Universidade de São Paulo
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas
Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Geografia Física

Ricardo Sartorello

Interações em estudos para conservação: conceitos e técnicas para análises geográficas e ecológicas da paisagem

São Paulo, 2014

Ricardo Sartorello

Interações em estudos para conservação: conceitos e técnicas para análises geográficas e ecológicas da paisagem

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia Física do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Sueli A. Furlan

São Paulo, 2014

Ricardo Sartorello

Interações em estudos para conservação: conceitos e técnicas para análises geográficas e ecológicas da paisagem

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia Física do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientadora: Prof^a.Dra. Sueli Angelo Furlan

Professor Dr. _____

Professor Dr. _____

Professor Dr. _____

Professor Dr. _____

São Paulo, _____ de _____ de 2014

Agradecimentos

Sou muito grato a todas as pessoas que colaboram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho acadêmico. Espero poder retribuir as colaborações, opiniões e, principalmente, todo o incentivo recebido durante essa jornada.

Aos familiares

Agradeço todo o apoio da minha família, meus pais Edmea e Helio pela dedicação sem medida de esforços para estudar os filhos (você fizeram um ótimo trabalho!); meu irmão mais velho Renato e minha cunhada Karina, por toda inspiração e sabedoria; meu irmão Robson, pela colaboração sempre e acima de tudo, por me mostrar que existia um caminho para acessar a universidade pública.

Aos meus tios, tias, primos e primas de Olímpia e do Cafundó, família bonita e unida: Eliane, Edna, Santo, Waldemar, Sebastião, Belmira, Fábio, Beth, Lídia, José Eduardo, João Henrique, Isana, Mariana e minhas primas-sobrinhas, Maria Eduarda e Maria Valentina, alegrias da família.

Aos professores

Agradeço a minha querida orientadora, Dra. Sueli A. Furlan, por capturar minha atenção de maneira irreversível em suas magníficas aulas de Biogeografia. Agradeço todo conhecimento compartilhado, inspiração na academia e na vida e por todas oportunidades oferecidas.

Agradeço muito ao Dr. Milton César Ribeiro, Miltinho, pela incrível generosidade na colaboração construída entre a Geografia da USP e a Ecologia da UNESP – Rio Claro.

Agradeço ao Dr. Christopher Small, da Columbia University, por ter me recebido tão bem durante o estágio em seu laboratório e também pela generosa colaboração.

Aos amigos colaboradores

Agradeço muito pela colaboração essencial para a elaboração da tese: Waldir, pela longa amizade e parceria produtiva; Julia, pela amizade, parceria e colaboração de alto nível,

sempre; Tadeu, pela amizade e entusiasmo para a superação de obstáculos. André, por ser um amigo sempre prestativo e competente; e Marcelo, pela amizade carismática e pela ajuda na revisão. Muitíssimo obrigado.

Aos Colegas de Laboratório

Agradeço aos colegas do Laboratório de Climatologia e Biogeografia (LCB) da USP: Waldir, Julia, Tadeu, Marcelo, Lara, André, Alex e Rogério. Muito obrigado!

Aos colegas do Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação (LEEC) da UNESP – Rio Claro: Julia, Renata, Bruno, John, Juliana, Juliana Coelho, Calebe, Edyane, Felipe, José e Mateus. Obrigado por toda força e por me hospedarem sempre tão bem.

Aos colegas do Laboratório de Sensoriamento Remoto do Lamont-Dohert Earth Observatory, na Columbia University: Cihan, XuDi e Melanie. Thanks a lot for everything.

Aos amigos

Obrigado aos velhos e novos amigos que, de uma forma ou de outra, colaboram com o processo: Paula, Mery, Tita, Bando, Hans, Klaus, Daniel, Ariane, Ivana, Inaya, Fábio, Giltaro, Diego, Lygia, Bia, Larissa, Mateus e por aí vai.

À namorada

Renata, obrigado por todo carinho, todo o apoio, por perder feriados trancada comigo revisando textos e me ajudando de todas as formas possíveis. Você é incrível.

Às agências de fomento

Por último, mas não menos importante, agradeço ao CNPq e ao Programa Ciência sem Fronteiras pelas bolsas de doutorado e doutorado sanduíche concedidas durante a elaboração da tese.

Sumário

Lista de Figuras.....	IX
Lista de Tabelas.....	XI
Lista de Quadros.....	XI
Resumo	XII
Abstract	XIII
Apresentação.....	XIV
1 Introdução.....	1
2 Objetivos e Justificativa.....	2
2.1 Objetivo.....	2
2.2 Objetivos complementares.....	3
2.3 Justificativa.....	3
3. Metodologia.....	4
3.1 Referências teóricas e conceituais.....	4
3.2 Áreas e escalas de estudo.....	5
3.3 Estudos de caso: minutas.....	6
3.3.1 Estudo 1: proposta para identificação e mapeamento das paisagens brasileiras.....	6
3.3.2 Estudo 2: o modelo de ilhas e a análise por regiões: distribuição de remanescentes florestais na paisagem.....	7
3.3.3 Estudo 3: mudanças na paisagem no Corredor Cantareira-Mantiqueira e implicações para a conservação.....	7
3.3.4 Estudo 4: classificação da paisagem a partir de parâmetros do relevo.....	8
3.3.5 Estudo 5: similaridades e conectividades no Corredor Cantareira-Mantiqueira.....	8
4 Revisão conceitual sobre a paisagem.....	10
4.1 A paisagem objetiva e a simbólica.....	10
4.2 O termo paisagem	14
4.3 O observador e a paisagem.....	16
4.4 O conceito de paisagem: abordagem geográfica.....	20
4.5 O conceito de paisagem: abordagem ecológica.....	37
4.6 A estrutura da paisagem: abordagem geográfica.....	41
4.7 A estrutura da paisagem: abordagem ecológica.....	51
4.8 Mudanças na paisagem.....	56
4.9 A Função da paisagem.....	60
4.10 Síntese da revisão conceitual.....	66

5 Estudos de caso.....	71
5.1 Proposta para identificação e mapeamento das paisagens brasileiras.....	71
5.1.1 Contextualização.....	71
5.1.2 Procedimentos.....	72
5.1.2.1 Área de estudo e seleção de imagens de satélite.....	72
5.1.2.2 Análise da densidade e variabilidade da vegetação.....	74
5.1.2.3 Identificação de agrupamentos na paisagem por similaridades de variação da vegetação.....	75
5.1.2.4 Análise de representação das paisagens brasileiras.....	84
5.1.3 Resultados e Discussão.....	88
5.1.3.1 Análises de densidade e variabilidade da vegetação.....	88
5.1.3.2 Análise de agrupamentos.....	91
5.1.3.3 Análise da representação das paisagens brasileiras.....	94
5.1.4 Considerações.....	101
5.2 O Corredor Cantareira-Mantiqueira.....	105
5.2.1 Aspectos físicos da área do Corredor Cantareira-Mantiqueira.....	107
5.2.2 Aspectos bióticos na área do Corredor Cantareira-Mantiqueira.....	115
5.2.3 Aspectos socioeconômicos na área do Corredor Cantareira-Mantiqueira.....	118
5.3 O modelo de ilhas e a análise por regiões: a distribuição de remanescentes florestais na paisagem.....	119
5.3.1 Contextualização.....	119
5.3.2 Procedimentos.....	121
5.3.2.1 O mapeamento da paisagem.....	121
5.3.2.2 Análise da estrutura da paisagem.....	122
5.3.2.3 Análise por regiões.....	126
5.3.3 Resultados e Discussão.....	128
5.3.3.1 Área e Isolamento.....	128
5.3.3.2 Análise por regiões: proporção de habitat e número de fragmentos.....	133
5.3.3.3 Análise por regiões: cenários para a conservação.....	136
5.3.4 Considerações.....	138
5.4 Mudanças da paisagem no Corredor Cantareira – Mantiqueira e implicações para a conservação.....	140
5.4.1 Contextualização.....	140
5.4.2. Procedimentos.....	141
5.4.2.1 Análises temporais.....	141
5.4.2 Seleção de Imagens de Satélite.....	142

5.4.2.3 Análises de Mistura Linear e Modelo SVD (<i>Substrate - Vegetation - Dark</i>).....	144
5.4.2.4 Análise tri-temporal.....	145
5.4.2.5 Relação entre as mudanças na paisagem e parâmetros do relevo.....	146
5.4.3 Resultados e Discussão.....	147
5.4.3.1 Análise de Mistura Linear.....	147
5.4.3.2 Análise da composição tri-temporal.....	149
5.4.3.3 Relação entre as mudanças na paisagem e parâmetros do relevo.....	154
5.3.4 Considerações.....	160
5.5 Classificação da paisagem a partir de parâmetros do relevo.....	164
5.5.1 Contextualização.....	164
5.5.2. Procedimentos.....	166
5.5.2.1 Análise do Relevo.....	166
5.5.2.2. Classificação de ambientes similares.....	176
5.5.2.3 Relação das classes de paisagem com o uso da terra.....	177
5.5.3 Resultados e Discussão.....	180
5.5.3.1 Classificação da paisagem com base em parâmetros do relevo.....	180
5.5.3.2 Análise das classes da paisagem.....	181
5.5.3.3 Análise da classificação do uso da terra.....	182
5.5.3.4 Análise do uso da terra por classes da paisagem.....	186
5.5.4 Considerações.....	189
5.6 Similaridades e conectividades no Corredor Cantareira-Mantiqueira.....	192
5.6.1 Contextualização.....	192
5.6.2 Procedimentos.....	196
5.6.2.1 Simulação de movimentação de espécies na paisagem.....	196
5.6.2.2 Análise da variação de altitude e comprimento dos corredores.....	205
5.6.3 Resultados e Discussão.....	207
5.6.3.1 Simulação de corredores.....	207
5.6.3.2 Análise da variação topográfica dos corredores.....	212
5.6.4 Considerações.....	216
6 Considerações Finais.....	218
6.1 Interações entre abordagens da paisagem.....	218
6.2 Além das abordagens da paisagem, a Geografia e a Conservação.....	222
7. Bibliografia.....	228

Lista de Figuras

Figura 1. Pintura “a dança camponesa”	15
Figura 2. Pintura “paisagem fluvial”	15
Figura 3. Pintura “a volta da caça”	18
Figura 4. Síntese histórica da ciência da paisagem.....	22
Figura 5. Primeiro modelo de paisagem desenvolvido por Berg.....	26
Figura 6. Modelo de geossistema de Bertrand.....	28
Figura 7. Representação do sistema geossistema, território e paisagem de Bertrand.....	29
Figura 8. Fluxo da relação Sociedade/Natureza.....	35
Figura 9. Heterogeneidades da paisagem para Zonneveld.....	38
Figura 10. Domínios morfoclimáticos brasileiros de Ab’Sáber.....	44
Figura 11. Divisão taxonômica do geossistema de Sotchava.....	45
Figura 12. Sistema taxonômico de classificação da paisagem de Bertrand.....	48
Figura 13. Etapas para a elaboração da carta de fragilidade de Ross.....	50
Figura 14. Categorias de análise estrutural da paisagem: métricas relativas a manchas, classes e distâncias.....	57
Figura 15. Relações entre os tipos de características geossistêmicas - vetorial, celular e equipotencial - em uma bacia.....	63
Figura 16 - Fluxo ou movimento em um agrupamento ecossistêmico.	64
Figura 17: Principais estratégias de restauração de paisagens fragmentadas.....	66
Figura 18. Variações de escala, conforme o tipo de abordagem da Ecologia da Paisagem.....	68
Figura 19. Território brasileiro como área de estudo.....	73
Figura 20. Ilustração da análise de componente principal (PCA).....	76
Figura 21. Componentes Principais resultantes da Análise PCA.....	78
Figura 22. Eigenestrutura da matriz de covariância da série temporal.....	79
Figura 23. EOFs dos oito primeiros Componentes Principais da análise de PC.....	80
Figura 24. Combinação nos eixos X e Y, dos cinco primeiros Componentes Principais resultantes da análise PCA.....	83
Figura 25. Coleta de endmembers nos vértices da estrutura resultante da combinação de Componentes principais, PC1 X PC3.....	86
Figura 26. Gráfico com os “endmembers” individuais (End –i) e média (End –m) para cada vértice (1 a 4) da combinação PC1 X PC3.....	87
Figura 27. Gráfico dos quatros “endmembers” selecionados para a Análise de Mistura Temporal.....	88
Figura 28. Densidade e variabilidade da vegetação no território brasileiro.....	89
Figura 29. Agrupamentos representados na paisagem.....	93
Figura 30. Paisagens brasileiras.....	95
Figura 31: Sistemas Ambientais do Brasil.....	96
Figura 32. Exemplos de paisagens brasileiras 1.....	98

