matriz de significância do índice Kappa² é gerada para avaliar se há divergências ou não entre as redes, assim como, possibilita a escolha de uma arquitetura que apresenta uma melhor exatidão.

Para que uma rede neural execute tarefas como a modelagem de dados, é fundamental realizar o que chamamos de treinamento da rede. Nesta abordagem, o treinamento é realizado de forma supervisionada por meio do algoritmo de retropropagação de erro (*error backpropagation*) com gradiente descendente.

Esse algoritmo executa o treinamento pela seleção dos valores iniciais para os pesos sinápticos, em seguida apresenta um conjunto de exemplos de treinamento para a rede que realiza uma sequência de computação para frente (propagação) e para trás (retropropagação), sendo que este processo é

² A Estatística K é uma medida de concordância usada em escalas nominais que nos fornece uma ideia do quanto as observações se afastam daquelas esperadas, fruto do acaso, indicando-nos assim o quão legítimas as interpretações são.

sequencialmente repetido, onde apresenta novos exemplos à rede (aprendizado), até o momento que seja satisfeito um critério de parada pré-estabelecido. O processo de treinamento das RNA para construção dos cenários preditivos está apresentado na Figura 44.

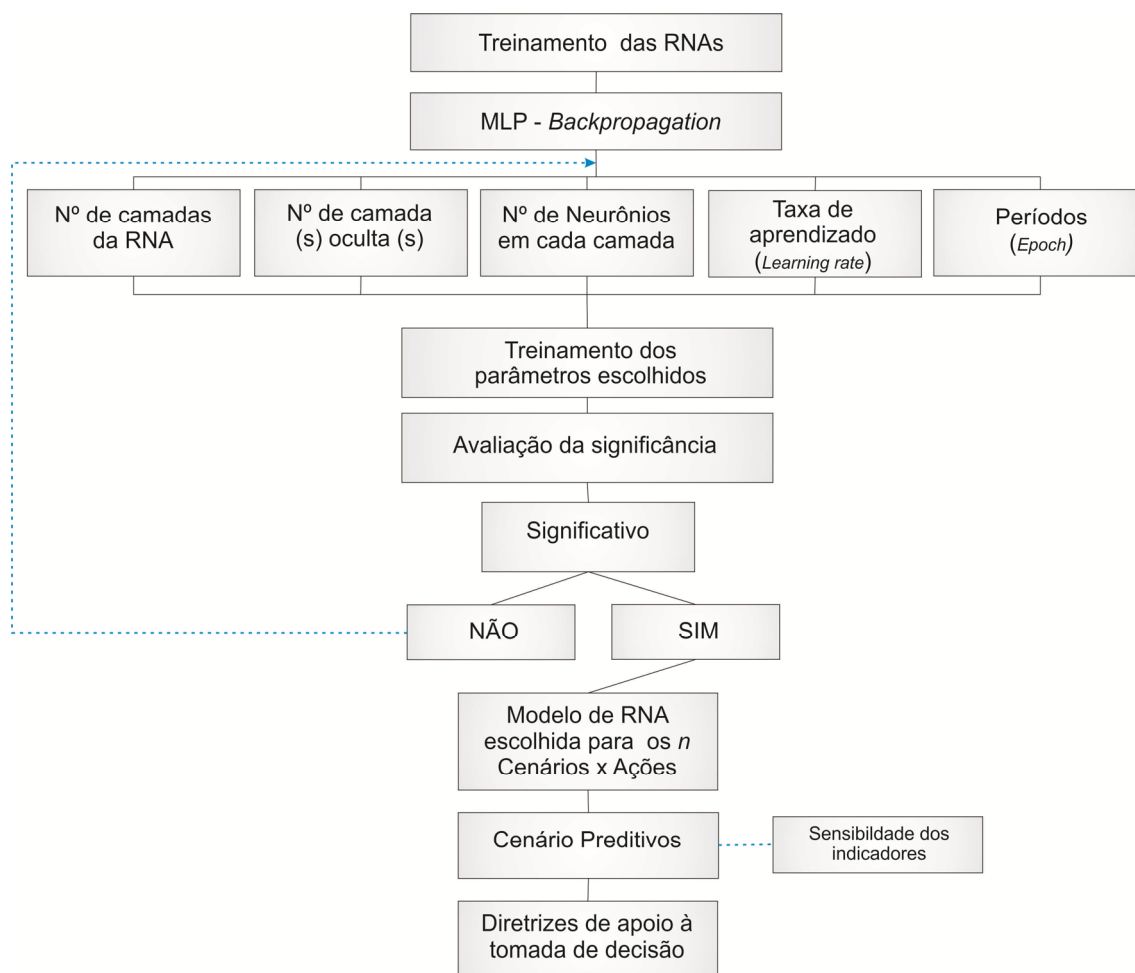


Figura 44 - Estrutura metodológica do treinamento das RNA do tipo MLP.

A Figura 44 demonstra que no caso em que o resultado do treinamento não apresentar um valor significativo (acima de 75%) de desempenho do conjunto de teste (*training perf.*), são escolhidos novos parâmetros, e então realizado um novo treinamento. Este processo é repetido até o momento em que seja encontrado o conjunto de parâmetros que apresenta um melhor ajustamento da RNA.

Na Tabela 28 são apresentados os parâmetros a serem utilizados para o treinamento das RNA para o conjunto de variáveis que caracterizam a dinâmica do território.

Tabela 28 - Parâmetros utilizados para o treinamento das redes.

Redes Multilayer Perceptron (MLP)				
Nº de variáveis	Nº camada(s) escondida(s)	Nº neurônios escondidos	Taxa de aprendizado (<i>Learning rate</i>)	Interações (<i>Epoch</i>)
21-22*	01	09 -10-12- 15- 19 - 20	0,1- 0,01- 0,001 0,5- 0,05- 0,005	200-500-1000
21-22*	02	5-5, 10-10, 12-12	0.001	500-1000

* a 22º variável corresponde a ação que está sob análise no respectivo cenário.

4.4 Elaboração dos cenários

4.4.1 Ações para o território

A construção dos cenários preditivos leva em consideração questões estratégicas que são definidas sob a aplicação de diferentes ações as quais possibilitam desenhar um panorama futuro, capaz de avaliar o comportamento territorial das variáveis que compõem a análise, frente à alternância das ações que se deseja realizar. Nessa abordagem as ações representam uma simulação dos desejos dos diferentes atores envolvidos em processo de tomada decisão sobre o uso e ocupação do território, as quais são analisadas em uma esfera de cenários futuros de probabilidade.

Para o estudo de caso desta pesquisa 04 (quatro) ações são consideradas de relevância e que permeiam as discussões no âmbito das mudanças territoriais frente à introdução de uma atividade florestal, sendo elas: a não previsão de qualquer ação sobre o território, o aumento significativo da atividade florestal, o crescimento da atividade agrícola, e por último, a ação que preconiza a conservação das formações

florestais nativas. As ações propostas para análise e as suas considerações são apresentadas na Figura 45.

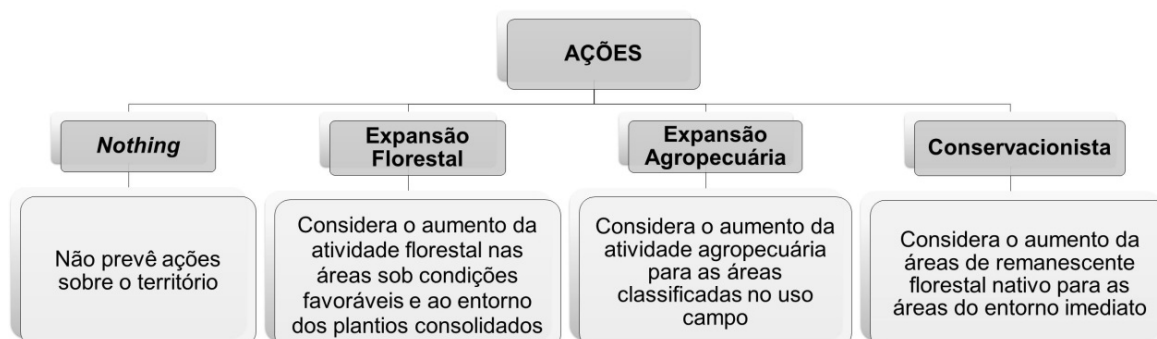


Figura 45 - Ações propostas para análise dos cenários preditivos.

A ação que propõe o aumento da atividade florestal considera que o crescimento das áreas de plantio de floresta comercial venha a progredir primeiramente nas regiões adjacentes aos plantios já consolidados, e nas áreas que apresentam características biofísicas potenciais para esse tipo de empreendimento. Este potencial está relacionado com os fatores que apresentam algumas das características basilares na avaliação do processo de expansão da atividade florestal, tais como declividade do terreno, classe de resistência dos solos e índice de unidade regional.

A partir desse entendimento é considerado para a região da bacia hidrográfica que os locais com declives de até 20%, solos com a classe de resistência A (muito alta), áreas que correspondem a um índice de umidade classificados como B2, B3 e B4 (úmido), e que se encontram atualmente nas classes de uso e ocupação agricultura e campo, apresentam sob o aspecto biofísico um potencial para receber a atividade de silvicultura. Para as áreas adjacentes é considerada uma distância de 500m no entorno das áreas de reflorestamento já consolidadas como áreas prováveis de expansão da atividade. Logo, os locais que apresentam as melhores condições frente os parâmetros definidos tem a probabilidade, a priori, que se tornem alvo para futuros investimentos de empresas do setor ou dos agricultores da região. Essa ação é denominada como expansão florestal (ExFlo) e representa o desejo de que a atividade florestal venha a progredir em âmbito regional.

Outra ação que se revela importante no contexto das atividades da bacia do rio Ijuí é a que prevê o crescimento da atividade agropecuária. Por apresentar-se como atividade predominante em termos de ocupação do território, a ação atende os anseios de uma porção significativa da população que vive na região e depende direta ou indiretamente da atividade agrícola e/ou pecuária.

Esta ação considera que a expansão da atividade ocorra diretamente nas áreas que pertencem à classe de uso denominada como campo. Justifica-se, uma vez que tradicionalmente a região já vem ocupando as áreas de campo (seja por um período ou permanentemente) para a prática da atividade pecuária, assim como, estas áreas apresentam certa “praticidade” para conversão em áreas agrícolas, uma vez que não requerem grandes investimentos quando comparado com as áreas com floresta em estágio inicial, que ainda estão passíveis de licenciamento. Denominada de expansão agrícola (ExAgri), esta ação contempla o interesse, por parte dos atores envolvidos, no aumento dos empreendimentos do setor agrícola sob o território. A análise da respectiva ação é capaz de demonstrar *nuances* entre os cenários quando confrontada com a ação de expansão florestal, fornecendo informações relevantes para uma tomada de decisão em que se avaliam pontos positivos e negativos da inserção de uma ou outra atividade.

Salvaguardados os interesses de âmbito econômico, a que se considerar uma ação do ponto de vista governamental e de interesse sócio ambiental que enfatiza a importância de um ambiente saudável e que esteja voltada aos interesses de conservação dos recursos naturais da bacia hidrográfica. Define-se então uma ação chamada “conservacionista” (Cons), que considera o aumento significativo das florestas nativas da bacia, sendo que venha ocorrer primeiramente nas áreas ao entorno dos remanescentes já existentes (distância de 100m), conjugando uma melhoria às condições ambientais da região.

Por fim, os cenários são analisados sob uma perspectiva da qual não é prevista a realização de qualquer ação, tendo como resultado as modificações do território para cada cenário mantenha-se a situação atual. Esta “ação” é denominada como “*Nothing*” e representa que no futuro próximo as políticas que envolvem as atividades sobre o território, mantenham-se como na atualidade. Na Figura 46 observam-se as considerações e modificações sobre os indicadores utilizados para expressar as ações que se desejam inserir na bacia hidrográfica.

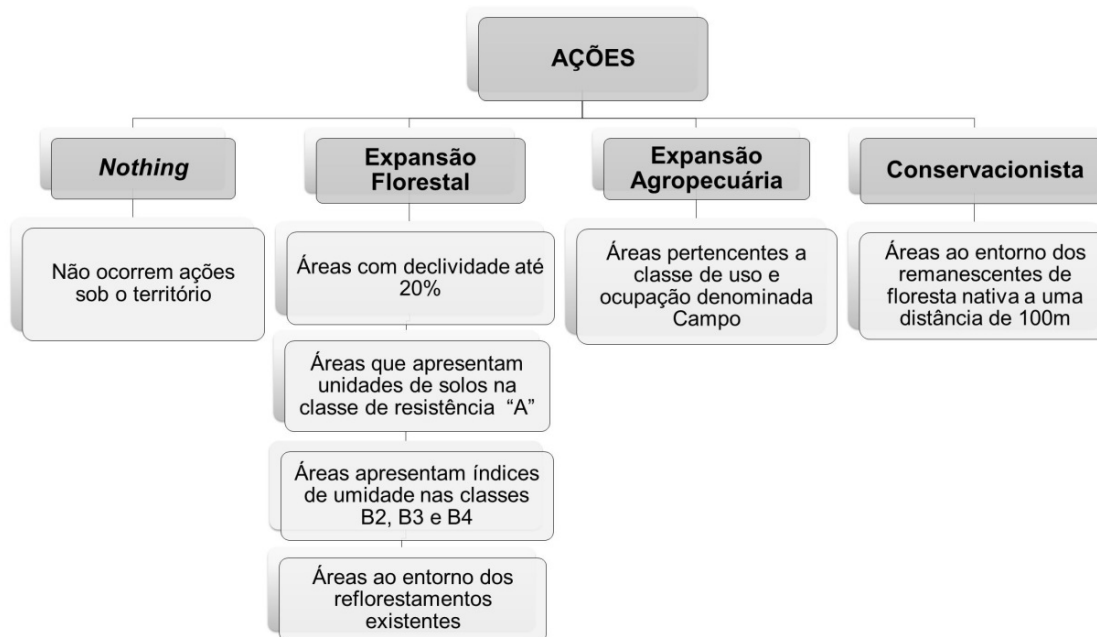


Figura 46 – Considerações para construção das ações.

Para a análise das possíveis modificações futuras sobre o território em cada um dos cenários a serem considerados, são criadas três novos temas (variáveis) que representam o uso e cobertura, com as modificações consoantes as ações previstas para o território, para que seja possível verificar a influência espaço temporal dessas ações.

Portanto, primeiramente são elaborados três novos mapas (*raster*) que correspondam às novas classes de uso Agricultura, Floresta Nativa, que representam as áreas de expansão considerada pelas distintas ações, e que para sua construção atendem as condições já descritas anteriormente e apresentadas na Figura 46.

Posteriormente esses *rasters*, por meio de álgebra matricial com a variável do uso e cobertura da Terra do último ano de análise (2013), resultam em três diferentes variáveis de usos e ocupação que representam a implementação das ações que são desejadas para o território da bacia. A Figura 47 é uma estrutura teórica da construção das variáveis de uso e ocupação que representam as distintas ações.

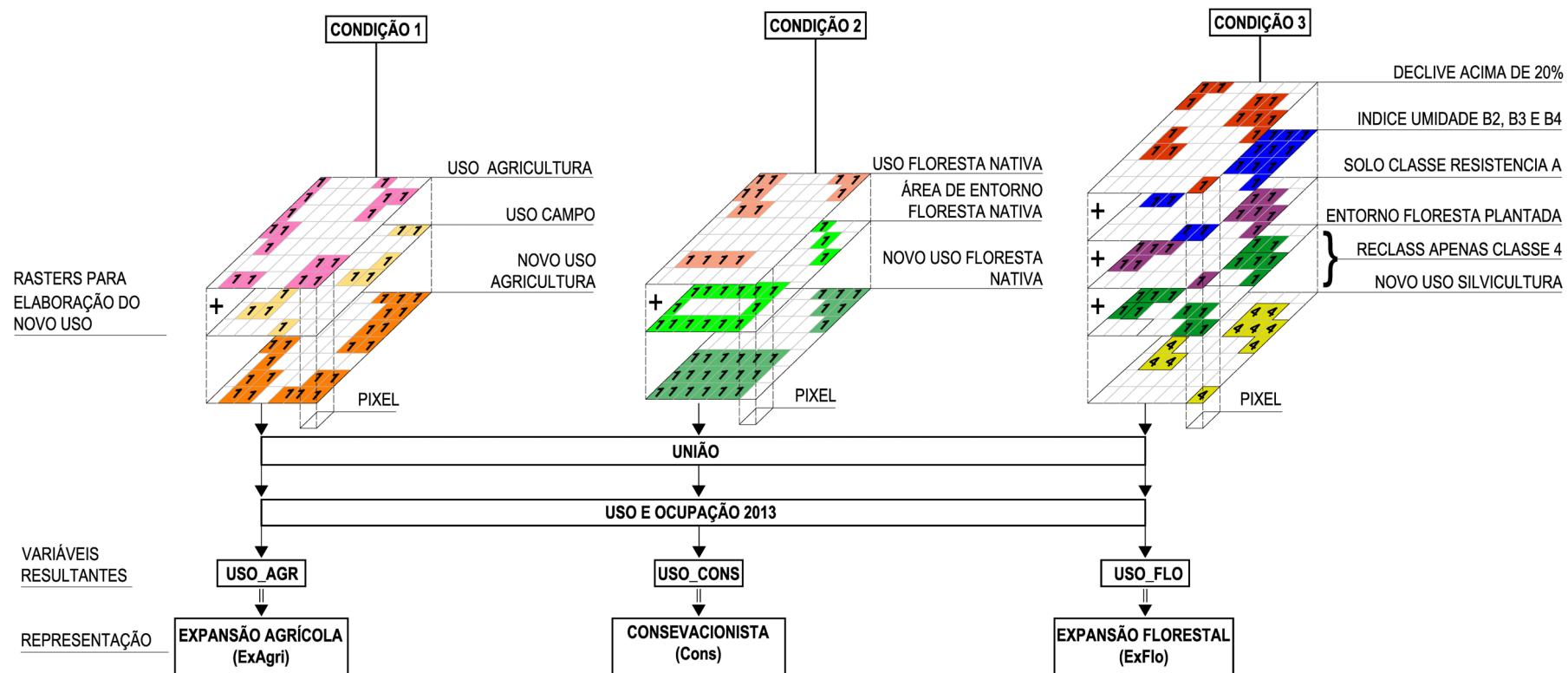


Figura 47 - Construção das variáveis que representam as distintas ações.

A condição 1 refere-se ao *raster* das condicionantes consideradas para definir as áreas onde ocorrerá a expansão da atividade agrícola as quais resultam na variável denominada “USO_AGRI” que representa essa expansão. A condição 2 demonstra a construção da variável “USO_CONS” que representa as áreas de inserção sobre o território da ação denominada conservacionista. Por fim, a condição 3 demonstra a construção da variável “USO_FLO” a qual representa os locais onde será inserida a ação de expansão florestal na região da bacia hidrográfica.

4.4.2 Cenários preditivos

Os cenários levam em conta as tendências de desenvolvimento da dinâmica territorial (cenário tendencial), bem como as expectativas que permeiam a sustentabilidade (cenário desejado). A função estratégica da construção dos cenários preditivos consiste em proporcionar para os envolvidos no processo uma visualização das alternativas possíveis para a área sob análise.

Para a compreensão do efeito resultante das ações sobre o território, há a premissa de considerá-las atuantes sobre diferentes cenários preditivos. Portanto, para esta abordagem os cenários vêm auxiliar na percepção das possíveis mudanças no território face às alterações das condições econômicas ou sociais dos municípios pertencentes à bacia hidrográfica, possibilitando uma avaliação em relação ao panorama atual.

Desta forma, são estabelecidos cinco cenários para análise da dinâmica territorial em uma perspectiva de investimento na região de interesse, considerando a inserção das ações acima descritas. Os cenários preditivos considerados para esta abordagem estão apresentados na Figura 48.

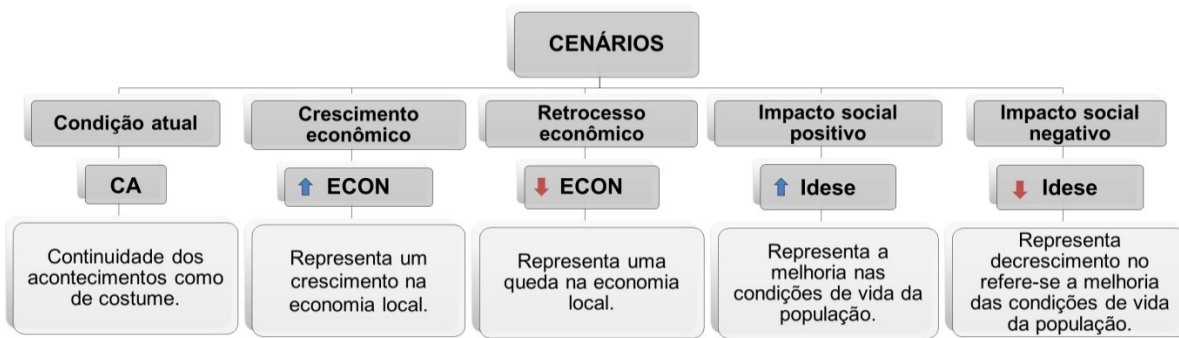


Figura 48 - Cenários preditivos para avaliação da bacia hidrográfica.

O primeiro cenário considera que as condições econômicas e sociais manter-se-ão (para o período da análise) conforme ocorre na atualidade. Esse cenário é chamado de “Condição atual”, e pretende analisar as alterações sobre o território ao praticar ou não uma ação em um momento de estagnação socioeconômica, ou seja, permanecendo no futuro as mesmas condições da atualidade.

O segundo cenário definido como “Crescimento econômico” julga que para o mesmo período ocorra uma melhoria na economia do local, que por sua vez, está condicionada ao aumento de 25% do PIB (Produto Interno Bruto) nos municípios pertencentes à bacia hidrográfica. Então é criada uma nova variável denominada “PIB10_CR”, a qual será inserida no respectivo cenário para representar esse crescimento. É assim denominada, uma vez que as alterações na variável de origem das informações é a que apresenta as informações do último ano do dano, que neste caso é o “PIB10”, sendo assim conduzido para os demais cenários.

Do contrário, o terceiro cenário estabelece a ocorrência de recessão na economia local advinda da análise do mesmo indicador, no entanto, com valor inversamente proporcional ao cenário de crescimento, ou seja, decrescendo o valor do PIB em 25% (PIB10_DR). Assim, denominado como “Decréscimo econômico” este terceiro cenário pretende, como o anterior, avaliar o comportamento das ações quando introduzidas sob condições econômicas distintas.

Tão importante quanto à avaliação das ações nos cenários econômicos adversos, é a resposta dessas ações quando inseridas em cenários que expressam a condição de vida em que se encontra a população do território sob análise. Portanto, são construídos dois cenários que consideram a qualidade de vida da

população a qual é expressa pelo índice de desenvolvimento socioeconômico (IDESE) dos municípios.

Analisando o histórico da bacia hidrográfica, o IDESE não tem sido expressivo nos últimos anos, apresentando um crescimento abaixo de 2% segundo dados da Fundação de Economia e Estatística do Rio Grande do Sul (FEE-RS). A partir desse conhecimento, os cenários foram denominados como “Impacto social positivo” e “Impacto social negativo”.

Este primeiro cenário considera que ocorra um aumento do IDESE a uma taxa de 10%, expressando uma melhoria na condição de vida da população local, sendo também construída uma nova variável para representar essa condição, a qual é denominada de IDESE11_CC. Sobre a mesma proporção, o último cenário proposto para análise julga a diminuição do referido índice, demonstrando um cenário onde a condição de vida da população é impactada de forma negativa.

Estes cenários pretendem demonstrar as mudanças que venham a ocorrer sobre o território, quando aplicadas as ações em condições favoráveis ou desfavoráveis à qualidade de vida da população.

Qualquer que seja o cenário preditivo que venha a ocorrer haverá uma resposta específica para cada ação a qual se deseja inserir ou expandir sobre o território, auxiliando assim, os processos de tomada de decisão que envolve a determinação de diretrizes específicas para cada atividade.

A Tabela 29 apresenta a descrição de cada cenário a ser considerado para análise.

Tabela 29 - Descrição da condição dos diferentes cenários.

Cenários	Descrição	Sigla	Variável
Condição atual	Não há mudança do cenário atual	CA	-----
Crescimento econômico	Ocorre um aumento na economia local em 25%	↑ Econ	PIB10_CR
Decrescimento econômico	Ocorre um retrocesso econômico local em 25%	↓ Econ	PIB10_DR
Impacto social positivo	Há melhoria da condição de vida da população de 10%	↑ IDESE	IDESE11_CR
Impacto social negativo	Há uma queda nas condições de vida da população 10%	↓ IDESE	IDESE11_DR

Definida as ações que se desejam introduzir no território, é realizada em ambiente SIG a simulação da inserção dessas ações nos diferentes cenários, resultando em 20 (vinte) cenários preditivos que representam as possíveis alterações que venham a ocorrer na bacia hidrográfica.

Os diferentes cenários preditivos resultantes da inserção de cada uma das ações nos diferentes cenários futuros considerados podem ser observados na Tabela 30.

Tabela 30 - Cenários x Ações.

		CENÁRIOS				
		CA	↑ Econ	↓ Econ	↑ IDESE	↓ IDESE
AÇÕES	<i>Nothing</i> (N)	CA + N	Econ + N	-Econ + N	Idese + N	-Idese + N
	Expansão florestal (ExFlo)	CA + ExFlo	Econ + ExFlo	-Econ + ExFlo	Idese + ExFlo	-Idese + ExFlo
	Expansão agrícola (ExAgri)	CA + ExAgri	Econ + ExAgri	-Econ + ExAgri	Idese + ExAgri	-Idese + ExAgri
	Conservacionista (Cons)	CA + Cons	Econ + Cons	-Econ + Cons	Idese + Cons	-Idese + Cons

São definidas 5 (cinco) ações que representam as possibilidades de alterações sobre o território quando a mesma é efetuada em um cenário com características positivas ou negativas do ponto de vista social e econômico no território da bacia hidrográfica, ou ainda, considerando que no futuro o cenário permaneça tal qual na atualidade.

Com estes cenários é possível analisar as alterações que podem vir a ocorrer na região quando executado os desejos dos diferentes atores envolvidos em processo de tomada decisão. No Quadro 3 apresentam-se as descrições dos cenários resultantes e o Quadro 4 apresenta as variáveis dependentes e independentes utilizadas na análise dos cenários preditivos.

Cenário x Ações		Descrição
Cenário Atual	CA+N	Cenário atual sem que haja qualquer ação no território
	CA + ExFlo	Cenário atual com a ação de expansão florestal
	CA + ExAgri	Cenário atual com a ação de expansão agrícola
	CA + Cons	Cenário atual com a ação conservacionista
Cenário de crescimento econômico	Econ + N	Cenário de crescimento econômico sem que haja qualquer ação sobre o território
	Econ + ExFlo	Cenário de crescimento econômico com a ação de expansão florestal
	Econ + ExAgri	Cenário de crescimento econômico com a ação de expansão agrícola
	Econ + Cons	Cenário de crescimento econômico com a ação conservacionista
Cenário de Decrescimento econômico	-Econ + N	Cenário de retrocesso econômico sem que haja qualquer ação sobre o território
	-Econ + ExFlo	Cenário de retrocesso econômico com a ação de expansão florestal
	-Econ + ExAgri	Cenário de retrocesso econômico com a ação de expansão agrícola
	-Econ + Cons	Cenário de retrocesso econômico com a ação conservacionista
Impacto social positivo	Idese + N	Cenário de impacto social positivo sem que haja qualquer ação sobre o território
	Idese + ExFlo	Cenário de impacto social positivo com a ação de expansão florestal
	Idese + ExAgri	Cenário de impacto social positivo com a ação de expansão agrícola
	Idese + Cons	Cenário de impacto social positivo com a ação de conservacionista
Impacto social negativo	-Idese + N	Cenário de impacto social negativo sem que haja qualquer ação sobre o território
	-Idese + ExFlo	Cenário de impacto social negativo com a ação de expansão florestal
	-Idese + ExAgri	Cenário de impacto social negativo com a ação de expansão agrícola
	-Idese + Cons	Cenário de impacto social negativo com a ação de conservacionista

Quadro 3 - Descrição dos Cenários x Ações.

Cenários preditivos																				
Cenários	Condição Atual (CA)				Crescimento Econômico (+Econ)				Decrescimento Econômico (-Econ)				Impacto Social Positivo (+Econ)				Impacto Social Negativo (-Econ)			
	Ações	N	ExAgri	Cons	ExFlo	N	ExAgri	Cons	ExFlo	N	ExAgri	Cons	ExFlo	N	ExAgri	Cons	ExFlo	N	ExAgri	Cons
Variáveis Independentes	CONSBIO				CONSBIO				CONSBIO				CONSBIO				CONSBIO			
	DECLIV				DECLIV				DECLIV				DECLIV				DECLIV			
	EF_06				EF_06				EF_06				EF_06				EF_06			
	EF_11				EF_11				EF_11				EF_11				EF_11			
	ESTFUND				ESTFUND				ESTFUND				ESTFUND				ESTFUND			
	FAUNA				FAUNA				FAUNA				FAUNA				FAUNA			
	FLORA				FLORA				FLORA				FLORA				FLORA			
	GEOL				GEOL				GEOL				GEOL				GEOL			
	GEOMORF				GEOMORF				GEOMORF				GEOMORF				GEOMORF			
	IDESE_06				IDESE_06				IDESE_06				IDESE_11				IDESE_11			
	IDESE_11				IDESE_11				IDESE_11				IDESE_11CR				IDESE_DC			
	IDUMIDADE				IDUMIDADE				IDUMIDADE				IDUMIDADE				IDUMIDADE			
	INDAGR				INDAGR				INDAGR				INDAGR				INDAGR			
	INORD				INORD				INORD				INORD				INORD			
	POPTO06				POPTO06				POPTO06				POPTO06				POPTO06			
	POPTO11				POPTO11				POPTO11				POPTO11				POPTO11			
	PIB06				PIB11				PIB11				PIB06				PIB06			
	PIB11				PIB11_CR				PIB_DC				PIB11				PIB11			
	RSOLO				RSOLO				RSOLO				RSOLO				RSOLO			
USO06				USO06				USO06				USO06				USO06				
Variável Dependente	--	USO12			--	USO12			--	USO12			--	USO12			--	USO12		
	USO12	USO_ExAgri	USO_Cons	USO_ExFlo	USO12	USO_ExAgri	USO_Cons	USO_ExFlo	USO12	USO_ExAgri	USO_Cons	USO_ExFlo	USO12	USO_ExAgri	USO_Cons	USO_ExFlo	USO12	USO_ExAgri	USO_Cons	USO_ExFlo

Quadro 4 - Variáveis dependentes e independentes para análise dos cenários preditivos.

4.5 Análise de sensibilidade

Qualquer que seja o modelo proposto, este deve estar acompanhado de uma medida de incerteza, pois os modelos estão sujeitos a incertezas dos parâmetros os quais o compõem. Mesmo que as medidas para sua calibração sejam efetuadas, é impossível dizer que não ocorram erros associados aos seus valores finais, pois como descrito por Longley et al. (2013) “nenhum modelo se ajusta perfeitamente aos dados disponíveis para calibração [...] sendo importante que usuário de modelos apliquem alguma forma de análise de sensibilidade, examinando cada parâmetro para ver quanta influencia ele tem sobre os resultados”.

Com a aplicação a análise sensitiva dos dados abre-se a possibilidade de realizar uma análise individual das variáveis que compõe o modelo, pois a análise apresenta uma ordenação (*ranking*) das variáveis demonstrando quais são de certa forma mais “influentes” no conjunto, face cada ação que se deseja para o território.

Assim, aplicam-se os parâmetros escolhidos para elaboração das RNA para o conjunto de dados (variáveis) até que seja observada a ocorrência de um padrão comportamental dos dados e um grau de confiança de 95%. Encontrado o padrão e o grau de confiança adequado para o cenário Condição Atual, é avaliada a ordenação (*ranking*) da influência relativa (calculada pelo modelo), podendo observar quais as variáveis são relativamente mais “influentes” no conjunto sob análise, facilitando assim, a compreensão sobre o resultado da dinâmica do uso e ocupação do território para os cenários preditivos elaborados.

Caso haja necessidade, há ainda a possibilidade de realizar uma nova ponderação dos indicadores se considerado pela análise sensitiva, que algum dos indicadores é “mais ou menos” influente, merecendo a alteração do peso calculado pela RNA.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Ações

Para construção das respectivas ações que fazem parte do modelo preditivo, foram consideradas as condicionantes apresentadas na Figura 47. Com o que resultou, além do mapa com as classes de uso e ocupação do território no ano de 2013 que representa a ação *Nothing*, também nos mapas de uso e ocupação que consideram a inserção das respectivas ações de interesse sobre o território.

Na Tabela 31 são apresentados os valores em hectares para os diferentes usos e cobertura do território quando considerado cada uma das ações de interesse.

Tabela 31 - Uso e cobertura das distintas ações

USOS	AÇÕES (ha)			
	<i>Nothing</i>	ExAgri	Cons	ExFlo
Agricultura	7.366,35	8.576,75	4.614,41	6.323,48
Campo	1.210,40	00,00	435,48	907,24
Floresta Nativa	1.971,12	1.971,12	5.500,42	1.971,12
Água	92,72	92,72	92,72	92,72
Silvicultura	14,49	14,49	12,05	1.360,52
Área Urbana	76,78	76,78	76,78	76,78
Total		10.731,86		

Cada ação representa uma nova variável que fez parte, juntamente com as já descritas no Quadro 2 no conjunto de variáveis para construção dos cenários preditivos avaliados como apresentado no Quadro 4. A seguir são apresentadas as Figuras 49, 50, 51 e 52, que representam os mapas das ações consideradas para análise.

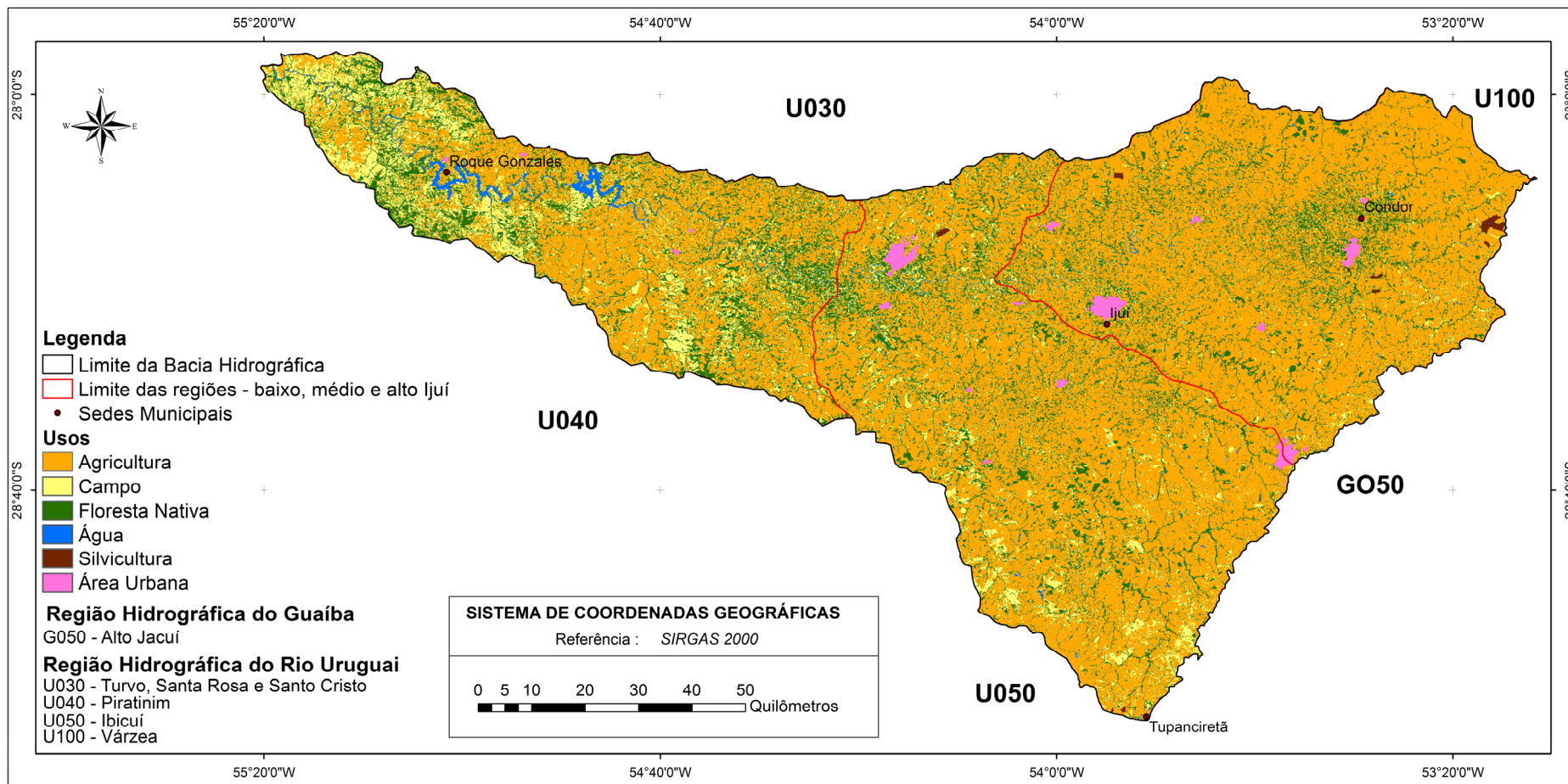


Figura 49 - Uso e cobertura no ano de 2013, representando a ação *Nothing*.

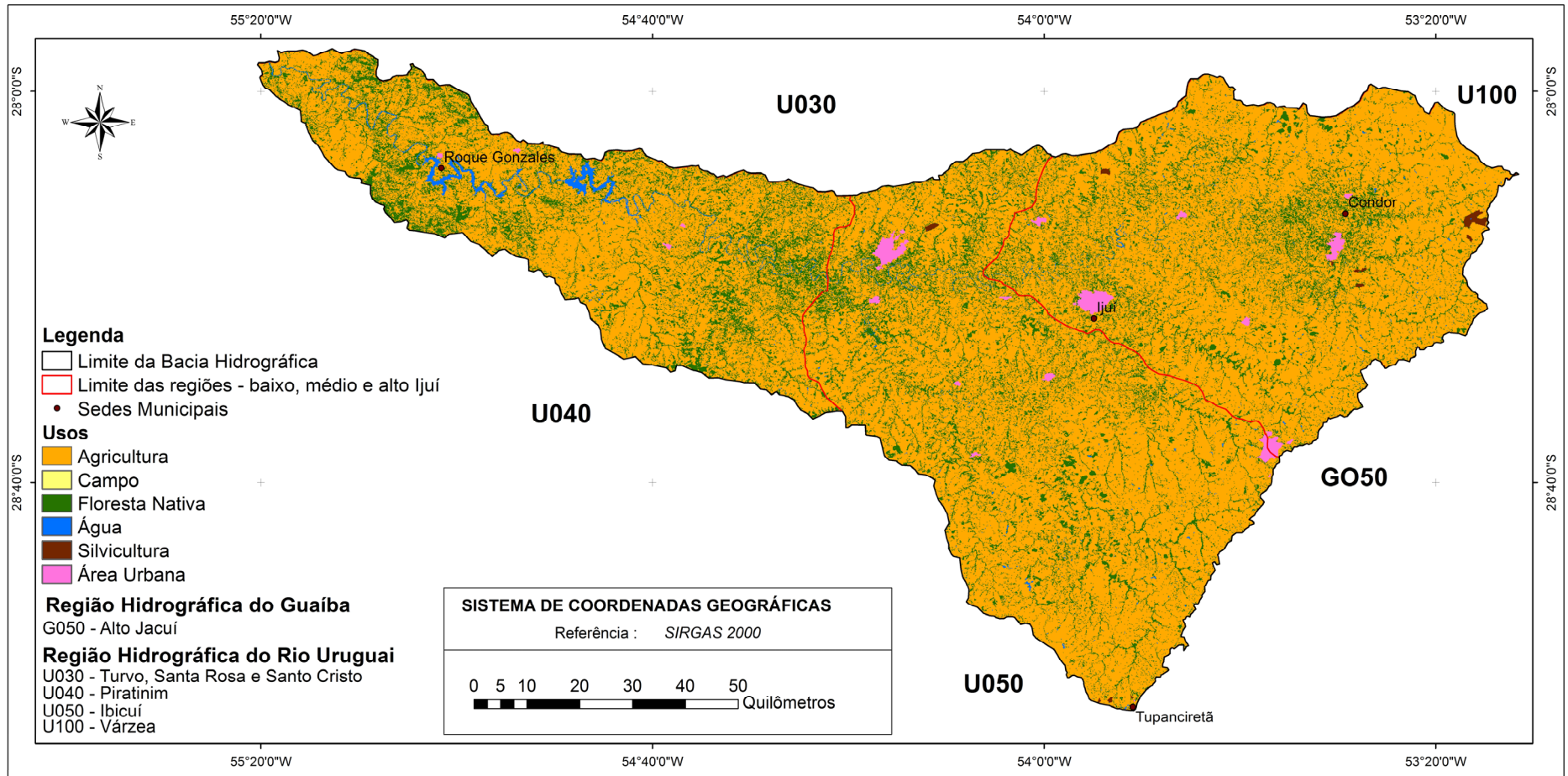


Figura 50 - Uso e cobertura considerando a ação de expansão agrícola (ExAgri).