Figura 33. Exemplos de paisagens brasileiras 2.....	99
Figura 34. Localização da área de estudo: Corredor Cantareira-Mantiqueira.....	106
Figura 35. Trecho do mapa das Unidades de Conservação do estado de São Paulo.....	107
Figura 36. Aspecto geomorfológico da área de estudo - CCM.....	110
Figura 37. Aspecto geológico da área de estudo - CCM.....	110
Figura 38. Aspecto pedológico da área de estudo - CCM.....	113
Figura 39. Áreas prioritárias para a restauração da biodiversidade no estado de São Paulo.....	116
Figura 40. Ilustração do cálculo do índice de proximidade.....	124
Figura 41. Relação teórica entre proporção de habitat, conectividade estrutural, fragmentação do habitat e a extinção global de espécies.....	126
Figura 42. Modelo de resposta gerado a partir da aplicação da análise por regiões (hexágonos).....	127
Figura 43. Área dos fragmentos florestais.....	129
Figura 44. Porcentagem de número e área, por classe de tamanho (em ha), no CCM.....	130
Figura 45. Índice de proximidade dos fragmentos florestais.....	132
Figura 46. Porcentagem de vegetação por região.....	134
Figura 47. Número de fragmentos florestais por região.....	135
Figura 48. Cenários para a conservação da paisagem.....	137
Figura 49. Distribuição da porcentagem de cobertura de nuvens em imagens de satélite Landsat, na cena São Paulo.....	143
Figura 50. Ilustração da “Composição Global de Endemismos” para imagens Landsat.....	145
Figura 51. Análise de Mistura Linear: Composição 1988.....	150
Figura 52. Análise de Mistura Linear: Composição 1999.....	151
Figura 53. Análise de Mistura Linear: Composição 2010.....	152
Figura 54. Composição tri-temporal da área de estudo.....	153
Figura 55. Relação entre a elevação e o resultado da subtração entre as datas 2010 e 1988, para os recortes da área de estudo (parte superior), Cantareira (C1) Mantiqueira (M1).....	155
Figura 56. Representação das mudanças por elevação no recorte Cantareira (C).....	157
Figura 57. Representação das mudanças por elevação no recorte Mantiqueira (M).....	159
Figura 58 – Exemplo esquemático do procedimento utilizado para a extração de parâmetros do relevo.....	167
Figura 59. Parâmetro geomorfométrico 1: elevação.....	172
Figura 60. Parâmetro geomorfométrico 2: declividade.....	172
Figura 61. Parâmetro geomorfométrico 3: insolação.....	173
Figura 62. Parâmetro geomorfométrico 4: elevação.....	173
Figura 63. Curvaturas do relevo.....	171
Figura 64. Parâmetro geomorfométrico 5: curvatura do perfil.....	174
Figura 65. Parâmetro geomorfométrico 6: curv. cros-seccional.....	174
Figura 66. Parâmetro geomorfométrico 7: curvatura máxima.....	175

Figura 67. Parâmetro geomorfométrico 8: curvatura mínima.....	175
Figura 68. Ilustração da classificação de pixels por análise de máxima verossimilhança.....	177
Figura 69. Classificação da paisagem (1) a partir de 8 parâmetros do relevo.....	183
Figura 70. Classificação da paisagem (2) a partir de 3 parâmetros do relevo.....	183
Figura 71. Uso da terra no Corredor Cantareira-Mantiqueira.....	185
Figura 72 - Área total dos tipos de uso da terra na paisagem em hectares e em porcentagem...	186
Figura 73. Área total das classes da paisagem em hectares e em porcentagem.....	187
Figura 74. Área total dos tipos de uso da terra distribuídos em classes de paisagem em hectares.....	188
Figura 75. Área total por classe dos tipos de uso na paisagem.....	188
Figura 76. Classes da paisagem para seleção de pares Fonte-Alvo (ST).....	198
Figura 77. Tipos de Influência das variáveis da estrada e da paisagem para a travessia de espécies.....	202
Figura 78. Fotos de estruturas subterrâneas e aéreas das Rodovias Dom Pedro I e Fernão Dias.....	204
Figura 79. Gradiente de permeabilidade de estradas nas Rodovias Fernão Dias e Dom Pedro I compondo a superfície de custo de uso da terra.....	205
Figura 80. Corredores simulados entre S1 e T1 (classe 4) com quatro superfícies de custo.....	208
Figura 81. Corredores simulados entre S2 e T2 (classe 4) com quatro superfícies de custo.....	208
Figura 82. Corredores simulados entre S3 e T3 (classe 4) com quatro superfícies de custo.....	209
Figura 83. Corredores simulados entre S4 e T4 (classe 4) com quatro superfícies de custo.....	209
Figura 84. Corredores simulados entre S5 e T5 (classe 3) com quatro superfícies de custo.....	210
Figura 85. Corredores simulados entre S6 e T6 (classe 3) com quatro superfícies de custo.....	210
Figura 86. Corredores simulados entre S7 e T7 (classe 2) com quatro superfícies de custo.....	211
Figura 87. Representação da razão de comprimento dos corredores.....	212
Figura 88. Perfis topográficos dos corredores simulados em quatro superfícies de custo.....	214
Figura 89. Coeficiente de variação (%) dos valores de elevação dos corredores.....	214
Figura 90. Coeficiente de variação da altitude dos corredores simulados.....	215

Lista de tabelas

Tabela 1. Resultados da análise de componentes principais (PCA) para os parâmetros do relevo.....	180
Tabela 2. Descrição dos pares de manchas fonte e alvo (ST), selecionados para cada classe de similaridade a partir da combinação de parâmetros geomorfométricos do relevo: elevação (elev.), declividade (decliv.) e curvatura (curvat.).....	199
Tabela 3. Exemplo do registro de presença (1) ou ausência (0) na análise das variáveis da estrada e da paisagem nos pontos selecionados na rodovia Fernão Dias (FD).....	203

Lista de Quadros

Quadro 1. Síntese sobre a teoria dos grafos.....	194
Quadro 2. Síntese sobre a teoria da percolação.....	195
Quadro 3. O comportamento e movimentação de espécies.....	196

SARTORELLO, R. **Interações em estudos para conservação: conceitos e técnicas para análises geográficas e ecológicas da paisagem**. 2014. 237f. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Resumo

Diante do estado crítico dos sistemas ambientais naturais no Brasil e no mundo, acreditamos que a interação entre as abordagens geográfica e ecológica no estudo da paisagem possa resultar em uma evolução nas pesquisas e planos para a conservação ambiental. Para explorar esse potencial, analisamos criticamente as diferenças fundamentais entre estas duas abordagens. Dentre elas, a questão do observador da paisagem, mais humano na Geografia e voltado para as necessidades das espécies na Ecologia. A principal consequência desta diferença se reflete na escala de apreensão e na delimitação da estrutura da paisagem, relacionando diversas variáveis na abordagem Geográfica e utilizando principalmente a vegetação na Ecológica. Visando explorar as possibilidades de interação destas duas abordagens, propusemos cinco estudos de caso. O primeiro propõe a identificação e mapeamento da paisagem na escala do continente sul americano. Utilizamos novas técnicas de sensoriamento remoto para analisar a estrutura da paisagem no território brasileiro por meio da variação da vegetação em uma série temporal de imagens MODIS EVI entre os anos 2000 e 2012. Os resultados mostram que a técnica utilizada consegue diferenciar paisagens com diferentes níveis de complexidade em uma classificação contínua. Os outros estudos foram desenvolvidos em escala regional, na área que forma um corredor ecológico entre as Serras da Cantareira e Mantiqueira. No segundo estudo foi feita uma análise de regiões no modelo de ilhas - que considera a vegetação como base da estrutura da paisagem. Comparamos fragmentos florestais em uma malha de polígonos com mesma área considerando a área total e número como indicadores da fragmentação da paisagem. Essa análise por regiões facilita o entendimento da configuração da paisagem, tornando possível a identificação de áreas mais e menos favoráveis para a conservação e orientando planejamentos regionais. O terceiro estudo aborda as mudanças temporais na paisagem. Comparamos imagens Landsat TM em três momentos (1988, 1999 e 2010). As mudanças no Corredor Cantareira-Mantiqueira não foram tão severas neste período e estão profundamente ligadas ao relevo de serras da região. Elaboramos o quarto estudo para compreender melhor o papel do relevo na paisagem por meio de uma classificação utilizando parâmetros geomorfométricos. Relacionando os resultados com o uso da terra da região, observamos que as classes obtidas representam processos dominantes na paisagem como o uso para agricultura ou áreas com remanescentes florestais. A partir destas classes identificadas na paisagem desenvolvemos o quinto estudo para investigar a conectividade no Corredor Cantareira-Mantiqueira. Utilizamos simulações de movimentação de espécies entre manchas de mesma classe da paisagem utilizando quatro superfícies de custo para o deslocamento. Os resultados mostraram que existem significativas diferenças entre os corredores com base em variáveis do relevo, gerando caminhos com menores variações topográficas e mais curtos, quando comparados aos corredores simulados com base no uso da terra e vegetação. A análise crítica sobre as produções das duas abordagens da paisagem e a sequência de estudos de casos demonstram a interação entre as abordagens ecológicas e geográficas é possível e é necessária para o aprimoramento de estudos voltados para o planejamento e para a conservação ambiental.

Palavras-Chave: Paisagem, Ecologia da Paisagem, Conservação Ambiental, Corredores Ecológicos, Serra da Cantareira, Serra da Mantiqueira.

SARTORELLO, R. **Interactions in conservation studies: concepts and techniques to geographical and ecological landscape analysis.** . 2014. 237f. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Abstract

Given the critical state of natural environmental systems in Brazil and the world, we believe that the interaction between geographical and ecological approaches in the study of the landscape may result in an improvement of research concerning environmental conservation and planning. In order to explore this potential, we critically analyzed the basic differences among them. One of these differences concerns the landscape observer, which is strongly human in Geography and more focused on species needs in Ecology. This is reflected in the scale of apprehension and delimitation of landscape structure that relates several variables in Geographic approach, and uses mainly vegetation in Ecological approach. In an attempt to explore the possibilities of interaction among these two approaches, we proposed five case studies. The first study proposes the identification and mapping of landscape features on a continental scale (South America). We used new remote sensing techniques to analyze landscape structure in Brazilian territory through a vegetation variation in a time series of MODIS EVI images between the years 2000 and 2012. Results show that this technique can differentiate landscapes with different complexity in a continuous classification. The other case studies were developed on a regional scale, in the area where an ecological corridor is located linking Cantareira and Mantiqueira mountain ridges. In the second study we analyzed regions using the islands model - which considers vegetation as a basis of landscape structure. We compared area and number of forest fragments in a mesh of polygons of the same size. This analysis by regions facilitates the understanding of landscape configuration, allowing for the identification of more and less favorable areas for conservation and guiding regional planning. The third study addresses landscape changes over time. We compared Landsat TM images at three dates (1988, 1999 and 2010). Changes in Cantareira-Mantiqueira Corridor were not so severe in this period and they are deeply connected to the relief of the region (mountain ridges). We developed the fourth study to better understand the role of relief in the landscape by classifying it with morphometric parameters. By relating the results with the land use in the region, we observed that the classes obtained represent the dominant processes in the landscape such as agriculture or areas with remaining forest. From these identified classes, we developed the fifth study to investigate connectivity along the Corridor. We simulated movement of species between patches of the same landscape class applying four cost grids. The results showed significant differences between the paths based on relief variables, with less topographical and length variations than the ones based on land use and vegetation. The critical analysis of the two approaches and the case studies demonstrate that the interaction between ecological and geographical approaches is possible and, moreover, essential for the improvement of research for environmental planning and conservation.

Key words: Landscape, Landscape Ecology, Environmental Conservation, Ecological Corridors, Serra da Cantareira, Serra da Mantiqueira.

Apresentação

A tese que iremos apresentar foi resultado de um processo que se iniciou durante as pesquisas para a elaboração de minha dissertação de mestrado em 2010, cuja área de estudo era composta por diversas ilhas do litoral norte do estado de São Paulo. Nos interessava a correspondência entre fragmentos florestais, isolados por diferentes tipos de uso da terra, e ambientes isolados naturalmente, como as ilhas continentais.

Na abordagem biogeográfica tínhamos o suporte da Teoria da Biogeografia Insular, mas entendíamos que existiam novas possibilidades de análise. Chegamos, assim, à Ecologia de Paisagem, nome familiar aos geógrafos, mas com uma abordagem, a princípio, muito distinta. Após um primeiro momento de curiosidade, resolvemos nos aprofundar nos estudos desenvolvidos por essa nova abordagem, essencialmente ecológica. Descobrimos uma vasta literatura e entendemos que essa vertente estava em um processo de crescimento de produção científica.

Em 2009, viabilizado pela Profa. Dra. Sueli Furlan, criamos um grupo de estudo no Laboratório de Climatologia e Biogeografia (LCB) no Departamento de Geografia da USP, com a intenção de promover discussões sobre os estudos da paisagem com a abordagem ecológica. A primeira obra lida de ponta a ponta foi *Landscape Ecology*, de Forman e Godron, publicada em 1986. Ficamos certamente impressionados com as novas possibilidades de análise da paisagem oferecidas em um texto tão amplo e claro.

Em 2010 o grupo de estudos participou de um evento chamado *Road Ecology Brazil* em Lavras - MG, sobre ecologia de estradas - um subtema da ecologia de paisagem. Tivemos a oportunidade de conhecer o principal autor do livro discutido pelo grupo poucos meses antes, Richard Forman. Entendemos rapidamente porque a obra se tornara uma referência nessa abordagem, estávamos diante de um professor maduro em idade e intelectualmente, cujo poder de síntese pode ser comparado a outros grandes pesquisadores como Wilson e Ab'Sáber.

A partir das discussões iniciadas no grupo de estudos, a ideia da tese foi sendo concebida, as diferenças eram evidentes no modo de analisar a paisagem, mas por outro

lado percebíamos pontos de convergência com a abordagem geográfica clássica e mais do que isso, percebíamos que existia um grande potencial de interação entre as abordagens, ao menos em um certo nível.

Preocupados com a evolução dos planos de conservação da paisagem, lançamos o desafio de propor um trabalho com estudos que explorassem possibilidades de interação entre os conceitos e técnicas dessas duas abordagens da paisagem.

Para a empreitada, sabíamos que era necessário um aprofundamento tanto nos estudos geográficos quanto nos ecológicos da paisagem.

A primeira etapa foi facilitada por uma disciplina sobre paisagem oferecida na pós-graduação do Dep. de Geografia da USP pelo Prof. Dr. Adílson A. Abreu - notável geomorfólogo e pesquisador. As aulas e seleção de textos proporcionaram uma ampla visão sobre a paisagem, não somente na geografia, mas também na história e nas artes.

Para a segunda etapa, nos aproximamos de pessoas com mais experiência nas práticas da vertente ecológica. Começamos, assim, nosso processo de interação entre as abordagens com a interação entre pessoas, especialmente do Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação (LEEC) da UNESP – Rio Claro, comandado pelo Prof. Dr. Milton Cézar Ribeiro.

Após os aprofundamentos conceituais e técnicos em ambas abordagens, desenvolvemos projetos para diversos estudos experimentais. Escolhemos como área de pesquisa um corredor de Serras desde a Cantareira, no limite Norte do município de São Paulo até o início da Mantiqueira, próximo ao Sul de Minas Gerais, ainda nos limites do estado de São Paulo. Denominamos a área como Corredor Cantareira-Mantiqueira.

Em 2013, tive a oportunidade de inserir uma nova gama de conhecimentos aos estudos em desenvolvimento, por meio de uma colaboração e um estágio realizado no Laboratório de Sensoriamento Remoto da Columbia University, nos Estados Unidos. A convite do Prof. Dr. Christopher Small, desenvolvemos técnicas complementares para a apreensão da paisagem e monitoramento de sua evolução ao longo do tempo.

Infelizmente, alguns desses resultados para a área de estudo do Corredor Cantareira-Mantiqueira não foram satisfatórios devido ao conjunto de imagens de satélites

utilizado com base, imagens MODIS EVI. As imagens MODIS possuem uma resolução de 250m, com baixo nível detalhe para a escala dos processos de interesse na área do Corredor. No entanto, essas imagens possuem uma ótima resposta para a detecção de variações na vegetação, e uma grande série temporal disponível. Decidimos, assim, propor um estudo de caso em uma outra escala, na escala do território brasileiro.

Apesar da escala ser exclusiva para este estudo, a proposta utiliza a mesma base conceitual os mesmos preceitos de desenvolvimento de técnicas, com certos níveis de interação entre as abordagens da paisagem, voltadas para o aperfeiçoamento dos instrumentos para a conservação.

Convidamos os leitores a uma reflexão sobre as propostas apresentadas, mas acima de tudo, esperamos que sejam vislumbradas oportunidades de aplicação, evolução e continuidade dos estudos. Este trabalho não está encerrado, muito pelo contrário, consideramos um trabalho de abertura, de exploração de ideias e modos de interação. Sabemos que as possibilidades são muitas e interessam à conservação.

1 Introdução

A Geografia desenvolveu ao longo de sua história como ciência métodos e abordagens específicas de seu campo de estudo. No entanto, tal construção resulta de um longo percurso na história do pensamento científico, orientado pela sobreposição de ideias e teorias em um movimento que renova e torna a geografia uma ciência dinâmica e crítica de seu processo.

Neste contexto a Geografia definiu e redefiniu vários conceitos que estruturam um modo de olhar, interpretar e compreender a realidade. A paisagem é um destes conceitos visitado por um grande número de autores ao longo desta história.

Segundo Abreu, nas últimas décadas a paisagem tem recebido pouca atenção dos geógrafos brasileiros, tendo seus estudos quase restritos aos autores da Geografia Física, principalmente a geomorfologia e a biogeografia, com uma marcante preocupação com o planejamento ambiental. No entanto, a paisagem passou (ou continuou) a ser estudada por outras áreas do conhecimento como arquitetura, literatura, artes e a ecologia (não publicado)¹.

Na ecologia, campo associado a biogeografia, ocorre o que Metzger (2001) chama de segundo nascimento da ecologia de paisagens, desenvolvida na década de 1980 nos Estados Unidos, influenciada por biogeógrafos e ecólogos que procuravam relacionar conhecimentos advindos da teoria de biogeografia de ilhas para o planejamento de reservas naturais em ambientes continentais. Baseada na modelagem e análise espacial, essa etapa de estudos da paisagem se beneficiou muito do advento das imagens de satélite (nos anos de 1970 e 1980) e das facilidades de tratamento de imagens e de análises geo-estatísticas computacionais, desenvolvendo técnicas avançadas para a delimitação e relação espacial entre os chamados elementos da paisagem.

A paisagem ressurge como abordagem de questões ambientais, em quase todas as grandes escolas de Geografia europeias e americanas, com diferentes arranjos conceituais e metodológicos. Nesse sentido a vertente americana da Ecologia de

¹ Programa da disciplina de pós-graduação: “a paisagem terrestre: da natureza à cultura, do empírico ao ideológico”. Ministrada pelo Prof. Dr. Adilson A. Abreu no Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo, 2012.

Paisagens ganha força pelo tipo de análise objetiva que proporciona, atendendo às necessidades de tomadas de decisão para a conservação da diversidade biológica e manejo de recursos naturais e também pela grande difusão de tecnologias digitais que emanam das empresas norte-americanas. De outra parte, o conhecimento estatístico bastante difundido na ecologia quantitativa completa um quadro favorável a consolidação de um discurso seguro para os propósitos da conservação ambiental. No Brasil, em particular reflete-se também em políticas públicas como, por exemplo, em programas como o Biota FAPESP e o Pacto da Mata Atlântica.

No entanto, tal objetividade é resultado de uma relativa simplificação tanto do ponto de vista conceitual, quanto de apreensão e representação da paisagem. Um exemplo é a desconsideração de fatores geográficos fundamentais como o relevo, clima e solos tendo se pautando principalmente pela diferenciação entre os tipos de cobertura vegetal. Por outro lado, temos os estudos geográficos da paisagem, também com outras simplificações, que tentam abranger um grande número de variáveis biofísicas integradas, como os estudos geossistêmicos, mas que encontraram grandes barreiras para a aplicação em problemas práticos e complexos. Ainda assim, ambas as frentes buscam interpretar a complexidade integrada da paisagem.

Evidencia-se, portanto, uma problemática atual: poderiam estas diferentes abordagens contribuir para uma para o desenvolvimento da outra, já que possuem objeto (paisagem) e de certa forma objetivos (planejamento e conservação) de estudos que se relacionam? Esta pesquisa se propõe a enfrentar esta questão.

2 Objetivos e Justificativa

2.1 Obejtivo

Analisar como duas abordagens da paisagem, uma geográfica e outra ecológica, podem contribuir conceitual e tecnicamente para um desenvolvimento mútuo, visando o aprimoramento dos estudos da paisagem para o planejamento e conservação ambiental.

2.2 Objetivos complementares

Revisar criticamente os principais conceitos e técnicas propostas pela abordagem ecológica da ecologia de paisagens, identificando o potencial de aplicação destes em trabalhos geográficos sobre paisagem para o planejamento e conservação.

Realizar estudo experimental de planejamento e conservação na área do Contínuo da Cantareira e Serra da Mantiqueira, estado de São Paulo, utilizando a interação entre conceitos geográficos e ecológicos da paisagem.

Avaliar o potencial de interação dos conceitos e técnicas de ambas as abordagens, geográfica e ecológica, visando à aplicação no planejamento e conservação ambiental.

2.3 Justificativa

O cenário atual que vivenciamos, de modificações cada vez mais rápidas e drásticas na paisagem, com implicações cada vez maiores para os sistemas naturais e sociais, demanda respostas que possam acompanhar o ritmo dessas alterações. Nesse sentido, nunca o conhecimento sobre o meio em que vivemos e o seu adequado planejamento foram tão necessários.