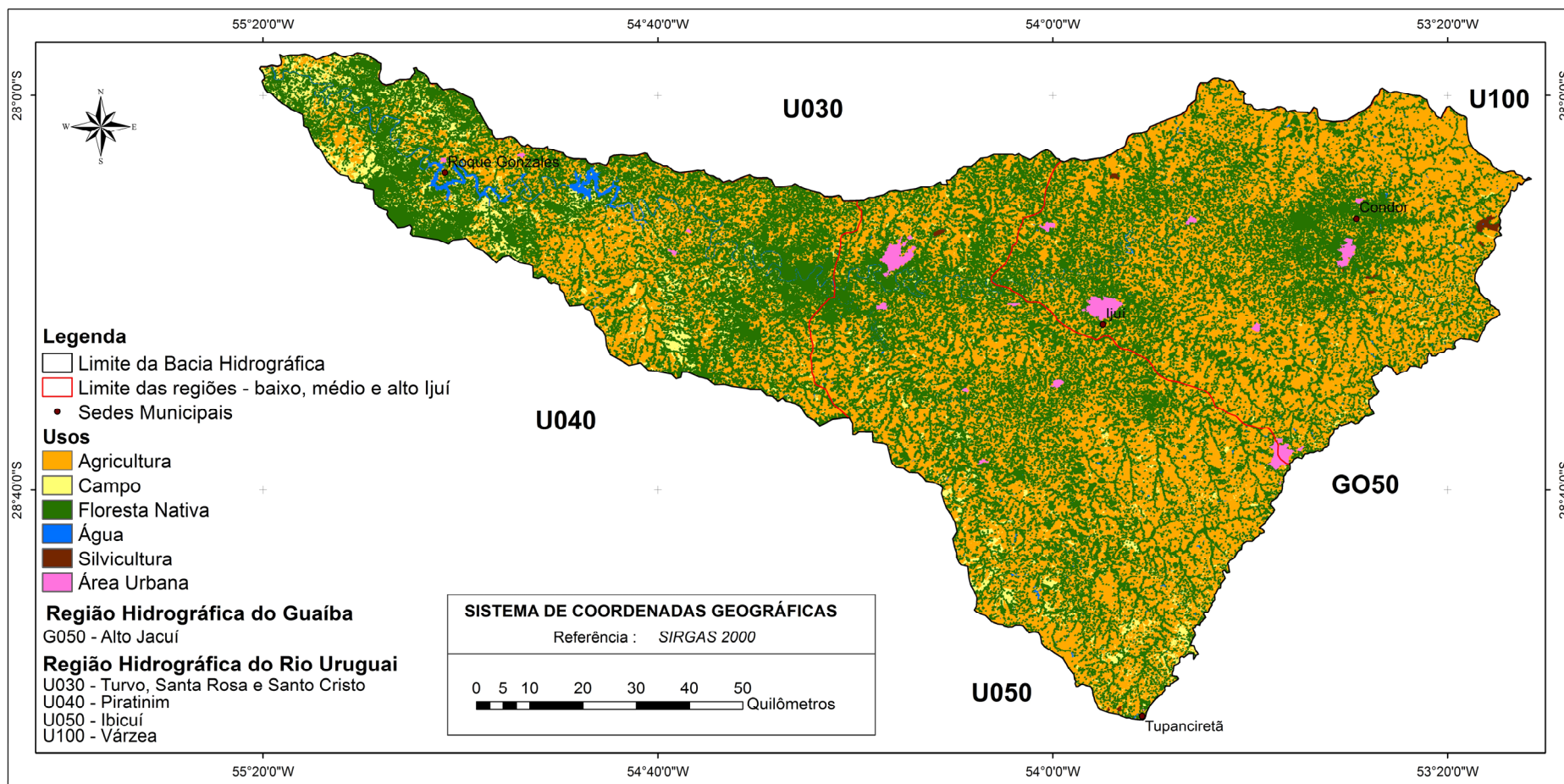


Figura 51 - Uso e cobertura considerando a ação conservacionista (Cons).

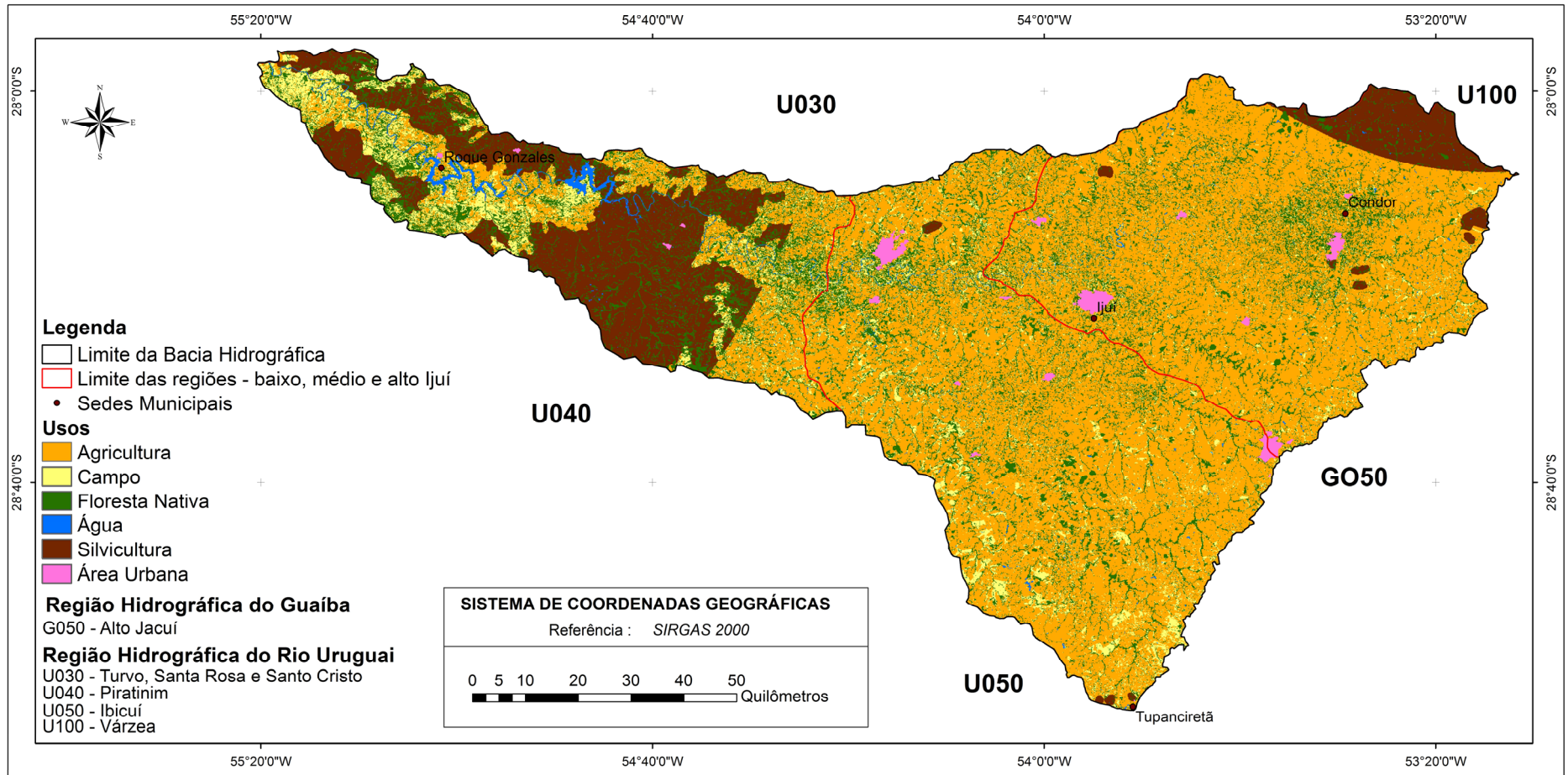


Figura 52 - Uso e cobertura considerando a ação de expansão florestal (ExFlo).

5.2 Treinamento das redes neurais

O treinamento das redes neurais para a região da bacia hidrográfica foi realizado no software *Statistica*[®] 12.0, opção *Data Mining - Neural Network*. Utilizando o modelo de redes *Multilayer Perceptron* (MLP), foram processados para o conjunto de variáveis do cenário Condição Atual sem ação (*Nothing*), modelos de redes sob diferentes parâmetros de ajustamento, com objetivo de aferir os melhores resultados e definir o modelo a ser aplicado para os demais cenários.

Para realizar o ajuste dos pesos da RNA foi utilizado o algoritmo *backpropagation* com a função de ativação sigmoideal para camada oculta e camada de saída. Um dos problemas enfrentados no treinamento de redes neurais tipo MLP com treinamento *backpropagation* diz respeito à definição de seus parâmetros [...] (SILVA; OLIVEIRA, 2013). Segundo os autores, pequenas diferenças nestes parâmetros podem levar a grandes diferenças tanto no tempo de treinamento como na generalização obtida.

Para Medeiros (1999) uma das tarefas mais difíceis na elaboração de uma RNA ideal para a solução de certo problema, é determinar o número de elementos de processamento da camada oculta (neurônios) bem como o número de camadas ocultas, sendo que não existe uma regra para essa determinação.

Para o conjunto de variáveis (que nesta análise se refere aos indicadores) foram utilizados dois modelos de estrutura de redes neurais para o treinamento dos diferentes parâmetros de ajustamento, sendo uma constituída de apenas uma camada de neurônios escondidos (camada oculta ou *hidden layer*), e outra que apresenta uma estrutura multicamadas, neste caso, com duas camadas ocultas.

Na maioria dos casos é possível obter um bom resultado no treinamento da RNA com a utilização de apenas uma camada oculta. Porém, não há um conjunto de parâmetros pré-estabelecidos para aplicação das RNA, o que ocorre, é que alguns parâmetros apresentam a capacidade de resolver o que lhe é solicitado na maioria dos modelos, tornando-os mais utilizados. No entanto, cada conjunto de variáveis é único e a sua RNA deve ser treinada até que o melhor ajuste seja alcançado.

Cabe destacar que para esta tese, recorreu-se primeiramente a técnica de Análise Multivariada: Análise Fatorial (Componentes Principais) como forma de

afinação do modelo de análise não-linear, para confronto/aferição de resultados por eliminação de algumas variáveis que se suponham ser redundantes e por conseguinte atribuir, apenas 'ruído' nos procedimentos de análise, além de consumidoras de tempo e memória computacional. Esta análise é descrita e apresentada no Apêndice B, a qual resultou na definição de 21 variáveis para análise das mudanças sobre o território.

Os resultados da aplicação dos diferentes parâmetros para o treinamento das redes neurais para o respectivo conjunto de variáveis podem ser observados no Apêndice C. Para tanto, as redes que apresentaram as melhores respostas frente aos parâmetros adotados para o treinamento do cenário Condição Atual sem ação, são apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 - Parâmetros das RNA que apresentaram melhores resultados de ajustamento.

Redes Multilayer Perceptron (MLP)						
Nº de variáveis	Nº camada(s) escondida(s)	Nº neurônios escondidos	Taxa de aprendizagem	Épocas	Desempenho (<i>Training perf.</i>)	Erro
21-22*	01	10	0,001	400	0,562759	0,283457
	01	15	0,001	500	0,555336	0,289595
	01	20	0,001	200	0,54864	0,291151
	02	05-05	0,001	500	0,831610	0,118382
	02	10-10	0,001	500	0,827828	0,129893
	02	12-12	0,001	500	0,817705	0,124092

*a 22º variável corresponde a ação que está sob análise no respectivo cenário.

Para os cenários sem ação foram utilizadas as redes com duas camadas ocultas com o número de 10 neurônios escondidos em cada uma das camadas Já os cenários com as ações ExAgri, Cons e ExFlo foi estabelecida a estrutura de rede com apenas uma camada oculta, e também com dez neurônios escondidos. A representação gráfica da estrutura das RNA aplicadas para os diferentes cenários pode ser observada na Figura 53.

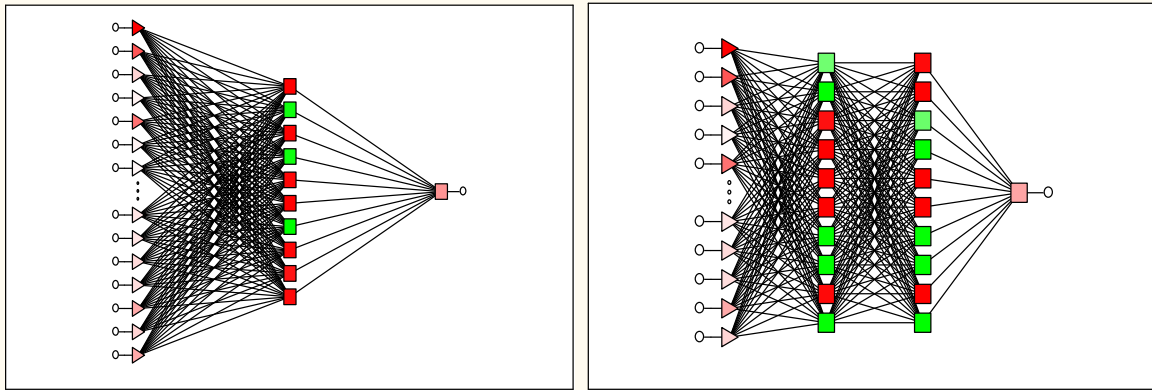


Figura 53 - Estrutura das redes neurais com uma e duas camadas ocultas e dez neurônios escondidos.

Fonte: Software *Statística 12*.

Após o treinamento das RNA e definidos os parâmetros a serem aplicados para os cenários frente às distintas ações que se desejam realizar no território, obteve-se os valores de relativos ao desempenho da rede (*Training perf*), Erro e *V' Cramer* para cada caso. A Tabela 33 apresenta os valores resultantes de cada Cenário com a respectiva ação.

Tabela 33 - Resultado das redes neurais para os distintos cenários preditivos.

(Continua)

Redes Multilayer Perceptron (MLP)						
Cenários	Nº camada(s) escondida(s)	Nº neurônios escondidos	Taxa de aprendizagem	Desempenho (<i>Training perf</i>).	Erro	<i>V' Cramer</i>
CA + N	02	10-10	0,001	0.82782	0.12435	0.6372
CA + ExAgri	01	10	0,001	0.99909	0.00080	0.9555
CA + Cons	01	10	0,001	0.75438	0.11830	0.8975
CA + ExFlo	01	10	0,001	0.98626	0.09457	0.6326

(Conclusão)

Redes <i>Multilayer Perceptron</i> (MLP)						
Cenários	Nº camada(s) escondida(s)	Nº neurônios escondidos	Taxa de aprendizagem	Desempenho (<i>Training perf.</i>)	Erro	V' <i>Cramer</i>
+Econ + N	02	10-10	0,001	0.81998	0.11199	0.6991
+Econ + ExAgri	01	10	0,001	0.99850	0.00155	0.9509
+Econ + Cons	01	10	0,001	0.75481	0,11875	0.8989
+Econ + ExFlo	01	10	0,001	0.98501	0.09920	0.7082
-Econ + N	02	10-10	0,001	0.82203	0.11227	0.6353
-Econ + ExAgri	01	10	0,001	0.99902	0.00090	0.9436
-Econ + Cons	01	10	0,001	0.75383	0.11819	0.8924
-Econ + ExFlo	01	10	0,001	0.95924	0.11819	0.6459
+IDESE + N	02	10-10	0,001	0.81825	0.12418	0.6367
+IDESE+ ExAgri	01	10	0,001	0.99787	0.00180	0.9082
+IDESE+ Cons	01	10	0,001	0.75540	0.11851	0.8680
+IDESE + ExFlo	01	10	0,001	0.98626	0.08796	0.7375
-IDESE + N	02	10-10	0,001	0.81922	0.11201	0.7000
-IDESE + ExAgri	01	10	0,001	0.99892	0.00092	0.9470
-IDESE + Cons	01	10	0,001	0.75509	0.11847	0.8967
-IDESE +ExFlo	01	10	0,001	0.95859	0.13265	0.6326

Os cenários com os maiores valores de *training perf.* foram os cenários com a ação de Exploração Agrícola (ExAgri), os quais apresentaram estimativas sempre acima 0,99. Na sequência estão os cenários com a ação de Exploração Florestal (ExFlo) com valores de 0,95 a 0,98. No entanto, os cenários com a ação de Conservacionista (Cons) foram os que apresentaram os valores mais baixos, não ultrapassando valores de 0,75 de *training perf.*

As estimativas para o erro também apresentaram valores de significância permanecendo um máximo de 0,13 para o conjunto dos cenários como pode ser observado na Figura 54.

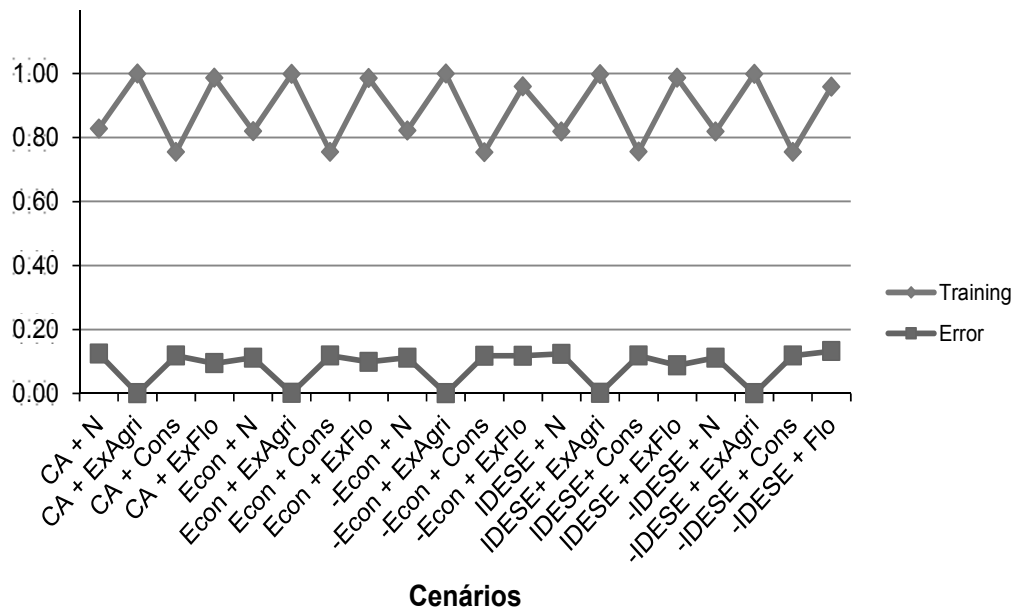


Figura 54 - Valores de *Training perf.* e *Error* para os Cenários x Ações.

5.3. Cenários

5.3.1 Cenário Condição Atual (CA)

Ao considerar que a região da bacia hidrográfica permanecerá sob as mesmas condições a que se encontra na atualidade. Ou seja, em não havendo alterações no panorama socioeconômico atual, é suposto a inserção de quatro ações de interesse sobre o território, sendo verificada a dinâmica das variáveis indicadoras na discriminância das possíveis alterações frente às distintas ações de interesse. A Figura 55 apresenta o *ranking* de influência das variáveis na dinâmica do território para cada uma das ações a que se propõem no contexto do cenário Condição Atual.

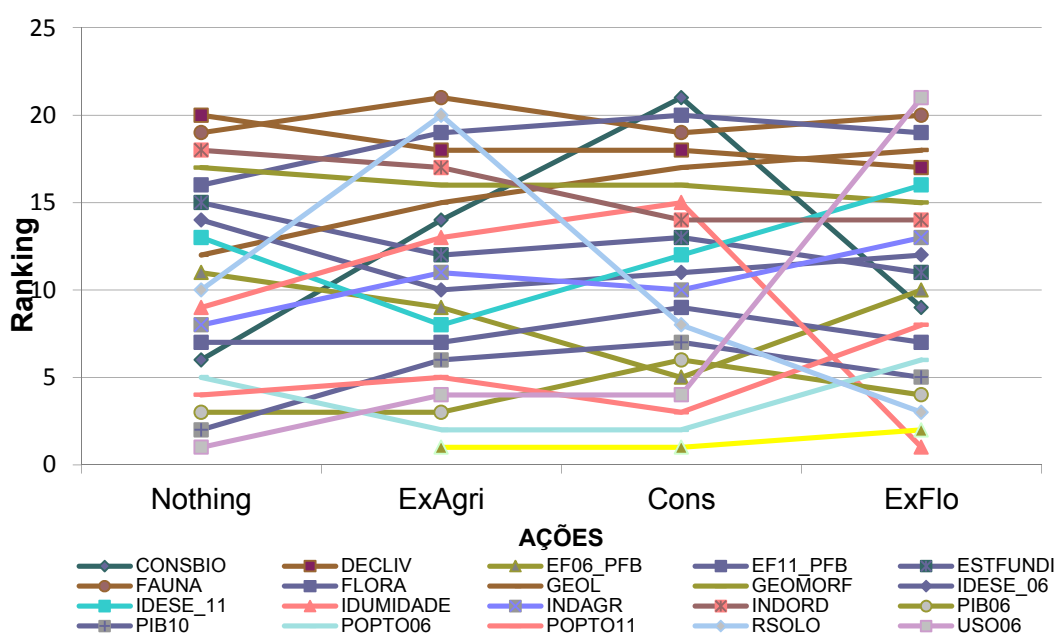


Figura 55 - *Ranking* da influência das variáveis na dinâmica do território frente as diferentes ações para cenário Condição Atual.

A “ação” denominada *Nothing*, ou não ação, tem como primeira variável de influência na dinâmica do território, o uso e cobertura da terra do ano de 2006, o qual representa a ocorrência das atividades (usos) na bacia hidrográfica no respectivo ano. Porém, quando realizada a ação de exploração agrícola (ExAgri) e a ação conservacionista (Cons) esta variável passa a ser o quarto fator no *ranking*, e deixa de ter maior influência quando inserida a ação de exploração florestal (ExFlo).

A justificativa para essa alteração é o fato da variável uso e ocupação referente ao ano de 2006 passar a ser uma variável dependente para os cenários ExAgri, Cons e ExFlo, e o uso e cobertura do ano de 2013 ser inserida como a variável independente para esses cenários.

O Produto Interno Bruto correspondente aos dois anos de análise (2006 e 2011) destaca-se por estar presente entre as 8 variáveis mais influentes na dinâmica do território para este cenário, ficando com menor influência (6º e 8º) quando há a intenção de uma ação conservacionista, e a maior influência quando considerado o contexto atual sem ação (*Nothing*).

A variável população total no ano de 2006 (POPTO06) independente das ações para este cenário permanece presente entre as 6 primeiras variáveis

discriminantes. Porém, quando a ação é a exploração agrícola ou conservacionista esta variável apresenta-se como a segunda mais influente.

No entanto, essa influência diminui para a ação de exploração florestal, considerando que outras variáveis acabam por ser mais preponderantes no contexto de inserção da atividade florestal. Um exemplo é a variável resistência dos solos a impactos (RSOLO), que se torna a terceira no ranqueamento para esta ação. Segundo Gonçalves; Demattê; Do Couto (1990) o solo é um dos principais determinantes ambientais da produtividade florestal, o que justifica a importância atribuída na determinação dos cenários preditivos que contemplam a expansão da atividade florestal em relação às demais.

Por sua vez, a variável emprego formal na atividade florestal do ano de 2011 (EF11_PBF) apresenta um mesmo nível de influência para praticamente todas as ações (7º) neste cenário, diminuindo apenas quando em uma ação conservacionista, reforçando que para o caso em que o desejo seja a ação Cons, o emprego na atividade florestal não apresenta grande relevância para as mudanças que irão ocorrer no território.

Segundo SNIF (Sistema Nacional de Informações Florestais)¹ o setor que apresenta maior número de empregos formalizados na área florestal no país é o da produção moveleira. Entretanto, apesar de (em conjunto com os produtos de papel) este setor ser o de maior número de empregos formais na área florestal na região de estudo, ainda é em número muito inferior quando comparado com os setores da indústria e agricultura.

Em geral o cenário Condição Atual com a ação de expansão agrícola apresenta muita semelhança com o cenário que não há ação (*Nothing*). É compreensível uma vez que observamos a predominância da atividade agrícola sobre o território (68%). Por outro lado, uma variável que ganha destaque é da conservação da biodiversidade (CONSBIO), pois deixa de ter influência quando há a intenção de expansão agrícola, mas mantém-se entre as dez mais influentes no contexto em que permanece a situação atual ou se introduz a ação de expansão florestal.

¹ <http://www.florestal.gov.br/snif/producao-florestal/emprego>

A variável índice de umidade (IDUMIDADE) por ser um dos fatores condicionantes na definição das áreas a receber a ação de expansão florestal, acaba por apresentar-se mais discriminante nas possíveis alterações sobre o território em relação as demais variáveis. A Figura 56 apresenta o ranqueamento das dez mais influentes em cada uma das ações determinadas para o cenário Condição Atual.

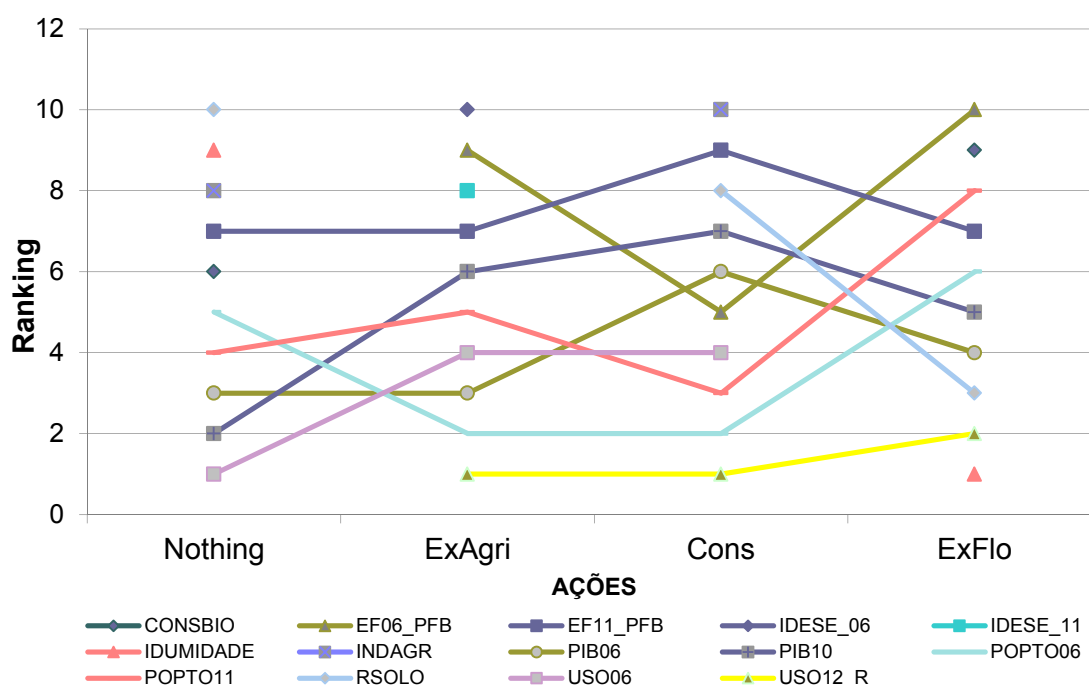


Figura 56 - *Ranking* com as dez variáveis de maior influência sobre a dinâmica do território nas diferentes ações para o cenário Condição Atual.

É perceptível neste cenário o aumento das áreas agrícolas, que acabam por recobrir aproximadamente 58% da bacia, apresentando uma tendência já esperada pelo fato da atividade agrícola ser o uso predominante sobre o território. No entanto, a que se destacar que este cenário apresenta a possibilidade de diminuição das áreas de florestas nativa, concentrando-se este uso, especialmente nas áreas ao entorno dos cursos de água ou em regiões em que ainda há um remanescente florestal representativo.

A Figura 57 apresenta as relações de proporcionalidade entre os usos no ano de 2013 e 2018 para o cenário Condição Atual sem ação.

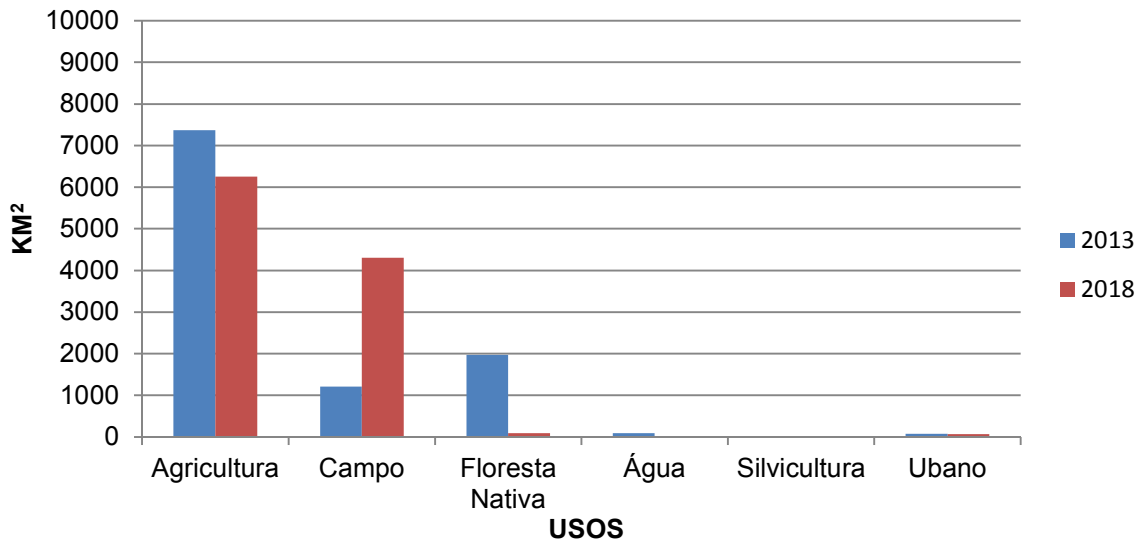


Figura 57 - Alterações para o uso e cobertura de 2013 para 2018 para o cenário Condição Atual sem ação (*Nothing*).

Quando analisada as mudanças por regiões da bacia considerando o cenário atual, nota-se que a área agrícola tende a ser mais representativa na porção do médio Ijuí a qual concentra mais de 44% do total dessa atividade. Em contraponto, a atividade apresenta uma redução em torno de 6% na região do baixo Ijuí.

O uso Campo ganha território neste cenário, sobretudo nas áreas atualmente ocupadas pelas florestas nativas e/ou silvicultura. A possibilidade de que ocorram essas alterações vem salientar a importância da inserção de medidas voltadas a conservação dos recursos naturais, a fim de minimizar os possíveis efeitos negativos que venham ocorrer no ecossistema local.

A Figura 58 apresenta as possíveis transformações no território da bacia hidrográfica para o cenário Condição Atual considerando que este permaneça sem ação.

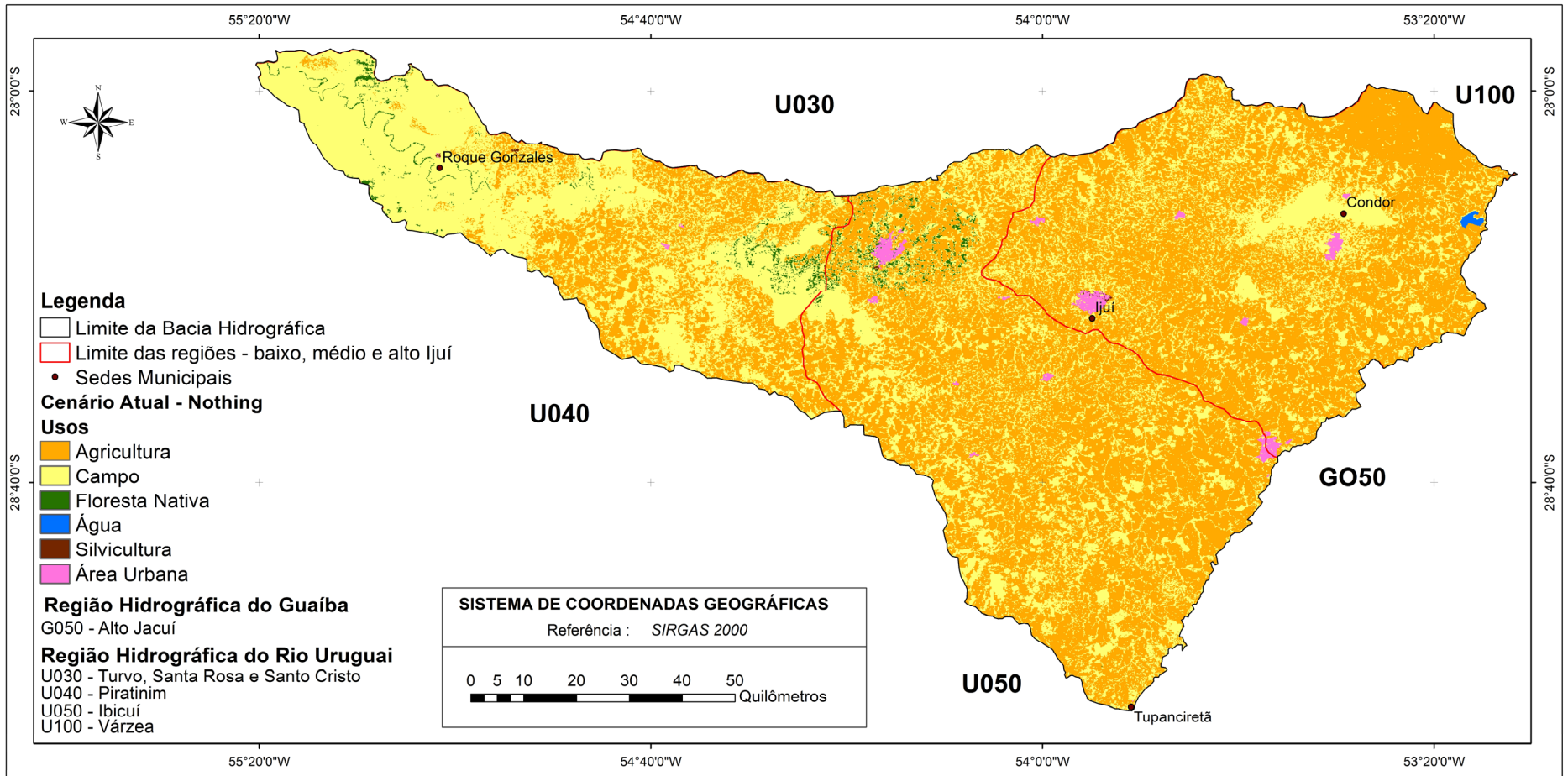


Figura 58 - Condição Atual sem ação (*Nothing*).

Para este cenário a condição de não ação sobre o território, demonstra que há a possibilidade de redução da atividade de silvicultura em torno de 14%, podendo estas serem ocupadas pelo uso Campo, seja para atividade de pecuária (justo que esta atividade está inserida na classe Campo) ou para uso Campo Nativo nas regiões onde há a ocorrência do bioma Pampa.

5.2.1.1 Cenário Condição Atual (CA): Ação Expansão Agrícola (ExAgri)

O cenário Condição Atual com a ação de expansão agrícola acaba por não demonstrar grande distinção em relação ao uso e cobertura atual (2013). Um fato lógico a ocorrer com a inserção da ação ExAgri é a não presença das áreas de campo, pois as mesmas foram consideradas alteradas na totalidade. É claro, considera-se aqui a hipótese que assim sejam utilizadas, caso esse seja o desejo sobre o território. Portanto, as áreas agrícolas em um cenário de Condição Atual poderiam incidir em um aumento de aproximadamente 11%, dos quais 5% deste estariam na região do baixo Ijuí, por ser a que na atualidade apresenta a maior proporcionalidade de áreas com o uso Campo.

Ao analisar as variáveis que mais discriminam as dinâmicas do território para esta ação em comparação com a ação *Nothing* (Figura 56), nota-se que ocorre apenas alterações em relação às ordens de importância entre as 6 primeiras variáveis, demonstrando similaridade entre as ações no ranqueamento das variáveis. Destaca-se que a ação *Nothing* no contexto atual, tende a manter as mesmas proporções (km²) das áreas de floresta nativa, das áreas utilizadas para a atividade de silvicultura e das áreas urbanas (Figura 59).

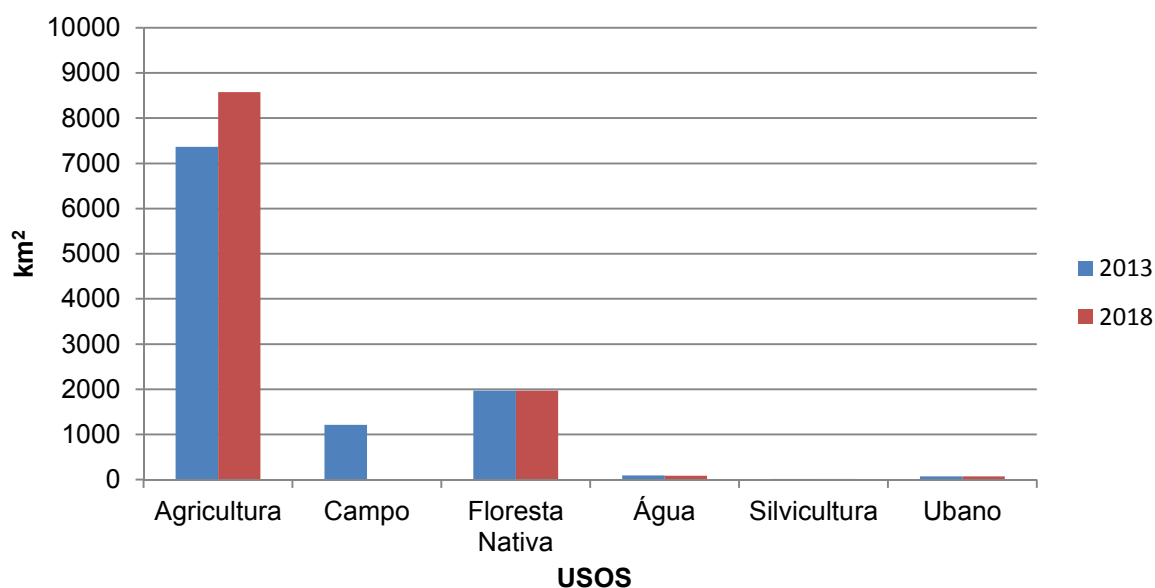


Figura 59 - Alterações para o uso e cobertura de 2013 para 2018 para o cenário Condição Atual com ação ExAgri.

Na medida em que ação agrícola é intensificada na bacia, deve-se observar para a importância da manutenção das áreas com floresta nativa, com intuito de minimizar possíveis efeitos negativos sobre os ecossistemas, causado pela aplicação de técnicas agrícolas inadequadas, pelo mau uso dos recursos naturais e pelo emprego de agroquímicos que levam à contaminação dos corpos hídricos e do solo. Marmontel (2014) ao avaliar diferentes parâmetros qualitativos da água em áreas de nascentes sob diferentes condições de coberturas de solo em estado preservado, perturbado e degradado, verificou que as nascentes que estavam sob uma cobertura de floresta natural em estado preservado ou mesmo perturbado apresentaram água de maior qualidade; evidenciando que a manutenção das áreas com vegetação ciliar auxiliam na proteção qualitativa dos recursos hídricos.

Portanto, ao inserir a respectiva ação devem-se considerar também ações voltadas a sua conservação dos recursos naturais, no intuito de minimizar os possíveis impactos causados pela atividade, assim como, buscar a restauração das áreas que se encontram em processo de degradação. A Figura 60 apresenta o cenário Condição Atual com a ação Expansão Agrícola (ExAgri).