A crise mundial da perda da biodiversidade, entendida neste projeto como a riqueza de espécies, ambientes e sociedades, tem no Brasil um grande expoente. É o país que abriga a maior extensão de florestas tropicais no mundo aliada a altas taxas de desmatamento - na Amazônia, sete mil quilômetros quadrados (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2009). Também a Mata Atlântica, um dos principais complexos de florestas tropicais biodiversas, que segundo Ab'Sáber (2003) abrangia quase um milhão de quilômetros quadrados, numa faixa litorânea desde o Rio Grande do Norte até Santa Catarina, hoje não passa de um conjunto de fragmentos isolados, muitos com tamanhos extremamente reduzidos e considerados praticamente inviáveis do ponto de vista da conservação biológica (WHITMORE, 1997).

Um dos entraves para a busca de um desenvolvimento baseado em um planejamento com visão sistêmica encontra-se na forma fragmentada de produção e aplicação do conhecimento. A ecologia da paisagem e o planejamento da paisagem poderia ser considerada como uma possível base teórica para uma visão mais integradora das

questões naturais, econômicas, sociais e culturais, uma concepção de avanço em direção à interdisciplinaridade (MONTEIRO, 2000).

Portanto, acreditamos que o contínuo aprimoramento dos conceitos e técnicas desenvolvidas nos campos do conhecimento geográfico, por meio da avaliação do valor de conhecimentos gerados em outros campos, poderá contribuir para um melhor planejamento do uso do território, promovendo também uma melhor conservação da biodiversidade.

3 Metodologia

O desenvolvimento da tese se deu em diversos momentos, cada um com diferentes características de pesquisa: momentos mais voltados para a leitura, revisão e reflexão sobre textos da literatura pertinente; momentos cujo o foco foi a aprendizagem de procedimentos e técnicas específicas; momentos para a investigação em campo; e momentos para as construções dos estudos e sínteses.

3.1 Referências teóricas e conceituais

Em um primeiro momento, nos debruçamos sobre as teorias e conceitos da paisagem desenvolvidos pelas abordagens geográfica e ecológica da paisagem.

Para os estudos geográficos, resgatamos textos de autores fundadores da pesquisa sobre a paisagem como Berg, Troll, Sotchava, entre outros. Existe uma grande dificuldade na aquisição e leitura desses textos originais, pois muitos estão publicados em alemão ou russo, línguas que infelizmente não dominamos. Alguns textos foram traduzidos para o português em revistas geográficas e se tornaram grande referência, principalmente para geógrafos físicos e adeptos dos estudos geossistêmicos. Entretanto, são poucos. Encontramos uma solução intermediária na obtenção de textos traduzidos para o inglês, muitos pelos próprios autores. Assim, mesmo não sendo o ideal, aumentamos a gama de possibilidade de análises da literatura sobre paisagem na primeira metade do século XX. Também analisamos produções mais recentes e o impacto que as teorias de paisagem tiveram em pesquisadores e na produção brasileira.

Da mesma forma, buscamos os textos de autores fundadores sobre a pesquisa na paisagem na abordagem ecológica como McHarg, Forman e Urban. Esta vertente, além de ser mais recente, possui publicações concentradas na língua inglesa, o que facilitou o acesso aos estudos.

Realizamos uma revisão crítica em ambas vertentes. Os textos produzidos para a revisão conceitual destacam os principais pontos identificados nas duas abordagens: como a importância da perspectiva do observador da paisagem; as exaustivas tentativas de criação de modelos e critérios para a apreensão e delimitação da estrutura da paisagem; as análises da transformação da paisagem com o tempo e suas implicações; e a questão fundamental da funcionalidade da paisagem.

A base teórico-conceitual desta tese vem dessa revisão crítica sobre esses pontos principais identificados nas duas abordagens da paisagem estudadas.

Em um segundo momento, nos dedicamos ao desenvolvimento de estudos de caso que que pudessem testar ou demonstrar algumas possibilidades de interação conceitual e técnica identificadas durante o processo de revisão conceitual.

Percebemos durante as leituras tanto das referências mais clássicas, como das mais atuais, nas duas abordagens, que a questão da estrutura da paisagem, sua apreensão e delimitação, é um ponto fundamental para a compreensão dos processos atuantes na paisagem. Também é um ponto chave, pois serve de base para estudos derivados de dinâmica e a função da paisagem.

Dessa forma, nesta tese, desenvolvemos três estudos sobre aspectos da estrutura da paisagem, utilizando princípios, escalas e técnicas diferentes.

Desenvolvemos ainda outros dois estudos, um sobre as mudanças na paisagem ao longo do tempo, sobre a sua dinâmica; como essas mudanças estão relacionadas com a estrutura da paisagem e as implicações para a conservação. E outro sobre a questão da funcionalidade da paisagem, como os elementos estruturais estão mais ou menos relacionados entre si e como essas similaridades na paisagem podem favorecer o deslocamento de espécies entre fragmentos florestais semelhantes, por exemplo.

A seguir, apresentaremos as áreas de estudos selecionadas e a minuta de cada estudo de caso elaborado para a composição da tese.

3.2 Áreas e escalas de estudo

Utilizamos para a realização dos estudos experimentais, duas escalas e duas áreas. A primeira área é o território brasileiro em uma escala de análise continental. A segunda, uma área intitulada Corredor Cantareira-Mantiqueira, em um recorte que engloba o complexo de Serras – Cantareira, Itapetinga, Itaberaba e início da Serra da Mantiqueira - dentro do estado de São Paulo até a divisa como estado de Minas Gerais. A escala de análise nessa área foi a regional. Para a área do Corredor Cantareira-Mantiqueira, elaboramos uma descrição detalhada sobre a localização da área de estudo, aspectos físicos e bióticos.

3.3 Estudos de caso: minutas

Elencamos a seguir os cinco estudos realizados, cujos procedimentos serão detalhados em seus capítulos específicos. Escolhemos esta forma de organização para que os métodos e técnicas fiquem agrupados por tema de estudo, favorecendo uma leitura mais próxima aos resultados e considerações. Ao final da Tese sintetizamos as principais conclusões de cada estudo nas considerações finais.

3.3.1 Estudo 1: proposta para identificação e mapeamento das paisagens brasileiras

O primeiro estudo de caso aborda a questão da estrutura da paisagem na escala do território brasileiro e traz uma proposta de identificação de paisagens que se diferenciam pelas variações da vegetação ao longo de uma série temporal.

Buscamos uma forma de compreender a complexidade das paisagens no território brasileiro, nas suas variações resultantes que refletem tanto os seus fatores ambientais de formação, como fatores de alteração.

Para a elaboração desse estudo, utilizamos técnicas específicas de sensoriamento remoto e análises estatísticas e descrição e comparação com estudos clássicos de paisagens nessa escala para a análise dos resultados.

3.3.2 Estudo 2: o modelo de ilhas e a análise por regiões: distribuição de remanescentes florestais na paisagem.

A área foco deste e dos estudos seguintes foi um recorte delimitando uma área que denominamos Corredor Cantareira-Mantiqueira, entre as Serras do Contínuo da Cantareira e da Mantiqueira. A escala de análise foi a regional (1:50.000).

O segundo estudo explora a questão do modelo de ilhas, que utiliza as manchas de vegetação como elementos da estrutura da paisagem, como modelo preponderante para análises da paisagem na abordagem ecológica.

Buscamos neste estudo avaliar o potencial de informações obtidas a partir de uma estrutura simplificada da paisagem (modelo de ilhas) e propomos uma complementação para análises feitas a partir desse modelo, utilizando agrupamentos de manchas de vegetação por área (análise por região).

A primeira avaliação, das manchas de vegetação, utiliza critérios clássicos da Biogeografia e da Teoria do Equilíbrio da Biogeografia Insular como área e isolamento, com uma proposta de representação e análise.

Na proposta de análise por regiões, exploramos modos de obter melhor compreensão da distribuição dos remanescentes florestais e formas de representação e interpretação dos resultados.

3.3.3 Estudo 3: mudanças na paisagem no Corredor Cantareira-Mantiqueira e implicações para a conservação.

O terceiro estudo de caso, segundo no Corredor Cantareira-Mantiqueira, explora o tópico das mudanças da paisagem ao longo do tempo e como esses dados podem ser utilizados para o planejamento de áreas de interesse para a conservação.

Trazemos uma proposta de análise da dinâmica da paisagem por meio de imagens de satélite de média resolução (30m) e gratuitas (Landsat). Análises tradicionais comparam classificações temáticas do uso da terra em diferentes tempos. Utilizamos nesse estudo a técnica de Análise de Mistura Linear, na qual distintos objetos dentro do mesmo pixel

são separados, tornando a imagem mais refinada, promovendo uma classificação contínua, sem limites rígidos como as classificações tradicionais.

Exploramos também a relação entre as mudanças identificadas na paisagem com alguns parâmetros do relevo como a altitude e a declividade. Estabelecemos, assim, classes nas quais ocorreram maior ou menor quantidade de mudanças. Discutimos os processos e as características das mudanças e a implicação para a conservação da área de estudo.

3.3.3 Estudo 4: classificação da paisagem em escala regional a partir de parâmetros do relevo.

No quarto estudo, investigamos a questão da apreensão da paisagem e sua classificação com base em variáveis indicadoras de processos, como o relevo.

A classificação da estrutura da paisagem com base em parâmetros do relevo pode ser uma alternativa e/ou complemento para atual modelo de ilhas de vegetação, pois insere variáveis que podem ter grande influência na ocorrência e distribuição de espécies na paisagem.

Na área de estudo, Corredor Cantareira-Mantiqueira, entendemos que o relevo possui um papel fundamental na atual distribuição de tipos de uso, assim como para a conservação dos remanescentes florestais da Mata Atlântica.

Com o intuito de elaborar classes sintéticas da paisagem, realizamos análises de agrupamentos utilizando como base diversos parâmetros geomorfométricos do relevo como altitude, declividade, índice de insolação, curvaturas máximas e mínimas, etc. Testamos estatisticamente a relevância de cada parâmetro geomorfométrico para o agrupamento final.

Buscando compreender a relação entre os processos dominantes na paisagem e a classificação obtida, analisamos a correspondência entre as classes da paisagem e o uso da terra.

3.3.5 Estudo 5: similaridades e conectividades no Corredor Cantareira- Mantiqueira.

Em nosso quinto e último estudo de caso, exploramos a questão da conectividade da paisagem no Corredor Cantareira-Mantiqueira.

Muitos estudos de corredores ecológicos são realizados utilizando somente informações sobre a vegetação (modelo de ilhas) ou uso da terra. Entendemos que esses modelos podem ser melhorados com o incremento de informações sobre outros atributos da paisagem com o relevo.

Partimos da premissa de que espécies se deslocam melhor por ambientes similares fisicamente, ou com configurações que proporcionem tipos de habitat semelhantes, do que em ambientes diferentes.

Assim, a partir das classes de paisagens previamente identificadas no estudo anterior, elaboramos um estudo para avaliar o potencial de conectividade na paisagem da área de estudo, por meio da simulação de movimentação de espécies. Testamos quatro diferentes superfícies de custo para o deslocamento, vegetação, uso da terra, elevação e declividade.

Para entender melhor quais os caminhos percorridos pelas espécies nos corredores estudados, analisamos estatisticamente as variações topográficas dos corredores ecológicos resultantes das simulações para cada superfície de custo.

A seguir apresentamos a revisão da literatura que formou a base teórico-conceitual da tese.