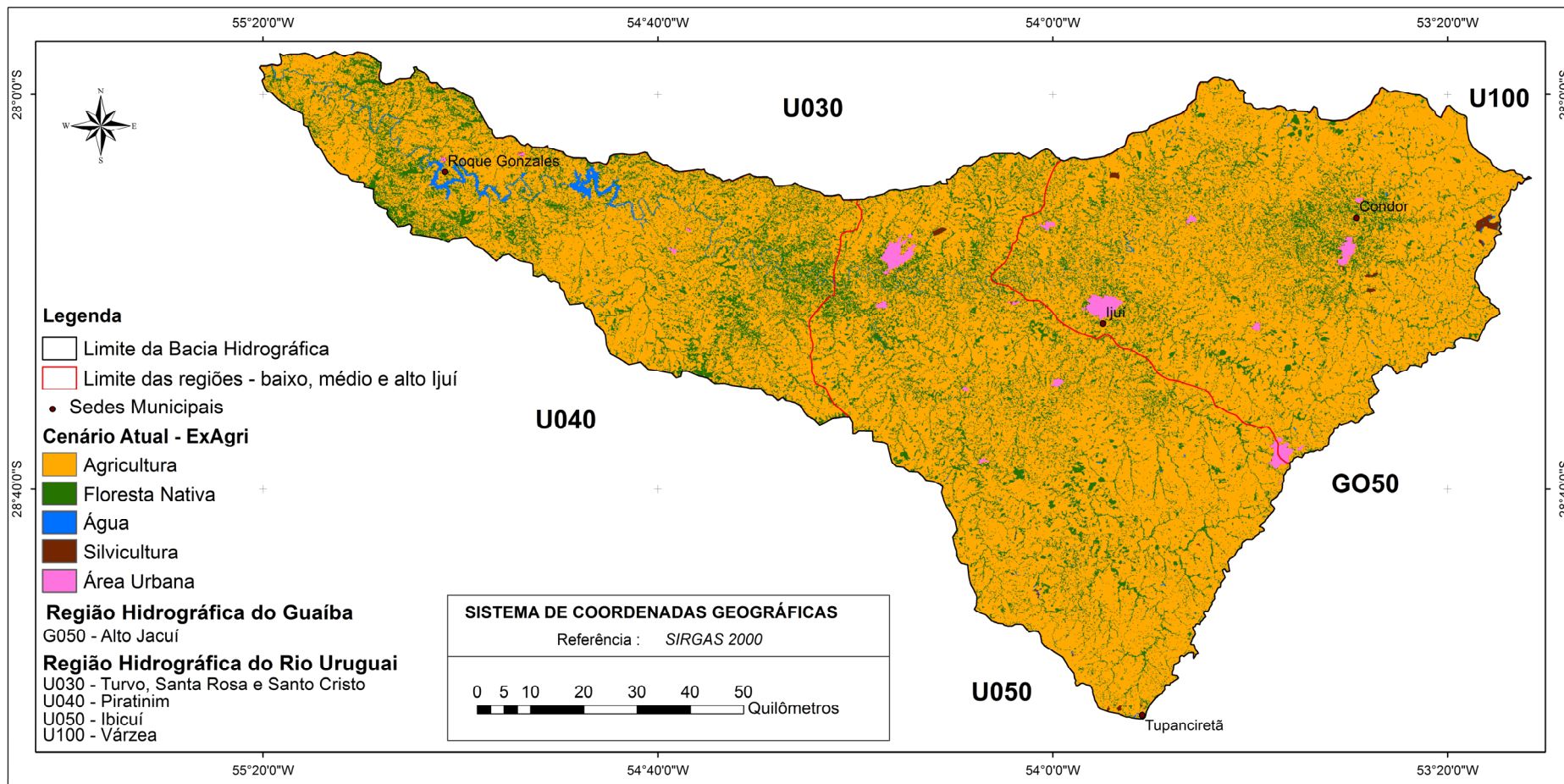


Figura 60 - Condição Atual com a ação Expansão Agrícola (ExAgri).

5.2.1.2 Cenário Condição Atual (CA): Ação Conservacionista (Cons)

A ação conservacionista para o cenário atual, a qual prioriza o aumento das áreas de floresta nativa, acaba por minimizar consideravelmente a atividade agrícola da bacia, principalmente na região do médio Ijuí. É pouco provável que ocorra no período analisado um decréscimo tão acentuado (Figura 61), porém demonstra que existe a possibilidade de que a região venha a perder um número maior de áreas de atividade agrícola em relação às demais atividades.

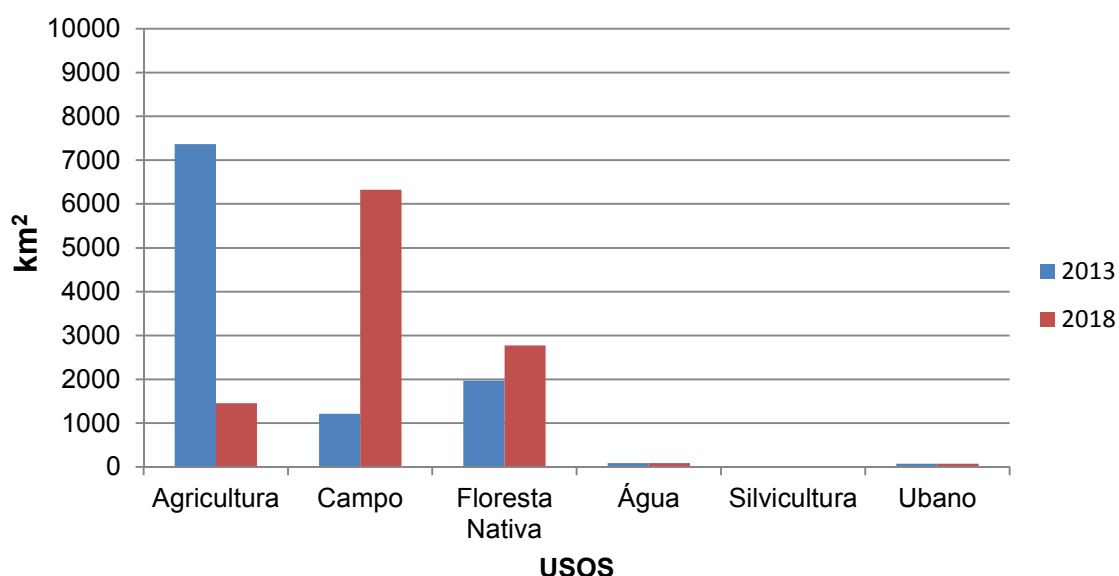


Figura 61 - Alterações para o uso e cobertura de 2013 para 2018 para o cenário Condição Atual com ação Cons.

Esse decréscimo estaria relacionado também com a existência de vários remanescentes florestais na região, os quais teriam a prioridade na ação conservacionista, expandido para as áreas hoje ocupadas pelo uso agricultura. Outro fator, diz respeito a grande parte da região do médio Ijuí estar inserida no bioma Pampa, e com inserção de uma ação conservacionista, potencializaria a redução da atividade agrícola e, conseqüentemente o crescimento em até 30% das áreas de campos naturais.

No entanto, o uso Campo também considera a atividade de pecuária (pastagem) e, portanto, as alterações sobre o território podem estar também

relacionadas com uma mudança de atividade econômica na região e não apenas a conservação das áreas de campo nativo.

Todavia, a diminuição da área agrícola está relacionada, sobretudo com o aumento de aproximadamente 7,5% das áreas com floresta nativa neste cenário em relação ao ano de 2013. Este aumento foi mais expressivo nas regiões onde os municípios apresentam população total, igual ou inferior a 20 mil habitantes, nos quais os efeitos da ocupação urbana sobre o território, como por exemplo, o desmatamento acaba por ser menos intenso, favorecendo a conservação ou manutenção dos recursos naturais, o que explica a influência da variável nas alterações sobre o território como apresentado na Figura 56.

O cenário Condição Atual com a ação conservacionista não propiciou um aumento significativo da atividade silvícola (0,1%) sobre o território, contudo, é válido destacar que todo plano de manejo da atividade florestal prevê ações voltadas à conservação das áreas naturais como as áreas de preservação permanente, áreas de reserva legal e a recuperação de áreas degradadas, podendo proporcionar um aumento da cobertura de floresta ou campo nativo na região. Na Figura 62 apresentam-se as possíveis alterações sobre o território para o cenário Condição Atual sob a ação Conservacionista.

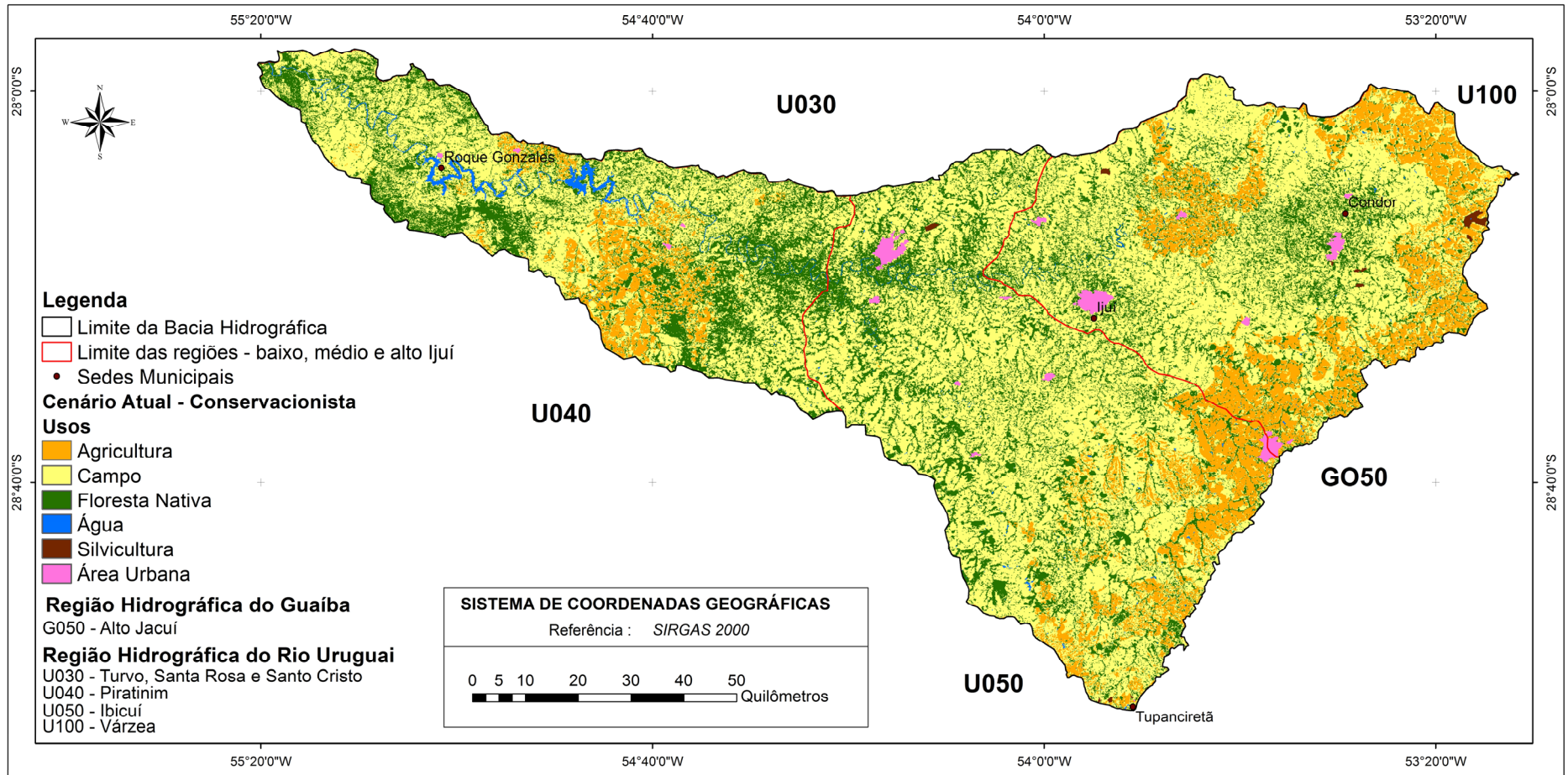


Figura 62 - Condição Atual com a ação Conservacionista (Cons).

5.2.1.3 Cenário Condição Atual: Ação Expansão Florestal (ExFlo)

Considera-se para ação de expansão florestal que esta atividade venha a ser inserida nas áreas que apresentam: declividade de até 20%, solos na classe de resistência A, índice de umidade nas classes B2 e B3 e, nas áreas ao entorno dos reflorestamentos já existentes desde que apresentem as condições anteriores.

Para o cenário Condição Atual a inserção da ação ExFlo tende a diminuir as áreas hoje utilizadas para agricultura em pouco mais de 20% na região da bacia (Figura 63), e conseqüentemente aumenta a área com atividade de silvicultura em pouco mais de 12%.

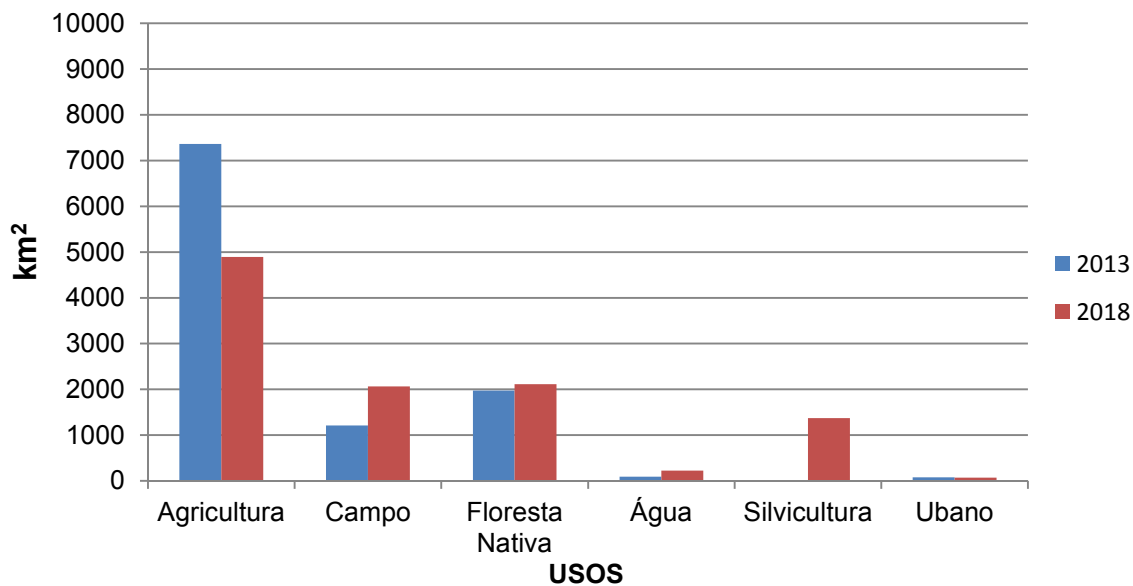


Figura 63 - Alterações para o uso e cobertura de 2013 para 2018 para o Cenário Condição Atual com ação ExFlo.

A região do baixo Ijuí é a que apresenta as maiores áreas com as características consideradas viáveis para a implantação da atividade silvícola, sendo projetada para essa região cerca de 78% da atividade. O restante da atividade concentra-se principalmente da região do alto Ijuí (20%), na porção ao norte e leste da bacia. Na Figura 64 apresenta-se o cenário Condição Atual com a ação de expansão da atividade florestal na região da bacia hidrográfica.

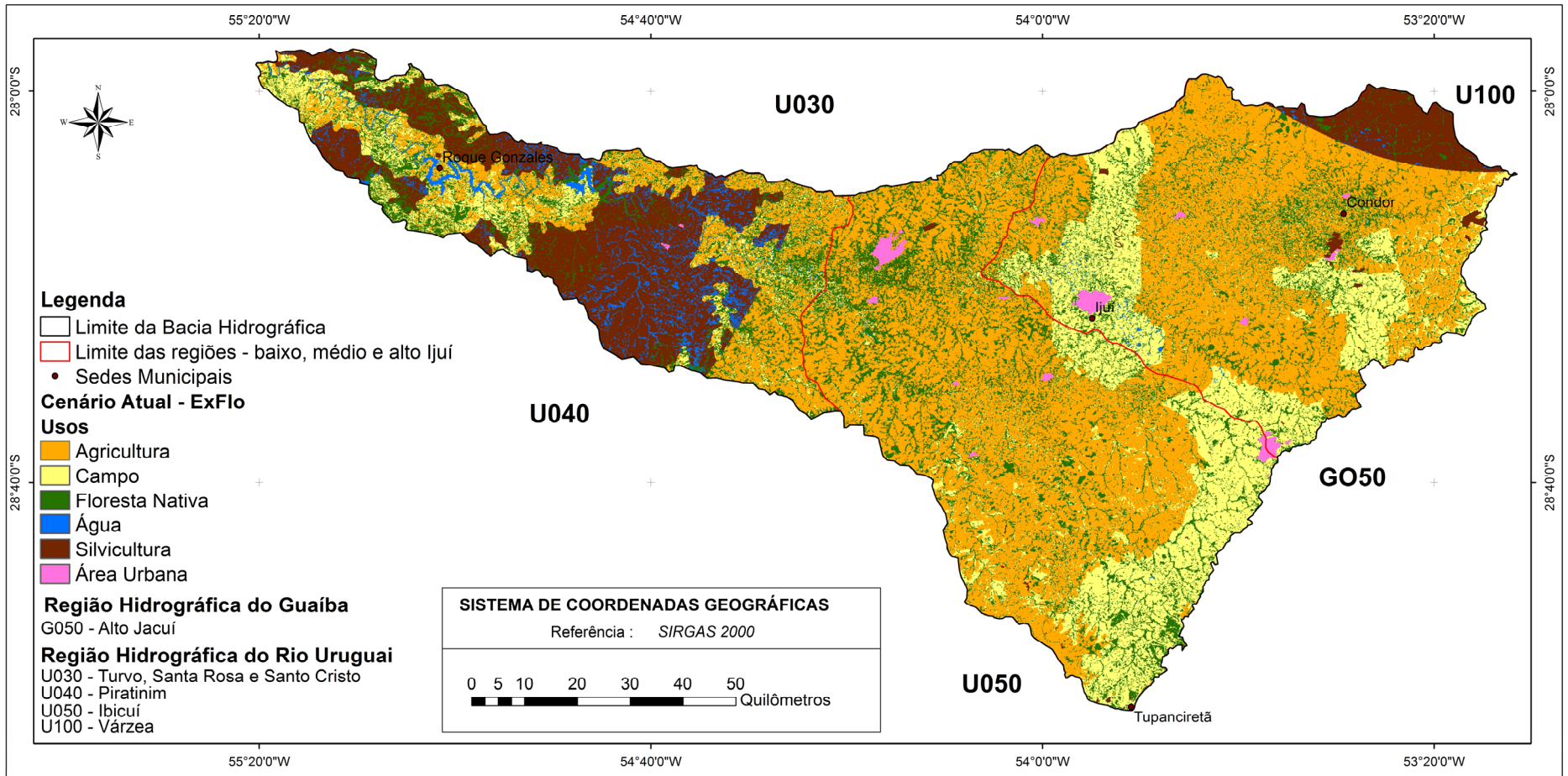


Figura 64 - Condição Atual com a ação Expansão Florestal (ExFlo).

Para a região do médio Ijuí é projetado não mais que 2% da atividade, o que se deve, sobretudo, ao indicador que caracteriza o índice de umidade (IDUMIDADE), o qual não considera como área prioritária para expansão da atividade florestal a região onde índice de umidade (Iu) é igual a B4 (Figura 28), afetando de forma considerável a região do médio Ijuí.

A concentração da atividade, em especial na região do baixo Ijuí, é explicada pela Figura 56, o qual demonstra que o indicador supracitado é o que mais discrimina esta ação no contexto do cenário Condição Atual, seguido dos indicadores uso e cobertura, e resistência dos solos a impactos.

Contudo, destaca-se para este cenário o fato da inserção da atividade florestal vir a proporcionar um incremento das áreas com floresta natural, em torno de 1,3%, o que corresponderia a pouco mais de 139 km² de área com ecossistema florestal conservado ou em processo de restauração. Cabe destacar que para esta análise, em função da escala utilizada, não são consideradas as áreas de APP (áreas de preservação permanente) exigidas pela Lei nº 12.651/12, para proteção dos recursos naturais, o que possivelmente resultaria em uma proporção (área) ainda maior para esta classe.

Em relação às áreas de campo, houve uma concentração mais acentuada nas regiões onde o indicador PIB (2011) apresenta-se mais elevado. Segundo o IMB (Instituto Mario Borges de Estatística e Estudos Socioeconômicos)¹ este indicador serve como um dos parâmetros para a distribuição do Fundo de Participação dos Estados e dos Municípios (FPE e FPM), sendo de grande importância para a elaboração de políticas públicas sobre o território; o que para este cenário pode remeter nas mudanças das atividades em detrimento a ações de incentivos introduzidas na região.

¹ <http://www.seplan.go.gov.br/>

5.2.2 Cenário Crescimento Econômico (+Econ)

Para este cenário se considerou que ocorra um aumento de 25% na economia regional nos próximos 6 anos. Com isso, fez-se a inserção das diferentes ações, para avaliarmos o comportamento do conjunto de variáveis que caracterizam o território para este cenário preditivo. O *ranking* relativo à influência de cada uma das variáveis quando inseridas as ações que se desejam em um cenário onde a economia esta a crescer é apresentado na Figura 65.

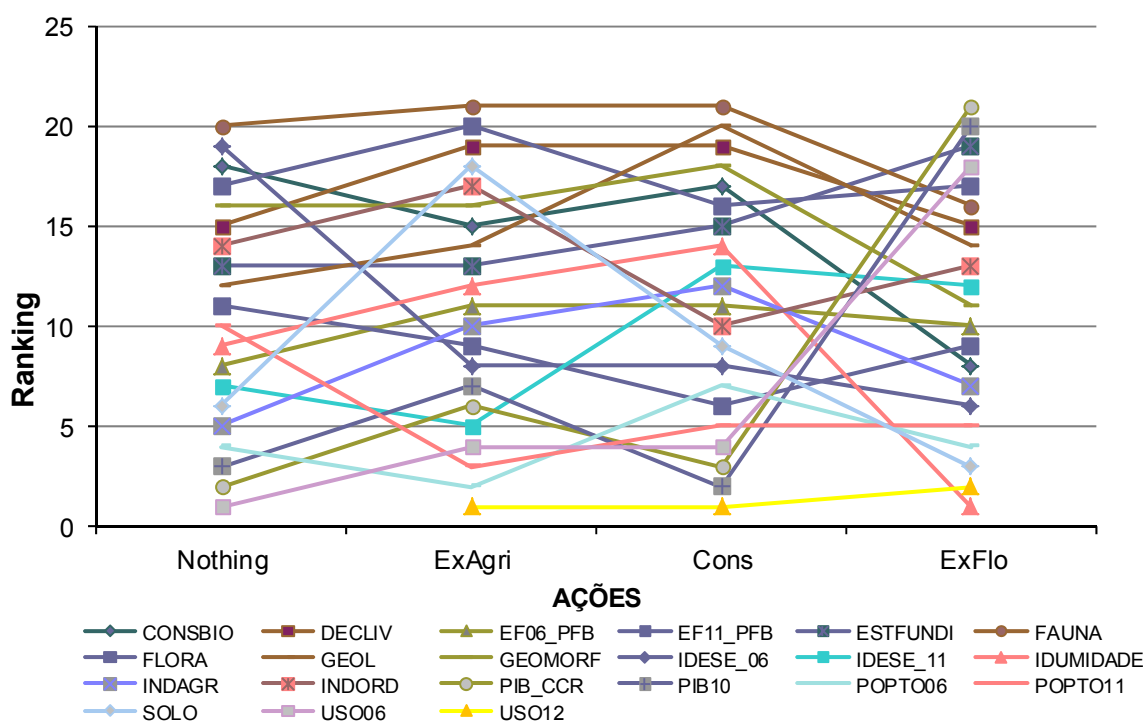


Figura 65 - Importância atribuída as variáveis para as diferentes ações para o cenário Crescimento Econômico.

O uso e cobertura da terra, como esperado, apresentam-se ou em primeiro ou em segundo nível de importância, mesmo que alterada a ação sobre o território. No entanto, ao ser introduzida a ação de expansão florestal, assim como já ocorrido no cenário Condição Atual, a variável índice de umidade (IDUMIDADE) acaba por ser

mais representativa, demonstrando a sua importância quando há o desejo de inserção desta ação.

Outras duas variáveis de importância são as que representam o PIB (2006 e 2010), o que está diretamente relacionado com o cenário onde ocorre crescimento econômico. No entanto, quando inserida a ação Expansão Florestal (ExFlo), o PIB deixa de ser mais relevante, passando os indicadores resistência dos solos a impactos e população total a ser aqueles que mais discriminam as mudanças no território da bacia.

Com a ação ExAgri destaca-se o surgimento do índice de desenvolvimento socioeconômico entre as 6 variáveis de maior relevância nas mudanças sobre o território, demonstrando a importância da compreensão do respectivo indicador quando há o interesse de expansão da atividade na região. Esse indicador (nos dois anos de dados), acaba por destacar-se também entre as 10 mais influentes para as ações ExFlo e Cons para este cenário como demonstra a Figura 66.

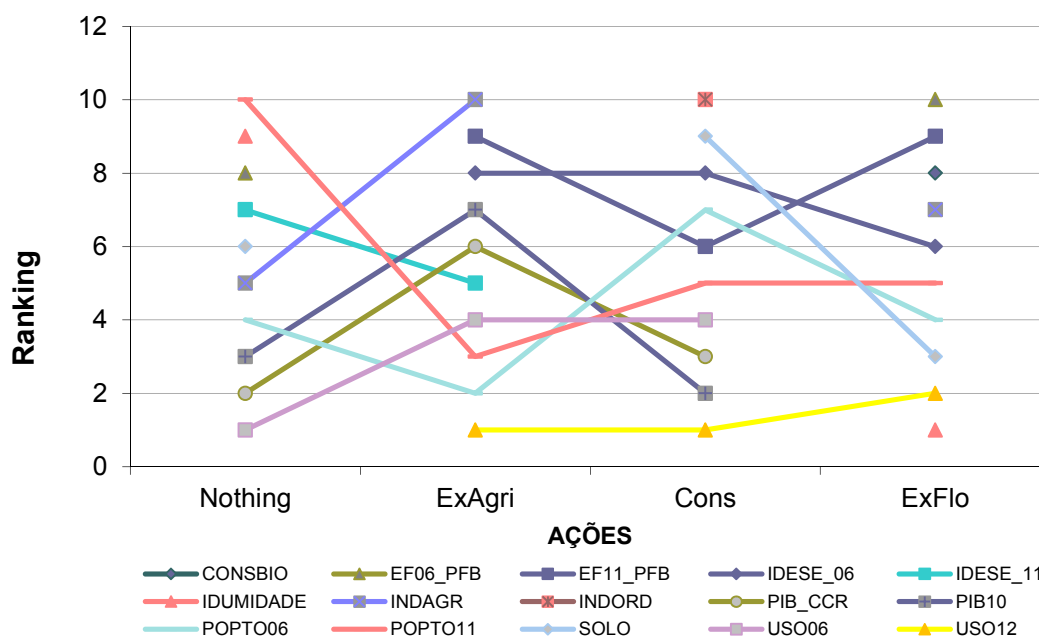


Figura 66 - *Ranking* com as dez variáveis de maior influência sobre a dinâmica do território nas diferentes ações para o cenário Crescimento Econômico.

O indicador índice agrícola (INDAGRI) ganha maior destaque no cenário de crescimento econômico, sobretudo quando não são previstas ações, demonstrando

a importância das atividades agrícolas (temporárias e permanentes) que atualmente são empregadas sobre o território.

5.2.2.1 Cenário Crescimento Econômico (+Econ): Sem ação (*Nothing*)

As mudanças ocorridas nesta ação são mais expressivas para o uso denominado de Campo, o qual apresenta um crescimento em torno de 25% em relação ao ano de 2013. O uso denominado Floresta Nativa é o que mais perde território para a classe Campo, sendo que a atividade agrícola também apresenta uma perda em área para o respectivo uso quando não são previstas ações para o território neste cenário como podemos observar na Figura 67.

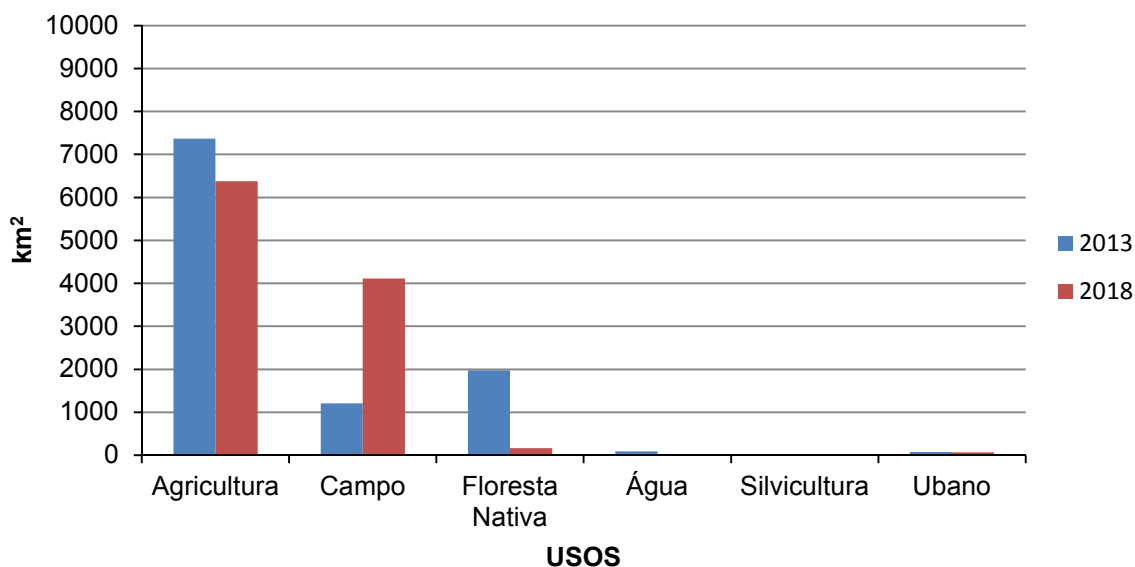


Figura 67 - Alterações no uso e cobertura do território do ano de 2013 para 2018 com a ação *Nothing*.

O crescimento do Campo pode estar associado ao aumento da atividade pecuária na região, pois a classe representa não apenas o uso Campo Nativo, mas também, as áreas utilizadas para a atividade pecuária como, por exemplo, a pastagem. Portanto, ao considerarmos que as atividades sobre o território

permaneçam como na atualidade, a grande alteração ocorrerá para os usos Campo e Floresta Nativa, ficando a atividade de Silvicultura com pouca representatividade (aprox. 0,6%) no território para o cenário preditivo (2018).

As áreas urbanas se mantem com pouca representatividade, considerando o curto período de predição (quando?) e a pouca porcentagem (quanto?) das áreas urbanas no território da bacia hidrográfica frente aos demais usos.

Em relação às áreas com a atividade de silvicultura, estas permanecem concentradas na região do alto Ijuí. Porém, o uso Floresta Nativa concentra-se em torno de 90% na região baixo Ijuí, destacando a probabilidade de que ocorra o decréscimo dessa classe de uso e cobertura quando considerado que nenhuma ação venha a ser proposta para o território no período de análise.

Assim como no cenário Condição Atual, na “ação” *Nothing*, o campo tem mais representatividade na região do baixo Ijuí, a qual concentra mais de 44% desse uso, seguida da região do médio Ijuí com aproximadamente 31,9% do total na bacia.

Na Figura 68 apresentam-se as proporções relativas aos diferentes usos ocorrentes na área da bacia hidrográfica para o cenário Crescimento Econômico sem ação (*Nothing*).

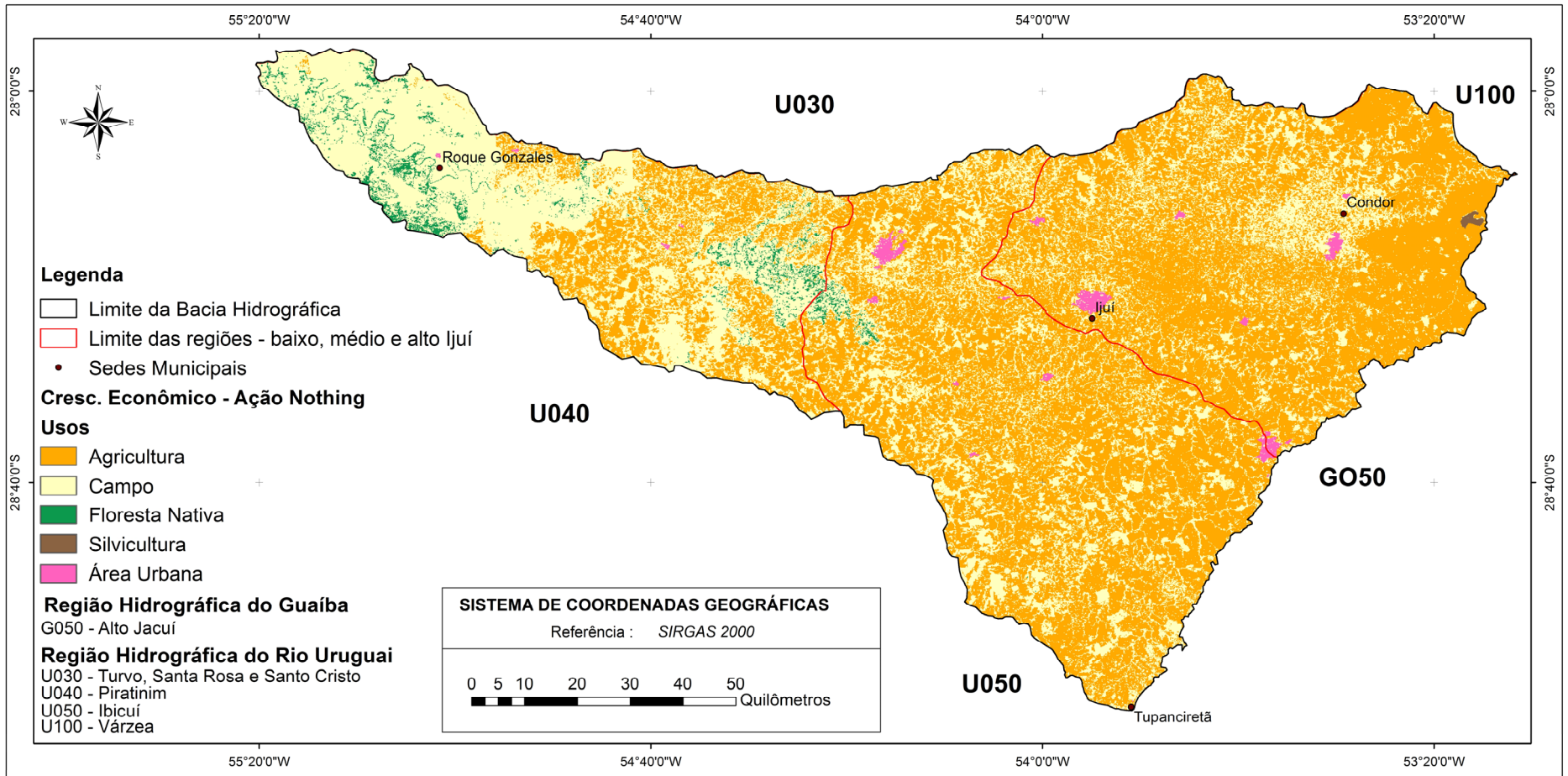


Figura 68 - Cenário Crescimento Econômico sem ação (*Nothing*).

5.2.2.2 Cenário Crescimento Econômico (+Econ): Ação Expansão Agrícola (ExAgri)

Para este cenário a ação de expansão agrícola (ExAgri) passa ser exercida sobretudo nas áreas que na atualidade são pertencentes à classe Campo. Destaca-se que a atividade agrícola tende a ser crescente neste cenário como já vem acontecendo nos últimos anos na região da bacia.

De acordo com o IBGE somente para o ano de 2014 o Rio Grande do Sul, que é hoje o 3º maior produtor de soja do país, informou ter a expectativa de um aumento de 9,4% na produção do grão, o que deverá repercutir na região da bacia do Ijuí, já que esta é atualmente responsável por 26% da produção do grão no Estado.

Como é considerado para esta ação, que no período analisado seja inserida agricultura em toda área com o uso Campo, este uso não é presente neste cenário preditivo como pode ser observado na Figura 69.

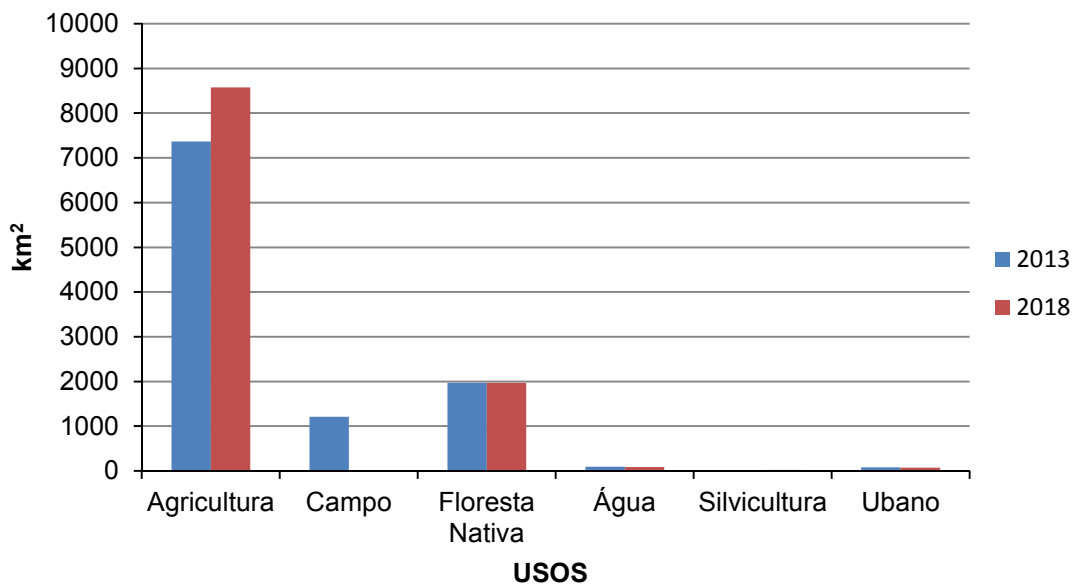


Figura 69 - Alterações sobre o território para 2018 com a ação de expansão agrícola.

Neste cenário não ocorre o aumento das áreas com o uso Floresta Nativa, porém, a concentração dessas áreas na região do baixo Ijuí passa de 30 para 70% do total ocorrente na região da bacia hidrográfica. A classe Agricultura apresenta a

probabilidade de aumentar em 10% a sua cobertura sobre a bacia e, apesar da região do médio Ijuí apresentar a maior concentração desse uso, é o baixo Ijuí que tem o aumento mais significativo (5%), passando a obter pouco mais de 24% do total da atividade sobre o território.

Já a silvicultura ganha espaço, apresentando um aumento de 0,6% neste cenário, sendo a região do alto Ijuí a que mantém 60% das áreas com floresta plantada.

No baixo Ijuí há um aumento significativo dessa atividade, passando de 0,5% para 9,48% do total realizado na bacia hidrográfica, o que acaba sendo mais expressivo no médio Ijuí, onde o aumento é de pouco mais de 10 %. Na Figura 70 pode-se observar uso e cobertura para o cenário de Crescimento Econômico com a ação Expansão Agrícola.

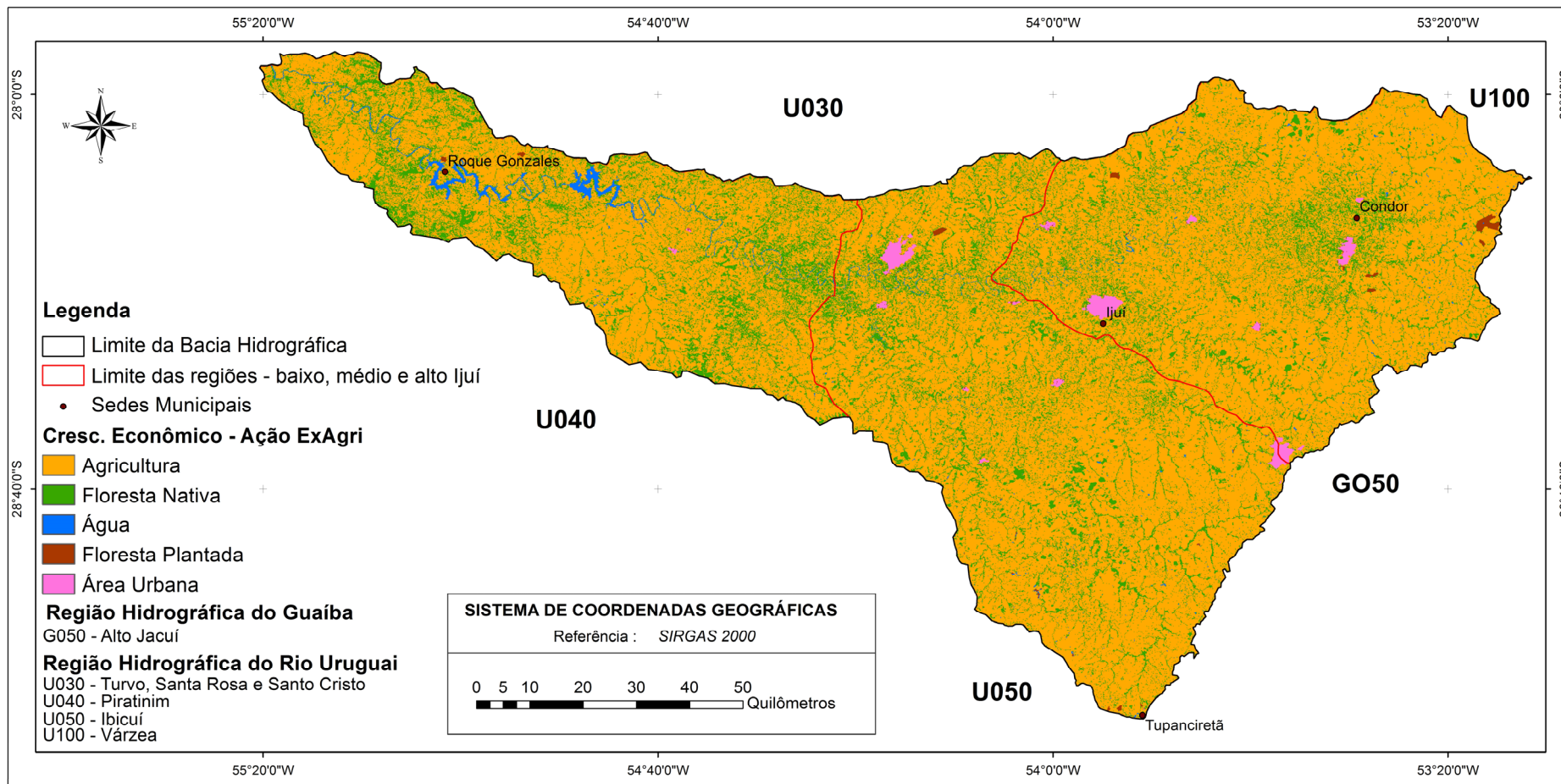


Figura 70 - Cenário Crescimento Econômico com a ação Expansão Agrícola (ExAgri).