4 Revisão conceitual sobre a paisagem

A seguir, apresentamos uma sequência de revisões críticas sobre os principais textos produzidos pelas duas vertentes da paisagem analisadas na tese. Utilizamos como referência textos clássicos do início do século XX, da corrente geográfica, e mais atuais. Começamos a revisão abordando uma discussão sobre os múltiplos significados do termo paisagem, desde uma noção popular para lugares vistos de forma panorâmica, passando pelas artes, suas interpretações subjetivas, chegando aos conceitos adotados por áreas de produção de conhecimento.

Discutimos a questão do observador na paisagem e sua influência para a escala de apreensão e formas de representação nas abordagens geográficas e ecológicas.

Em seguida, construímos para cada vertente, textos reunindo os principais entendimentos sobre pontos essenciais para a paisagem, como o conceito de paisagem e a apreensão e representação de sua estrutura. Também discutimos questões como as mudanças ocorridas ao longo do tempo e a função da paisagem.

Ao final, realizamos uma síntese sobre as principais diferenças e semelhanças encontradas nesses temas centrais identificados nas duas abordagens da paisagem.

4.1 A paisagem objetiva e a simbólica

Segundo Rafestin (1978), a paisagem pode ser empregada como categoria de análise integradora e sintetizadora. Neste sentido, ela pode ser entendida como um documento a ser lido nos discursos: intelectuais, morais, estéticos, técnicos, do homem e da vida em sociedade (ENGLISH; MAYFILED, 1972). Contudo, ela pode não apresentar todas as características representativas das relações sociais ou de um modo de vida em sociedade. Como um pergaminho danificado pelo tempo, ela pode ser lida parcialmente e, ainda sim, compreendida.

Antes de prosseguirmos em nossa apreciação é importante ressaltar que a análise da paisagem historicamente se desenvolveu em duas linhas, a da paisagem objetiva e a da paisagem simbólica.

O termo polissêmico “paisagem”, carrega um forte caráter subjetivo, como exemplifica Mikessel (1972), possui definições advindas da pintura que apresentam significados como: “o mundo visível, tudo que pode ser visto na superfície da terra por um homem que se põem na superfície”; ou “um pedaço da superfície da terra que pode ser visto por vez”. Tais definições são comumente também encontradas em dicionários, popularizando ainda mais a noção subjetiva do termo. Na verdade a paisagem na linguagem dos povos é um termo que representa as impressões que temos do mundo visível.

Nesse contexto, quando o geógrafo emprega o termo tentando se referir a uma “realidade objetiva” encontra dificuldades em estabelecer a paisagem como conceito ligado a uma área de conhecimento científico.

Quando o homem se depara com a necessidade de planejar o espaço, por exemplo, busca essa objetividade. Para Kugler (1999 apud LANG; BLASCHKE, 2009), a imagem da paisagem representa um bem muito importante a ser preservado pelo planejamento, para o qual, no entanto, há uma urgente necessidade de critérios, dos mais objetivos possíveis, para a sua detecção, classificação e avaliação.

Essa análise objetiva é encontrada nos estudos de paisagem das escolas, alemãs, russas e também na “nova” ecologia de paisagem, que, como já salientamos, possui uma grande preocupação com a aplicação prática.

Paisagem cultural

Os seres humanos são capazes de criar uma ordem de existência que não é simplesmente natural. Esta é a ordem simbólica, na qual um símbolo é alguma coisa que se apresenta no lugar de outra e presentifica este algo ausente (CHAUÍ, 2003).

A autora ressalta assim, que em termos antropológicos, a Cultura se apresenta como: “a invenção de uma ordem simbólica”, e é nela que o homem atribui à realidade novas significações por meio das quais se relacionam com o que não está presente. Criando uma ordem simbólica, o ser humano, graças a sua presença no mundo, pode representar e interpretar a realidade (CHAUÍ, op.cit.). Temos assim, um passo para a construção de uma noção de paisagem dada pelas experiências humanas culturais.

Em uma outra visão, a paisagem resultante de existência humana, também passa a ser observada. Para English e Mayfield (1972) a “paisagem cultural” é um dos temas mais duradouros nos escritos dos geógrafos europeus e americanos. Afirmam que nenhuma paisagem no mundo foi deixada sem descrição.

A primeira definição da paisagem como um conceito formal na geografia moderna emerge na Alemanha no final do século XIX com Krebs e a *Kulturlandschaft* (paisagem cultural), apoiando-se numa descrição fisionômica dos elementos naturais e culturais que se combinam e formam a totalidade, que é a paisagem. O método se funda na percepção imediata das formas sensíveis do ambiente

Carl Sauer, desenvolve importante trabalho de aprofundamento e difusão da geografia cultural dentro da geografia americana com a publicação da obra “Morfologia da Paisagem”, em 1925.

Para Sauer a paisagem cultural era uma região com uma distinta associação de formas físicas e culturais geradas pela interação do homem e natureza que, uma vez identificada, pode ser classificada espacialmente e geneticamente (ENGLISH; MAYFIELD, op.cit.). O autor conecta fatos específicos a teses gerais, enxergando o homem e a Terra como um único sistema interativo, demonstrando uma notável sensibilidade e compreensão sobre as comunidades humanas, seus modos de vida e suas paisagens culturais.

Segundo Mikessel (1972), Sauer pensava que a paisagem não podia ser entendida como uma cena vista por um observador particular, mas sim como uma generalização derivada da observação de muitas cenas individuais.

No entanto, a redefinição da geografia como estudo da morfologia da paisagem geraria sérias dificuldades práticas e metodológicas. Talvez a maior fraqueza do argumento inicial de Sauer foi assumir que os geógrafos deveriam começar seus estudos reconstruindo as condições naturais pré-humanas de uma área, sendo que os geógrafos se preocupam primeiramente com a paisagem visível atual (MIKESSEL, op.cit.).

Apesar da difícil aplicação da metodologia proposta por Sauer, os estudos da paisagem, na abordagem da geografia cultural, continuaram a ser realizados, não somente nos

Estados Unidos, como se espalharam pelo mundo. Tais estudos ora enfatizam mais os aspectos visíveis da paisagem, ora outras representações simbólicas ou sistemas de valores. E desta abordagem derivam-se um grande leque de metodologias utilizadas em Geografia para estudo da Paisagem integrada.

Em uma outra forma de interpretar as mudanças na paisagem e seus simbolismos, H.C. Darby, em seu texto “The Changing English Landscape” (1972), aborda a questão das alterações na paisagem inglesa de uma perspectiva diferente de Sauer, documentando o impacto em longo prazo, social, econômico e político na aparência e conteúdo do interior da Inglaterra. Darby se foca na paisagem visível, nos elementos concretos do interior, e nas forças que alteram a aparência da paisagem. Darby entende que as forças econômicas e motivações políticas mudam de um período para o outro, mas o ritmo e o padrão da mudança da paisagem persistem: como floretas que se transformam em toras, carvão, formam navios e alimentam indústrias; ou culturas agrícolas que são convertidas em pastagens e tornam a ser culturas tempos depois; áreas urbanas que se transformam em parques e jardins, etc.

Entretanto, para muitos geógrafos a paisagem cultural representa mais do que simplesmente o visível, o remanescente físico da atividade humana na terra, pode representar também o sistema de valores humano, definindo relações complexas entre atitudes e comportamentos, documentando as preferências das pessoas a respeito do seu entorno. Nos dizeres de Ab’Saber (2003), uma herança natural-cultural.

Existem muitas abordagens usadas para definir as qualidades da paisagem estética e simbólica, mas para todas a paisagem é o documento a ser lido como uma declaração intelectual, moral e estética do homem como ser humano.

Yi-Fu Tuan, por exemplo, prega os laços afetivos entre o homem e seu meio, para ele, em seu texto “*Discrepances Between Environmental Attitude and Behavior: Exemples from Europe and China*” (1972), a paisagem cultural provê uma base necessária para examinar as discrepâncias entre o estado ideal e a realidade para determinar como as atitudes ambientais estão relacionadas com o comportamento ambiental. Em seus estudos, Tuan trata da relação de encontro pessoal com a paisagem na concretização

desses laços afetivos, destaca, por exemplo, que o cristianismo substituiu crenças anteriores sobre o caráter sagrado das paisagens.

Tuan nota ainda que as paisagens tanto na Europa Mediterrânea quanto na China foram vastamente transformadas pelo homem concluindo que a civilização é um exercício do poder do homem sobre a natureza, e que por sua vez é capaz ainda de criar uma apreciação estética sobre a visão do mundo, a paisagem cultural.

4.2 O termo paisagem

Paisagem é uma palavra com sentido polissêmico, segundo Rougerie (1991), com significado pouco preciso e pouco fixo. Do alemão, *Landschaft*, trazia na idade média o sentido de região, território ou *pays* (país) onde se desenvolve a vida de pequenos agrupamentos humanos (Figura 1).

No Renascimento surge a concepção estética da paisagem, e, principalmente, os pintores holandeses ajudam a formar um imaginário sobre o termo (Figura 2). Segundo Zonneveld e Forman (1990), o termo em inglês *landscape*, paisagem, parece ter evoluído do termo holandês *landschap*, introduzido por pintores de paisagem holandeses (*landschappen*). No romantismo esse aspecto é ressaltado na leitura dos artistas. No entanto, é difícil afirmar que a representação feita por um pintor em uma tela tenha uma concepção de paisagem associada ou possui outras referências.

No campo científico, o naturalista Humboldt, no início do século XIX, introduz o termo paisagem no sentido de “característica total de uma região terrestre”. Humboldt converge pensamentos da antiguidade, do século das luzes, dos viajantes e romancistas, valorizando a relação entre fisionomia, vegetação e clima. Considera a vegetação o dado mais significativo. Utiliza a objetividade de um espírito racional, mas não rejeita um senso estético (ROUGERIE, 1991).

Influenciado por Humboldt, em 1939, Carl Troll desenvolve a *Landschaftsökologie* (Ecologia da Paisagem) no contexto da geografia alemã, marcada pela fitogeografia, pela *Landschaft* e também pelos primórdios da ecologia.

Figura 1. Pintura “A dança Camponesa”. Fonte: Pieter Brughel, o velho, 1568.

Figura 2. Pintura “Paisagem Fluvial”. Fonte: Salomon van Ruysdael, 1650.

4.3 O observador e a paisagem

Nos estudos geográficos o observador da paisagem é o homem. No entanto, quando o homem começa a percebê-la? Só o homem pode realizar tal observação ou percepção? Identificamos aqui uma questão na ecologia de paisagens, seria possível deslocar o observador para os organismos que vivem a paisagem?

Para Martinelli (2001) a paisagem é o que vemos diante de nós. É uma realidade visível. É uma visão de conjunto percebida a partir do espaço circundante. Não tem, assim, uma existência própria, em si. Ela existe a partir do sujeito que a apreende: cada pessoa a vê diferentemente de outra, não só em função do direcionamento de sua observação, como também em termos de seus interesses individuais.

Para Moraes (2007), a perspectiva da morfologia da paisagem apresenta, em sua gênese, fundamentos oriundos da Estética, segundo o autor, no capítulo inicial de Cosmos, de Humboldt, um dos autores mais citados é Goethe. A explicação para a paisagem viria pela observação do horizonte abarcado pela visão do investigador. Daí a grande valorização da intuição neste tipo de análise.

Besse (2006), discutindo as questões da observação e representação da paisagem no período renascentista, traz uma importante contribuição para a discussão sobre a Terra observada a partir de um determinado ponto de vista.