5.2.2.3 Cenário Crescimento Econômico (+Econ): Ação Conservacionista (Cons)

Ao introduzir neste cenário a ação conservacionista, que prevê um aumento das áreas de floresta nativa na bacia hidrográfica, obteve-se os seguintes resultados: a agricultura pode vir a perder espaço sobre o território, passando de aproximadamente 68% para não mais que 22% do uso e cobertura da bacia hidrográfica; as áreas de floresta nativa acabam por obter um aumento de até 9 %, vindo a ganhar o espaço especialmente das áreas agrícolas.

No entanto, a classe que mais se estende sobre o território com a introdução dessa ação é o uso Campo, o qual corresponde em 2013 a aproximadamente 11% da área total da bacia, podendo vir a ocupar no ano de 2018 até 50% do seu território. As possíveis mudanças sobre o território com a inserção da ação Conservacionista em um cenário de Crescimento Econômico podem ser observadas na Figura 71.

A região do médio Ijuí é a que registra a maior área de Floresta Nativa, com mais de 37% do total desse uso, seguida do baixo Ijuí com aproximadamente 35%. Já a classe Agricultura apresenta neste cenário a tendência de maior concentração na região do alto Ijuí com cerca de 60% do seu total, o que representaria pouco mais de 1,4mil km² de área com atividade agrícola.

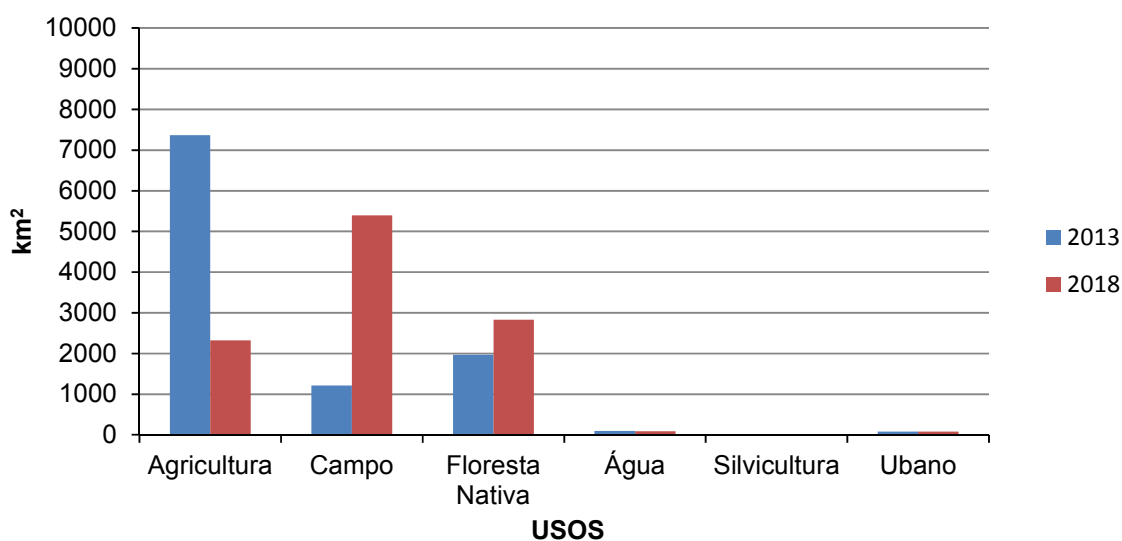


Figura 71 - Alterações sobre o território para 2018 para a ação conservacionista.

Por outro lado, áreas de Campo são predominantes na região do médio Ijuí que concentram aproximadamente 43,6% do total dessa classe.

A atividade de silvicultura neste cenário representa apenas 0,11 % do uso e cobertura da bacia hidrográfica, o que demonstra a possibilidade de ocorrer um decréscimo da atividade em quase 21%, permanecendo na região do alto Ijuí a predominância da atividade sobre o território.

A área urbana também se concentrou nessa região, apesar de no baixo Ijuí ter um número maior de municípios, estes representam uma porção menor do território, visto que (em maioria) apresentam área e população inferior aos que ocorrem nas demais regiões da bacia. Entretanto essa classe não apresentou crescimento para o período analisado. Na Figura 72 pode-se observar o uso e cobertura para o cenário Crescimento Econômico quando inserida a ação Conservacionista.

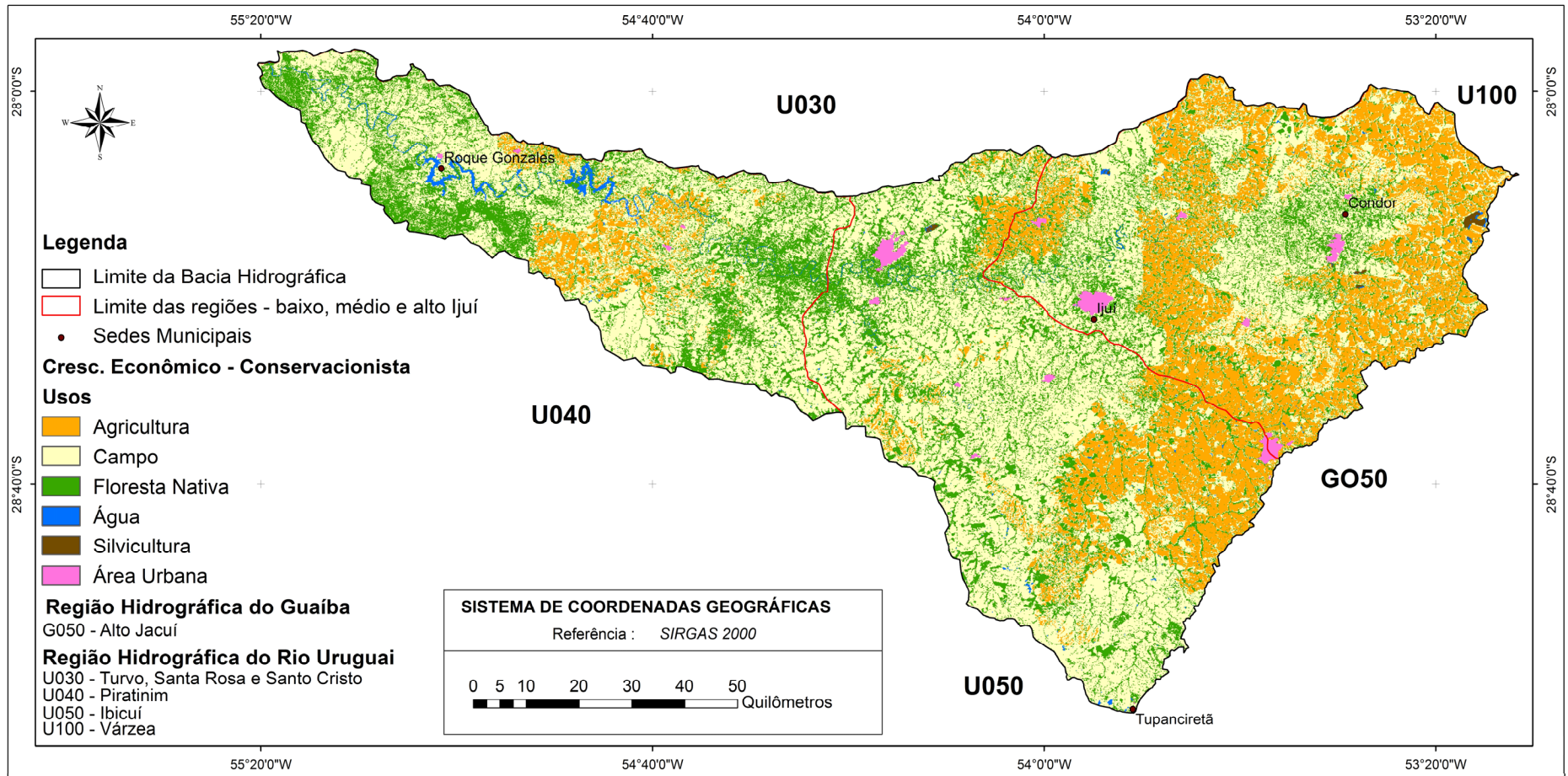


Figura 72 - Cenário Crescimento Econômico com a ação Conservacionista (Cons).

5.2.2.4 Cenário Crescimento Econômico (+Econ): Ação Expansão Florestal (ExFlo)

Em um cenário em que a economia está em desenvolvimento a ação de expansão florestal apresenta uma dinâmica diferente das demais ações a que se propõe para este cenário. Apesar das considerações impostas para a inserção da atividade florestal, a bacia apresenta a diversidade de atividades que se desejam realizar e ainda proporciona o aumento significativo das áreas de floresta nativa.

A atividade agrícola, assim com no cenário Condição Atual, acaba por perder espaço para as outras atividades, mas ainda se mantém como a mais expressiva sobre o território, representando 43% do total dos usos presentes na região. O Campo acaba por ganhar espaço sobre o território, apresentando um aumento de pouco mais de 2%.

No entanto, a atividade de silvicultura em função das condicionantes consideradas para a sua implantação, tem um crescimento superior a 12% sobre o território para este cenário preditivo. Na Figura 73 apresentam-se as possíveis mudanças sobre o território para o cenário de Crescimento Econômico com a ação Expansão Florestal (ExFlo).

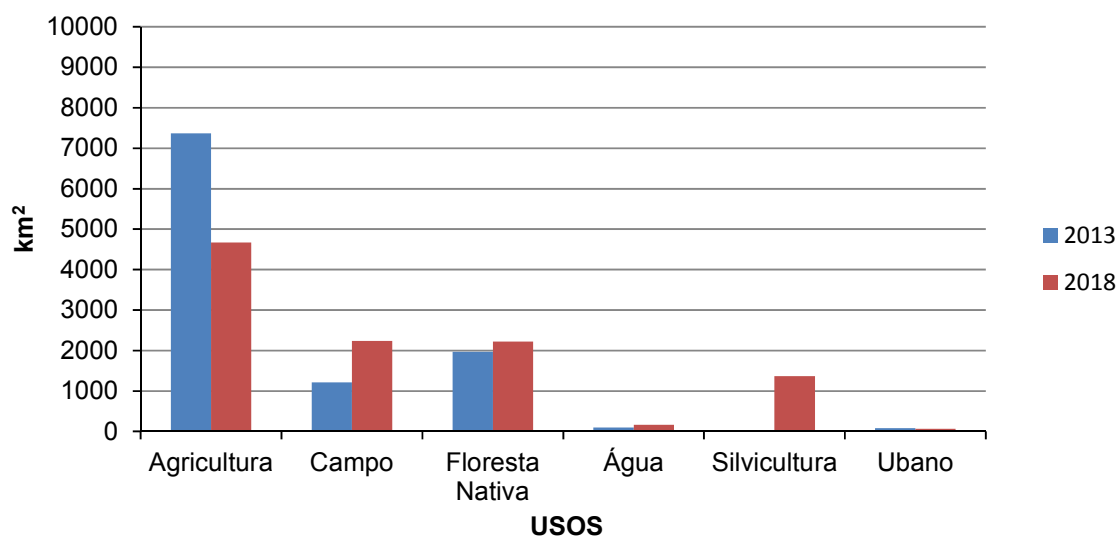


Figura 73 - Alterações sobre o território para o ano de 2018 com a ação de Expansão Florestal.

Para este cenário a atividade silvícola vem a ganhar o espaço das áreas utilizadas, sobretudo para a prática da agricultura (cerca de 74%), assim como das áreas atualmente cobertas pelo uso Campo (aprox. 22%). Apesar da atividade de silvicultura estar presente em toda região da bacia, existe uma concentração acentuada da atividade na região do baixo Ijuí (pouco mais de 78%), como pode ser observada na Figura 74. Esta concentração ocorre pela mesma razão já abordada no Item 5.2.1.3.

Já as áreas de Floresta Nativa apresentam a probabilidade de aumentar sua área em torno de 2%, o que representaria em um ganho ambiental de aproximadamente 250 km² de áreas cobertas por um ecossistema florestal.

Entretanto, o uso Campo neste cenário apresenta a probabilidade de uma maior concentração na região do alto Ijuí, com mais de 53% do total desse uso sobre o território. A região manteve também 30% do total do uso Floresta Nativa presente na bacia hidrográfica (aprox. 206,87 km²), e que representaria um aumento superior a 172 km² de floresta nativa apenas nessa região.

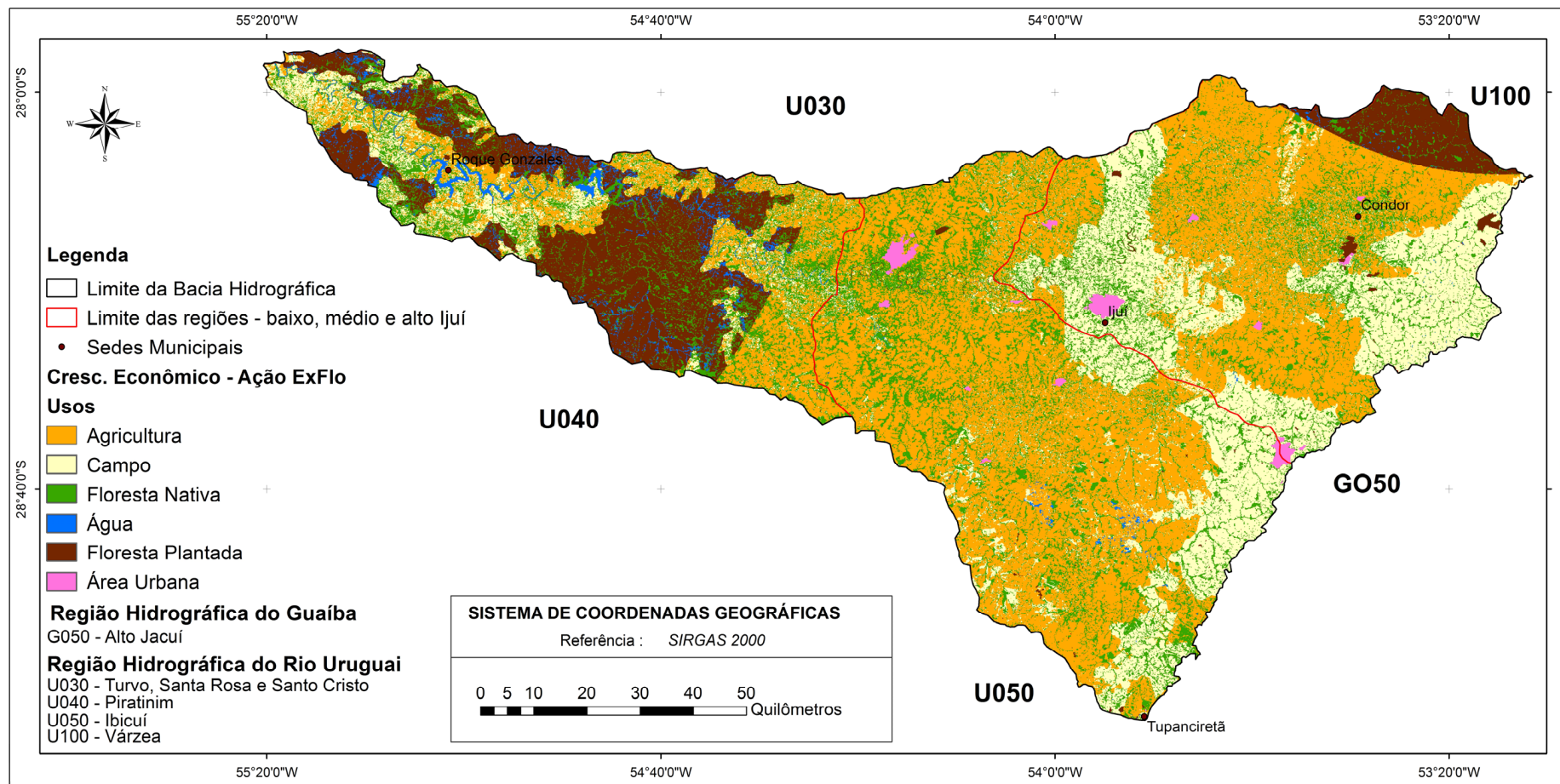


Figura 74 - Cenário Crescimento Econômico com a ação Expansão Florestal (ExFlo).

5.2.3 Cenário Decrescimento Econômico (-Econ)

Neste cenário (-Econ), quando não são previstas ações sobre o território, o mesmo apresenta como sendo as duas variáveis mais influentes depois do uso e ocupação (USO06 e USO12), as variáveis que descrevem a dimensão da população nos municípios da bacia hidrográfica. O índice de umidade acaba por apresentar maior relevância quando não é prevista nenhuma ação neste cenário, do que no cenário Condição Atual. Por outro lado, o Idese (IDESE_11) apresenta maior importância quando a ação é de expansão agrícola (ExAgri) como também ocorre no cenário Condição Atual.

A ação ExFlo para este cenário tem pouca alteração das variáveis mais relevantes quando comparada com o ação conservacionista (Cons), exceto pelo índice de umidade (IDUMIDADE), índice agrícola (INDAGRI), população total (POPTO06 e POPTO11) e uso e ocupação do ano de 2006 (USO06). As demais 20 (vinte) variáveis apresentaram ranqueamento parecido, alterando poucas posições o que demonstra uma similaridade na importância das variáveis para as ações que se desejam inserir no território quando o mesmo apresentar este cenário. O emprego formal (EF11_PFB) aparece entre as 10 mais relevantes para este cenário exceto quando não é considerada nenhuma ação sobre o território (Figura 75).

A declividade é mais relevante quando ocorre a ação conservacionista sobre o território, sendo que esta ação apresenta também a variável resistência do solo a impactos (SOLO) como a quarta variável mais influente.

Para as ações *Nothing* ou ExFlo a variável índice agrícola (INDAGRI) apresenta-se relevante, nas demais não permanece entre as dez mais influentes na dinâmica do território. Cabe destacar que este é o único cenário que apresenta a geologia entre as 10 mais influentes quando não são previstas quaisquer ações na região da bacia o *ranking* relativo as 10 variáveis de mais influência quando inseridas as ações em um cenário de decrescimento econômico pode ser observado na Figura 75.

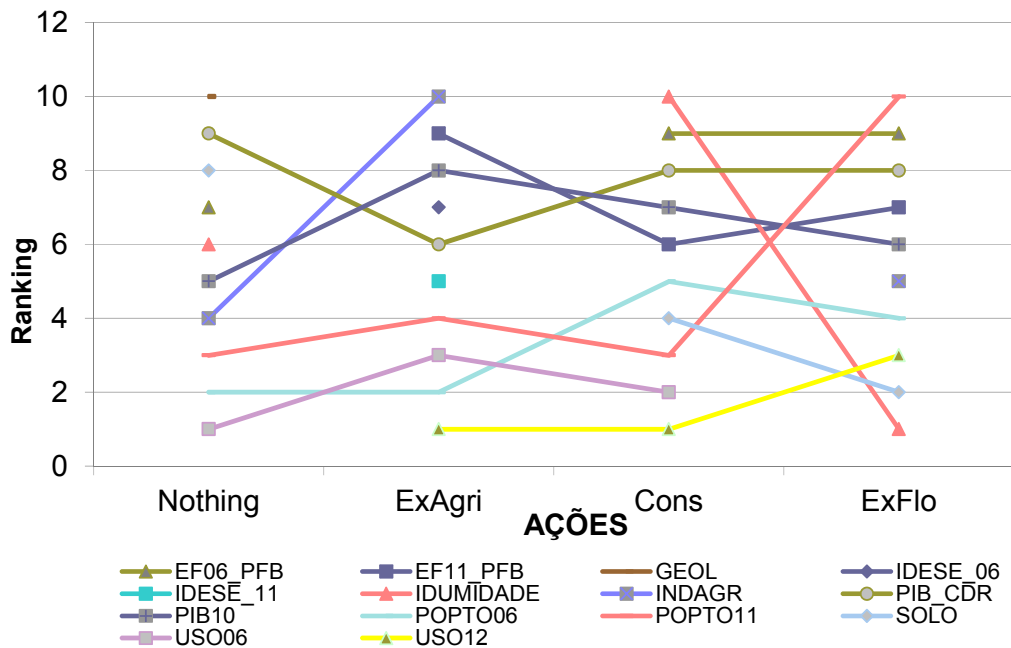


Figura 75 - *Ranking* com as dez variáveis de maior influência sobre a dinâmica do território nas diferentes ações para o Cenário Decrescimento Econômico.

As principais alterações que possam ocorrer sobre o território quando comparado este cenário (-Econ) e o cenário de crescimento econômico (+Econ), ocorrem quando se prevê a ação de Expansão Florestal (ExFlo). No caso do uso Campo, por exemplo, o mesmo chega a representar não mais que 9,6% da cobertura total da bacia quando prevista esta ação, concentrando-se, sobretudo na região do médio Ijuí (56%). Porém, quando o cenário é de economia crescente, o uso Campo passa a representar mais de 20% do território. As alterações sobre o território quando inserida as distintas ações em um cenário de decrescimento econômico (-Econ) podem ser observadas nas Figuras 76, 77, 78 e 79 apresentadas a seguir.

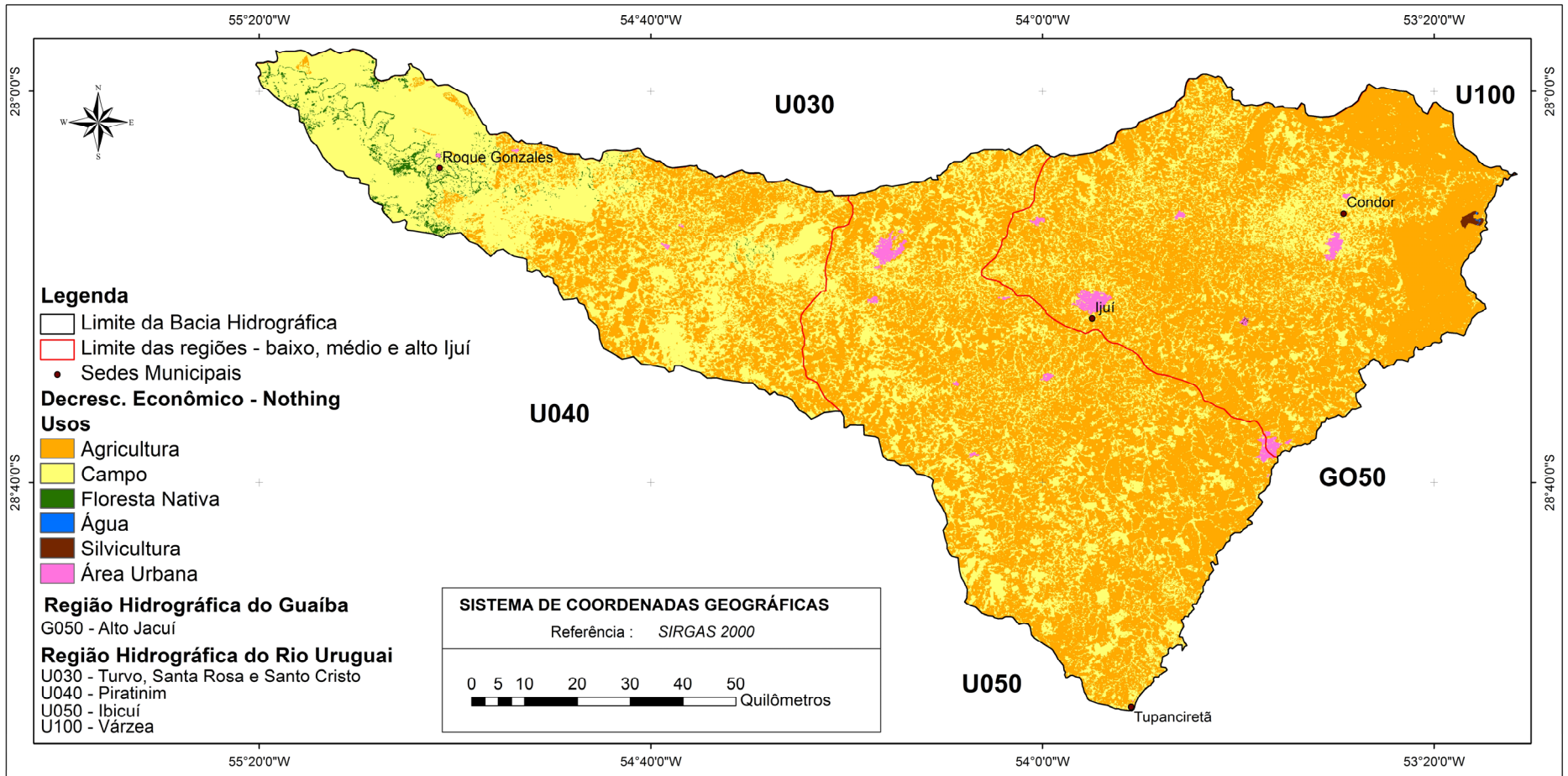


Figura 76 - Cenário Decrescimento Econômico sem ação (*Nothing*).

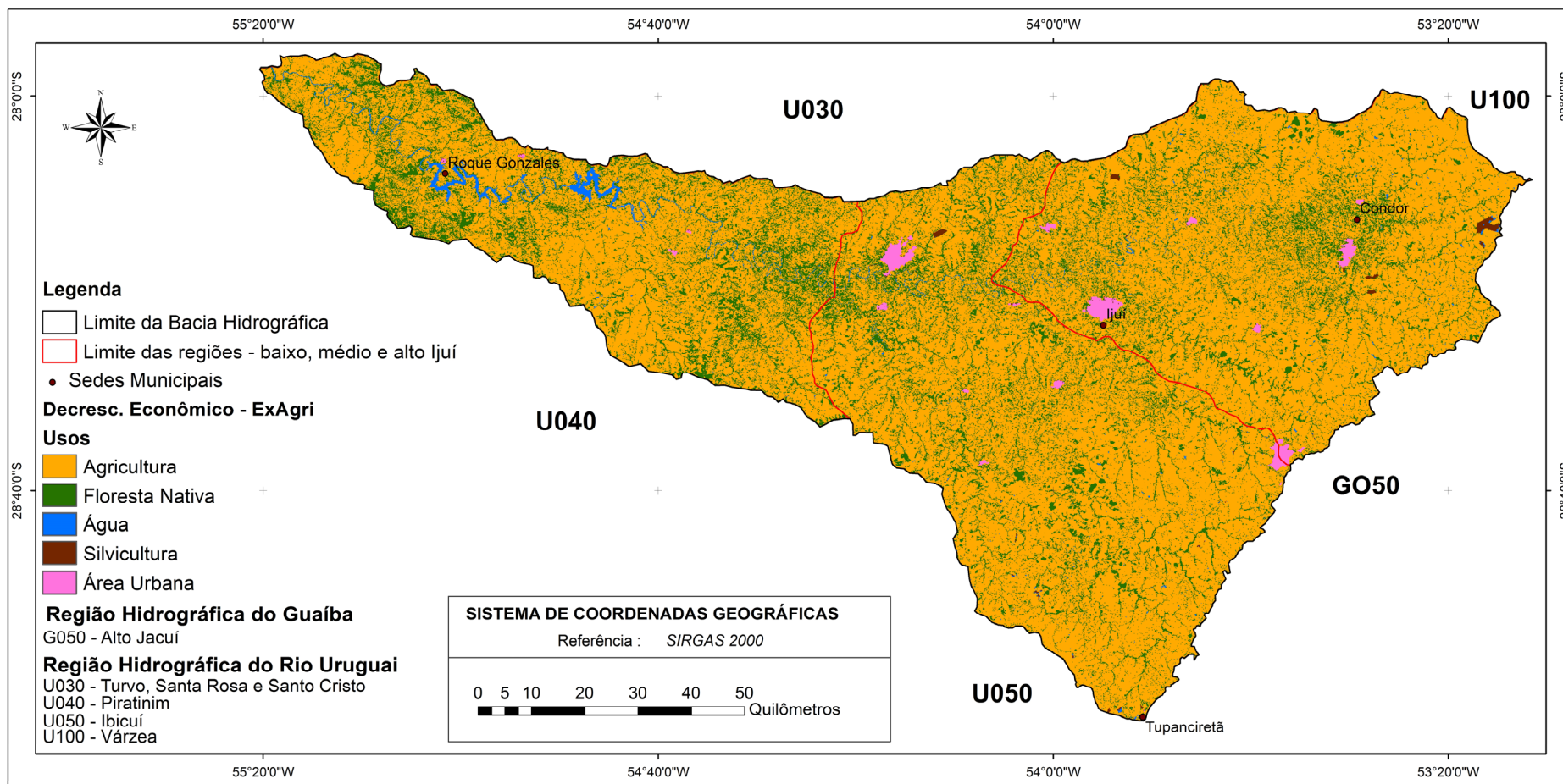


Figura 77 - Cenário Decrescimento Econômico com a ação Expansão Agrícola (ExAgri).

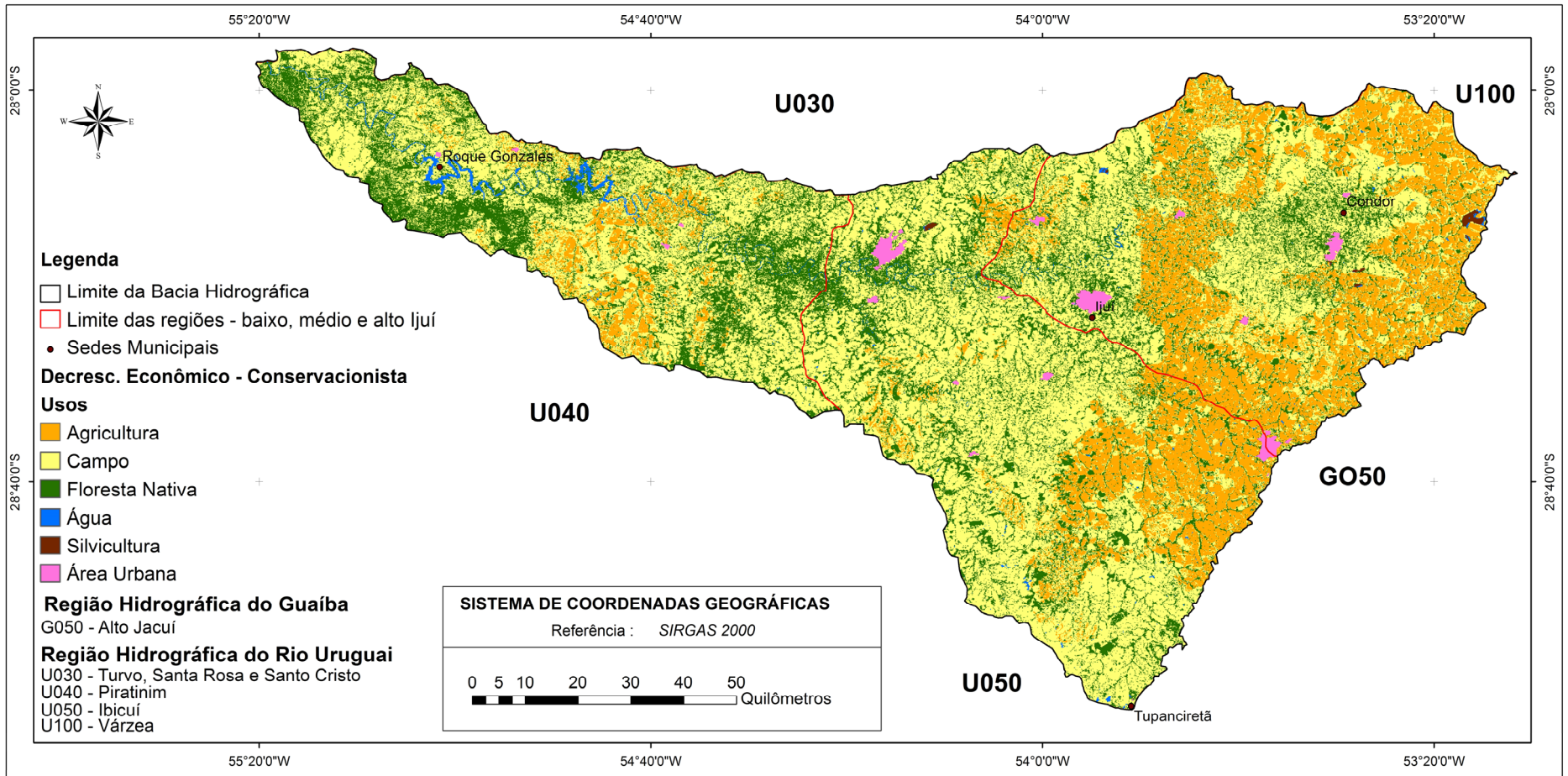


Figura 78 - Cenário Decrescimento Econômico com a ação Conservacionista (Cons).

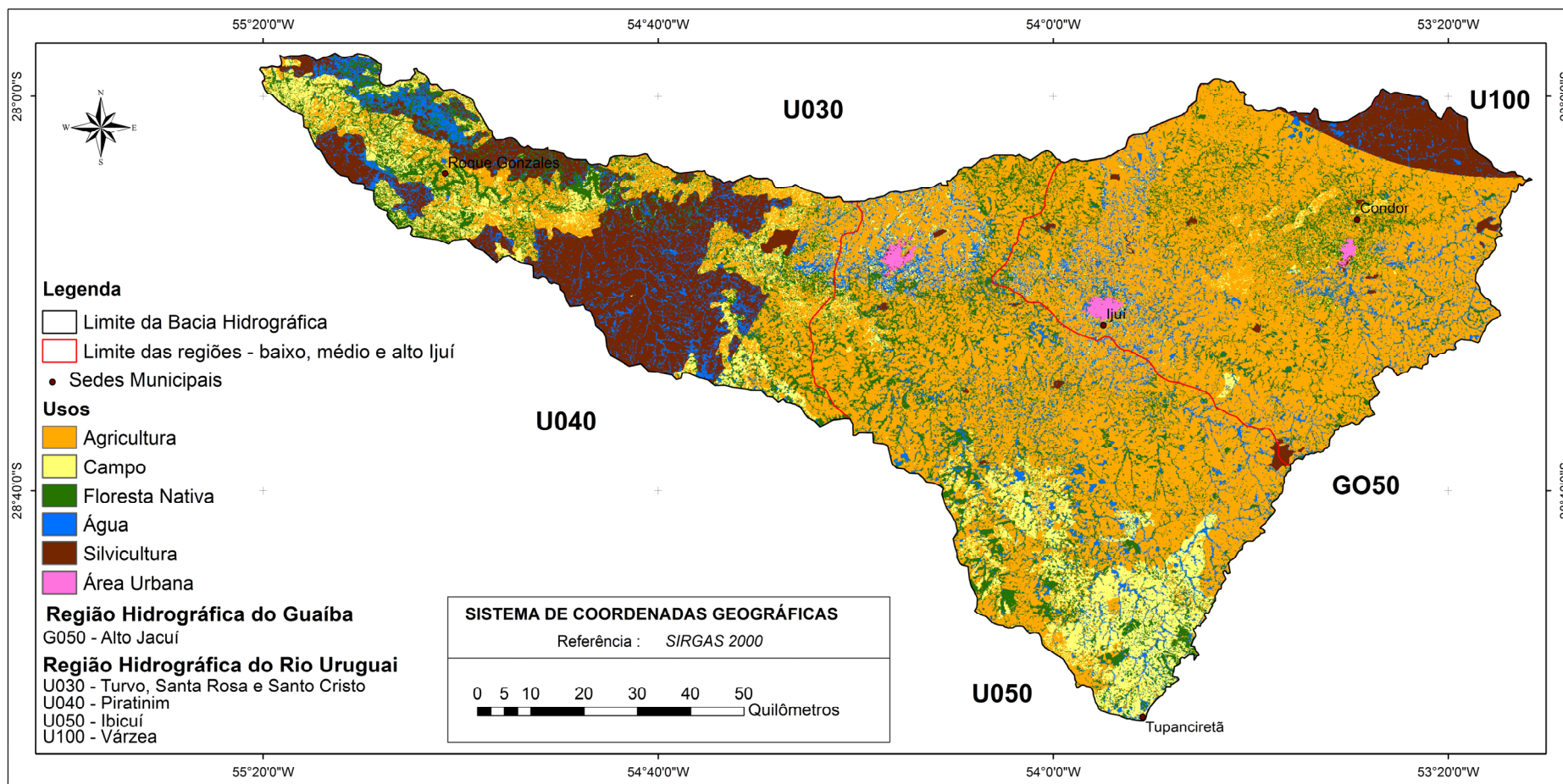


Figura 79 - Cenário Decrescimento Econômico com a ação Expansão Florestal (ExFlo).

Em relação às áreas agrícolas, este cenário (-Econ) é o que mantém maior número sobre o território quando a escolha é pela ação ExFlo, por outro lado, esta ação representou para o respectivo cenário uma maior tendência à perda de áreas de floresta nativa na região da bacia, do que para as demais cenários analisados. Pode-se observar que o mesmo pode vir a ocorrer quando não são previstas ações sobre o território (*Nothing*).

Na Figura 80 apresentam-se as possíveis mudanças sobre o território do ano de 2013 para o ano de 2018 quando inserida as distintas ações propostas em um cenário de Decrescimento Econômico (-Econ).

Para o cenário Decrescimento Econômico o uso Campo ganha pouco território quando não são previstas ações (*Nothing*), sendo para esse uso, o segundo cenário menos representativo dentre todos os analisados. Ao considerar a ação ExFlo, a atividade silvícola acaba sendo menos representativa na região da bacia sob as condições deste cenário do que em relação aos demais.

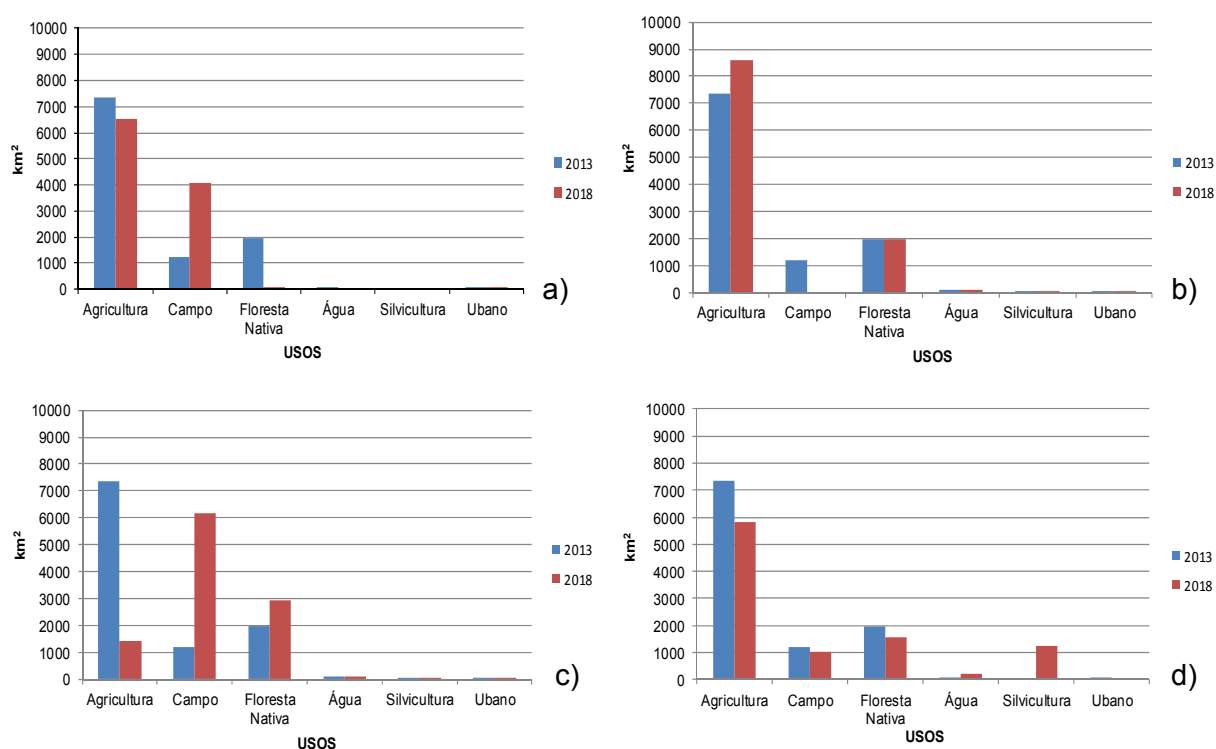


Figura 80 - Cenário Decrescimento Econômico: a) Ação *Nothing*, b) Ação ExAgri, c) Ação Cons, d) Ação ExFlo.