Para o autor, existe até o período renascentista uma visão de paisagem limitada, sendo a visão global um atributo restrito aos deuses. De acordo com Besse (2006), é nesse período histórico que o homem se dissocia da paisagem tornando-se seu observador. Podemos concordar com o autor, colocando importantes ressalvas quanto a análise de um período histórico mais recente e quanto ao local, tratando-se basicamente do ponto de vista da sociedade europeia.

Outro ponto é a transformação da representação realizada por pintores e cartógrafos “ambos observadores de espaços e fenômenos do mundo terrestre que desenvolvem uma arte da leitura visual dos signos que constituem a qualidade própria de uma paisagem” (BESSE, 2006).

Segundo Besse (2006) a paisagem, *landschaft*, inicialmente com uma significação territorial, é entendida como espaço objetivo da existência, definida por um *sitium*, ou seja, por uma posição e por vizinhanças humanas e naturais, que pode se designar como objetiva, podendo assim ser cartografada. O autor diferencia a representação pictórica, dada pela corografia e mais ligada a detalhes, da geografia, que representa grandes conjuntos na superfície da Terra.

No século XIV, as viagens ultramarinas influenciam a ampliação da visão de mundo, a paisagem extravasa os limites da região particular e coloca a questão da abertura do espaço terrestre e da relação entre o que está aquém e além do horizonte, é a noção de “paisagem do mundo”. Temos, assim, uma evolução de uma paisagem do sítio e situação para o todo. Da corografia, passa-se para a escala mundial.

Para Martinelli (2001), a paisagem visível, tida como o que vemos à nossa frente, é produzida, sobretudo, em visão horizontal ou oblíqua. Existe uma grande variação na percepção do observador, dependendo de seu campo de visão, da configuração morfoescultural do terreno e respectivo arranjo de seus volumes. O autor destaca que é essencial apreender as silhuetas da sucessão dos planos em profundidade, que podem organizar a apreciação da paisagem numa sequência de escalas que vão diminuindo em direção ao horizonte.

O observador da paisagem, nesse entendimento, deve possuir uma ampla visão do seu objeto. Para isso, o observador busca uma posição que favoreça a amplitude visual, como locais elevados. Entretanto, devemos entender que o ganho em abrangência e profundidade do campo de visão é decorrente da perda do nível de detalhamento dos elementos na paisagem.

Ao atingir a visão quase vertical, aérea, até zenital, a paisagem torna-se praticamente a imagem fornecida por uma fotografia aérea. Apesar de perder as particularidades, essa visão ganha em termos de conjunto na percepção sinótica. Foi ela que motivou a representação da paisagem em mapa, dando-lhe cientificidade (MARTINELLI, 2001).

Para Besse (2006), houve uma evolução na representação da paisagem. Nos mapas medievais, a representação possuía uma narrativa cujo teor estava impregnado por questões religiosas e filosóficas. Após o renascimento, a Terra se torna um objeto para

um sujeito que é seu espectador. Essa estrutura da Terra como “teatro” proporciona novas possibilidades de discursos e coloca um paradoxo entre imagem e observador, pois ao mesmo tempo que o espectador observa a Terra, ele também faz parte da cena. Besse (2006) analisa esse paradoxo retratado nas obras de Brueghel (Figura 3) que falam do mundo humano na riqueza de seus detalhes corográficos e topográficos: cidades, aldeias, rios, montanhas, florestas, campos. Assim como da diversidade dos modos de utilização do espaço terrestre pelo ser humano: rebanhos e pastores, semeador e campo arado, carroças e cavalos. As personagens são assim “representantes de um pensamento que é o mundo e do que é a visão possível do mundo”.

Figura 3. Pintura “A volta da Caça”. Fonte: Pieter Brueghel, o Velho, 1565.

A apreensão dessa riqueza de detalhes da paisagem e tentativa de transposição dessa informação para materiais cartográficos é o início da ideia de estruturação, organização dos elementos da paisagem, na qual o papel do observador da paisagem é fundamental.

Para Lang e Blaschke (2009), na perspectiva da sociedade humana, a estruturação da paisagem é um procedimento essencial para a sua caracterização. Paisagens são detectadas em formas de arranjos espaciais com determinadas feições, e as sociedades humanas reagem sensivelmente às características das estruturas espaciais das paisagens.

Buscando exemplificar melhor essa caracterização e estruturação por parte do observador da paisagem, Lang e Blaschke (2009), utilizam o exemplo do balão se afastando a partir de uma clareira em uma floresta: Conforme o balão sobe aos poucos se enxerga mais, a vista ganha maior alcance, porém perdem-se os detalhes. No primeiro momento somente a clareira é observável, estando a borda da floresta muito afastada. Com o aumento da altura de visão, vemos a clareia como uma exceção na paisagem e passamos a perceber diferentes cores e textura da floresta. Entretanto, em certo momento, alcançamos um ponto no qual ao observamos florestas campos e lagos como elementos homogêneos constituindo uma paisagem que abrange uma enorme área.

O exemplo trata basicamente da relação do observador em relação à escala de observação e a proporcional modificação da estrutura da paisagem.

Até agora, todos os pontos de vista e observadores considerados fazem referência a visão humana, dentro de um sistema por nós construído e modificado, podemos afirmar que essa é a forma que a Geografia observa a paisagem, pelo homem, e a representa para a sociedade humana.

Mas e na abordagem ecológica qual o papel do observador da paisagem? Existem as mesmas necessidades para a apreensão e representação?

Para Metzger (2001), na abordagem “ecológica”, o mosaico que constitui a paisagem é considerado como um conjunto de habitats que apresentam condições mais ou menos favoráveis para a espécie ou a comunidade estudada - que também estão hierarquizados em fluxos que se dão em diferentes ordens escalares. Desta forma, o olhar sobre a paisagem é feito através destas espécies, de suas características biológicas, em particular de seus requerimentos em termos de área de vida, alimentação, abrigo e reprodução

O autor dá um exemplo de um gafanhoto, que pode existir em uma área de poucos metros quadrados. Para o gafanhoto, uma diferença entre os tipos de gramíneas é suficiente para mudar todo o seu comportamento em relação às suas necessidades. A

diferença entre gramíneas é a heterogeneidade que forma o mosaico da paisagem do gafanhoto.

Assim, Metzger (2001) destaca que a definição de unidades de paisagem e da extensão do mosaico depende das espécies: um mesmo espaço geográfico pode ser percebido como paisagens (mosaicos interativos) totalmente diferentes em função das características destas espécies.

Notamos assim uma importante diferença entre as abordagens na questão do seu observador. No ponto de vista humano, geográfico, ocorre um processo até a diferenciação entre paisagem e observador e que, ainda assim, não sucede de forma tão simples, pois o observador também se contempla na observação. Na definição da ecologia de paisagem, isso também é notado, mas de forma mais complexa, pois temos o homem, observando, lendo e traduzindo a paisagem, só que seu representante não é a sua própria espécie, podendo ser qualquer outra. O homem, assim, precisa se afastar do objeto de observação e utilizar outros filtros de percepção. A interpretação da visão do mundo possível se dará pela visão de uma espécie ou comunidade, tendo como único filtro a sua própria concepção sobre elas. Daí a necessidade de conhecer os requisitos e necessidades dos organismos, pois nosso olhar é mediado por estes requisitos.

4.4 O conceito de paisagem: abordagem geográfica

Ao longo do século XX, a paisagem foi tema recorrente e amplamente estudado na ciência geográfica. Segundo Rougerie (1991) são desenvolvidas duas principais vias de abordagem, uma na escola alemã e a outra na escola russo/soviética: a primeira herdada de Humboldt, preocupada com a espacialidade e a funcionalidade da vegetação, depois denominada de “geoecologia” ou “ecologia de paisagem” por Carl Troll; e a segunda, herdada da escola russa a partir de Dokuchaev, privilegia menos a vegetação e mais o sistema físico, ou o “complexo natural geográfico” (CNT). Abordagem seguida por Grigoriev, Berg, Sochava, Isachenko, precursores do conceito de “geossistema”.

Já na visão de Bolos e Capdevila (1992), surgiram quatro frentes de estudo da paisagem: as escolas germânica, soviética, francesa e anglo-saxônica.

Rodriguez (2002), em uma revisão histórica, ilustra a amplitude de tempo e de escolas que se dedicaram ao estudo da paisagem como ciência (Figura 4). Apesar de representar uma tentativa de síntese histórica, o quadro produzido pelo autor possui algumas imprecisões quanto aos agrupamentos de pesquisadores por escola (nacionalidades) e também sobre as datas.

Nesta pesquisa faremos análise de quatro abordagens ao longo da história, as escolas: alemã, russa/soviética, francesa e brasileira.

A escola Alemã

A escola alemã, a começar por Humboldt, pioneira na utilização da paisagem como conceito e na definição de métodos de pesquisa. É representada principalmente por Siegfried Passarge, Ferdinand Von Richtofen, Carl Troll, J. Schmithüsen, O. Schulter, E. Neef e G. Haase.

Como já citado, a paisagem foi introduzida como termo científico-geográfico no início do século XIX pelo alemão Alexander von Humboldt (1769-1859).

Segundo Nucci (2004), Humboldt entendia que a geografia física deve descrever as formas da paisagem como base da vida humana, correlacionando a caracterização morfológica da evolução da paisagem, com base na Geologia, na Climatologia, na Hidrologia, na Fitogeografia, na Zoogeografia, na economia, no comércio, nos transportes, na população, na cidade e na sociedade. Humboldt, assim, tinha a preocupação em correlacionar fenômenos observáveis, entender quais eram as ligações entre eles, ou quais os processos que os direcionavam.

Passarge, no início do século XX, trabalha os fundamentos da *Landschaftskunde*, ou a ciência das paisagens, como expressões espaciais das estruturas da natureza sob o jogo das leis cientificamente analisáveis. Para Passarge, a paisagem deve definir um sistema, níveis de organização na paisagem. Assim, uma ciência da paisagem comparada com seu sistema de tipos de paisagem forneceria uma ciência espacial da paisagem (PASSARGE apud. ROUGERIE, 1991).

Figura 4. Síntese histórica da ciência da paisagem. Fonte: Rodriguez (2002).

Influenciado por Humboldt, em 1939, Carl Troll desenvolve a *Landschaftsökologie* (Ecologia da Paisagem) no contexto da geografia alemã, marcada pela fitogeografia e pela *Landschaft*. Para Troll, a paisagem era entendida como: “a espacialidade, a heterogeneidade do espaço onde o homem habita” (TROLL, 1950).

Carl Troll, ao definir a geografia como a ciência das feições da superfície da Terra – a litosfera, a hidrosfera e atmosfera e suas diferenciações espaciais e inter-relações funcionais (Troll, 1950), enfatiza que a síntese geográfica deve partir de uma análise com abordagem do contexto dos fenômenos e suas funções inter-relacionadas na paisagem.

Para realizar tal análise, obter o entendimento do todo, Troll salienta que é necessário primeiro conhecer os elementos individuais, o que traz uma antiga questão já explorada por Ritter no século XIX: a paisagem representa mais do que a soma e unidade dos objetos geográficos, representa a totalidade?

Segundo Troll (1950), o geógrafo aborda a paisagem pela distinção de sua fisionomia (aparência da paisagem) e certas funções. Partes individuais ou elementos da paisagem, sejam visíveis e materiais ou não, são arranjados em um certo contexto funcional. Caso nenhum elemento – e por consequência toda a paisagem – for alterado, este contexto funcional estará geralmente em equilíbrio. Podemos assim, distinguir entre uma abordagem fisionômica ou funcional (fisiológica, ecológica) para a observação da paisagem.