5.2.4 Cenário Impacto Social Positivo (+Idese)

Foi estimado neste cenário que ocorra uma melhoria nas condições de vida da população dos municípios da região da bacia hidrográfica do rio Ijuí, sendo para isso considerado o valor do IDESE municipal. Portanto, para o período de análise (2006-2018), supõe que ocorra um aumento de 10% no referido índice, expressando assim, uma melhoria nos fatores que o compõem e, conseqüentemente, das condições que vivem a população.

Igualmente ao que foi realizado nos cenários anteriores, analisou-se o comportamento do conjunto das variáveis que caracterizam o território em relação à inserção das diferentes ações propostas para este cenário preditivo. Na Figura 81 apresenta-se o *ranking* relativo à influência das variáveis quando inseridas distintas ações em um cenário que apresenta condições socialmente positivas.

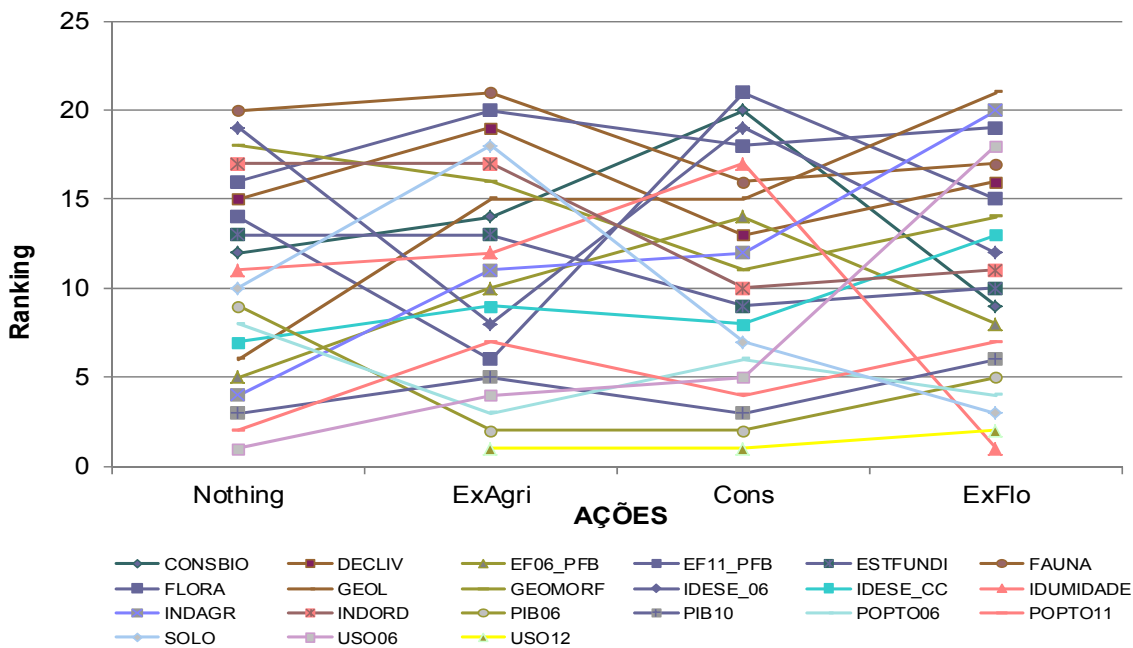


Figura 81 - Importância atribuída as variáveis para as diferentes ações.

Neste cenário a variável PIB06 passa a ser a segunda mais importante quando a ação é de expansão agrícola (ExAgri) ou conservacionista (Cons),

apresentando-se muito similar ao que ocorre no cenário Condição Atual exceto por não estar presente entre as 5 primeiras variáveis mais relevantes, quando não são previstas ações para a região.

As variáveis relativas ao emprego formal na atividade florestal (EF06_PFB e EF11_PFB) ganham maior importância neste cenário do que nos anteriormente analisados, passando a ser a 5ª e a 6ª (EF11_PFB e EF06_PFB respectivamente) variáveis que mais discriminam as mudanças sobre o território quando não são previstas ações, e para 8ª (EF06_PFB) quando há a ação é de expansão florestal (ExFlo).

A variável índice agrícola (INDAGR) surge entre as quatro variáveis que mais discriminam as alterações territoriais quando não são previstas ações, similar ao que ocorre no cenário Decrescimento Econômico (-Econ). Porém, neste cenário (+Idese) a variável INDAGR não ganha importância quando a ação é ExFlo, como ocorre no cenário -Econ. Entretanto, cabe destacar que essa variável ganha importância (12ª) quando inserida a ação conservacionista (Cons) se comparado com os cenários anteriores. É notório que a variável RSOLO tem apresentado até então mesma tendência em relação a sua importância na dinâmica do território quando comparado os cenários, tornando-se mais representativa quando a ação prevê o aumento das atividades silvícolas, e posteriormente quando ocorre a ação conservacionista (7ª).

Neste cenário destaca-se a variável geologia (GEOL) que surge entre as 6 primeiras variáveis, quando para o período de análise, não são previstas ações na bacia hidrográfica. Já a geomorfologia (GEOMORF) apresenta aqui a sua maior influência em relação aos cenários anteriores, quando é prevista a ação conservacionista (11ª).

Apesar de não comparecer entre as mais influentes, a variável FAUNA apresenta maior importância quando é prevista para este cenário a ação conservacionista, ocorrendo o mesmo com a variável correspondente a declividade (DECLIVE). Cabe destacar que a importância da variável FAUNA nos cenários -Econ e +Econ está relacionada com a ação de Expansão Florestal.

A ação de exploração florestal quando introduzida no contexto do cenário +Idese destaca uma maior representatividade da variável conservação da biodiversidade (CONSBIO) sobre a dinâmica das mudanças territoriais da bacia,

mas ainda é menos significativa que no cenário Condição Atual, onde a variável surge entre as 10 primeiras no ranqueamento.

Na Figura 82 apresenta-se o *ranking* relativo as 10 variáveis de mais influência na dinâmica do território quando inseridas as distintas ações em um cenário de Impacto Social Positivo.

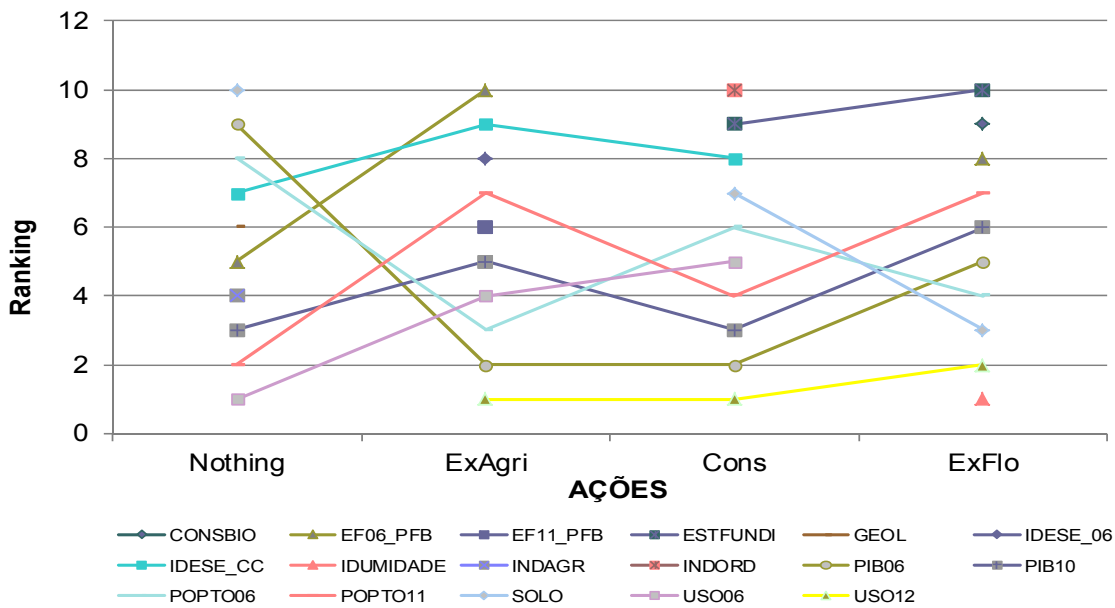


Figura 82 - *Ranking* com as dez variáveis de maior influência sobre a dinâmica do território nas diferentes ações para o Cenário Impacto Social Positivo.

Para este cenário a variável IDESE_06 acaba por surgir entre a 10 que mais discriminam as alterações, quando a ação é de exploração agrícola (ExAgri), fato que também ocorre no cenário Decrescimento Econômico (-Econ), e no cenário de Crescimento Econômico (+Econ) no entanto quando prevista a ação ExFlo.

Por outro lado a variável IDUMIDADE só aparece na Figura 82 quando a ação a ser introduzida é a de Expansão Florestal (ExFlo), e apresenta similaridade com a importância atribuída a variável pelas ações do cenário crescimento econômico (+Econ). As alterações sobre o território quando inseridas as distintas ações em um cenário Impacto Social Positivo podem ser observadas nas Figuras 83, 84, 85 e 86 apresentadas a seguir.

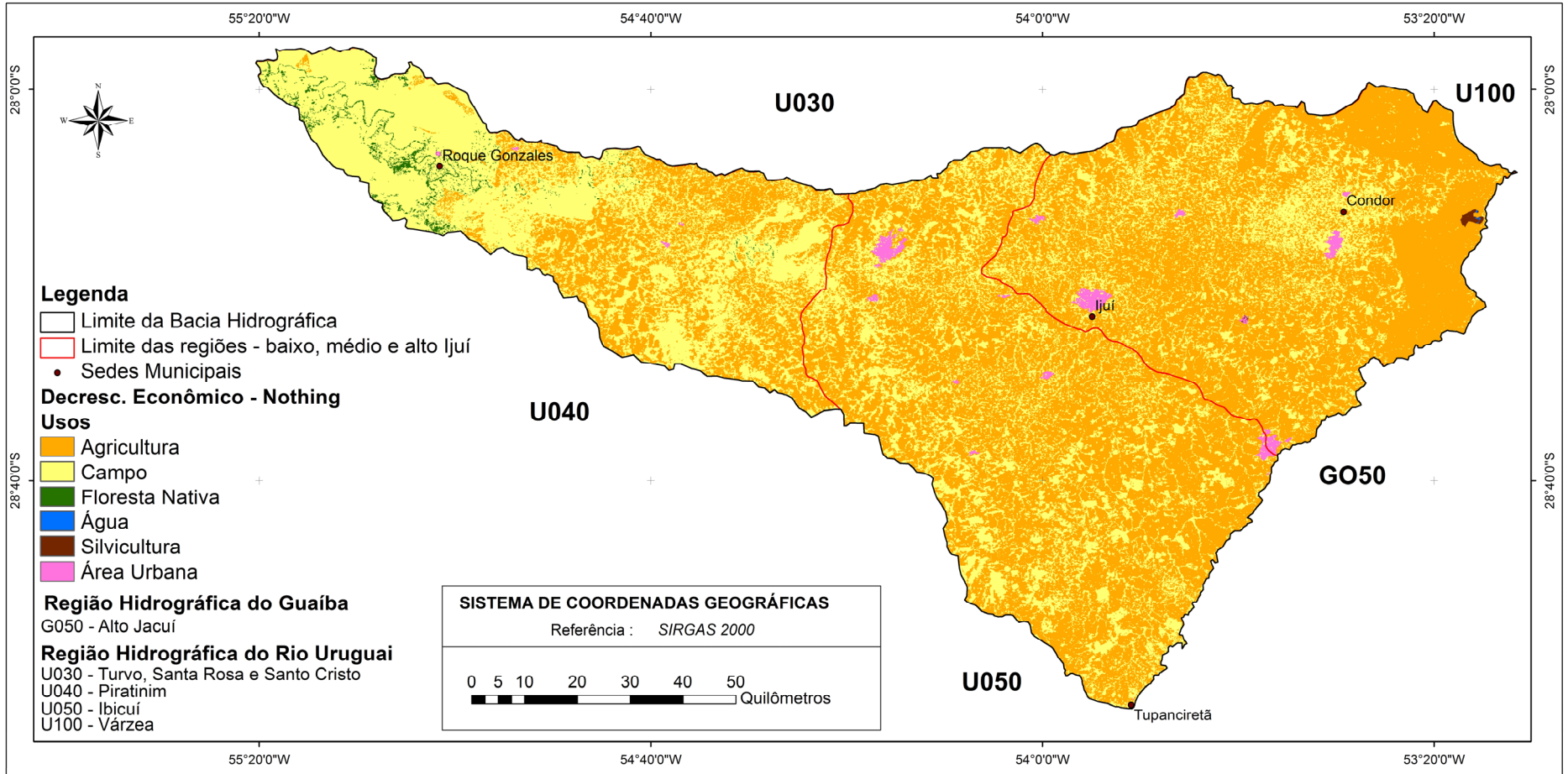


Figura 83 - Cenário Impacto Social Positivo sem ação (*Nothing*).

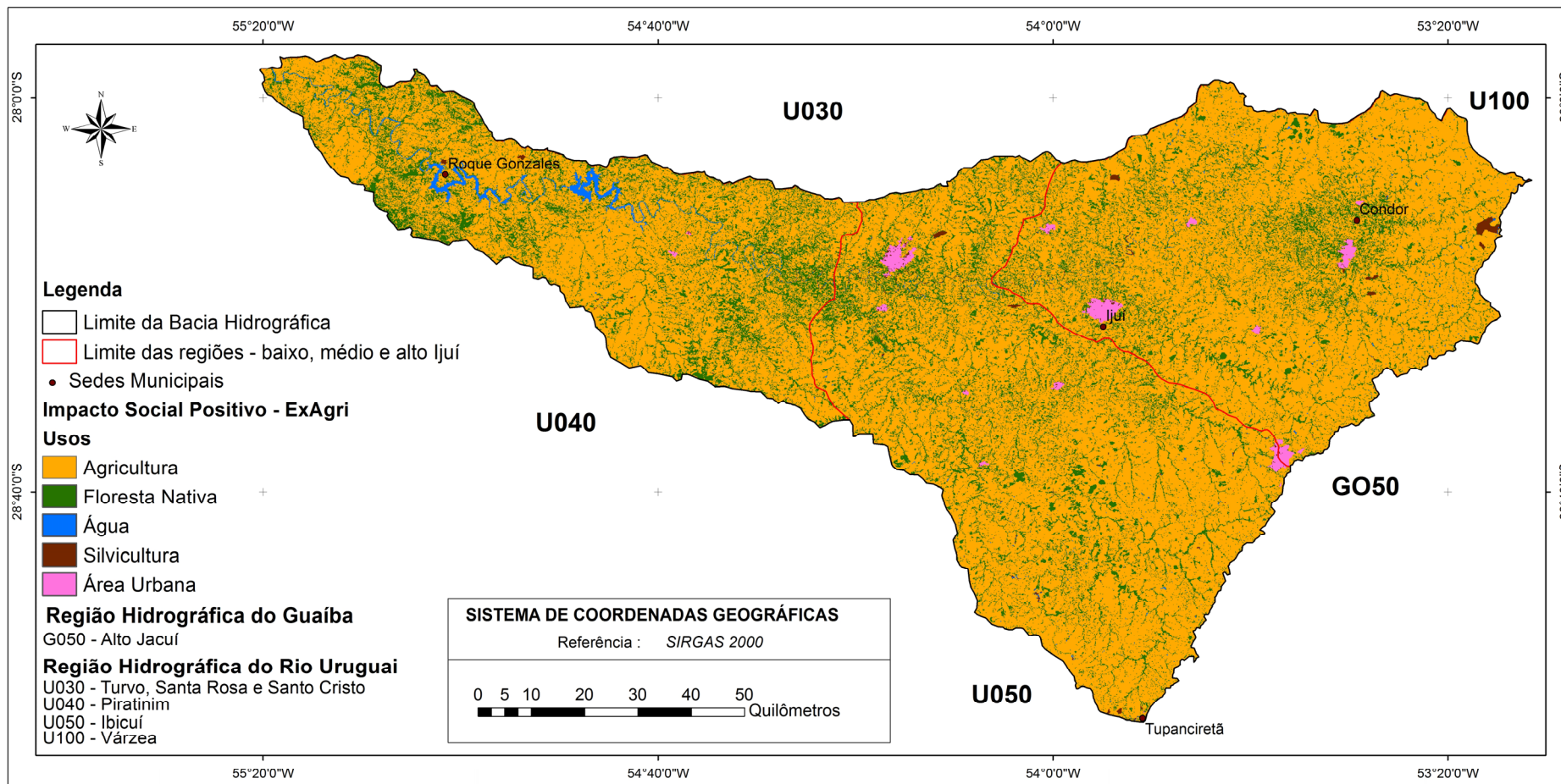


Figura 84 - Cenário Impacto Social Positivo com a ação Expansão Agrícola (ExAgri).

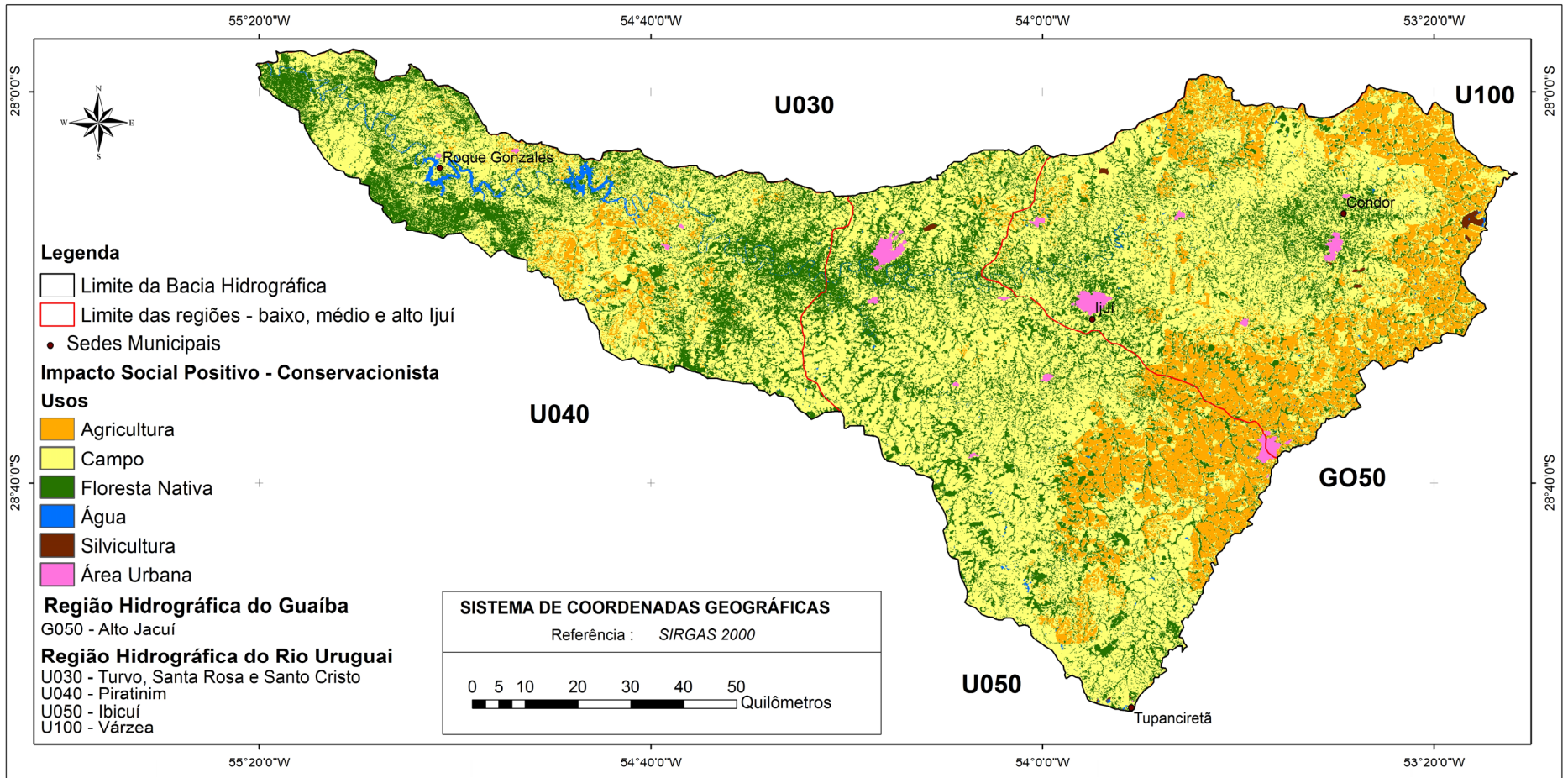


Figura 85 - Cenário Impacto Social Positivo com a ação Conservacionista (Cons).

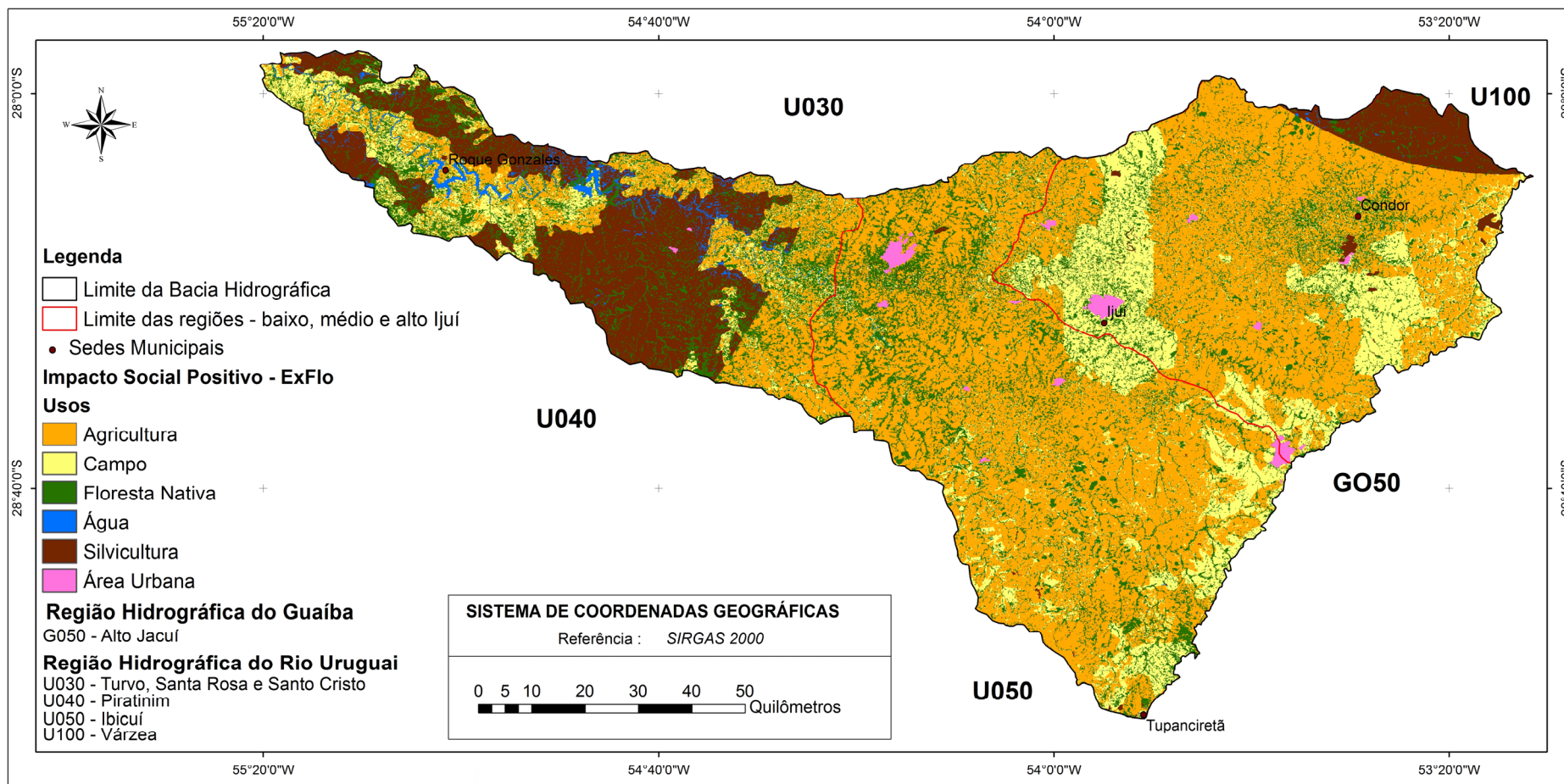


Figura 86 - Cenário Impacto Social Positivo com a ação Expansão Florestal (ExFlo).

Quando a escolha foi pela ação de Expansão Florestal (ExFlo), este cenário apresentou o segundo maior crescimento da atividade agrícola, ficando atrás apenas do cenário -Econ, e foi também o que oportunizou o segundo maior crescimento das áreas de floresta nativa dentre todos os cenários analisados.

As possíveis mudanças na região da bacia hidrográfica do ano de 2013 para o ano de 2018 quando inserida as distintas ações propostas em um cenário de Impacto Social Positivo estão apresentadas na Figura 87.

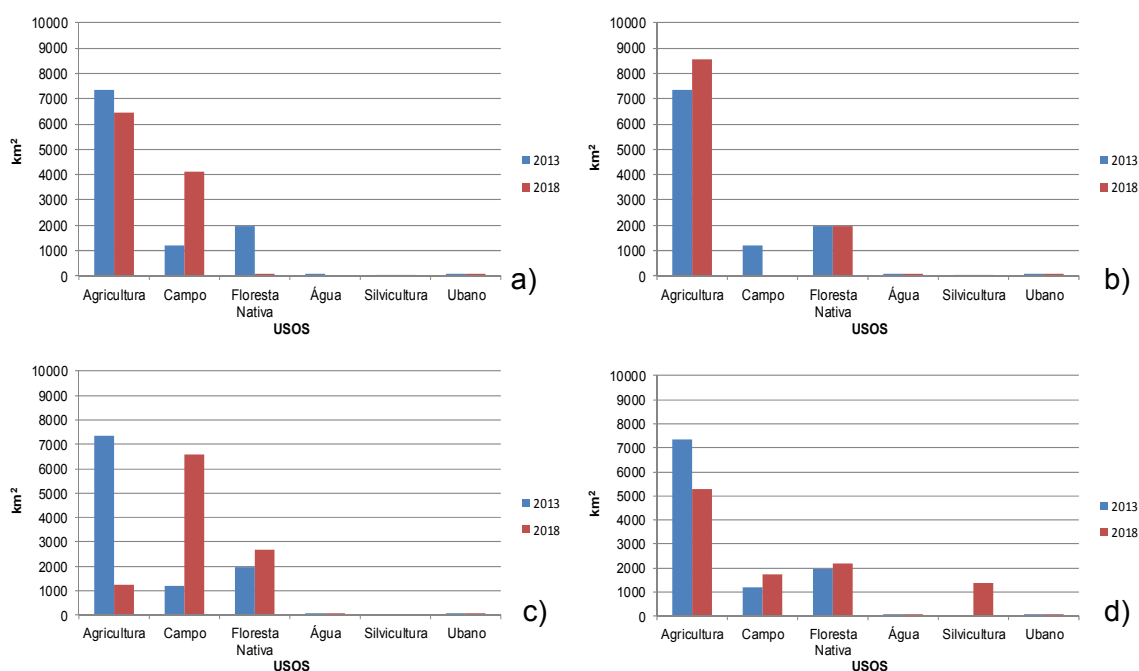


Figura 87 - Possíveis alterações no Cenário Impacto Social Positivo: a) Ação *Nothing*, b) Ação ExAgri, c) Ação Cons, d) Ação ExFlo.

Mesmo quando a decisão é pela ação de expansão da atividade agrícola (ExAgri), este cenário tende a aumentar as áreas de atividade silvícola sobre o território. Já quando a ação é de Expansão Florestal (ExFlo) o cenário demonstra um aumento da atividade silvícola similar ao que ocorre no cenário atual quando esta ação é introduzida. Por outro lado, quando escolhida a ação de conservação (Cons), este cenário, junto como cenário atual são os únicos que apresentam uma probabilidade da atividade de silvicultura vir a crescer sobre o território. Contudo, quando não são previstas ações sobre na bacia (*Nothing*), este cenário é também o único onde surge um aumento da atividade silvicultura, sendo que os demais

cenários analisados demonstram a probabilidade de que ou a atividade diminua em mais de 50%, ou mesmo deixe de existir na região da bacia.

5.2.5 Cenário Impacto Social Negativo (-Idese)

Este cenário demonstra a dinâmica do território quando são aplicadas ações em condições desfavoráveis a qualidade de vida da população. Para isso considerou que ocorra no período analisado um decréscimo de 10% no IDESE, gerando um impacto social negativo na população dos municípios pertencentes à bacia hidrográfica do rio Ijuí. O ranqueamento de influência das variáveis para as distintas ações previstas sobre o território quando a região apresenta um cenário socialmente desfavorável é exibido na Figura 88.

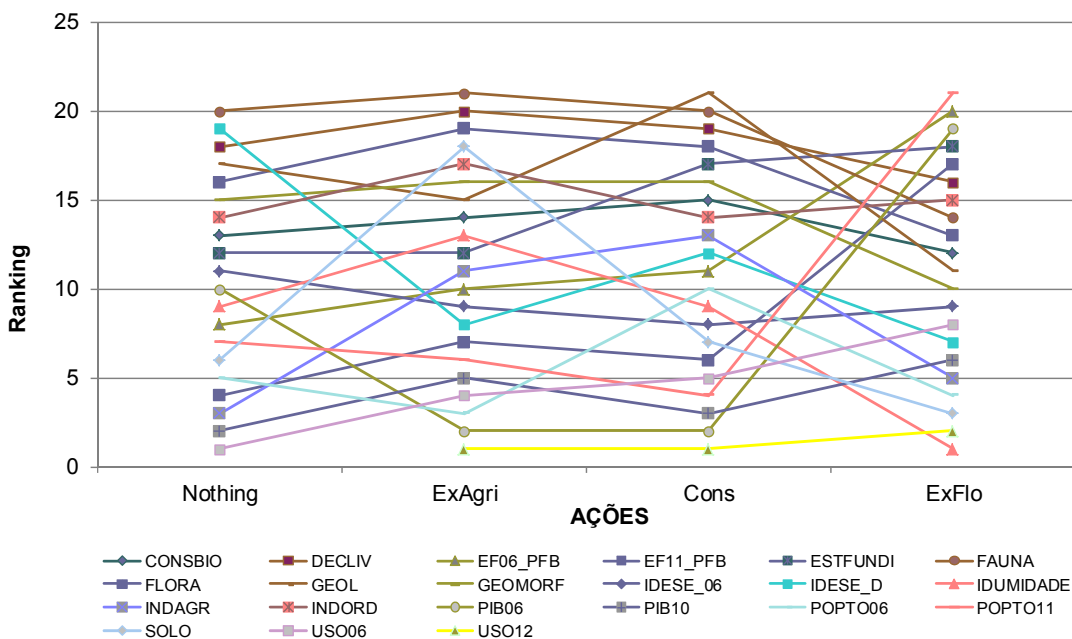


Figura 88 - Importância atribuída as variáveis para as diferentes ações para o Cenário Impacto Social Negativo.

Neste cenário ocorreu maior distinção no ranqueamento das variáveis em relação ao cenário +Idese, quando inserida a ação Cons ou ExFlo, apresentando

similaridade quando a ação é de expansão agrícola (ExAgri) ou caso não sejam não previstas quaisquer ações (*Nothing*). A variável FLORA, por exemplo, quando neste cenário ocorre a escolha pela ação ExFlo, esta tende a ser mais relevante nas alterações sobre o território do que os demais cenários analisados.

O Índice agrícola (INDAGR) também passa a ser mais representativo para as mudanças na região da bacia hidrográfica no momento em que é prevista ação de expansão florestal (ExFlo) passando a estar entre as 5 mais influentes, assim como, em não sendo previstas ações esta variável surge entre as 3 primeiras do ranqueamento.

Destaca-se que neste cenário a variável conservação da biodiversidade (CONSBIO) apresenta maior importância na dinâmica do território quando a ação é de conservação, do que nos demais cenários. Contudo, para as outras ações que podem ser inseridas, a variável não surge entre as 10 (dez) mais influentes como ocorre no cenário +Idese.

Na Figura 89 pode-se observar o ranqueamento das 10 variáveis de maior influência nas alterações que venham a ocorrer no território quando introduzidas as diferentes ações em um cenário de Impacto Social Negativo.

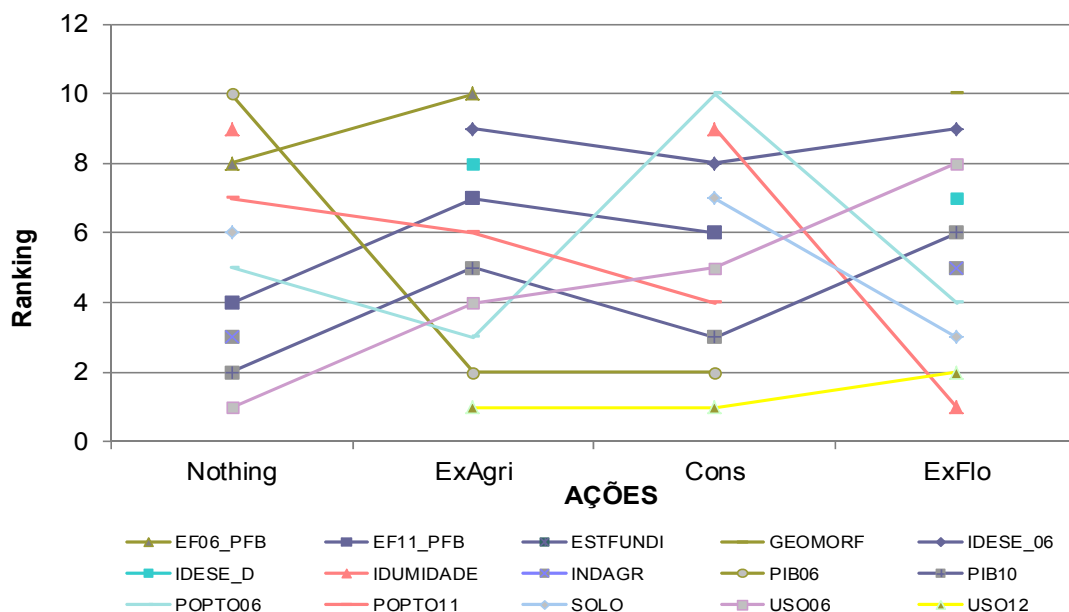


Figura 89 - *Ranking* com as dez variáveis de maior influência sobre a dinâmica do território nas diferentes ações para o Cenário Impacto Social Negativo.

Pode-se observar que as variáveis que descrevem o uso e cobertura (USO06, USO12), o tamanho da população (POPTO06, POPTO11), e a condição econômica da região, que nesta análise é representada pelo PIB (PIB06 e PIB10) estão sempre presentes entre as 10 mais influentes em qualquer se seja a ação definida para a região, quando o cenário for de Impacto Social Negativo.

A variável estrutura fundiária (ESTFUNDI) deixa de ter maior influência nas alterações do uso sobre a região da bacia quando para este cenário são previstas as ações de expansão florestal (ExFlo) ou conservacionista (Cons), diferente do que ocorre no cenário +Idese. Já o índice agrícola (INDAGR) surge entre as mais influentes quando considerada a ação ExFlo, apresentando similaridade ao que ocorre no cenário onde a economia esta a decrescer (-Econ).

Em não prevendo ações sobre o território, surge neste cenário uma tendência para que a atividade florestal deixe de ser realizada na região; merecendo assim, atenção por parte dos tomadores de decisão caso as condições que este cenário considera venham realmente a ocorrer, ainda mais, se a atividade florestal for o foco de interesse da população local.

A ação *Nothing* quando inserida no cenário -Idese acaba por expressar a menor perda da atividade agrícola na região se comparado com os demais cenários preditivos, apresentando uma redução de pouco mais de 5,5%, diferente da redução de aprox. 10% que pode vir a ocorrer caso permaneça o contexto do cenário Atual (CA). Apesar dessa “ação” representar uma queda expressiva das áreas com o uso Floresta Nativa sobre território em todos os cenários analisados, essa redução tende a ser menor quando o cenário é de Impacto Social Negativo, ou como já vimos, quando a economia esta a crescer (+Econ).

Quando introduzidas sobre o território ação ExAgri, este cenário juntamente com o cenário -Econ são os que apresentam o menor crescimento da atividade de silvicultura. Porém quando a ação é de expansão florestal (ExFlo) este cenário é o que apresenta maior perda da atividade agrícola e conseqüentemente tende a apresentar o menor crescimento das áreas com o uso Campo.

Cabe destacar para este cenário, que mesmo o desejo sendo da ação ExFlo, é o cenário menos favorável para atividade silvícola, pois apesar de apresentar um crescimento da atividade, este ainda é o menor dentre todos os cenários preditivos.

As possíveis mudanças na região da bacia hidrográfica do ano de 2013 para o ano de 2018 quando inserida as distintas ações propostas em um cenário de Impacto Social Negativo podem ser observadas na Figura 90.

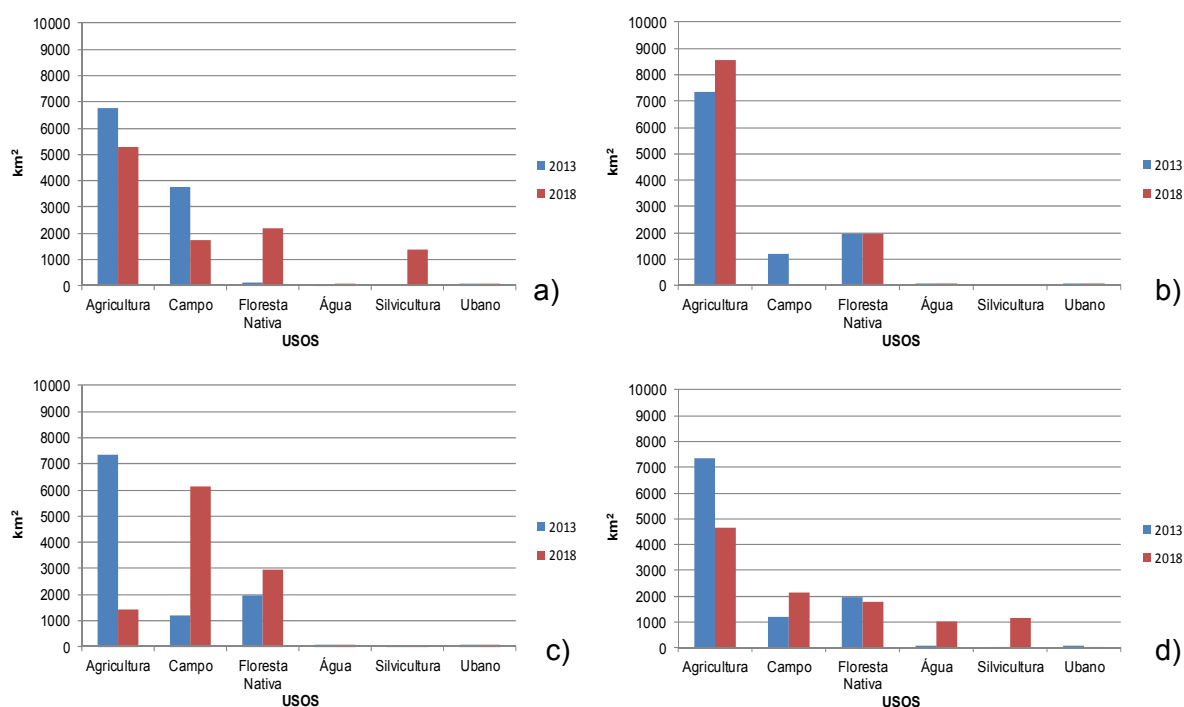


Figura 90 - Possíveis mudanças no Cenário Impacto Social Negativo: a) Ação Nothing, b) Ação ExAgri, c) Ação Cons, d) Ação ExFlo.

O uso Floresta Nativa apresenta para este cenário com ação conservacionista (Cons), o segundo maior percentual de crescimento das suas áreas (aprox. 25,5%), apresentando crescimento similar ao que ocorre o CA com a respectiva ação. Estas áreas demonstram uma maior concentração na região do baixo Ijuí com 37% do total da cobertura florestal da bacia, o que representa aprox. 9,4% do total do território, o que no ano de 2013 não representavam mais que 6,10% nessa região.

Ao inserir a ação Cons com o cenário -Idese, surge por outro lado, a possibilidade que a atividade silvícola seja reduzida na região, passando a representar não mais 0,12% do total do território, 14% a menos do que o identificado no ano de 2013. Observa-se também que ao decidir pela inserção desta ação ela apresentou-se para este cenário a segunda maior redução da atividade agrícola, sobre o território, ficando atrás apenas de quando inserida a respectiva ação no contexto do cenário CA.

As possíveis mudanças sobre o território quando inserida as distintas ações em um cenário Impacto Social Negativo(-Idese), estão apresentadas nas Figuras 91, 92, 93, e 94 a seguir.

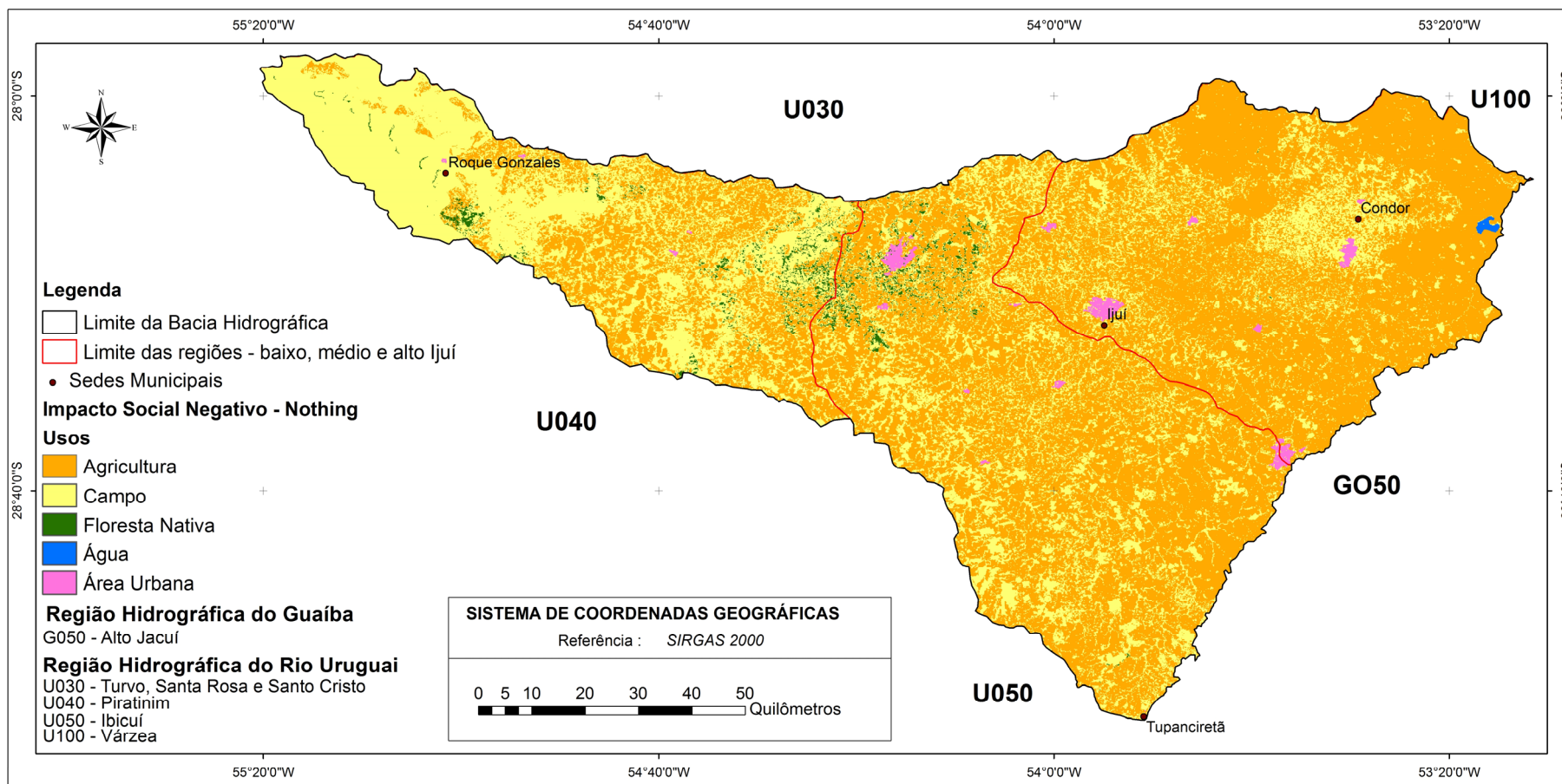


Figura 91 - Cenário Impacto Social Negativo sem ação (*Nothing*).

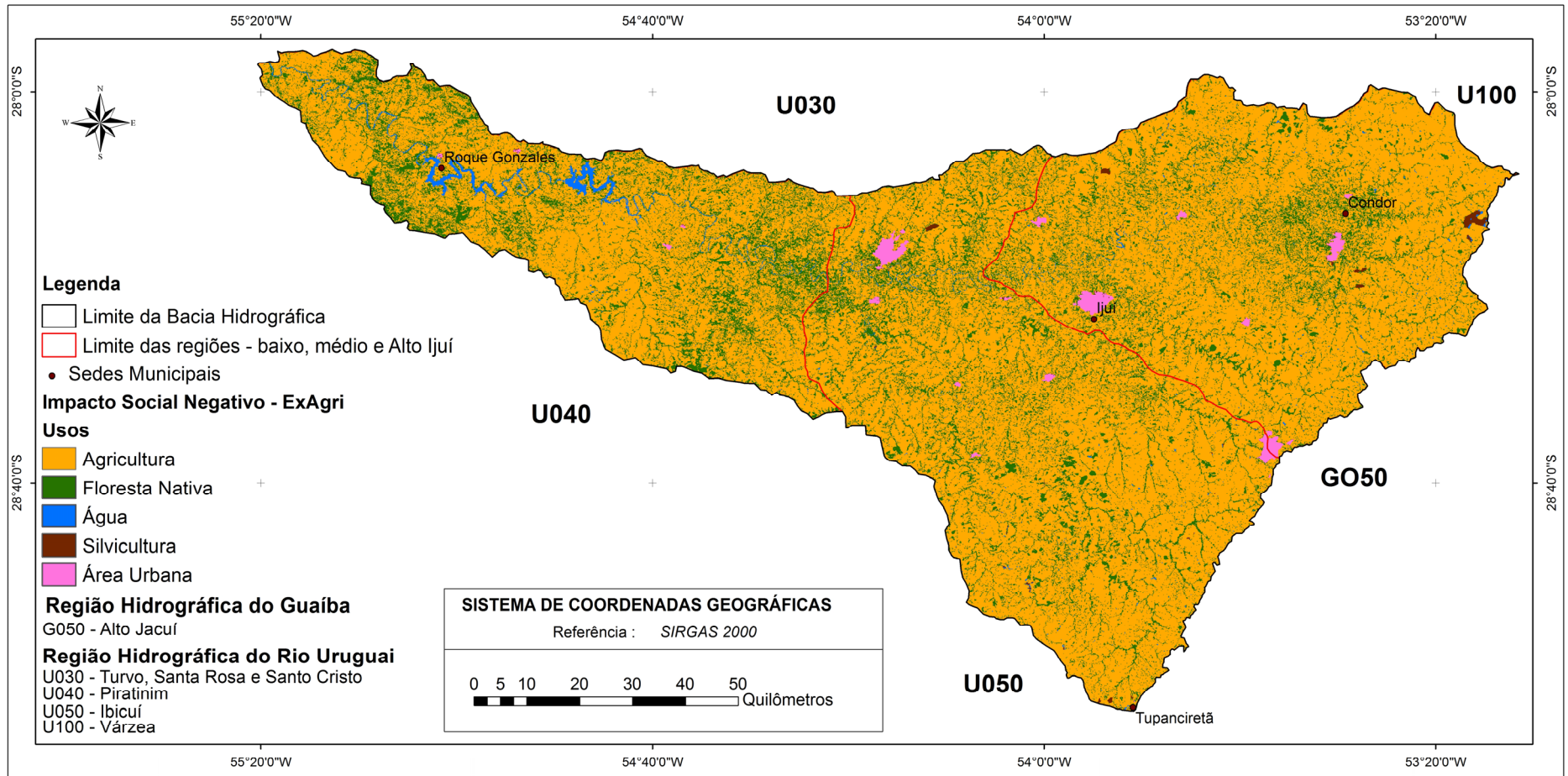


Figura 92 - Cenário Impacto Social Negativo com a ação Expansão Agrícola (ExAgri).

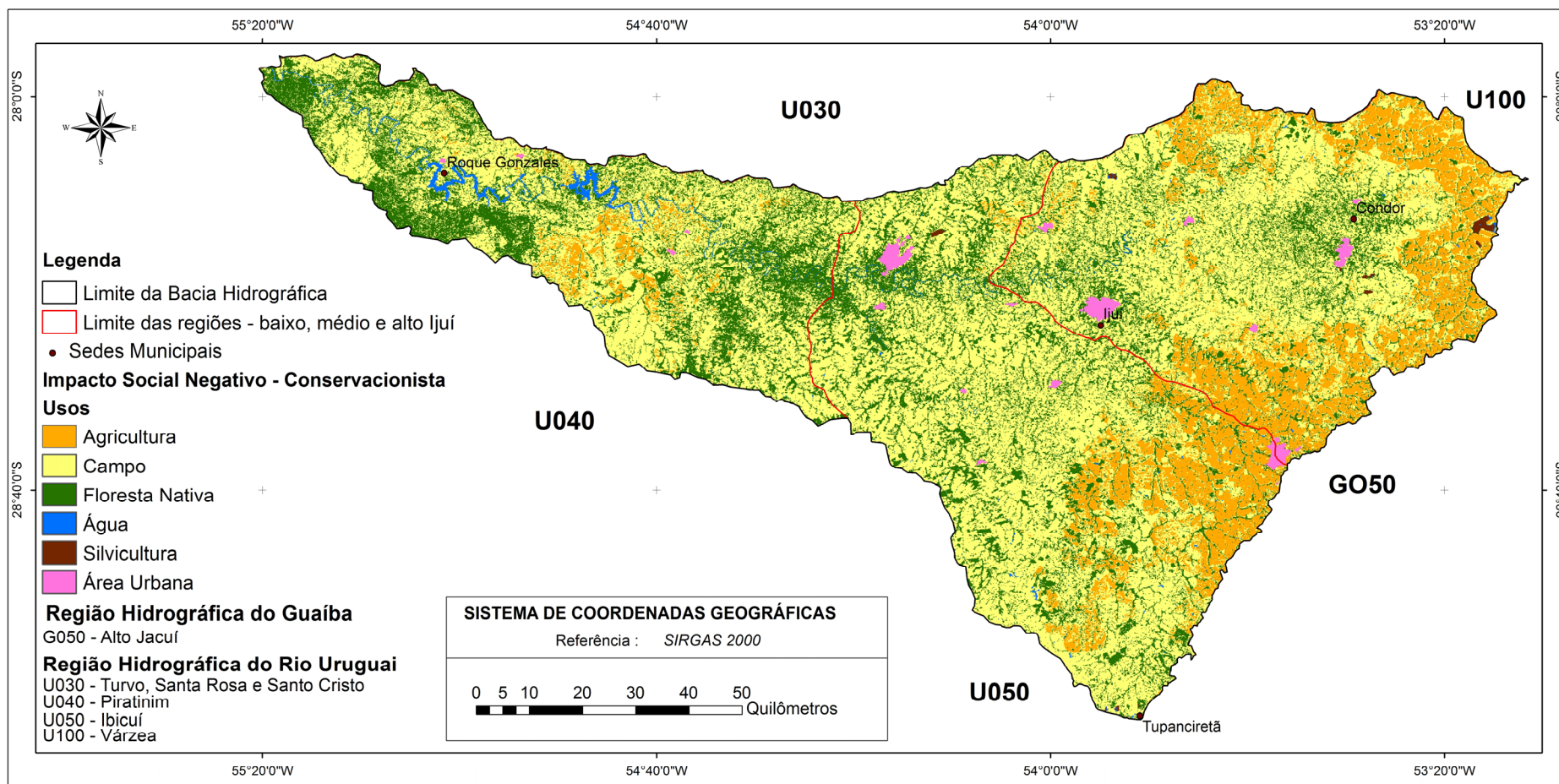


Figura 93 - Cenário Impacto Social Negativo com a ação Conservacionista (Cons).

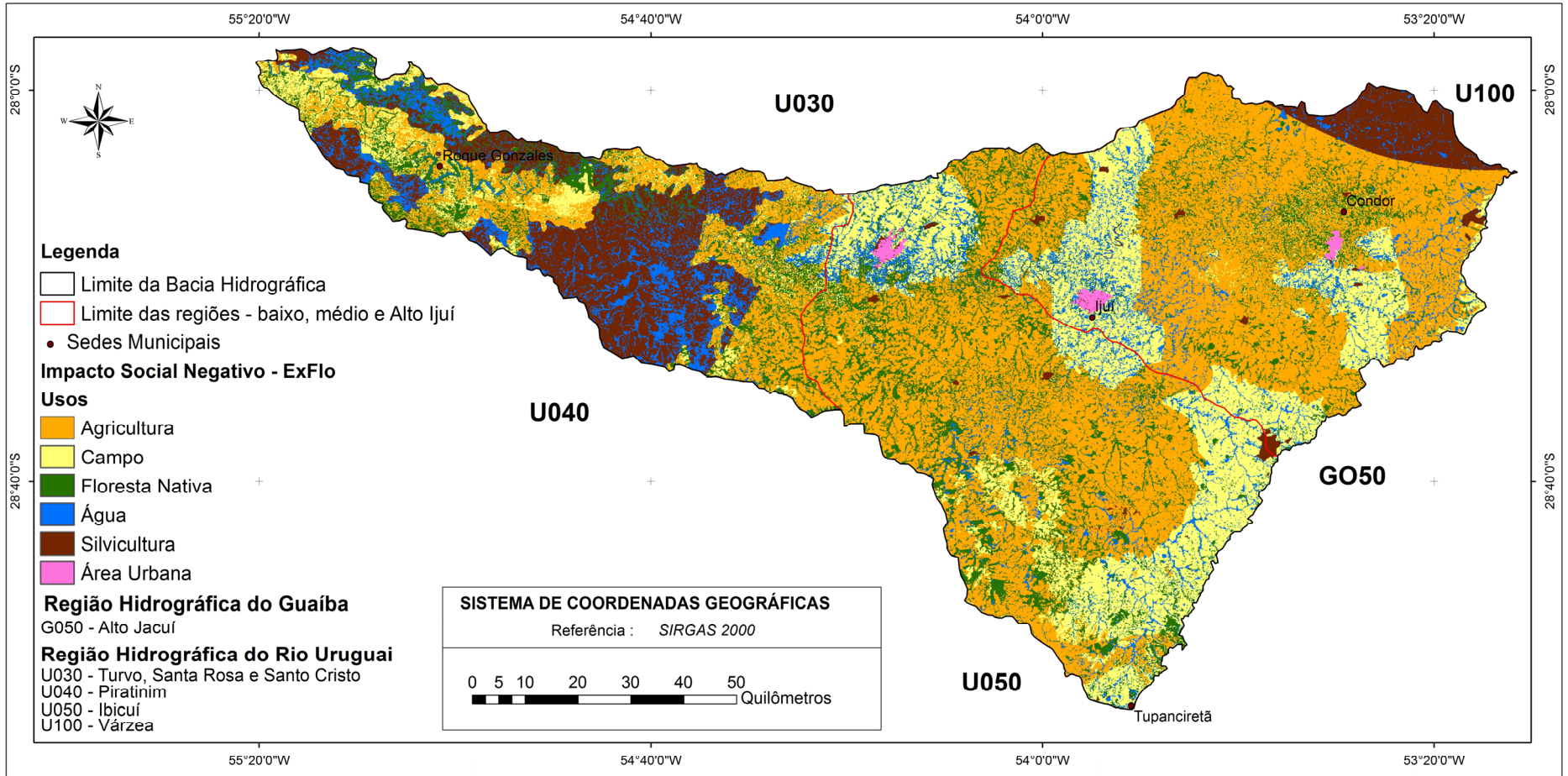


Figura 94 - Cenário Impacto Social Negativo com a ação Expansão Florestal (ExFlo).

Cabe destacar, que quando são comparadas as mudanças que ocorrem em função da inserção de cada ação individualmente, nota-se que todos os cenários analisados apresentaram-se muito similares, ocorrendo sempre a mesma tendência em aumentar ou em diminuir determinado uso sobre o território, a exemplo, pode-se citar o que ocorre na ação *Nothing*, a qual apresentou uma tendência de sempre aumentar o uso Campo e reduzir o uso Floresta Nativa sobre o território em todos os cenários, mudando apenas as proporções (porcentagem) que essas alterações podem ocorrer. Assim, no item a seguir faz-se uma análise das distintas ações de forma individualizada, destacando as principais alterações que podem ocorrer em cada um dos cenários.

5.3 Análise das alterações sobre o território frente às distintas ações para os cenários preditivos

5.3.1 Sem ação (*Nothing*)

O uso agricultura para os cenários analisados apresentou uma tendência de diminuir em até 10% a sua cobertura quando não é prevista qualquer ação sobre o território, podendo esse decréscimo da atividade ser mais expressivo quando em um cenário Condição Atual ou de Crescimento Econômico. Porém, apesar de esta “ação” incorrer na diminuição da atividade agrícola sobre a bacia hidrográfica, a mesma se mantém como a mais expressiva no território.

O uso Campo quando considerada a “ação” *Nothing*, mostra uma tendência de aumentar sua área sobre o território em até 28%, principalmente quando se mantém o cenário Condição Atual, mas pode ser também expressivo quando considerado o contexto de Crescimento Econômico ou ainda em um cenário de Impacto Social Positivo.

Quando não prevista nenhuma ação, as áreas com floresta nativa tendem a diminuir sobre o território em qualquer que seja o cenário da bacia, podendo essa redução ultrapassar 15% do total do uso hoje existente. A perda é mais significativa quando o cenário é de economia decrescente. Do contrário, o uso acaba tendo

menor perda de território quando não são previstas ações, mas o cenário é de Crescimento Econômico.

Em relação ao uso Silvicultura, em não havendo qualquer ação a atividade tende a diminuir sobre o território, podendo até mesmo deixar de ocorrer quando em um cenário de Impacto Social Negativo. Contudo, quando considerando o cenário Decrescimento Econômico (-Econ) ou de Impacto Social Positivo (+Idese), a atividade de silvicultura pode apresentar um decréscimo inferior a 60%, estando presente (em uma pequena porção) apesar de não serem previstas ações para o território.

5.3.2 Ação Expansão Agrícola (ExAgri)

Essa ação pode propiciar um aumento de até 10% da atividade silvícola sobre o território seja qual for o cenário que esteja a ocorrer. Como essa ação considera que as áreas com o uso Campo para ambos os cenários sejam ocupadas pela atividade agrícola, o respectivo uso para o período em análise (2013-2018), não estaria presente sobre o território.

Para esta ação a atividade agrícola, com esperado, apresenta um crescimento significativo em todos os cenários, no entanto, manteve a mesma proporção (79,89%) sobre o território independente do cenário que a ação seja inserida. O uso Floresta Nativa também apresentou uma tendência em manter-se com a mesma área em todos os cenários analisados. Isto se deve, sobretudo, ao fato de que esta ação considera que a expansão da atividade agrícola ocorra sobre as áreas com o uso Campo, minimizando a conversão das áreas com o uso floresta nativa para a atividade agrícola.

5.3.3 Ação Conservacionista (Cons)

Quando considerada a ação de conservação, a atividade agrícola pode vir a diminuir em até 40% em todos os cenários considerados, podendo essa queda ser

mais expressiva quando se mantém o cenário Condição Atual. Por outro lado, as áreas agrícolas apresentam uma maior representatividade sobre o território quando a ação é inserida em um cenário de Crescimento Econômico (+Econ), demonstrando que a tendência de um cenário de economia crescente é que se mantenham as atividades que estão a ser realizadas na atualidade.

Mesmo esta ação prevendo que ocorra um aumento significativo das áreas de floresta nativa, os cenários demonstraram uma tendência para o crescimento das áreas de campo, sobretudo quando considerado esta ação no cenário Condição Atual (CA) e no cenário de Impacto Social Negativo (-Idese). Porém, o aumento das áreas de campo não é tão expressivo quando a ação ocorre em um cenário de Crescimento Econômico (+Econ).

Como esperado, esta ação demonstrou a probabilidade de aumento das áreas de Floresta Nativa em até de 7%, sendo este uso mais expressivo quando a ação é inserida na Condição Atual, e menos expressiva quando em um cenário de Economia Crescente (+Econ).

5.3.4 Ação Expansão Florestal (ExFlo)

Quando o interesse é a ação de expansão florestal (ExFlo) as áreas com a atividades agrícolas tendem a manter-se com a maior cobertura sobre a bacia do que quando prevista uma ação conservacionista. Porém, estas áreas perdem território, já que é considerada nesta ação que grande parte da bacia seja recoberta pela atividade florestal. Esta ação pode diminuir a atividade agrícola em até 25% como é o caso do que ocorre quando o cenário é de Impacto Social Negativo ou de Condição Atual (23%).

Entretanto, quando a economia está a decrescer, a ação ExFlo demonstrou que pode manter a atividade agrícola em mais de 54% do território, destacando a importância da atividade para a região, mesmo quando esta encontra-se em um cenário de queda da econômica, sendo que a atividade agrícola pode vir a perder área quando prevista esta ação, sobretudo para o uso Floresta Nativa e/ou Silvicultura.

O uso Campo acaba por ganhar até 9% do território quando introduzida esta ação em um cenário de economia crescente, e tende a diminuir quando no território o cenário é de Decrescimento Econômico. Já as áreas de floresta nativa quando inserida esta ação, apresentou uma possível perda territorial apenas quando o cenário é de Impacto Social Negativo (2%) ou de Crescimento Econômico (4%). Quando o cenário é de Economia Crescente (+Econ) e Impacto Social Positivo (+Idese), este uso tende a crescer na mesma proporção (2 e 4% respectivamente), sendo menos significativos (aprox. 1%) quando na região permanece no contexto da Condição Atual.

Esta ação demonstrou uma influência no aumento da atividade de silvicultura sobre o território, passando de aproximadamente 0,2% para até 12% do total dos usos ocorrentes na bacia, o que representaria uma área em torno de 1300km², sendo que este crescimento é mais representativo quando a ação é inserida em um cenário de Crescimento Econômico (+Econ). No entanto, esse aumento acaba por ser menos significativo quando o cenário é de Impacto Social Negativo ou de Decrescimento Econômico, demonstrando que o território tende a mudar suas atividades, buscando melhorar a sua qualidade de vida ou ainda diversificar a sua produção em momentos de economia desfavorável para atividade principal.

5.4 Avaliação dos cenários mais favoráveis para atividade florestal

Diante dos resultados expressos pelos cenários elaborados nesta análise, podemos observar as mudanças que se referem ao uso Silvicultura para o período de predição. As proporções (porcentagem) da atividade em relação aos demais usos sobre o território nos dois anos analisados (2006 e 2013) assim como para os distintos cenários preditivos podem ser observados na Figura 95.

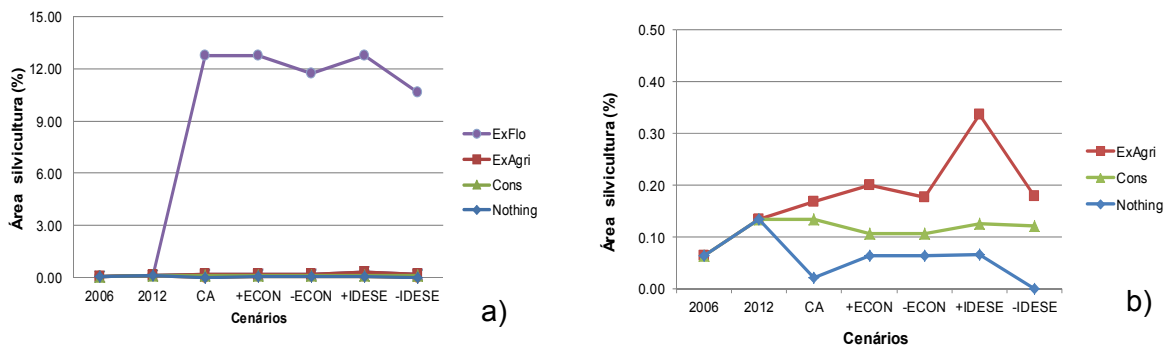


Figura 95 - Porcentagem da atividade de silvicultura nos os distintos cenários.

Como no cenário de Expansão Florestal a atividade apresenta um crescimento muito acima do que ocorre nos demais cenários, são apresentados os gráficos “a” e “b” para melhor visualização das mudanças da atividade que podem ocorrer nos distintos cenários preditivos.

Quando a ação é ExFlo apresentada na Figura 95 (a), os cenários que se apresentam menos favoráveis, ou seja, que proporcionariam um menor crescimento da atividade de silvicultura sobre o território da bacia hidrográfica do rio Ijuí, são os cenários de Impacto Social Negativo (-Idese) e o Decrescimento Econômico (-Econ). Os demais cenários demonstram pouca diferença entre no valor relativo à atividade que possa ocorrer na região (12,76 e 12,77% respectivamente).

Se o desejo for que ocorra a ação conservacionista (Cons), os únicos cenários que se apresentaram favoráveis ao aumento da atividade silvícola foram o de Condição Atual (CA) e o cenário que considera o Impacto Social Positivo (+Idese). No entanto, quando inserida esta ação nos demais cenários, a atividade silvícola expressa uma tendência de ser menos significativa sobre o território, remetendo aos interessados pela atividade a previsão de estratégias que auxiliem na sua permanência e/ou expansão na região da bacia, mesmo que a decisão seja pela inserção ação conservacionista.

O cenário Impacto Social Positivo (+Idese) também se apresentou favorável para atividade de silvicultura quando prevista para o território a ação ExAgri. Entretanto, esta ação quando introduzida no contexto da Condição Atual (CA) demonstrou menos favorável à atividade florestal do que nos demais cenários, salientando a necessidade de que sejam previstas medidas de estratégias para

atividade silvícola na região da bacia, caso não ocorram alterações do cenário atual nos próximos 6 anos.

Cabe destacar que a análise dos cenários demonstrou que em não ocorrendo qualquer ação sobre o território, o melhor cenário para atividade de silvicultura na bacia, seria aquele que apresenta um Impacto Social Positivo (+Idese), pois foi o único a proporcionar um aumento da atividade sobre o território, tendo todos os demais demonstrado a possibilidade da atividade ser reduzida ou até mesmo suprimida da região da bacia.

Por um lado, esse resultado demonstra que para manter a atividade sobre esse território, faz-se necessário que os tomadores de decisão considerem o planejamento de ações voltadas para a ascensão da atividade caso o cenário mantenha-se nos próximos anos. Por outro lado, ela também evidencia que a silvicultura tende a ser mais expressiva quando na região da bacia hidrográfica o cenário é socialmente positivo, destacando a atividade silvícola surge como um investimento potencial à medida que os índices de qualidade de vida da população estão a crescer.

5.5 Diretrizes de apoio à tomada de decisão

O poder de decidir sobre as mudanças que serão realizadas em determinado território, e suas implicações que estão sujeitas a uma análise técnica, podem variar de uma jurisdição para outra. Porém, o realmente importante é garantir que na fase decisória, ocorra a integração dos resultados da avaliação das possíveis mudanças frente cada uma das ações de interesse, às decisões que realmente serão tomadas.

Entretanto, esta não é uma tarefa fácil, pois os interesses apresentam-se sempre distintos e os envolvidos raramente os mudam, sendo que em muitas vezes as decisões escolhidas tem motivações de caráter político em vez de considerarem critérios técnicos, seja por interesses diversos, jurisdição de poder decisório ou ainda conhecimento pouco minimalista sobre as consequências futuras que pode ter cada decisão tomada.

Com intuito de auxiliar o processo de tomada de decisões sobre o planejamento territorial e em especial a atividade silvícola, o que se propôs neste estudo foi analisar previamente um conjunto de ações que foram consideradas como sendo de interesse no território da bacia hidrográfica. Estas ações por sua vez foram aplicadas sob os distintos contextos socioeconômicos (denominados cenários), tornando possível analisar as prováveis alterações que possam ocorrer, e assim, apresentar algumas diretrizes que possam auxiliar (de alguma forma) o processo de tomada de decisão.

Assim, a partir da análise dos resultados descritos no item 5.3 e 5.4 foram consideradas algumas possíveis causas para os acontecimentos de mudanças, sendo então apresentados direcionamentos a serem considerados no momento em que a decisão pela implementação de algumas das ações for tomada em um cenário característico.

No Quadro 5 apresenta-se a classificação hierárquica dos usos nos cenários preditivos, e possíveis motivações para as mudanças ocorridas e no Quadro 6 apresentam-se as diretrizes para tomada de decisão de acordo com a classificação hierárquica segundo a ocorrência dos usos sobre o território nos cenários preditivos.

Classificação Hierárquica		Possíveis causas/alterações dos usos identificados nos cenários preditivos e considerações.			
Hierarquia (Sigla)	Descrição	Agricultura	Silvicultura	Floresta Nativa	Campo
1	C1	<ul style="list-style-type: none"> • Apresenta menor favorabilidade para inserção da ação específica quando preconiza a expansão do uso a que ela se refere 			
		<ul style="list-style-type: none"> • Sem incentivo para manutenção ou expansão da atividade 	<ul style="list-style-type: none"> • Silvicultura pouco expressiva acaba por manter-se apenas na região de ocorrência principal. • Conversão das áreas com atividade florestal para uma atividade de ciclo curto dependendo do cenário a que se encontra 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessita da realização de estudos mais detalhados com, por exemplo, o índice de desmatamentos nos locais onde apresentam maior índice de queda das áreas de floresta nativa. • Conversão dessas áreas para uma atividade lucrativa, agricultura ou pecuária. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sem incentivo para manutenção ou expansão da atividade pecuária • Conversão das áreas de campos naturais para áreas com atividade lucrativa, agricultura ou silvicultura.
2	C2	<ul style="list-style-type: none"> • Situação econômica e/ou climática desfavorável • Restrições legais mais exigentes (legislação ambiental). 	<ul style="list-style-type: none"> • Pouco conhecimento a respeito da atividade e possível desinteresse por uma nova atividade ou uma atividade de ciclo • Limitação legal ou biofísica para expansão da atividade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Influência das variáveis que descrevem a qualidade de vida da população na interferência das proposições ambientais nos cenários preditivos específicos. • Rever exigência de estudos aplicados as áreas mais sensíveis 	
3	C3	<ul style="list-style-type: none"> • Cenários que podem ter associação de duas ou mais ações, pois não apresentam grandes perdas mesmo que outra ação seja proposta. 			
4	C4	<ul style="list-style-type: none"> • Tendência em manter a atividade que é de domínio sobre o território 	<ul style="list-style-type: none"> • Situação econômica e/ou climática favorável • Projetos de incentivo a produção • Mercado nacional em expansão 	<ul style="list-style-type: none"> • Lucratividade das áreas já produtivas não exigindo maior expansão 	<ul style="list-style-type: none"> • Observar se a classificação remete ao uso de atividade como pecuária, aumento da atividade em razão da situação desfavorável da atividade principal. • Abandono das áreas rurais, observar relação com êxodo rural municipal. • Maior preocupação com a conservação dos habitats naturais (bioma pampa)
5	C5	<ul style="list-style-type: none"> • Apresenta maior favorabilidade para inserção da ação específica que preconiza a expansão do uso a que ela se refere 			

Quadro 5 - Classificação hierárquica dos usos nos cenários preditivos, e possíveis causas para as mudanças ocorridas.

CLASSIFICAÇÃO		DIRETRIZES			
Sigla	Descrição	Agricultura	Silvicultura	Floresta Nativa	Campo
DU	Representa a DIMINUIÇÃO do uso sobre o território, em relação a 2013, quando inserida a ação específica,	<ul style="list-style-type: none"> Análise do impacto sobre a população quando a atividade é a mais expressiva no território na atualidade. Previsão de diretrizes voltadas a linhas de crédito para as pequenas propriedades ocorrentes na bacia, como forma de incentivo e disseminação gradual da atividade prevenindo práticas de menor impacto sobre o ecossistema (solo-planta-Atmosfera). 	<ul style="list-style-type: none"> Considerar a análise das principais restrições legais que podem ter influência na ocorrência. Analisar áreas ambientalmente potenciais e socioeconômicas prioritárias para inserção de projetos de interesse local na atividade. Incentivo às atividades de fomento como alternativa para as regiões que apresentam carências na atividade agrícola. Incentivo a empreendimentos que demandem de matéria prima florestal, propiciando a ascensão ou manutenção do mercado florestal na região, sobretudo onde a possibilidade de queda é menos expressiva. Possibilidade de linhas de crédito rural para a inserção da atividade florestal para pequenas propriedades rurais como atividade alternativa e de investimento a longo prazo. 	<ul style="list-style-type: none"> Mesmo não sendo uma ação prevista considera planos de educação ambiental nos cenários que apresentam possível queda significativa das áreas de floresta nativa. Avaliação das atividades nas áreas de entorno mais próximas as regiões que apresentaram a possibilidade de perdas mais significativas, sobretudo das APP. Estratégia mais efetiva de prevenção em relação a exploração indevida de remanescente nativo, com foco nas regiões com perdas mais intensas, e onde a variável resistência dos solos a impacto apresentar níveis críticos, mesmo que não esteja entre as variáveis mais influentes no ranqueamento. Projetos de enriquecimento e adensamento florístico e genético com mudas e/ou com sementes para os remanescentes mais afetados. Monitoramento em relação manutenção da regularidade dos processos hídricos (infiltração, regime de vazão e qualidade da água) 	<ul style="list-style-type: none"> Quando a redução refere-se a mudança para outra atividade como a pecuária ou agricultura, avaliar as áreas que apresentam susceptibilidade a essas atividades e prever práticas de manejo de baixo impacto. Quando o objetivo é conservação, prever projetos de incentivo a manutenção ou recuperação das áreas de campo nativo para fins reserva legal ou APP. Incentivo a pesquisas sobre o manejo e melhoramento da pastagem nativa.
		<ul style="list-style-type: none"> Análise das variáveis de maior influência no cenário que a referida condição ocorre. 			

Quadro 6 - Diretrizes estratégicas de acordo com a classificação referente às mudanças sobre o território nos cenários preditivos.

(Continua)

CLASSIFICAÇÃO		DIRETRIZES			
Sigla	Descrição	Agricultura	Silvicultura	Floresta Nativa	Campo
CR	Representa o CRESCIMENTO do uso sobre o território em relação a 2013, quando inserida a ação específica.	<ul style="list-style-type: none"> Análise das variáveis mais influentes nos cenários preditivos que proporcionam essa situação. Análise do seu crescimento nos casos em que não corresponde a ação prevista, avaliando quais os fatores que fazem com que a atividade apresente-se importante para região. Orientação e minimização do uso de insumos exógenos (adubos e agrotóxicos) e controle e não aumento de possíveis pragas agrícolas. Orientação em relação ao manejo do solo nas áreas de maior intensidade da atividade (cuidados com os processos de degradação) Avaliação das práticas de manejo utilizadas na região em razão do modelo de atividade a que se propõe. 	<ul style="list-style-type: none"> Estratégias adaptadas a cada ecorregião. Escolha de material genético adequado para cada condição ambiental. Estudo dos mercados mais influentes para incentivo a atividade. Estudo dos mercados secundários e terciários que podem intensificar a economia local Análise das áreas com maior risco a incêndios e estratégias de prevenção e combate. Incentivos a projetos que visem certificação dos produtos. Previsão de práticas de colheita de baixo impacto (total ou gradual) 	<ul style="list-style-type: none"> Avaliar se há relação com êxodo rural na região Avaliação dos principais serviços ecossistêmicos 	<ul style="list-style-type: none"> Análise das variáveis mais influentes nos cenários preditivos que proporcionam essa situação e verificação da relação com o aumento da atividade pecuária. Orientação em relação ao manejo do solo quando uso para atividade pecuária (cuidados com os processos de degradação). Pesquisas em relação a lotação animal em pastagens naturais, prevendo políticas de produtividade aliadas a conservação do ecossistema endêmico do RS. Possibilidade de utilização das áreas em pousio com modelos de cultivo mínimo. Valorização da pecuária sustentável. Incentivo a pesquisas sobre o manejo e melhoramento da pastagem nativa.
		<ul style="list-style-type: none"> Estratégias para minimização da diminuição da biodiversidade (interações interespecíficas), exigência dos parâmetros mínimos legais para a conservação da biodiversidade. Análise da profundidade do lençol freático, sobretudo nas áreas de maior interesse. Análise da existência de riscos de dano sério ou irreversível, e previsão de implementação de medidas que possam prevenir este dano. Assegurar o acompanhamento dos impactos ambientais e sociais ocasionados em função das atividades de manejo, além de ter medidas para garantir a minimização de cada um destes impactos. 	<ul style="list-style-type: none"> Quando não prevista ações de conservação e ainda esta for a resultante no cenário, considerar resguardados os legítimos interesses da sociedade, por exemplo, o uso racional e sustentável dos recursos naturais. 	<ul style="list-style-type: none"> Monitoramento em relação manutenção da regularidade dos processos hídricos (infiltração, regime de vazão e qualidade da água). 	

CLASSIFICAÇÃO		DIRETRIZES			
Sigla	Descrição	Agricultura	Silvicultura	Floresta Nativa	Campo
AU	Representa a AUSÊNCIA do uso sobre o território em relação a 2013, quando inserida a ação específica.	<ul style="list-style-type: none"> • Analisar a influência das variáveis socioeconômicas nas causas para a total exclusão. • Avaliar se não há relação com taxa de êxodo rural nos municípios de maior queda da atividade. • Projetos que visam atividades alternativas considerando características socioculturais da região. 	<ul style="list-style-type: none"> • Muito semelhante às diretrizes de praticar quando se prevê uma queda da atividade, no entanto, os incentivos precisam ser mais urgentes e as avaliações de viabilidade mais específicas a problemas particulares. • Monitoramento efetivo possibilitará a detecção de possíveis pontos críticos de funcionamento do ecossistema florestal. • Capacitação do produtor rural à geração de informação para a administração de riscos de preços, de custos e de produção na propriedade rural, minimizando possíveis perdas e consequentemente desinteresse pela atividade, sobretudo quando o cenário for de crescimento econômico e sociocultural. • Garantia da escolha de material genético adequado para cada condição ambiental e garantia e efetividade do empreendimento a longo-prazo. • Estratégias que preveem o plantio de espécies agrícolas na entrelinha, como alternativa de produção agrosilvipastoril. • Estudos específicos do mercado e maior atratividade para os produtores da região e viabilidade econômico-financeira para a efetivação dos projetos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Previsão de programas de educação ambiental e recuperação das áreas degradadas e áreas de preservação permanente, como medida prioritária e urgente de conservação. • Estratégias para prever comprometimento do cumprimento das condições legais quando a ação não é de conservação. • Incentivo a pesquisas para recuperação das áreas em processo de degradação e a existência de riscos de dano ambiental sério ou irreversível, e previsão da implementação de medidas que possam prever este dano. • Estratégias de restauração das áreas afetadas, prevendo a minimização, isolamento ou a retirada dos fatores de degradação, juntamente com a introdução de elementos atrativos da fauna, como as previstas nas principais técnicas nucleadoras. • Introdução de espécies de interesse econômico em sistemas agroflorestais, fortalecendo os projetos de manejo de espécies nativas de valor econômico. • Análise do possível risco de pragas (desequilíbrio ecológico). • Monitoramento da produção e qualidade da água na bacia, sobretudo quando a ação é de inserção de uma atividade econômica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Especificamente neste estudo, foi considerada para uma ação específica a exclusão da atividade, no entanto, caso não seja essa a ocorrência, verificar as atividades que se sobrepõem sobre o uso verificando as fragilidades enquanto uso nativo e as potencialidades quanto for o caso do uso pecuária. • Políticas de incentivo a conservação do Uso nas áreas onde é de sua ocorrência natural (bioma pampa). • Incentivo a projetos que preconizam atividades de produção por sistemas de baixo impacto, sobretudo para regiões dependentes da ocupação do território sob essa classe de uso. • Avaliação do potencial de plantas invasoras e medidas de prevenção e controle. • Monitoramento da cobertura vegetal do bioma pampa e principais conflitos

(Conclusão)

CLASSIFICAÇÃO		DIRETRIZES			
Sigla	Descrição	Agricultura	Silvicultura	Floresta Nativa	Campo
PE	Representa a PERMANENCIA do uso sobre o território na mesma proporção do ano de 2013, quando inserida a ação.	<ul style="list-style-type: none"> Linhas de crédito para os setores que preconizam a produção por sistemas de baixo impacto e para regiões dependentes da atividade. 	<ul style="list-style-type: none"> Avaliação da eficiência do manejo florestal para as ecorregiões de interesse. Definição de hipóteses que devem embasar novas pesquisas de mercado para a expansão da atividade. Caracterização e avaliação da adaptação ecológica das espécies florestais (ocorrência de geadas ou de períodos de estresse hídrico). Projeto que incentivam a agregação de valor à madeira produzida na região, incentivando mercado local. Estudo dos mercados secundários e terciários que podem intensificar a economia local. 	<ul style="list-style-type: none"> Programas de incentivo a proteção dos remanescentes locais e a pagamento por serviços ambientais como forma de incentivo ao aumento das áreas de floresta nativa. Considerar a análise da influência das variáveis que descrevem a qualidade de vida da população na interferência das proposições ambientais nos cenários preditivos específicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Avaliação dos principais serviços ecossistêmicos e possível pagamento pela conservação das áreas de ocorrência natural do Uso (pampa). Incentivo a projetos que preconizam atividades de produção por sistemas de baixo impacto, sobretudo para regiões dependentes da ocupação do território sob essa classe de uso.
		<ul style="list-style-type: none"> Introdução de espécies de interesse econômico em sistemas agroflorestais, fortalecendo os projetos de manejo de espécies nativas de valor econômico. 			
		<ul style="list-style-type: none"> Avaliação dos fatores de estagnação, análise das variáveis mais influentes no cenário preditivo a que representa, no caso da floresta nativa os fatores favoráveis para a manutenção do uso, assim como aqueles o que impediram que as áreas tivessem incremento no período a que se refere à análise. Avaliação quanto à interferência dos fatores socioculturais na estagnação dos usos. 			