Portanto, para Troll, a paisagem geográfica é uma parte da superfície terrestre que - em sua aparência exterior, pela interação entre os seus elementos, e suas interdependências espaciais internas e externas - forma uma entidade espacial particular e se torna uma paisagem com caráter diferente em suas fronteiras geográficas naturais.

Assim como Humboldt, Troll era um viajante e, associando observações feitas na América do Sul, África e Ásia sobre a relação entre fatores físicos, como embasamentos rochosos, tipos de solos, clima e o tipo de cobertura vegetal resultante, chega à conclusão que:

[...] toda biocenose está vinculada a condições ambientais bem características que dão origem a um tipo de paisagem [...] toda biocenose bem característica e marcante é um sistema ecológico onde clima, solo, água, plantas e animais são funcionalmente interligados. (TROLL, 1939 apud TROPPEMAIR, 2000).

A intenção de Troll poderia ser entendida como uma esperança de estudos que pudessem considerar o ser humano, a sociedade e o meio físico como um conjunto. Para Zonneveld (1990), a Ecologia da Paisagem de Troll foi uma tentativa de casamento entre a Geografia (paisagem) e a Biologia (Ecologia).

A Escola Russa/Soviética

A escola russa, a partir dos estudos pioneiros de Dokuchaev sobre a relação das fisionomias vegetais e os tipos de solos, privilegia menos a vegetação e mais o sistema físico, ou o “complexo natural geográfico” (CNT). Desenvolve posteriormente o conceito de “geossistema” associado a unidades de paisagem, tendo como principais autores A. A. Grigoriev, L. S. Berg, A. G. Isachenko, V. B. Sotchava, N. K. Soltnetsev e Igor. P. Gerasimov (ROUGERIE, 1991).

Na Rússia, na primeira metade do século XX (então URSS), o empenho pelo desenvolvimento econômico de vastas terras mal conhecidas, ressalta o interesse no CNT de Dokuchaev, por suas interações e correlações internas. Temos, assim, o início de uma visão sistêmica. Ross (2006) elucida que é no contexto de uma geografia aplicada, ou uma geografia útil aos interesses do Estado soviético, que se deu a evolução das concepções geográficas, sobretudo as que apresentam maior vínculo com os sistemas naturais.

Em seus estudos, Grigoryev (1968) buscou uma teoria geral da geografia física e os princípios e métodos de zoneamento territorial. Elaborou o conceito de “estrato geográfico da Terra” formado pela crosta, a baixa atmosfera (troposfera e parte da estratosfera), a hidrosfera, o regolito (manto do solo), a cobertura vegetal e o reino animal. Os componentes do estrato geográfico seriam próximos e profundamente interconectados e inter-relacionados em estrutura e evolução, formando um inseparável todo, um peculiar fenômeno natural com regras de estrutura e evolução

próprias. Para o autor os processos nesse estrato ocorrem pelas fontes de energia cósmica e terrestre, sendo o único estrato que sustenta a vida e habitat da sociedade humana.

Para Grigoryev (1968) as paisagens geográficas são manifestações locais das leis fisiográficas gerais, associadas à característica do relevo, da litologia, do meso e microclima, do solo, etc., e se desenvolvem como resultado das interações das camadas internas e externas do estrato geográfico.

Para Berg (1915), em termos gerais, a geografia é a ciência que estuda a distribuição vertical e horizontal de vários objetos e fenômenos - na superfície da Terra, dentro da alta litosfera, na atmosfera e na hidrosfera, no passado, presente e futuro.

Berg entende a geografia como uma ciência corológica. Não uma corologia de objetos e fenômenos separados, mas uma corologia de grupos inter-relacionados de seres humanos, animais, plantas, formas de relevo, etc. da Terra.

Para Berg (1915), os grupos e comunidades do mundo orgânico e inorgânico na superfície da Terra são paisagens, assim, a geografia seria a ciência das paisagens.

Na primeira metade do século XX, Berg, irá definir uma *Landschaft* (paisagem) natural como uma região na qual os elementos do relevo, solo e vegetação são organizados em um conjunto geográfico, de tal modo que se repete no interior de uma zona geográfica (Figura 5).

Berg irá delimitar os campos da morfologia da paisagem, dinâmica da paisagem, tipologia e classificação das unidades, ciência da paisagem aplicada e cartografia das paisagens (ROUGERIE, 1991).

Solnetsev (1948), concordando com Berg, entende a paisagem geográfica como a principal unidade taxonômica do território. Para o autor, a integridade territorial é determinada pela coerência genética, assim como pela homogeneidade da morfologia e dinâmica. Todas essas condições são proximamente inter-relacionadas, portanto, uma mudança em uma (e especialmente nas três) significa uma transição para outra paisagem geográfica.

Figura 5 – Primeiro modelo de paisagem desenvolvido por Berg. Fonte: Frolova (2007).

Para Solnetsev, a paisagem geográfica é um território geneticamente homogêneo no qual a recorrência regular da mesma combinação de fatores inter-relacionados se dá. Esses fatores são: composição geológica, formas de relevo, águas de superfície e subterrâneas, microclima, unidades de solo, fitocoenoses e zoocoenoses, portanto aspectos biogeofísicos.

Segundo Solnetsev (1948), nas definições anteriores da paisagem o foco estava nas combinações inter-relacionadas dos componentes da paisagem, em geral: relevo, clima, solo, vegetação, etc. A definição proposta aponta para as mesmas formas de relevo recorrente, para os microclimas, mas não para o clima em geral, para combinação de solos e unidades de solo, mas não para a cobertura do solo em geral, etc.

Aprofundando a discussão, Sotchava (1978) ressalta que a geografia não deve se focar no estudo dos componentes da natureza, mas nas conexões entre eles. Para além da morfologia e subdivisão da paisagem, deve-se projetar o estudo de sua dinâmica, estrutura funcional e conexões.

Entendendo os CNT's como "geossistemas", Sotchava os define como "sistemas naturais, de nível local, regional ou global, nos quais o substrato mineral, o solo, os organismos, a água e o ar, são interconectados por traços de matéria e energia em um só conjunto" (Sotchava, 1968 apud Rougerie, 1991).

Para Sotchava (1978) os geossistemas são uma classe típica de sistemas dinâmicos abertos e hierarquicamente organizados, sendo a hierarquia a mais importante feição dos geossistemas. No entanto, ressalta a diferença entre geossistema e ecossistema.

Em relação à interação sociedade natureza, Sotchava entende que as paisagens antropogênicas nada mais são do que estados variáveis de primitivos geossistemas, podendo assim interferir na dinâmica da paisagem (ROSS, 2006).

A Escola Francesa

A escola francesa, influenciada pelas escolas russa/soviética e alemã, incorpora elementos da ecologia e possui uma grande preocupação com a taxonomia da paisagem. É representada, principalmente, por Jean Tricart, Georges Bertrand e Marcel Delpoux.

Na França, nos anos 1960 e 1970, a biogeografia renova o interesse pela paisagem, estudos até então dominados pela questão da região. Na escola de Toulouse, busca-se a relação entre a sociedade e a natureza (ROUGERIE, 1991).

Em 1972, Bertrand publica sua concepção sobre paisagem: "a paisagem, em certa porção do espaço, resulta da combinação dinâmica, logo instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos e que reações dialéticas fazem da paisagem um conjunto único e indissociável". Para o autor paisagem é um termo pouco usado e impreciso, e por isso mesmo, cômodo, na maior parte das vezes anexando um qualitativo de restrição que altera seu sentido ("paisagem vegetal", paisagem urbana, etc.).

Bertrand analisa que o problema é de origem epistemológica e que o conceito de "paisagem" ficou estranho à geografia física moderna e não tendo gerou nenhum estudo adequado. Considera ainda que tal tentativa implica uma reflexão metodológica e pesquisas específicas que escapam parcialmente à geografia física tradicional. Por

outro lado, destaca que o estudo das paisagens não pode ser realizado senão no quadro de uma Geografia Física global e que a noção de escala é inseparável do estudo das paisagens. Assim, o autor faz a seguinte definição, apresentada de forma muito frequente em trabalhos de paisagem na vertente geográfica:

[...] A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, numa determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução. (BERTRAND, 1972, p.141).

Bertrand, assim como outros geógrafos físicos da escola russa/soviética, elaborou uma proposta de análise sistêmica da paisagem, ou uma análise geossistêmica. Para Bertrand (1972) o geossistema corresponde a “uma paisagem nítida e bem circunscrita que se pode identificar, por exemplo, em fotografias aéreas”. O geossistema é resultante do potencial abiótico, agrupado com a exploração biótica e com a utilização antrópica (Figura 6).

Figura 6: Modelo de geossistema de Bertrand. Fonte: Bertrand e Bertrand (2007).

Em 2007, Bertrand divulgou um novo conceito para o geossistema, mais amplo, denominado “geossistema, território e paisagem” (GTP). O modelo GTP, pode ser compreendido como três vias interdependentes que trabalham cientificamente na construção do espaço geográfico, tendo como interesse epistemológico e metodológico a preocupação de preservar a complexidade e a diversidade do ambiente, na tentativa de auxiliar na superação da ruptura entre sociedade e natureza (Figura 7).

Figura 7: Representação do sistema geossistema, território e paisagem de Bertrand. Fonte: Bertrand e Bertrand (2007).

O geossistema é constituído pelos elementos geográficos e sistêmicos no qual são compostos por elementos abióticos, bióticos e antrópicos, em que abrange também os conceitos espacial, natural e antrópico.

O território é a entrada em que permite analisar as ações e o funcionamento da questão social e econômica no espaço, considerando o tempo para relatar o recurso, a gestão, a redistribuição, a poluição e a despoluição.

A paisagem abrange não somente o visível, mas também a construção cultural e econômica de um espaço geográfico. Nela contém o território, sua organização espacial e seu funcionamento, e se reproduz nos elementos do geossistema.

Para Bertrand (2007), o GTP promove a reaproximação desses três conceitos para se analisar o funcionamento de um determinado espaço geográfico de forma holística, atingindo as interações dos elementos para melhor visualizar e compreender a dinâmica da área estudada.

Outro pesquisador proeminente da paisagem, Marcel Delpoux, busca um modo de simplificar a compreensão da distribuição dos elementos na paisagem e a forma como eles interagem dentro de um sistema. O autor parte das considerações de Bertrand para sua conceituação acerca do tema. Segundo Delpoux, existem dois constituintes fundamentais da paisagem: o “suporte”, que está ligado às características geológicas no sentido mais amplo (orogênese, estratigrafia, litologia), climáticas (tipo de erosão),

antrópicas (barragens; grandes obras) etc., e a “cobertura”, que materializa a influência dos parâmetros climáticos, pedológicos e biológicos (florísticos e faunísticos) e, entre eles, do parâmetro antrópico (DELPOUX, 1974).

Para Delpoux, com o sistema “suporte-cobertura” é possível ter uma apreensão mais geral sobre os elementos da paisagem (solos, rochas, clima, relevo). Forma-se uma estrutura horizontal complexa, resultante da somatória das unidades elementares que se dividem entre suporte e cobertura.

Delpoux define a paisagem como a “entidade espacial correspondente à soma de um tipo geomorfológico e de uma cobertura” no sentido mais amplo deste termo, desde as áreas florestais às aglomerações urbanas e zonas industriais, passando por culturas ou superfícies aquáticas (DELPOUX, op. cit.).