Apesar de o objetivo ter focado em diretrizes voltadas, sobretudo para atividade silvícola, é importante que se tenha conhecimento sobre as interações entre os distintos usos sobre território e a sua dinâmica. A análise da expressividade dos usos sobre o território nos distintos cenários preditivos, utilizando o modelo baseado nas RNA é apresentado no Quadro 7.

Análise Cenários Preditivos		USOS							
		Agricultura		Campo		Floresta Nativa		Silvicultura	
Ação Nothing		EX	SI	EX	SI	EX	SI	EX	SI
CENÁRIOS	Condição Atual (CA)	C1	DU	C5	CR	C3	DU	C4	DU
	Crescimento Econômico (+Econ)	C2		C3		C5			
	Decrescimento Econômico (-Econ)	C4		C2		C1			
	Impacto Social Positivo (+IDESE)	C3		C4		C2			
	Impacto Social Negativo (-IDESE)	C5		C1		C4		-	
Ação ExAgri		EX	SI	EX	SI	EX	SI	EX	SI
CENÁRIOS	Condição Atual (CA)	C5	CR	/	AU	/	PE	C1	CR
	Crescimento Econômico (+Econ)							C4	
	Decrescimento Econômico (-Econ)							C2	
	Impacto Social Positivo (+IDESE)							C5	
	Impacto Social Negativo (-IDESE)							C2	
Ação Cons		EX	SI	EX	SI	EX	SI	EX	SI
CENÁRIOS	Condição Atual (CA)	C1	DU	C5	CR	C5	CR	C5	PE
	Crescimento Econômico (+Econ)	C5		C1		C1			
	Decrescimento Econômico (-Econ)	C4		C2		C2			
	Impacto Social Positivo (+IDESE)	C3		C3		C3			
	Impacto Social Negativo (-IDESE)	C2		C4		C4		C2	
Ação ExFlo		EX	SI	EX	SI	EX	SI	EX	SI
CENÁRIOS	Condição Atual (CA)	C3	DU	C3	CR	C3	CR	C5	CR
	Crescimento Econômico (+Econ)	C2		C5		C5			
	Decrescimento Econômico (-Econ)	C5		C1		DU		C1	
	Impacto Social Positivo (+IDESE)	C4		C2		CR		C4	
	Impacto Social Negativo (-IDESE)	C1		C4		CR		C2	

EX= Expressividade
SI= Situação

Quadro 7- Análise dos cenários preditivos frente à expressividade dos usos sobre o território.

5.5 Análise da aplicabilidade do modelo para tomada de decisão

A aplicação do modelo de RNA no processo de tomada de decisão é dividida em 3 fases distintas denominadas “Fase de Planejamento”, “Fase de Análise” e “Fase de Decisão”. Para cada uma das fases são consideradas as etapas para sua realização as quais requerem a seguinte análise: a) O que é necessário para que isso seja feito?; b) O que deve ser considerado para sua realização?; c) Para que serve essa etapa? e, d)Quais os pontos positivos e os fatores críticos a serem considerados nessa etapa?

A seguir, apresenta-se a discussão sobre cada uma dessas etapas de uso dos modelos RNA.

5.5.1 Fase de planejamento

A primeira fase do processo é denominada fase de planejamento e caracteriza-se por ter uma única etapa chamada de “reconhecimento prévio da situação”. Esta etapa requer que se façam as seguintes considerações: primeiramente analisar se o assunto merece ou deve ser objeto de planejamento e, segundo, estipular a escala temporal e a escala espacial que será realizada a análise.

Portanto, para atender a primeira situação os envolvidos no processo de tomada de decisão devem resolver as seguintes questões: “A análise do tema é importante? Existe conflito de interesses sobre ele? Do que eles tratam? Quem esses conflitos atingem? Se o planejamento a que se refere não for realizado, as consequências podem ser grandes o suficiente para que a alternativa de não realizá-lo seja rejeitada?”.

As respostas para essas indagações permitem identificar os objetivos e definir metas, ou ainda, podem sugerir desconsiderar a análise quando observado que não há relevância para o levantamento das informações. Os pontos críticos dessa situação referem-se à presença de divergências entre os envolvidos no processo, quanto à importância atribuída na definição da realização ou não da análise.

Também remete à dificuldade na identificação de “quem” realmente são os principais “atingidos” pelos conflitos quando esses ocorrem, podendo ser necessário realizar uma análise mais específica a partir do que é identificado neste primeiro momento.

A segunda questão dessa etapa deve atentar para o período que se deseja realizar a análise, considerando a possibilidade de curto, médio ou longo período (anos), e ainda determinar o em “nível operacional ou estratégico” a que se refere análise, podendo ser local, municipal, regional (bacia hidrográfica), estadual etc.

Essa definição pretende orientar os envolvidos, em relação ao volume de informação (dados) relativa de cada uma das variáveis que serão utilizadas para construção do modelo proposto. As variáveis devem ser construídas e organizadas de acordo com o período estipulado, a fim de estabelecer e planejar o tempo que será necessário para a estruturação do banco de dados.

Outro fator primordial nesta etapa é a determinação da escala espacial e temporal a serem apresentados os cenários preditivos, o que também remete as informações (variáveis) que existem sobre o território a ser analisado, e às que ainda precisarão ser construídas.

Como fator crítico é que essa etapa do processo pode exigir um tempo considerável para a organização das variáveis, sobretudo para análise de longos períodos. Mas por outro lado, o modelo (no caso das RNA) apresentará maiores nuances entre as informações das variáveis de um ano para outro, detalhando as principais mudanças que ocorreram, melhorando o processo de aprendizado da RNA e, conseqüentemente, da análise das mudanças sobre o território ao longo do tempo. Contudo, a predição pode não ser satisfatória para uma análise local (município ou bairro) quando a aplicação das RNA ocorrer com variáveis de escala espacial menor que a respectiva, ou seja, incompatível com os objetivos do estudo.

5.5.2 Fase da análise

A fase seguinte ao planejamento refere-se à fase da análise, a qual contempla 4 etapas distintas. A primeira diz respeito à identificação e levantamento das informações necessárias para a construção do modelo. Posteriormente é realizada a etapa da definição das ações de interesse apresentadas para o território,

sendo que a etapa seguinte acontece simultaneamente, e remete a definição e construção de diferentes cenários de probabilidade, os quais as ações definidas de interesse são analisadas. Por fim, segue a etapa de análise dos cenários preditivos, ou seja, os cenários resultantes da inserção das ações em cada um dos respectivos cenários considerados para região em análise.

Na primeira etapa a qual se refere à pesquisa nas fontes de origem dos dados para construção do modelo, deve-se considerar primeiramente a utilização daquelas que detenham as informações mais completas sobre território, que apresentam alto nível de confiabilidade, e quando possível, estejam disponíveis a pouco ou a nenhum custo. Outro fator observado como relevante nesta etapa, diz respeito à espacialização dos dados sobre o território, sendo que, quanto menor for a homogeneidade das informações (dado) para a maioria das variáveis, mais detalhada pode resultar a predição dos cenários futuros.

Diante do volume de informações organizadas, um fator considerado de extrema importância para esse modelo de análise, é o tempo exigido para o processamento digital das informações, o qual depende primeiramente da escolha dos equipamentos adequados (hardware e software), capazes de realizar as interações que lhes é solicitada, sobretudo, quando o território sob análise apresenta uma grande quantidade de dados (in byte), seja pela sua extensão (área) ou pela escala espacial escolhida. Dentro desta perspectiva, destaca-se a importância da definição quanto à resolução espacial que será utilizada na análise, pois esta condicionará o nível de detalhamento das informações sobre o território.

Uma possibilidade para a minimização do volume de informações necessárias é a aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP), que pode demonstrar antecipadamente as variáveis que apresentam redundância, e que acabam por causar apenas “ruído” e aumentar o tempo de processamento da análise. Com isso, é possível reduzir ou eliminar a sobreposição de informações (excesso), que por muitas vezes julga-se estar correto.

Todas as considerações abordadas para esta etapa têm como objetivo “afinar” e qualificar as informações de entrada do modelo, para que seja possível a obtenção de resultados preditivos mais acurados e em menor tempo possível.

Entretanto, como fatores críticos desta primeira etapa considera-se o fato de que nem sempre é possível encontrar as informações (dados) de algumas das variáveis elencadas para construção do modelo, assim como, a disponibilidade da

informação para os distintos períodos a que foi estipulada a análise. Portanto, é primordial que se avalie o nível de importância desta variável, pois em não sendo apreciada a sua exclusão do modelo, deve-se considerar no tempo necessário para que a mesma seja construída ou obtida (avaliando se a hipótese é possível ou viável) ou ainda, se esta pode vir a ser substituída.

Assim, os fatores críticos dessa etapa dizem respeito à demanda de um determinado tempo de processamento das informações, o qual deve ser compreendido no processo de planejamento, e a necessidade de que alguns integrantes da equipe técnica estejam treinados para o uso de ferramentas (softwares) indispensáveis para construção digital do modelo e obtenção de resultados no mínimo satisfatórios.

A segunda etapa integrante da fase de análise consiste na definição das ações que são consideradas, pelos integrantes do processo de tomada de decisão, como o desejo de uso para o território. Diante disso, deve-se primeiramente levantar as opiniões dos envolvidos no processo, elegendo as principais ações que lhes são de interesse para a região sob análise.

Definidos os interesses de cada grupo, elegem-se as ações que são prioridades de todos os envolvidos, sendo posteriormente analisadas e listadas as possíveis consequências, limitações e riscos (socioculturais, ambientais e político-econômicos) quando inserida cada uma das ações definidas para análise. Assim, com base nos parâmetros estabelecidos para cada uma das ações, faz-se necessário definir as regiões prioritárias para a inclusão das distintas ações. Neste momento, é importante que sejam consideradas as necessidades das populações locais, bem como, a sua diversidade e valoração cultural, requisitos legais, limitações ambientais.

A definição das ações é essencial para que seja possível prever as alterações que venham a ocorrer sobre o território quando considerada as suas interações e iterações com as demais variáveis biofísicas e socioeconômicas que caracterizam a região.

Essa etapa pode auxiliar no entendimento das prováveis alterações que venham a ocorrer no território, se os desejos dos participantes sejam efetivados, sendo possível avaliar as possíveis mudanças mesmo que elas não estejam diretamente relacionadas com a ação que se analisa, possibilitando compreender as

relações de causa e efeito que a ação proporciona nos demais usos sobre o território.

Como ponto positivo, é o fato desta etapa considerar as particularidades da dinâmica local para definição das prioridades, resultando em informações específicas para aquelas condições, auxiliando na avaliação das ações definidas como de interesse pelos envolvidos, antes que possam ser deliberadas como ações efetivas.

Entretanto, um fator que pode apresentar-se como crítico, seria o de estabelecer o consenso dos grupos de interesse em relação às ações que serão avaliadas. Portanto, sugere-se para uma primeira análise (se for o caso), que as escolhas ocorram pela ação de maior prioridade definida por cada um dos grupos envolvidos no processo. Não o bastante, quando definidas as ações a serem avaliadas no modelo, há ainda que estabelecer os locais que irão receber a ação, o que também gera uma discussão, seja nos grupos ou entre eles.

Contudo, diferentemente da definição da ação a ser avaliada, que pode ocorrer em um dos grupos; os locais que serão definidos para avaliação quanto a introdução da ação, remete ao grupo uma análise das questões legais, no que se refere ao ponto de vista ecológico, sociocultural, político-administrativo e econômico que envolve a região.

Esta etapa pode exigir excessivo tempo de discussão dependendo do número de envolvidos e das suas prioridades, podendo ser necessário estabelecer alguns requisitos mínimos aos quais essas ações devam atender, como por exemplo, apresentar como parâmetro inicial, que a ação no momento que for introduzida respeite as questões ambientais mínimas exigidas pela legislação ambiental como áreas de preservação permanente e/ou unidade de conservação.

Destaca-se que o modelo aqui proposto é uma ferramenta a qual permite a análise das mudanças sobre o território quando inserida qualquer ação considerada de interesse pelos grupos envolvidos, podendo comparar os resultados quando o entendimento for que mais de uma ação deve ser analisada. Porém, o que é sugerido nesta etapa, tem por objetivo minimizar o tempo para a obtenção dos resultados, buscando um direcionamento para a organização dos materiais necessários na avaliação e equipe técnica apropriada, para que seja possível obter os resultados no tempo planejado.

A próxima etapa acontece simultaneamente à definição das ações, pois se refere à etapa da determinação dos cenários os quais as ações são introduzidas, tendo como finalidade, analisar e apresentar a dinâmica dos usos sobre território nos distintos cenários. Assim como na definição das ações, esta etapa resulta na construção de uma representação hipotética das possíveis alterações nas condições sociais e econômicas do território, considerando que estas venham a ocorrer no período que se refere à predição.

A definição dos cenários busca prever e analisar as alterações que venham a ocorrer no território caso algum dos cenários apresentem-se no futuro, ou ainda, quando o cenário atual no período preditivo a que se refere à análise. Essa etapa procura também, identificar um conjunto de possibilidades e a redução das incertezas, podendo compreender as possibilidades futuras usando um conjunto de hipóteses que se relacionam com a continuidade ou interrupção de uma tendência.

O ponto positivo desta etapa, está em a partir dos resultados, ter a possibilidade de antecipar (planejar) medidas mitigadoras para os casos em que a resposta do cenário preditivo apresentar-se negativa sobre algum aspecto específico, ou ainda, potencializar uma determinada ação quando a predição for considerada positiva e, cenário avaliado seja a tendência mais provável para o território.

Como fatores críticos, podem ser considerados: a dificuldades na definição de quais cenários socioeconômicos serão avaliados; definir quais serão as variáveis que vão representar esta mudança em relação ao cenário atual (a exemplo do PIB para este estudo) e à proporção que ela será alterada (positiva ou negativamente); e a definição do número de cenários que serão construídos para análise, em função do tempo de processamentos dos dados e sua importância para o planejamento do território em questão.

Por fim, esta fase deve prever a análise dos cenários preditivos, ou seja, o resultado da inserção das ações de interesse nos distintos cenários de probabilidade (Cenários X Ações). Esta análise deve estruturar os cenários empregando uma visão de causa e efeito, devido ao viés cognitivo da gestão em ação.

Neste momento, são analisadas as possíveis transformações do território em cada um dos cenários preditivos, auxiliando na compreensão dos efeitos (modificações) causados na dinâmica dos usos, quando inserida uma ação de

interesse em diferentes contextos; podendo previamente reconhecer ações mais ou menos favoráveis em cada um cenário de probabilidade estabelecido para análise. Torna-se possível também, verificar as variáveis que apresentam maior ou menor influência nas (prováveis) alterações apresentadas nos cenários preditivos.

Como fator crítico dessa etapa está na dificuldade para qualquer ser humano em vislumbrar um futuro com elementos completamente distintos dos quais está habituado a vivenciar e assim ser capaz de elaborar e analisar um modelo probabilístico.

Entretanto, como fator positivo pode-se considerar a capacidade do modelo (quando construído corretamente) de verificar as atividades que podem tornar-se favoráveis sobre algum aspecto, mesmo elas não sendo contempladas na ação de interesse das políticas públicas. Além disso, esta etapa possibilita a detecção de cenários mais ou menos favoráveis à atividade florestal mesmo quando ocorre a inserção de outra atividade qualquer, possibilitando que sejam previstas diretrizes estratégicas para auxiliar a manutenção ou expansão florestal independentemente da ação ser específica para o setor.

Outro ponto positivo é a obtenção de informações essenciais sobre o território em análise, as quais possibilitam melhorar o embasamento das discussões em relação à escolha das ações de interesse, no momento da negociação entre as partes envolvidas no processo decisório.

5.5.3 Fase de decisão

Para realização desta fase foram consideradas quatro etapas como sendo fundamentais a serem empregadas para execução do processo decisório sobre a região de interesse. A primeira foi denominada etapa de análise dos problemas potenciais. Neste momento, avaliam-se pelos tomadores de decisão os resultados apresentados nos cenários preditivos, verificando se os mesmos demonstraram a possibilidade de que ocorram problemas, considerados pelos grupos, como potencialmente negativos para região analisada. Um exemplo seria a redução das áreas de floresta nativa como resultante da introdução de uma ação em determinado cenário. Neste caso, deve avaliar a possibilidade em uma remodelagem dos critérios

estipulados pelos grupos para a introdução da ação, com base na gravidade apresentada nos resultados da predição, e analisadas pelos envolvidos no processo decisório.

Portanto, nesta etapa deve-se considerar a necessidade de uma negociação entre as partes envolvidas quanto a inserção da referida ação, ou em relação a área definida para sua inserção, baseando-se nos resultados apresentados pelos cenários preditivos. Esta reavaliação tem como premissa, minimizar efeitos negativos apontados pela análise, além de propiciar que as ações consideradas adequadas (positivas) para serem realizadas sobre o território em análise sejam potencializadas. Como ponto positivo desta etapa está a possibilidade de remodelar o planejamento do território, buscando minimizar as incertezas intrínsecas do processo decisório, focando nas características e necessidades específicas da região. Por outro lado, o fator crítico desta etapa refere-se à dificuldade em efetivar uma negociação entre os grupos, por existir uma objeção intrínseca por parte dos envolvidos, em ceder àquilo que é de seu interesse em benefício de outro grupo.

A etapa seguinte ocorre juntamente com a anteriormente descrita a qual se refere à análise das ações que se apresentam potencialmente positiva para o território sobre análise. Porém, é primordial que nesta etapa os grupos tenham definido primeiramente o que será considerado como potencial positivo. Para isso, há que se considerar para esta análise questões como: os benefícios ambientais que a ação proporciona para a região; qual é a importância social e econômica das atividades que já ocorrem sobre o território; e por fim, para “quem” recairá o bônus e ônus, caso ocorram as mudanças previstas nos respectivos cenários.

Esta etapa tem por objetivo nortear as discussões em relação à tomada de decisão sobre as ações a serem inseridas, avaliando as potencialidades que as mesmas venham a apresentar quando considerado que as alterações previstas pelos cenários preditivos venham a ocorrer sobre o território.

A possibilidade de auxiliar os grupos no momento das discussões a respeito das prioridades a serem elencadas e ainda, promover estratégias para inclusão do desenvolvimento tecnológico para elevar os níveis potenciais de sustentabilidade das ações a que se propõe, são alguns dos pontos positivos desta etapa.

Entretanto como fator crítico, pode ser considerada a ocorrência de divergências entre os grupos sobre a definição do que será avaliado como potencial positivo apresentado em cada cenário preditivo.

Assim, chega-se a terceira etapa da fase de decisão, que é a da análise das prioridades a serem consideradas para avaliação dos distintos cenários preditivos. Apontada como fundamental de todo processo decisório, esta etapa sugere que cada grupo de interesse defina as suas prioridades, a fim de que ao final da análise, os principais interesses estabelecidos por cada grupo sejam contemplados.

Portanto, nesta etapa devem-se verificar as necessidades sociais, econômicas, culturais e ambientais que envolvem cada um dos grupos, além de analisar a viabilidade de contemplar as respectivas necessidades, de acordo com o período de predição estabelecido para realização da análise, e a legislação vigente à que o território está subordinado.

A etapa a que se refere, surge no intuito de orientar a tomada de decisão na definição das ações que contemplam as necessidades (da maioria) dos envolvidos no processo, ao mesmo tempo em que busca resguardar a manutenção dos ecossistemas presentes no território.

O demasiado tempo necessário para que ocorra um consenso (se ocorrer) na definição das prioridades, é considerado o fator crítico desta etapa. Por outro lado, a possibilidade de reconhecer as prioridades comuns entre os grupos, permite concentrar o planejamento do território nas ações de maior potencialidade para a região, enaltecendo as ações avaliadas como prioritárias pela maioria dos grupos.

Por fim, a fase de decisão remete a inevitabilidade da apresentação das propostas que foram definidas para serem aplicadas sobre o território. Portanto, a que primeiramente organizar as propostas estabelecidas por cada grupo envolvido no processo, assim como, as regiões que os mesmos determinaram como sendo de interesse prioritário para inserção das distintas ações definidas na etapa de análise.

Neste momento é primordial que os grupos detenham o conhecimento sobre a resistência cultural da região, sobretudo no que se refere às questões que envolvam a conservação dos recursos naturais, e a possível necessidade de mudança da atividade econômica. Esta etapa baseia-se no reconhecimento das principais tendências que ocorrem nos distintos cenários preditivos, atendendo as prioridades anteriormente discutidas e definidas pelos grupos.

Como ponto positivo, destaca-se nesta etapa a possibilidade de promover uma participação pública mais intensa nos processos decisórios e o conhecimento mútuo dos problemas e potencialidades que a região apresenta, permitindo estabelecer um diálogo participativo entre todos os envolvidos.

A partir dessa análise, torna-se possível considerar a inserção das ações de forma conjunta (duas ou mais), especificando os locais de maior prioridade, com o objetivo de minimizar os prováveis efeitos negativos que venham a ocorrer, bem como, propiciar a obtenção do consenso entre as partes interessadas de forma menos morosa.

A seguir é apresentado no Quadro 8 um resumo das fases consideradas para a aplicação do modelo de RNA no processo de tomada de decisão.

(Continua)

Fase do planejamento	Etapa	O que fazer	O que considerar	Para que serve	Pontos positivos e fatores críticos
		Definir se o assunto merece ou deve ser objeto de planejamento	<ul style="list-style-type: none"> • A análise é importante? • Existe conflito de interesses? • Do que eles tratam? • Quem eles atingem? • Se não for realizado - as consequências podem ser grandes o suficiente para que essa alternativa seja rejeitada? 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar os objetivos e definir metas, • Ou, desconsiderar a análise se observado a não relevância no levantamento dos dados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Foco nos fatores que realmente demandam de planejamento. • Ganho de tempo na fase de construção e análise dos dados. • Divergência quanto a importância da análise. • Dificuldade na identificação dos "atingidos".
	Reconhecimento prévio da situação	Estipular a escala temporal e escala espacial que será realizada a análise	<ul style="list-style-type: none"> • Curto, médio e longo período de análise. • Análise local, regional, estadual etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Orientar sobre o volume de informações sobre cada uma das variáveis que devem ser buscadas e organizadas para análise. • Determinar a escala em vão ser apresentados os cenários preditivos 	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo considerável para organizar as variáveis de longos períodos. • Por outro lado, a RNA irá obter um período maior de aprendizado para realizar a análise das alterações ao longo do tempo. • A predição pode não ser satisfatória (análise local) quando aplicação ocorrer em uma escala espacial menor.

Quadro 8 - Resumo da análise de aplicabilidade do modelo de RNA para tomada de decisão.

(Continua)

Fase da Análise	Etapas	O que fazer	O que considerar	Para que serve	Pontos positivos e fatores críticos
	Identificação e levantamento das informações	Pesquisar fontes que detenham dados completos, seguros, confiáveis e de pouco ou nenhum custo.	<ul style="list-style-type: none"> • Espacialização dos dados, mais detalhada pode resultar a predição. • Sobreposição de informações (excessos) - aplicação de uma ACP. • Tempo de processamento • Equipamento adequado 	<ul style="list-style-type: none"> • “Afinar” e qualificar as informações de entrada. • Obter resultados preditivos mais acurados e em menor tempo possível. 	<ul style="list-style-type: none"> • A ACP pode demonstrar antecipadamente a redundância de informações, minimizando os “ruídos” e tempo de processamento na análise. • Disponibilidade da informação distintos períodos, devendo avaliar a importância da inclusão, e tempo de construção. • Demasiado tempo de processamento (prever no planejamento). • Pessoas treinadas (modelagem e software) para obtenção de resultados satisfatórios.
	Definição das Ações	Levantar as opiniões dos interessados, elegendo as principais ações que lhes são de interesse para o território.	<ul style="list-style-type: none"> • Consequências, limitações e riscos (socioambientais e político-econômicos). • Áreas prioritárias para inclusão das distintas ações - necessidade população local. • Introdução efetiva nas áreas definidas como expansão futura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Compreender as relações de causa e efeito que ações proporcionam sobre os demais usos caso venham a ser inseridas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Considera a dinâmica local para definição das prioridades - informações específicas do local. • Consenso pelas prioridades (AÇÃO e ÁREA) – elencar por grupo. • Demasiado tempo para definição das prioridades, respeitando as questões legais.

(Continua)

Fase da Análise	Etapas	O que fazer	O que considerar	Para que serve	Pontos positivos e fatores críticos
	Definição dos Cenários	Considerar hipoteticamente que ocorram alterações nas condições socioeconômicas do território.	<ul style="list-style-type: none"> • As possíveis alterações econômicas e sociais durante o período da análise. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prever e analisar as alterações que possam ocorrer, caso algum dos cenários apresente-se no futuro. • Avaliar conjunto de possibilidade e redução de incertezas, compreendendo as possibilidades futuras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificuldades na definição dos cenários da análise. • Estipular as variáveis que vão representar esta mudança e a proporção a ser alterada (positivo ou negativo) • Número de cenários que serão construídos para análise, em função do tempo de processamentos dos dados e importância das informações. • Antecipar planejamento de medidas mitigadoras. • Minimizar as incertezas sobre os efeitos de uma ou outra ação sobre o território quando introduzido em um dos cenários considerados.
	Análise dos cenários preditivos	Estruturar os cenários empregando uma visão de causa e efeito	<ul style="list-style-type: none"> • A inserção das ações nos distintos cenários (Cenários X Ações). • As transformações nos distintos cenários preditivos. • As variáveis que se apresentam mais influentes nas alterações previstas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Compreender possibilidades de que ocorram modificações na dinâmica dos usos quando inserida uma ação de interesse. • Reconhecer previamente as ações mais ou menos favoráveis em cada cenário preditivo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificuldade para qualquer ser humano em vislumbrar um futuro com elementos completamente distintos dos quais está habituado a vivenciar. • Verificar atividades que podem se tornar favoráveis mesmo elas não sendo contempladas na ação de interesse para políticas públicas da região.

(Continua)

	Etapas	O que fazer	O que considerar	Para que serve	Pontos positivos e fatores críticos
Fase de Decisão	Análise dos problemas potenciais	Remodelar os critérios para inserção das ações com <u>base nos resultados</u> preditivos	<ul style="list-style-type: none"> Negociação sobre a introdução da ação e área prioritária. Reavaliação das ações de com base na gravidade dos problemas apresentados nos cenários preditivos. 	<ul style="list-style-type: none"> Minimizar efeitos negativos apontados pela análise. Potencializar as ações que se apresentam coerentes para serem realizadas. 	<ul style="list-style-type: none"> Possibilidade de remodelar o planejamento minimizando as incertezas intrínsecas do processo decisório, focando nas características e necessidade da bacia hidrográfica. Efetivar uma negociação entre as partes. → dificuldade de que uma parte “abra a mão” daquilo que é de seu interesse em benefício de outra.
	Análise das ações com potencial positivo	Definir o que é pontencialmente positivo	<ul style="list-style-type: none"> Benefícios ambientais que a ação proporciona. Importância social e econômica das atividades que já ocorrem sobre o território. Quem receberá o bônus ou o ônus caso ocorram as mudanças previstas. 	<ul style="list-style-type: none"> Nortear as discussões da tomada de decisão sobre as ações a serem inseridas, considerando as potencialidades apresentadas pelos cenários preditivos. 	<ul style="list-style-type: none"> Auxilia as discussões dos grupos sobre as prioridades para o território. Divergência sobre a definição “potencial positivo”

(Conclusão)

Fase de Decisão	Etapas	O que fazer	O que considerar	Para que serve	Pontos positivos e fatores críticos
	Análise das prioridades	Definir as prioridades de cada grupo de interesse	<ul style="list-style-type: none"> • As necessidades sociais, econômicas, culturais e ambientais que envolvem cada um dos grupos interessados. • Viabilidade de contemplar essas necessidades considerando o período de predição analisada. • A legislação ambiental vigente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Orientar a tomada de decisão para definição das ações que contemplam as necessidades e os desejos dos envolvidos nos processos. • Resguardar a manutenção dos ecossistemas locais. 	<ul style="list-style-type: none"> • Período longo para um consenso (se existir) para a definição das prioridades. • Poder reconhecer as prioridades comuns junto aos grupos, focando o planejamento nas ações de maior potencialidade para a região. • Potencializar ações de políticas públicas para o que é considerado, pela maioria dos grupos, como sendo prioritário no território.
	Apresentação das propostas para o território	Organizar as propostas por grupos e regiões de interesse	<ul style="list-style-type: none"> • O conhecimento a respeito da resistência cultural local.... → questões: conservação dos Rec. Naturais ou mudanças de atividade econômica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconhecimento das tendências para os principais cenários que possam ocorrer, baseado na prioridades discutidas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecimento mútuo dos problemas e potencialidades da região. • Proporciona a manutenção de um diálogo participativo entre todos os envolvidos no processo decisório. • A inserção das ações de forma conjunta (duas ou mais), especificando os locais de maior prioridade.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A aplicação das RNA para a estimativa da dinâmica dos usos sobre o território confirmou a hipótese inicialmente firmada de que esta metodologia apresenta-se como uma ferramenta eficaz para obtenção dessa estimativa, assim como, identificar as ações mais favoráveis à inserção da atividade silvícola nos diferentes cenários preditivos analisados.

Entretanto, não foi objetivo nesta pesquisa, apontar qual é o melhor método de planejamento territorial, ou ainda, definir que este seria o modelo baseado em análise multicritério com uso de RNA. Contudo, buscou-se avaliar a sua aplicabilidade e eficiência para análise territorial, verificando a possibilidade de utilizar um método de análise não-linear que minimize as subjetividades das preferências humanas intrínsecas destes processos.

O uso de métodos estatísticos associados aos SIGs, em especial as RNA ofereceu a possibilidade de executar uma modelagem preditiva, apresentando os possíveis cenários decorrentes da introdução das ações que são de interesse no território, possibilitando a elaboração de uma escala de avaliação dos resultados para formulação e sistematização das diretrizes para o planejamento da bacia hidrográfica.

Portanto, considerando os objetivos propostos podemos concluir que todas as variáveis, categóricas e numéricas utilizadas como informações de entrada no modelo de RNA foram importantes. Destacam-se entre elas, a predominância na projeção das mudanças sobre o território das variáveis uso e cobertura da terra para os dois anos de análise (2006 e 2013), o produto interno bruto, a população total e o índice de umidade, como demonstrou a análise sensitiva exposta nos gráficos de ranqueamento das variáveis.

Cabe ressaltar que, para obtenção de resultados confiáveis, é imprescindível reconhecer a qualidade e confiabilidades das informações a serem utilizadas na construção do modelo proposto, visto que o reconhecimento das transformações que ocorrem sobre o território é obtido, por meio das informações temporais que as variáveis utilizadas carregam. Portanto, dados sem integridade, podem gerar cenários preditivos de pouca representatividade para análise que se pretende.

Outro fator importante no momento da seleção dos dados refere-se à escala espacial da informação a ser utilizada. Isso porque, no caso de uma análise local (e.g. nível de bairro ou município) a qual requer a uma avaliação mais detalhada do território, o resultado da predição pode não representar as possíveis transformações sobre território quando a opção é pelo uso de variáveis de pequena escala espacial.

A baixa variabilidade espacial (distribuição homogênea) das variáveis que caracterizam o território pode resultar em uma análise preditiva equivocada, por estabelecer um único identificador para toda uma área (e.g. município), apresentando mudanças pouco perceptíveis na modelagem nas áreas de grande extensão.

Neste caso, a predição pode ser melhorada sendo introduzido na análise, um número maior de período (anos) de dados, reforçando o conhecimento da RNA sobre as dinâmicas que estão ocorrendo sobre o território, refletindo no aperfeiçoamento do aprendizado da rede.

A generalização atribuída a algumas classes de uso e cobertura pode resultar em uma predição pouco satisfatória. Isso por que, em alguns casos acaba por extrapolar a cobertura espacial da classe de uso que é incrementado pela generalização de outra, como por exemplo, no estudo de caso, o uso e cobertura denominado Pastagem foi adicionado à classe de uso Campo em função da qualidade (resolução espacial) das imagens orbitais utilizadas, ser desfavorável para distinção das referidas classes.

Os critérios estabelecidos para a construção das ações simuladas são determinantes para a percepção do modelo sobre quais as variáveis que foram consideradas para a construção das referida ação. Por exemplo, quando criamos a ação de expansão florestal, as variáveis resistência dos solos a impactos, declividade e índice de umidade, foram identificadas pelo modelo como as mais influentes nas alterações que ocorreram no território. Portanto, ao optar pelo uso do modelo proposto, deve-se estar ciente dessa condição no momento em que é construída a variável que representa a ação desejada, sendo então possível compreender e interpretar os resultados da simulação aplicada.

Uma simulação que extrapola demasiado a introdução das ações no território pode não responder com a exatidão esperada as transformações que venham a ocorrer sobre o território, podendo subestimar demais a presença alguma das classes de uso não contemplada na respectiva ação.

Assim, sugere-se que no momento dessa construção (determinação e delimitação das regiões simuladas para inserção da ação), seja evitada a extrapolação exagerada da área de expansão da ação, considerando o tempo (anos) que é previsto para que as mudanças ocorram. Portanto, ao mesmo tempo em que se reconhece a validade e a importância das simulações que avaliam a extrapolação da ação sobre o território, acredita-se que uma análise preditiva, a qual considera a expansão de ação de forma gradativa e proporcional sobre o território (e.g. 05, 10 ou 15%), pode refletir em resultados preditivos mais representativos das mudanças possíveis de ocorrer.

Assim, recomenda-se a realização de uma avaliação que considere o aumento gradual das ações por regiões da bacia hidrográfica do Ijuí (baixo, médio e alto), julgando que para um período curto de tempo (2 - 6 anos) os resultados possam melhor representar os acontecimentos futuros da região.

Quanto à análise comparativa das mudanças ocorridas no território quando inseridas as distintas ações, o cenário Impacto Social Positivo (+IDESE) apresentou-se como mais favorável à atividade florestal se avaliado o crescimento do uso silvicultura na região, sendo o referido cenário, com a ação de expansão agrícola (+Idese +ExAgri), o mais representativo dentre todos os cenários preditivos quando desconsiderada, claro, a ação ExFlo.

Portanto, o fato de serem previstas ações de políticas públicas para uma determinada atividade, não necessariamente impede que outra atividade presente no território seja beneficiada. Isso demonstra a necessidade da aplicação dos modelos preditivos, como o proposto neste estudo de caso, capazes de auxiliar na compreensão da dinâmica do território quando inseridas as ações de interesse, e aos demais acontecimentos (variáveis) que podem influenciar as atividades já presentes no território.

Contudo, por ser um modelo dinâmico e as alterações sobre o território serem resultado das interações e iterações entre as variáveis que são consideradas na análise, sugere-se a avaliação dos diferentes cenários aqui propostos, realizando a alteração ou inclusão de outras variáveis que possam melhor representá-lo. Isto possibilitará uma análise do comportamento de outras variáveis que sejam consideradas relevantes para análise da atividade silvícola, ou outra atividade qualquer que seja de interesse, e que neste estudo não foram contempladas.

O Método abordado nesse estudo de caso apresenta-se como uma ferramenta alternativa, no intuito de auxiliar nos processos (fases) do planejamento territorial que objetiva avaliar as possibilidades/alternativas para sua ocupação, considerando a probabilidade de mudança no futuro do cenário socioeconômico da região. No entanto, o mesmo requer a consideração das suas limitações enquanto sendo um mecanismo de abstrações da realidade dos acontecimentos sobre o território.

Após todos estes processos de análise, fica uma certeza evidente, a necessidade de que os órgãos de pesquisa em geotecnologias e as inúmeras instituições de ensino invistam na pesquisa e na geração de conhecimento baseados nos modelos de análise territorial com o uso das RNA, de forma a tornar todos esses procedimentos de predição mais ágeis, confiáveis e realizados com menores custos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA L. S.; VOLOTÃO C. F. S. **Estudo da configuração de diferentes arquiteturas de redes neurais artificiais MLP para classificação de imagens ópticas**. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Foz do Iguaçu-Paraná 2013. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1102.pdf>> Acesso em fevereiro de 2014.

ALCAMO J. Scenarios as tools for international environmental assessments - **Experts' corner report Prospects and Scenarios No 5**. Centre for Environmental Systems Research University of Kassel. European Environment Agency. Environmental. Issue report nº 24. 2001.

ANDREOLLI, C. V.; CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: Sanepar. Finep. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico ABRAF 2012 ano base 2011**. ABRAF. Brasília. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. ABRAF. Brasília. 2013.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Proposta metodológica de utilização de análise de componentes principais em prospecção geoquímica**. V Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa e VII Congresso Brasileiro de Geoquímica. **Anais...** Porto Seguro- Bahia. 1999. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique/media/Evento_prop_metodologica_Andriotti.pdf>. Acesso em maio de 2012.

BARRETO, J. M. **Introdução as Redes Neurais Artificiais**. Laboratório de Conexão e Ciências Cognitivas. Departamento de Informática e de Estatística. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2002. Apostila. Disponível em <<http://www.das.ufsc.br/~marcelo/pg-ic/Survey.pdf>>. Acesso em fevereiro de 2014.

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID); GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA (GOV-SC); GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (GOV-RS). Plano diretor de desenvolvimento sustentável da região da bacia do Rio Uruguai - (parte brasileira) - Pró - Rio Uruguai. **Diagnóstico da região da bacia do Rio Uruguai**. Relatório Final do Componente 1. Consórcio Oriconsul/Ecoplan/Skill. Florianópolis(SC), Porto Alegre(RS).2008.

BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. **Geoinformação e Monitoramento Ambiental na América Latina**. Ed. SENAC SAO PAULO. 1a Edição, p. 288, 2008.

BAUMHARDT, E. **Balanço Hídrico de Microbacia com Eucalipto e Pastagem Nativa na Região da Campanha do RS**. 2010.139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BINOTI, M. L. M. DA S. **Redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos não desbastados de eucalipto**. 2010. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

BISPO C. A. F. **Uma análise da nova geração de sistemas de apoio à decisão**. 174f. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Paulo. 1998.

BOAS, C. L. V. **Análise da aplicação de métodos multicritérios de apoio à decisão (MMAD) na gestão de recursos hídricos**. In: Simpósio brasileiro de recursos hídricos. João Pessoa. ABRH. 2005.

BOGNOLA, I. A.; LINGNAU C.; LAVORANTI, O. J.; STOLLE, L. ; HIGA, A. R.; OLIVEIRA, E. B. Geoestatística integrada com estatística multivariada e geoprocessamento na definição de unidades de manejo para o *Pinus taeda*. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C.C.(Ed.) **Agricultura de precisão: um novo olhar**. 334p. São Carlos - SP. Embrapa Instrumentação. 2011.

BORGES, P. J. A. **Modelos e sistemas de decisão em análise de cenários florestais no Alentejo**. 116f. 2010. Dissertação (Mestrado em Investigação Operacional). Faculdade de Ciências. Universidade de Lisboa. Lisboa. 2010. Disponível em <<http://repositorio.ul.pt/handle/10451/5955> > Acesso em: Maio de 2012.

BÖRJESON, L.; HÖJER, M.; DREBORG, K.; EKVALL, T.; FINNVEDEN, G. **Scenario types and techniques: towards a user's guide**. Futures, 38(7), 723-739. 2006. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016328705002132>>. Acesso em setembro de 2013.

BRAGA, A. de P.; CARVALHO, A. P. de L. F. de; LUDEMIR, T. B. **Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações**. 262f. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 10 de novembro de 2010.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002**. Regulamenta o art. 9o, inciso II, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil – ZEE. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 10 de novembro de 2010.

BRUNI, A. C. **Redes neurais**: uma nova perspectiva na interpretação de informações ambientais. 154f. 2000. Dissertação (Mestrado em Saúde)-Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2000.

BUARQUE S. C. **Metodologia e técnicas de construção de cenários globais e regionais**. Texto para discussão nº 939 ISSN 1415-4765. 77f. Brasília, 2003. Disponível em <http://www.livrosgratis.com.br/arquivos_livros/td_0939.pdf>. Acesso em janeiro de 2014.

CARVALHO, L.M. et. al. CLIMA. In: SCOLFORO; J.R.S.; CARVALHO, L.M.T.; OLIVEIRA, A.D.(ed.) **Zoneamento ecológico econômico do Estado de Minas Gerais**: componentes geofísicos e biótico. Editora UFLA. 161p. Lavras. 2008

CÂMARA G.; AGUIAR A.P. (ed.), **SPRING Programming Manual**. São José dos Campos, INPE. 1996.

CARVALHO, J.V.; ROMANEL, C. **Redes neurais temporais aplicadas ao monitoramento de barragens**. Revista eletrônica de Sistemas de Informação (RESI). Edição 10, nº1. 2007. Disponível em <<http://revistas.facecla.com.br/index.php/reinfo/article/view/186/97>>. Acesso em outubro de 2013.

CASTRO F.C.C.; CASTRO, M. C. F. **Redes Neurais Artificiais**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Mestrado em Engenharia Elétrica. Apostila. Porto Alegre, [201-] Disponível em <<http://www.feng.pucrs.br/~decastro>>. Acesso em: setembro de 2013.

CASTRO, R.V.O. **Modelagem de árvores individuais para uma floresta estacional semidecidual utilizando redes neurais**. 2012. 116f. Tese (Programa de

Pós-Graduação em Ciências Florestais). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. MG. 2012. Disponível em <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3345?show=full>. Acesso em fevereiro de 2013.

CASTRO, R. V. O. et. al. **Crescimento e produção de plantios comerciais de eucalipto estimados por duas categorias de modelos.** Pesquisa. agropecuária brasileira, Brasília, v.48, n.3, p.287-295, mar. 2013 DOI: 10.1590/S0100-204X2013000300007. Acesso em outubro de 2013.

CERQUEIRA E. O; DE ANDRADE, J. C.; POPPI R. J. **Redes neurais e suas aplicações em calibração multivariada.** Departamento de Química Analítica, Instituto de Química. Apostila. UNICAMP. Campinas, SP.2001.

CHENG S.; LI L.; CHEN D., LI J. **A neural network based ensemble approach for improving the accuracy of meteorological fields used for regional air quality modeling.** Journal of Environmental Management. v112, p404e414. 2012. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.020>. Acesso em maio de 2013.

CHAGAS, C. S. et al. **Utilização de redes neurais artificiais na classificação de níveis de degradação em pastagens.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. UFCG. Campina Grande, PB, v.13, n.3, p.319-327, 2009. Revista on line. Disponível em <http://www.agriambi.com.br> Acesso em setembro de 2013.

CPRM. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo**, Sistema de Informação Geográfica folhas SH.22 Porto Alegre e SI.22 Curitiba. Programa Geológico do Brasil. Brasília: CPRM. 2003. CD-ROM

DA COSTA, L. A. **Proposta de zoneamento de áreas rurais utilizando sistemas de informações geográficas.**139f. 2001. Tese (Programa de Pós- Graduação em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2001. Disponível em <http://alexandria.cpd.ufv.br:8000/teses/168487f.pdf>. Acesso em agosto de 2013.

DE TONI, J. **Cenários e Análise Estratégica:** questões metodológicas. Revista Espaço Acadêmico. Nº 59- abril, ano 5. 2006. Revista on line. Disponível em <http://www.espacoacademico.com.br/059/59toni.htm>. Acesso em maio de 2013.

DIAS, S. S et. al. **Definição de Zonas de Aptidão para Espécies Florestais com Base em Características Edafo-Climáticas.** Silva Lusitana, nº especial: 17-35, EFN, Lisboa, Portugal, 2008. Acesso maio de 2012.

DUMANSKI, J. **Criteria and indicators for land quality and sustainable land management**. ITC Journal. p.3-4. 1997. Disponível em <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.200.4572&rep=rep1&type=pdf>> Acesso em novembro de 2011.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). **BLOSSOM — Bridging long-term scenario and strategy analysis: organization and methods**. A cross-country analysis. Technical report, nº5. 2011. Disponível em <<http://www.eea.europa.eu/publications/blossom>>. Acesso em maio de 2013.

FACELI K. et al. **Inteligência Artificial: uma abordagem de aprendizado de máquina**. Disponível em <<http://online.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2146-1/pages/53852230>>. Acesso em fevereiro de 2014.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **Diagnóstico Ambiental da Bacia do Taquari-Antas/RS: Diretrizes Regionais para o Licenciamento Ambiental das Hidrelétricas**. Porto Alegre: FEPAM/UFRGS, 2001. 40p.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **Mapa de Classificação dos Solos do Rio Grande do Sul quanto a Resistência à Impactos Ambientais**. Porto Alegre: FEPAM. 13p.(n. publ.). Relatório final de consultoria elaborado por Nestor Kampf. Mapa em meio digita. 2001a. Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/mapa_solos.pdf>. Acesso em março 2012.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler e UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Análise de Fragilidades Ambientais e da Viabilidade de Licenciamento de Aproveitamentos Hidrelétricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamaquã, Região Hidrográfica do Rio Uruguai – RS**. Porto Alegre: FEPAM/UFRGS, 2004. 138p.

FERNEDA, E. **Redes neurais e sua aplicação em sistemas de recuperação de informação**. Revista Ciência da Informação. Brasília, v. 35, n. 1, p. 25-30, jan./abr. 2006. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/ci/v35n1/v35n1a03.pdf>>. Acesso em agosto de 2013

FIDALGO, E. C. C. **Crítérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de planejamentos ambientais**. 2003. 276f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, 2003.

FONTANA, C. S.; BENCKE, G. A.; REIS R. E.. **Livro vermelho da fauna ameaçada de extinção no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Edipucrs, 632p. 2003.

FRANCISCO, C.E.S; COELHO,R.M.;TORRES, R.B.; ADAMI.S.F. **Análise multicriterial na seleção de bacia hidrográfica para recuperação ambiental**. Revista Ciência florestal. Santa Maria, v. 18, n. 001, p. 1-13, jan-mar, 2008.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. Secretaria do Planejamento e Gestão. **Impactos dos investimentos na cadeia florestal sobre a economia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2008. Disponível em <http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/publicacoes/pg_impactos_dos_investimentos>. Acesso em: 16 de setembro de 2013.

GALLOPIN, G. C. **Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators**. A system approach. Environmental Modeling & Assessment, 1996. pp 101-117.

GHEZZI, A. O. **Avaliação e mapeamento da fragilidade ambiental da Bacia do Rio Xaxim, Bahia de Antonina – PR, com o auxílio de geoprocessamento**. 2003. 57f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.2003.

GIASSOM, E.; INDA JR, A.V.; NASCIMENTO, P.C. **Relatório final de consultoria para classificação taxonômica dos solos do estado do Rio Grande do Sul**, segundo o sistema brasileiro de classificação de solos e avaliação da classe de resistência à impactos ambientais. Porto Alegre: FEPAM, 11p, 2005.

GLERIANI J. M. **Redes neurais artificiais para classificação espectro-temporal de culturas agrícolas**. 212f. 2005. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto)INPE.São José dos Campos. São Paulo. 2005. Disponível em <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2004/10.06.14.19/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em setembro de 2013.

GONÇALVES, J. L. De M.; DEMATTÊ, J. L. I.; DO COUTO, H. T. Z. **Relações entre a produtividade de sítios florestais de eucalyptus grandis e eucalyptus saligna com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no estado de São Paulo**. IPEF. n.43/44, p.24-39, jan./dez. 1990. Disponível em <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr43-44/cap04.pdf>>. Acesso em março de 2014.

GÖRGENS, E.B. **Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais**. 94f. 2006. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2006. Disponível em <http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/4/TDE-2007-02-06T104028_Z-316/Publico/texto%20completo.pdf>. Acesso em fevereiro de 2014.

GRANDO M. Z.; FOCHEZATTO A.(coord.) **Impactos dos investimentos na cadeia florestal sobre a economia do Rio Grande do Sul**. Equipe técnica: Porsse. A. A. [et al.]. SBN 978-85-7173-064-9. Porto Alegre, 2008. Disponível em <<http://www.fee.tche.br/sitefee/download/publicacoes/projetosespeciais/cadeiaflorestal/capitulo1.pdf>> Acesso em março de 2013.

HAIR Jr, J.F., ANDERSON, R. E., TATHAM, R.L., BLACK, W.C. **Análise multivariadas de dados**. 5º ed. Porto Alegre: Bookman. 593f. 2005.

HAMMAD T.A. et al. **Comparative evaluation of the use of artificial neural networks for modelling the epidemiology of Schistosomiasis Mansoni**. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene 90. p372-376.1996.

HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. 900 p. 2ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. Disponível em <http://www.ncdd.com.br/livros/redes_neurais_simon_haykin.pdf>. Acesso em setembro de 2013.

HOST, G. E.; POLZER, P. L.; MLADENOFF, D. J.; WHITE, M.A. ; CROW,T. R. **A quantitative approach to developing regional ecosystem classifications**. Ecological Society of America Stable. Ecological Applications, v. 6, n. 2, pp. 608-618, May. 1996. Disponível em< <http://www.jstor.org/stable/2269395>>. Acesso em: 29 de junho de 2012.

INSTITUTE FOR EUROPEAN ENVIRONMENTAL POLICY (IEEP); ALTERRA; ECOLOGIC; PBL; UNEP-WCMC. **Scenarios and models for exploring future trends of biodiversity and ecosystem services changes**. Contract ENV.G.1/ETU/2008/0090r.2009. Final report, 2009.

JR CEREDA, A. **Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia do ribeirão do Manjolinho – São Carlos- SP, utilizando ferramentas de geoprocessamento**. 2006. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos. 2006.

KIKER, G. A.; BRIDGES, T. S.; VARGHESE A.; SEAGER, T. P.; LINKOV, I. **Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making**. Integrated Environmental Assessment and Management. SETAC. v.1, n.2, p.95-108. 2005. Disponível em

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1897/IEAM_2004^a-015.1/abstract>. Acesso em Junho de 2012.

LEITÃO, Sergio Proença. **Capacidade decisória em decisões não-estruturadas: uma proposta.** Revista de Administração Pública. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, vol 27, no 4, out/dez, 1993.

LIMA H. V. C. **Análise da operação de sistemas de reservatórios utilizando lógica difusa, redes neurais artificiais e sistemas neuro-difusos.** 2006a. 210f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/9991/000568078.pdf?sequence=1>>. Acesso em maio de 2013.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas.** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Departamento de Ciências Florestais. Piracicaba. São Paulo. 2008.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. **As florestas plantadas e a água: implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento.** São Paulo: Rima. 2006.

LONGLEY, P.A.; GOODCHILD, M.F.; MAGUIRE, D.J.; RHIND, D.W. **Sistemas e ciência da informação geográfica** [Tradução: Schneider, A. et al]; 3 ed. 540p. Porto Alegre: Bookman 2013.

LOUCKS, D. P. (1987). **Water quality: economic modeling.** In: BRATT, L.C.; VAN LIEROP, W.F.J.(Ed). **Economic-Ecological Modeling.** North-Holland. Amsterdam. p. 135–148. **1987**

MACHADO F. W. **Modelagem chuva-vazão mensal utilizando redes neurais artificiais.** 2005.174f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2005. Disponível em <http://www.ppgerha.ufpr.br/publicacoes/dissertacoes/files/093-Fernando_Weigert_Machado.pdf>. Acesso em fevereiro de 2013.

MALCZEWSKI J **GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature.** International Journal of Geographical Information Science, Canadá. 2006.

MALINOVSKI, J. R. et al. **Código de prática para estradas florestais.** Otacílio Costa: Malha Viária Logística de Estradas, 2004. Apostila.

MARQUES, A. A. B. et al. **Lista de Referência da Fauna Ameaçada de Extinção no Rio Grande do Sul**. Decreto no 41.672, de 10 de junho de 2002. 52p. (Publicações Avulsas FZB, 11)

MARCH, J. **A primer on decision making: how decisions happen**. NY: The free press. 1994.

MARKOU, M.; SINGH S. **Novelty detection: a review—part 2: neural network based approaches**. Signal Processing. v.83, p.2499 – 2521. 2003. Disponível em <doi:10.1016/j.sigpro.2003.07.019>. Acesso em maio de 2013.

MARMONTEL C. V. F. (2014) **Qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas do solo e estado de conservação da vegetação no córrego Pimenta, São Manuel/SP**. 2014. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”- Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu-SP. 2014. Disponível em <www.bibliotecaflorestal.ufv.br>. Acesso em: março de 2014.

MAS J.F. **Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks**. Environmental Modelling & Software, 19, 461-471. Doi:10.1016/S1364-8152(03)00161-0. 2004.

McCULLOCH, W. S.; PITTS, **geográficos e redes neurais artificiais: tecnologias de apoio à gestão do território**. 1999. 218f. Tese (Departamento de Geografia). universidade deW. **A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. Bulletin of Mathematical Biophysics**, vol.5, p.115-133, 1943.

MEDEIROS J. S. **Bancos de dados** são paulo. 1999.

MEIRELLES, C. L. A.; GOMES, L. F. A. M. **O apoio multicritério à decisão como instrumento de gestão do conhecimento: uma aplicação à indústria de refino de petróleo**. Pesquisa Operacional vol.29, n 2, Rio de Janeiro, mai-ago. 2009. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382009000200011>. Acesso em setembro de 2013.

MENDOZA, G. A., PRABHU, R. **Qualitative multi-criteria approaches to assessing indicators of sustainable forest resource management**. Department of Natural Resources and Environmental Sciences, University of Illinois. Urbana, IL, USA. Center for International Forestry Research. Harare, Zimbabwe. 2002. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112702000440>. Acesso em: Junho 2012.

MIRANDA, A.P. **Sistema de análise de ativos através de redes neurais de múltiplas camadas**. Revista Adm., v5, n.1,p.145-162,jan-abr. 2012. Disponível em <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273424918010>>. Acesso em agosto de 2013.

MMA. Ministério do Meio Ambiente, 2003. **Lista Oficial das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção**. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 003, de 26 de maio de 2003. Disponível para acesso em 25/03/2009 em http://www.mma.gov.br/estruturas/179/_arquivos/179_05122008034002.pdf

MMA. Ministério do Meio Ambiente. 2007. **Revisão Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade (importância biológica)**. Brasília: PROBIO/MMA, 2007. (mapa digital). Disponível em <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: 05 de maio 2011.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. 2007. **Cartas de vegetação PROBIO (MMA)**. Brasília: PROBIO/MMA, 2007a. (mapa digital). Disponível em http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm?//mata_atlantica/index.html>. Acesso em: 05 de maio 2011.

MMA. Ministério do Meio Ambiente, 2008. **Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção**. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 006, de 23 de setembro de 2008. Disponível em <http://www.mma.gov.br/estruturas/179/_arquivos/179_05122008033615.pdf>. Acesso em março de 2011.

MOITA NETO, J. M.. **Estatística multivariada: Uma visão didática-metodológica**. Filosofia da ciência, 2004. Disponível em <http://criticanarede.com/cien_estatistica.html>. Acesso em: maio 2012.

MORGADO, P. et. al. **Spatial analysis methods for Territorial public policies-Comparative analysis through linear (PCA) and nonlinear (SOFM) methods in GIS**. In: XIV Jornadas de Classificação e Análise de Dados. Ed. Instituto Superior de Engenharia do Porto. ISBN 978-972-8688-50-9. **Anais...** Porto.151:156. 2007.

MUELLER, A. **Uma aplicação de redes neurais artificiais na previsão do mercado acionário**. 1996. Dissertação (Mestrado em engenharia da produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/76977>>. Acesso em fevereiro de 2014.

NAKASE, L. M. (Coord. Geral do Consórcio ORICONSUL-ECOPLAN-SKIL). Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável da Região da Bacia do Rio Uruguai (Parte Brasileira): PRÓ – RIO URUGUAI. Relatório Final do Componente 1 - **Diagnóstico da Região da Bacia do Rio Uruguai**. Florianópolis/SC - Porto Alegre/RS. Dezembro, 2008. Disponível em <http://4ccr.pgr.mpf.gov.br/informes/pdfs/Relatorio_diagnostico_Versao%20Final.pdf>. Acesso em : abril de 2013.

NIMER, E; BRANDÃO, A.M.P.M. **Balço hídrico anual a partir de valores normais e tipologia climática**. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v.43, pp.373-416, 1985. Disponível em <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/115/rbg_1985_v47_n3_4.pdf>. Acesso em: setembro de 2013.

OLIVEIRA, S.M. et. al. Conceitos e métodos estatísticos. In: SCOLFORO; J.R.S.; CARVALHO, L.M.T.; OLIVEIRA, A.D.(ed.) **Zoneamento ecológico econômico do Estado de Minas Gerais**: componentes geofísicos e biótico. Editora UFLA. 161p.Lavras. 2008.

OSÓRIO, F.; BITTENCOURT, J.R. **Sistemas Inteligentes baseados em Redes Neurais Artificiais aplicados ao processamento de imagens**. In: I workshop de inteligência artificial. Departamento de Informática. Universidade de Santa Cruz do Sul. Seminário. 2000. Disponível em <<http://www.inf.unisinos.br/~osorio/>>. Acesso em julho de 2013.

PARREIRAS, R. O. **Algoritmos Evolucionários e Técnicas de Tomada de Decisão em Análise Multicritério**. 2006. 166f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2006. Disponível em <<http://www.ppgee.ufmg.br/documentos/Defesas/658/TeseRoberta.pdf>> Acesso em fevereiro de 2014.

PIRES, J. S. R.; SANTOS J. E.; DEL PRETTE, M. E. Utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais In: SCHIAVETTI, A., CAMARGO, A.F.M. **Conceitos de bacias hidrográficas**: teorias e aplicações. Ilhéus - BA . Editus. 2002. 293p.

POGGIANI, F., STAPE, J. L., GONÇALVES, J. L. de M. **Indicadores de sustentabilidade das plantações florestais**. Departamento de Ciências Florestais - ESALQ/USP. Série técnica (IPEF). v.12, n. 31, p. 33-44, abril, 1998.

POMPERMAYER, R. S. **Aplicação da análise multicritério em gestão de recursos hídricos: simulação para as bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. 2003. 150f. Dissertação(Mestre em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas. Disponível

em <<http://sma.visie.com.br/wp-content/uploads/cea/RaquelPompermayer.pdf>>. Acesso em: Novembro 2010.

RAMÍREZ, M. C.; MARTÍNEZ C H., M. EXPÓSITO, J.; GRANADOS, F. L. **A multi-objective neural network based method for cover crop identification from remote sensed data**. Expert Systems with Applications. v39, p. 10038-10048. 2012. Disponível em <[doi:10.1016/j.eswa.2012.02.046](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.02.046)>. Acesso em maio de 2013.

RAMBO, B. **O Pioneirismo de Navarro**. In: Eucalipto: Histórias de um imigrante vegetal. 127p. Porto Alegre: JÁ Editores. 2006.

RAUBER, T. W. **Redes Neurais Artificiais**. 28f. Apostila. Disponível <http://www.riopomba.ifsudestemg.edu.br/dcc/dcc/materiais/1926024727_reconhecimento-de-caracter2.pdf>. Acesso outubro de 2013.

RIPLEY R.M. **Neural Network Models for Breast Cancer Prognosis**. Tese (Doutorado). University of Oxford. 1998.

ROJAS E. H. M. **Íntese genética de redes neurais artificiais ART2 na classificação de imagens ASTER para mapeamento de uso e cobertura da terra na região norte do Mato Grosso**. 124p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE. São José dos Campos. 2005. Disponível em <http://www.obt.inpe.br/pgsere/Rojas-E-H-M-2004/publicacao.pdf>>. Acesso em setembro de 2013.

ROSA, J. L. G. **Inteligência artificial**. Disponível em <<http://online.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2089-1/pages/51513961>>. Acesso em fevereiro de 2014.

ROSS, J. L. S. **Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados**. In .Revista do Departamento de Geografia, Sao Paulo, n. 8, p. 63-73, 1994.

RUMELHART, D. E., HINTON, G. E.; WILLIAMS, R. J. Learning internal representations by error propagation. In Rumelhart, D. E., McClelland, J. L.; the PDP Research Group, editors, **Paralled Distributed Processing. Explorations in the Microstructure of Cognition**. v. 1, p. 318-362. 1986.

SANTOS, E. **Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Jirau município de Dois Vizinhos**. Paraná. 2005. 141f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Paraná. 2005.

SANTOS, R. B.; NETO, F. A.; CURI, R. C.; CURI, W. F. Desenvolvimento sustentável: agricultura familiar e o uso de tecnologia multicritério em bacia hidrográfica. In: **Revista Tecnologia e Sociedade**. Periódico Técnico-Científico do Programa de Pós- Graduação em Tecnologia da UTFPR. n.1, Out., Editora UTFPR, Semestral. ISSN 1809-0044. Curitiba, 2005.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental**: teoria e prática. São Paulo. Oficina de textos, 2004.

SCHEEREN L. W; SOUZA, L. F.; BUFFON, S. A.; BERNINI, S. M.; **Parecer** : documento DAT-MA nº 2849/2008. Unidade de assessoramento ambiental. Geoprocessamento – bacias hidrográficas. Ministério Público do Rio Grande do Sul. Divisão de assessoramento técnico. p.1-9. 2008. Disponível em <http://www.mp.rs.gov.br/areas/paibh/arquivos/diagnostico_bacia_hidrografica_ri_ijui_dat.pdf>. Acesso em Setembro de 2011.

SCEARCE, D.; FULTON K. NETWORK G. B. **WHAT IF?** The art of scenario thinking for nonprofits. Global Business Network. ISBN 0-9759241-1-7. 2004.

SEDUMA, **Zoneamento ecológico econômico do Distrito Federal**: Plano de trabalho. Disponível em <<http://www.zee-df.com.br/produtos.html>>. Acesso em: Abril de 2011.

SEIXAS, F.; MAGRO, T.C. **Indicadores ambientais e paisagísticos relacionados às operações florestais**. Série técnica IPEF, v. 12, n. 31, p. 65-78, abr. Departamento de Ciências Florestais. ESALQ/USP. 1998. Disponível em <<http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr31/cap6.pdf>>. Acesso em 16 de junho de 2010.

SEMA; FEPAM. **Zoneamento ambiental da silvicultura**: estrutura, metodologia e resultados. Volume I. Governo do Estado do Rio Grande do Sul- Secretaria Estadual do Meio Ambiente. 2010. Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/zoneam_silvic.asp>. Acesso em: 16 de junho de 2010.

SHEPPARD, S.R.J.; MEITNER, M. **Using multi-criteria analysis and visualisation for sustainable forest management planning with stakeholder groups**. Forest Ecology and Management. v.207, p.171-187, 2005. Disponível em <www.elsevier.com/locate/foreco>. Acesso em: Maio de 2012.

SILVA E; OLIVEIRA, A. C. **Dicas para a configuração de redes neurais.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. [site do professor Marcus Vinicius Lamar, PhD]. Disponível em <http://cic.unb.br/~lamar/cursos/XIVseatel/dicas_configuracao_rna.pdf>. Acesso em dezembro de 2013.

SILVA, J. S. V. **Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental** Estudo de caso: bacia hidrográfica do Alto Rio Taquari MS/MT. 2003. 332f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, 2003. Disponível em <<http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/informatica/TeseJoaoVila%5B.pdf>>. Acesso em: Abril de 2010.

SILVA, J. S. V.; SANTOS, R. F. **Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas.** Cadernos de Ciência e Tecnologia, Brasília, v. 21, n. 2, p.221-263, maio/ago. 2004.

SILVA, J. S. V, CARVALHO, J. R. P., SANTOS, R. F., FELGUEIRAS, C. A. **Zoneamentos ambientais: quando uma unidade territorial pode ser considerada homogênea?** Revista Brasileira de Cartografia. v. , n. 59/01, Abril, 2007. (ISSN1808-0936). Disponível em < <http://lsie.unb.br/index.php/rbc/article/view/299>> Acesso em: Junho de 2012.

SILVA, M. D. **Análise da fragilidade ambiental: uma ferramenta para o planejamento e gestão de áreas naturais.** 2008. 159f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Católica de Pelotas. 2008. Disponível <<http://www.lapa.ufscar.br/bdgaam/solo/Agropecuaria/Silva,%20Marcelo%20.pdf>>. Acesso em: Maio 2012.

SILVA, M. L. M.; et al. **Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto.** Revista Árvore, Viçosa. MG, v.33, n.6, p.1133-1139. 2009.

SILVA, M. D **Os cultivos florestais do pampa, no sul do Rio Grande do Sul: desafios, perdas e perspectivas frente ao avanço de novas fronteiras agrícolas.** Revista FLORESTA. Curitiba, PR, v. 42, n. 1, p. 215 - 226, jan.-mar. 2012.

SILVA, M. M. **Análise comparativa do clima de arauaí, pedra azul e Itamarandiba, na porção mineira da bacia do rio Jequitinhonha.** 2010. 81f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Geografia). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2010. Disponível em <http://www.geografiaememoria.ig.ufu.br/downloads/Mariana_Mendes_Silva.pdf>. Acesso em outubro de 2013.

SILVA, V. R. **Análise sócio-ambiental da bacia do Rio Biguaçu – SC: subsídios ao planejamento e ordenamento territorial.** 2007. 227f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

SILVEIRA, G. L.; CRUZ, J. C. **Seleção Ambiental de Barragens: Análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica.** Ed. UFSM. Santa Maria, RS, 2005.

SLACK, N. et al. **Gerenciamento de Operações e de processos: Princípios e práticas de impacto estratégico.** 547f. Dados eletrônicos. 2 ed. Editora Bookman LTDA,. Porto Alegre. 2013. Disponível em <<http://online.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565837934>>. Acesso janeiro de 2013.

SOARES, F. C. **Uso de diferentes metodologias na geração de funções de Pedotransferencia para a retenção de água em solos do Rio Grande do Sul.** 2013. 200f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.2013.

Solutions for Environmental contrasts in Coastal Areas (SECOA). **Scenario Building Baseline Report, summarizing key features/ information** (scenario building techniques). N 8.1. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território (IGOT). Universidade de Lisboa (UL). 2012. Project co-funded by the EU Commission within the 7th Framework Programme (2007-2013)

SOUSA P. A. M. **Modelação geográfica de indicadores de desenvolvimento sustentável: Uma Aplicação à Área Metropolitana de Lisboa.** 2001.154f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica) - Universidade técnica de Lisboa. 2001.

SOUZA, E.R.; FERNANDES, M.R. **Sub-bacias hidrográficas unidades básicas para o planejamento e gestão sustentáveis das atividades rurais.** Disponível em<http://www.deg.ufla.br/setores/engenharia_agua_solo/disciplinas/eng_170/Bacias%20-%20Artigo%20Informe%20Agropecuario.pdf>. Acesso em: 26 de junho de 2010.

SOUZA, I. D. DA S.; TAKAHASHI V. P. **Visão de futuro por meio de cenários prospectivos: uma ferramenta para a antecipação da inovação disruptiva.** Future Studies Research Journal ISSN 2175-5825. São Paulo, v.4, n.2, pp. 102-132, Jul./Dez. 2012.

SPÖL, C.; ROSS, J. L. S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos**, GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, n. 15, p.39-49, 2004.

STRECK, E. V., (Coord), **Solos do Rio Grande do Sul**. 2^o. ed. EMATER/RS, Porto Alegre. 2008.

TOKAR, A. S.; JOHNSON, P. A. **Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks**. Journal of Hydrologic Engineering, Reston: ASCE, v.4, n.3, p.232-239, Jul. 1999.

UFSM; UNIPAMPA. **Desenvolvimento metodológico e tecnológico para avaliação ambiental integrada aplicada ao processo de análise da viabilidade de hidrelétricas**. FRAG-RIO - Relatório da Etapa 1, MMA/FATEC/UNIPAMPA/UFSM, Santa Maria: 296 p. 2009.

UFSM; UNIPAMPA. **Desenvolvimento metodológico e tecnológico para avaliação ambiental integrada aplicada ao processo de análise da viabilidade de hidrelétricas**. FRAG-RIO - Relatório da Etapa 2, MMA/FATEC/UNIPAMPA/UFSM, Santa Maria: 270 p. 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPIRITO SANTO (UFES). Departamento de Geografia. **Climatologia**. Vitória, 2002. 159-166, digital. Disponível em <<http://www.mundogeomatica.com.br/CL>>. Acesso em abril de 2013.

VETORAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos**. 2006.151f. Tese (Livre docente) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa. Imprensa Universitária(UFV), 449p.1991.

VIEIRA, R. C.; ROISENBERG M. **Redes neurais artificiais: um breve tutorial**. Laboratório de Conexão e Ciências Cognitivas. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2013. Apostila. Disponível em <<http://www.das.ufsc.br/~marcelo/pg-ic/TutorialRNA.pdf>>. Acesso agosto de 2013.

WASSERMAN, P. D. **Neural Computing : Theory and Practice**. New York : Van Nostrand Reinhold, 1989.

ZAMBON K. L. **Análise de decisão multicritério na localização de usinas termelétricas utilizando SIG**. Revista Pesquisa Operacional, v.25, n.2, p.183-199, mai-ago Agosto de 2005. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/pope/v25n2/25705.pdf>>. Acesso em setembro de 2013.

APÊNDICES

Apêndice A - Valores do IDESE para os anos de 2006 e 2009 dos municípios pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Ijuí.

Municípios	IDESE 2006	IDESE 2009	Diferença (%)
Ajuricaba	0,7237	0,7139	-1,36
Augusto Pestana	0,6860	0,7537	9,86
Boa Vista do Cadeado	0,6632	0,6917	4,29
Bozano	0,6255	0,6502	-3,95
Caibaté	0,7369	0,7460	1,24
Catuípe	0,7124	0,7374	3,51
Cerro Largo	0,7987	0,8189	2,54
Chapada	0,7077	0,7160	1,18
Condor	0,7306	0,7489	2,51
Coronel Barros	0,7145	0,7314	2,36
Cruz Alta	0,7952	0,8219	3,35
Dezesseis de Novembro	0,6832	0,6985	2,24
Entre-Ijuís	0,7090	0,7400	4,36
Eugênio de Castro	0,7158	0,7453	4,12
Guarani das Missões	0,7406	0,7667	3,52
Ijuí	0,8000	0,8186	2,33
Jóia	0,6746	0,6952	3,06
Mato Queimado	0,7123	0,7395	3,82
Nova Ramada	0,6143	0,6521	6,15
Palmeira das Missões	0,7244	0,7550	4,22
Panambi	0,7553	0,7641	1,17
Pejuçara	0,7320	0,7642	4,39
Pirapó	0,6900	0,7034	1,94
Porto Xavier	0,7398	0,7335	-0,85
Rolador	0,6685	0,6908	3,34
Roque Gonzales	0,7042	0,7172	1,85
Salvador das Missões	0,7773	0,7962	2,43
Santa Bárbara do Sul	0,7630	0,7842	2,78
Santo Ângelo	0,7630	0,7869	3,13
Santo Augusto	0,7537	0,7621	1,12
São Luiz Gonzaga	0,7651	0,7784	1,73
São Miguel das Missões	0,6936	0,7231	4,26
São Nicolau	0,7057	0,7090	0,47
São Paulo das Missões	0,6932	0,7104	2,48
São Pedro do Butiá	0,7665	0,7803	1,81
Sete de Setembro	0,6842	0,7030	2,75
Tupanciretã	0,7596	0,7744	1,96
Vitória das Missões	0,7097	0,7296	2,80

Apêndice B - Análise Multivariada: Análise Factorial (Componentes Principais)

A técnica de análise exploratória multivariada de componentes principais caracteriza-se por transformar um conjunto de variáveis correlacionadas num subconjunto de variáveis independentes, por combinação linear das variáveis originais, eliminando assim redundância de informação. Às variáveis independentes designamos de componentes principais. Formalmente, a expressão põe-se da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 C_1 &= b_{11}V_1 + b_{12}V_2 + b_{13}V_3 + \dots + b_{1n}V_n \\
 C_2 &= b_{21}V_1 + b_{22}V_2 + b_{23}V_3 + \dots + b_{2n}V_n \\
 &\dots \\
 C_n &= b_{n1}V_1 + b_{n2}V_2 + b_{n3}V_3 + \dots + b_{nn}V_n
 \end{aligned}
 \tag{Equação 1}$$

Em que C é a componente, b o parâmetro de ajustamento e V a variável.

Para esta tese, recorreu-se a esta técnica como forma de afinação do modelo de análise não-linear, por confronto/aferição de resultados por eliminação de algumas variáveis que se supõem ser redundantes e por conseguinte, apenas 'ruído' nos procedimentos de análise, além de consumidoras de tempo e memória computacional.

Apesar de análise MLP, por meio do algoritmo de treino backpropagation fazer esse trabalho de eliminação de redundância, quis-se testar esse procedimento mediante análise multivariada – factorial.

Efetivamente, ao introduzirmos como input as 30 variáveis (cf. Tabela), verificamos imediatamente que existe redundância nas variáveis que compõem o primeiro factor ou componente, ou seja, as variáveis referentes à população por diferentes faixas etárias. Ao termo introduzido, numa fase inicial da análise RN-MLP, essas variáveis de uma forma discriminada, foi com a pressuposta ideia de verificar a relativa importância das diferentes faixas etárias, sobre outras variáveis, de outros sistemas, nomeadamente o económico, mas também o abiótico e o biótico. Contudo, a MLP manteve-se, nos vários treinos levados a cabo, com diferentes alterações nos parâmetros-chave, em demonstrar relativa pouca importância dessas variáveis, para os vários cenários, sob as diferentes ações (ver quadros dos cenários/ações).

A análise factorial foi assim apenas mais um método que se encontrou para testar essa tese, e ainda confirmar outras. A saber, da relevância de outras variáveis. Precisamente, a AF/ACP permite-nos extrair duas componentes principais, que explicam

mais de metade (56%) do total de variância e 5 componentes principais, mais de 72% do total de variância. A primeira componente é composta pelas variáveis socio-econômicas e revela forte correlação entre as variáveis população e PIB, em períodos temporais diferentes. A segunda componente mostra-nos uma correlação negativa entre porções do território com alto **INDAGR_M** e **ESTFUNDI** face à variável CHUVA. A terceira componente revela igualmente uma forte correlação positiva, como seria de esperar, entre os atributos da variável **IDESE**. Temos ainda a quarta e quinta componentes, com correlações fortes nas variáveis bióticas FAUNA E FLORA, e Uso do Solo, respectivamente.

Tabela 1: *Principal components*

Indicador	Fator	Fator	Fator	Fator	Fator	Fator	Fator	Fator
CHUVA	0.19385	0.838245	0.225642	0.038399	0.059094	0.030621	0.020706	0.090247
CONSBIO	0.00519	0.008997	0.016383	0.011459	0.011744	0.008014	0.015146	0.917252
DECLIV	0.00294	0.033177	0.179163	0.020013	0.003189	0.110383	0.741766	0.108039
EF06_PFB	0.80574	0.097417	0.066793	0.048076	0.038355	0.024751	0.140364	0.025621
EF11_PFB	0.87944	0.083229	0.038762	0.031689	0.038489	0.020520	0.142474	0.040228
ESTFUNDI	0.07780	0.736843	0.429462	0.045448	0.061681	0.151781	0.097667	0.159616
FAUNA	0.02260	0.030927	0.015101	0.896785	0.002088	0.015939	0.012645	0.001504
FLORA	0.03199	0.029639	0.033828	0.897991	0.019848	0.032201	0.029447	0.008404
GEOL	0.00694	0.085854	0.622653	0.016264	0.011501	0.105809	0.150925	0.129144
GEOMORF	0.01015	0.045962	0.095425	0.016507	0.004932	0.925903	0.004529	0.004625
IDESE_06	0.56808	0.033759	0.725132	0.021222	0.055969	0.068519	0.082967	0.005943
IDESE_M	0.56129	0.084346	0.723599	0.009034	0.052377	0.087490	0.082844	0.043762
INDAGR_M	0.15661	0.859384	0.154837	0.074538	0.066174	0.037990	0.111132	0.011695
INDORD	0.05949	0.075676	0.337560	0.080306	0.034836	0.171442	0.575283	0.310952
PATRCULT	0.46646	0.194588	0.127769	0.070651	0.015452	0.000763	0.361151	0.099104
PIB06_M	0.97377	0.104610	0.116463	0.002786	0.002949	0.023072	0.040326	0.006351
PIB10_M	0.96335	0.103461	0.121226	0.002231	0.006073	0.025523	0.039529	0.004421
POP06_01	0.98892	0.026618	0.051564	0.005257	0.002969	0.011480	0.024464	0.016683
POP06_15	0.98745	0.039307	0.053872	0.005846	0.001272	0.008156	0.017298	0.011214
POP06_45	0.99163	0.023316	0.043807	0.009095	0.007247	0.023214	0.016283	0.006444
POP06_A6	0.98750	0.023438	0.048982	0.010093	0.007401	0.030522	0.025668	0.006011
POP11_01	0.98927	0.027264	0.078089	0.003816	0.005949	0.003276	0.020671	0.012793
POP11_15	0.99049	0.032389	0.078916	0.005577	0.007641	0.006688	0.005170	0.007252
POP11_45	0.99317	0.019527	0.070773	0.008203	0.011025	0.011680	0.010846	0.005785
POP11_A6	0.98896	0.015654	0.070011	0.009030	0.011807	0.022009	0.018516	0.004200
POPTO06	0.99190	0.028105	0.043908	0.008318	0.005522	0.017211	0.015625	0.007935
POPTO11	0.99335	0.024770	0.069944	0.007296	0.009821	0.004156	0.008540	0.004518
SOLO	-0.06213	0.513521	0.149874	0.035967	0.117474	0.411680	0.221896	0.357332
USO06	0.02119	0.055241	0.026046	0.005070	0.862736	0.005638	0.002444	0.007415
USO12_R	0.03745	0.118548	0.023656	0.015681	0.846408	0.025243	0.012534	0.033627

Eigenvalue	14.03964	2.374521	1.966411	1.638204	1.497826	1.124217	1.167361	1.144057
% Total de variância	47.99305	8.29306	6.06051	5.35684	4.43044	4.13451	3.55603	3.34967
Cumulative %	47.99305	56.28612	62.34663	67.70347	72.13390	76.26841	79.82444	83.17411

Apêndice C - Treinamento das diferentes estruturas de redes neurais do tipo MLP.

Redes Multilayer Perceptron (MLP)				
Nº camada (s) escondida (a)	Nº neurônios escondidos	Taxa de aprendizado (<i>Learning rate</i>)	Interações (<i>Epoch</i>)	Performace
1	9	0,001	1000	0,565537
1	9	0,001	500	0,562315
1	10	0,005	200	0,551260
1	10	0,001	400	0,562759
1	10	0,001	1000	0,560870
1	10	0,005	1000	0,546319
1	11	0,001	500	0,560826
1	12	0,001	500	0,561060
1	15	0,1	500	0,558237
1	15	0,01	500	0,538127
1	15	0,001	500	0,555336
1	15	0,005	500	0,542096
1	15	0,05	500	0,535418
1	16	0,1	200	0,550400
1	16	0,01	200	0,537300
1	16	0,001	200	0,549611
1	16	0,0001	200	0,509837
1	16	0,005	200	0,543244
1	16	0,1	500	0,547894
1	16	0,01	500	0,538377
1	16	0,001	500	0,559674
1	16	0,05	500	0,556151
1	16	0,005	500	0,543127
1	20	0,001	200	0,548264
1	20	0,005	500	0,540327
1	20	0,001	1000	0,553965
2	5-5	0,001	500	0,831610
2	10-10	0,001	500	0,827828
2	10-10	0,001	1000	0,817828
2	12 -12	0,001	1000	0,817705