Apesar dos avanços nos conceitos para a compreensão da paisagem e interação de seus elementos, outros pesquisadores dessa escola criticaram o modelo geossitêmico da forma como estava sendo desenvolvido. Para Tricart (1977), a geografia física “estiolou-se numa pulverização estéril cuja superação pode vir de uma abordagem que combine os conceitos de sistema e ecologia numa forma de reciprocidade de interação na qual se leve o que é da geografia física para a abordagem sistêmica e vice-versa”.

Tricart aponta que um conceito chave para a evolução dos estudos de paisagem é o de meio ambiente como resultado da interação entre a esfera dos seres vivos (incluindo o homem), e a esfera do inorgânico, do outro. Esta interação deveria ter como referência ao conceito ecológico de ecossistema (TANSLEY, 1935). Partindo da interação entre fluxos de matéria e energia, o conceito de ecossistema é uma captação dos fenômenos em sua interdependência, cada fenômeno compartilhando do encadeamento originado desses fluxos e podendo ser visto cada qual como um subsistema dentro do todo sistêmico.

De acordo com Tricart, a energia da radiação solar e a gravidade combinadas possuem grande influência sobre a constituição de fluxos de integração ecossistêmica do meio ambiente. Pois a primeira é primordial para a entrada de energia em qualquer sistema e a segunda é praticamente constante e uniforme na superfície terrestre. No entanto, o

equilíbrio do meio ambiente é dado pelas plantas, produtores primários e base da cadeia trófica (TRICART, 1977).

Tricart ressalta que o encadeamento do conjunto de processos impulsionados pelos fluxos de energia da radiação e da gravidade é a essência ecossistêmica do meio ambiente, que, assim, diferencia-se na superfície terrestre em distintos âmbitos de recorte de espaço, ordenando a superfície terrestre numa diversidade de tipos de meios geográficos em cuja base está a combinação ecotópica de morfogênese e pedogênese, encimada pela ação de fitoestasia da formação vegetal que a recobre.

Com base na ideia de fluxos na paisagem, Tricart estabelece uma classificação morfodinâmica para unidades de paisagem, denominando-as unidades ecodinâmicas ou unidades morfodinâmicas. Estas unidades podem ser classificadas em três tipos: estáveis, *intergrades* e instáveis (ROSS, 2006).

Nos meios estáveis, a pedogênese é mais ativa que a morfogênese, dado o lento movimento desta. Neste quadro a vegetação se beneficia, se desenvolvendo plenamente, aumentando a estabilidade do meio.

Nos meios *intergrades*, temos um estado intermediário de estabilidade em que a morfogênese e a pedogênese concorrem num mesmo patamar. Este meio é comum nas zonas de transição biogeográfica, onde os parâmetros da fitoestasia ficam mais soltos.

Nos meios instáveis, a morfogênese é mais ativa que a pedogênese. A origem pode ser tectônica, irregularidade climática ou a degradação trazida pela ação humana.

Para Tricart, o homem tem grande influência nos ecossistemas, promovendo modificações. Existiria uma reação dos ecossistemas às alterações que exigiria uma adaptação da sociedade. Aqui poderíamos citar como exemplo: movimentos de massa por retirada de cobertura vegetal, poluição de corpos d'água, ilhas de calor, etc.

Os estudos de paisagem no Brasil

Todo o conhecimento sobre a paisagem produzido pelas escolas estrangeiras possui um nível de impacto no Brasil à medida que os trabalhos são conhecidos e publicados em nosso país.

Segundo Rodrigues (2001), a teoria dos geossistemas desenvolvida pelas escolas russo-soviética e francesa causou um grande impacto, principalmente nos geógrafos físicos. A autora ressalta que apesar da teoria dos geossistemas ter sido formulada primeiramente pela escola russa, em um estudo de V.B. Sotchava de 1960, a teoria ficou mais conhecida no Brasil pelo trabalho de G. Bertrand publicado em 1968.

No Brasil, os periódicos do extinto Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, com traduções dos estudos de Bertrand em 1972 e Sotchava em 1978, foram fundamentais para a difusão da proposta geossistêmica na geografia brasileira. Dentre os principais estudiosos da paisagem estão: C. A. F. Monteiro, A. N. Ab'Sáber, A. A. Abreu, H. Troppmair, J. L. S. Ross e F. Cavaleiro.

Segundo Rodrigues (2001), a difusão, apropriação e aplicação da teoria do geossistema no Brasil apresentaram grandes dificuldades, sendo desenvolvida, principalmente por iniciativa do Prof. Dr. Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, na época docente do Departamento de Geografia da USP.

Monteiro (2000), assim como outros geógrafos que se aprofundaram nos estudos geossistêmicos, primeiramente tece uma reflexão sobre a paisagem, a definindo como:

[...] Entidade espacial delimitada segundo um nível de resolução do pesquisador, a partir dos objetivos centrais da análise, de qualquer modo sempre resultado de integração dinâmica e, portanto, instável dos elementos de suporte e cobertura (físicos, biológicos e antrópicos), expressa em partes delimitáveis infinitamente, mas individualizadas através das relações entre elas que organizam um todo complexo (sistema) verdadeiro conjunto solidário em perpétua evolução”
MONTEIRO (2000, p. 15).

Monteiro (2000) entende o conceito de geossistema como elemento de integração na síntese geográfica e fator de promoção interdisciplinar na compreensão do ambiente.

Entretanto, o autor considera que não houve propriamente uma revolução na proposta geossistêmica e salienta que não existiu um consenso dos geógrafos brasileiros sobre o modelo e que existem muitas dificuldades para a transposição das fundamentações teóricas para análises práticas (ROSS, 2006).

Monteiro (2000) ressalta também que a questão da influência antrópica na abordagem geossistêmica desde o início foi insuficientemente tratada, sendo o antrópico colocado muito como o elemento modificador das características físico-biológicas e quase nada se fez além de uma avaliação desses impactos.

Para Monteiro (op. cit.), a integração antrópica nos geossistemas deve ser considerada em função: da extensão do território focalizado, o que conduz a escolha da escala de abordagem (espaço); da duração histórica da ocupação humana e sua importância processual no jogo de relações do geossistema (tempo); e do grau de imensidade sob o qual se manifestam as ações antropogênicas em suas relações com as diferentes partes em que se subdividem os geossistemas, (estrutura interna e dinamismo funcional).

Monteiro (1978) declara que a Ecologia de Paisagem é uma área do conhecimento que surgiu com a integração de duas importantes ciências, a Ecologia e a Geografia, e que poderia ser trabalhada como um aglutinador de diferentes disciplinas com o objetivo de entendimento da complexidade do ambiente e até uma possível “unidade teórico-metodológica”.

Sem adotar explicitamente os modelos geossistêmicos, outro pesquisador brasileiro muito importante que se propôs a estudar a paisagem foi Aziz Ab’Sáber.

Ab’Sáber (1971) destaca a importância de se intensificar os estudos sobre o funcionamento e a organização das paisagens brasileiras, considerando-se também as conjunturas regionais e locais derivadas das ações antrópicas. Para o autor, a análise das interferências de processos, ações predatórias, e agressões lesionantes - introduzidas inconscientemente pelos homens -, tem tanta importância para a aplicação das ciências quanto o esforço para o entendimento das condições ecológicas das áreas menos perturbadas pelos homens.

Ab'Sáber propõe a compreensão da paisagem por meio da análise do “espaço total” Na concepção do autor, o espaço total inclui todo o mosaico dos componentes introduzidos pelo homem ao longo da história da paisagem de uma área considerada parte de um determinado território. Entendendo-se por paisagem o suporte ecológico e biogeoecológico modificado por uma infinidade variável de obras e atividades humanas (AB'SÁBER, 1994).

Para Ab'Sáber (2005) é necessário mudar o foco das observações sobre as feições topográficas, as médias climáticas e a hidrografia, para uma trajetória do mundo físico, geoecológico e biótico regional, culminando nas apreciações do delicado e complexo problema das ações antrópicas cumulativas.

Para Ab'Sáber, existe é possível penetrar na complexidade do mundo geoecológico e ecossistêmico. Entretanto é necessário pesquisar um grupo de fatos:

O primeiro fato relaciona-se aos atributos do relevo, como a compartimentação geomorfológica regional, explicada pelos fatos da história geológica, sobrepostos pela história geomorfológica; e do solo, como o mosaico dos solos regionais, dependente dos processos pedogênicos recentes sobre os embasamentos rochosos herdados do passado e condicionantes climáticos, bem como a evolução integrada do solo com a vegetação-climax.

O segundo grupo de fatos a pesquisar em uma região diz respeito à estrutura superficial da paisagem, ou seja, às formas de contato entre os chamados depósitos de cobertura e o subsolo superficial dos terrenos.

Na sequência é preciso aprofundar o conhecimento sobre a fisiologia da paisagem. Observar e registrar os fatos que dizem respeito à dinâmica no interior de cada ecossistema. A ênfase deve ser dada ao cotidiano da paisagem em diferentes períodos do ano.

A visão de Ab'Sáber integra variáveis sínteses na paisagem e traz uma proposta de análise contínua da paisagem ou uma avaliação de sua dinâmica.

Como vimos, outro pesquisador que se dedicou aos estudos dinâmicos na paisagem foi Tricart. Os modelos morfodinâmicos desenvolvidos por Tricart na escola francesa tiveram uma influência muito grande no trabalho de ROSS. O pesquisador brasileiro desenvolveu pesquisas sobre a fragilidade ambiental como base para o planejamento e ordenamento do território.

Para Ross (2006), em função de todos os problemas ambientais decorrentes das práticas econômicas predatórias e suas implicações, torna-se cada vez mais urgente o planejamento físico-territorial não só com perspectiva econômico-social, mas também ambiental. Ressalta que esse planejamento deve visar um desenvolvimento que leve em conta não só as potencialidades dos recursos naturais, mas, sobretudo, as fragilidades dos ambientes naturais perante as diferentes inserções dos homens na natureza.

Dentro da visão sistêmica, Ross (op.cit) acredita que as sociedades humanas não devem ser tratadas como elementos estranhos à natureza e ao ambiente onde vivem, mas vistas como parte fundamental da dinâmica de fluxos energéticos do sistema (Figura 8).

Figura 8 – Fluxo da relação Sociedade/Natureza. Fonte: Ross (2006).

Ross (2006) destaca que as progressivas alterações das sociedades nos diferentes componentes afetam cada vez mais a funcionalidade do sistema, induzindo frequentemente a graves processos degenerativos do ambiente natural e da sociedade. Enfatiza, assim, a urgência de inserções tecnogênicas compatíveis com as potencialidades dos recursos naturais e com a fragilidade dos sistemas ambientais.

Em uma perspectiva distinta, Cavalheiro busca aplicar os conceitos de paisagem em sistemas urbanos, dedica-se ao estudo de áreas verdes nas cidades, objetivando maior equilíbrio no sistema e aumento de qualidade de vida das pessoas.

Para Cavalheiro (1999) uma área verde deve cumprir três funções principais: ecológica, estética e recreativa, acrescentando que:

[...] considera-se função ecológica desempenhada pelas áreas verdes na cidade, a estabilização de determinadas superfícies, obstáculo contra o vento, proteção da qualidade da água, filtração do ar, equilíbrio do índice de umidade, redução dos ruídos, suporte para a fauna, etc. A função estética relaciona-se com a diversidade de emoções e sentimentos que a área verde suscita (CAVALHEIRO, 1999).

Cavalheiro foi um entusiasta dos estudos de paisagem no Brasil, segundo Nucci (2009), num momento em que análises isoladas predominavam nos estudos paisagísticos brasileiros, Cavalheiro acreditava que o planejamento da paisagem poderia ser considerado como uma possível base teórica para uma visão mais integradora das questões naturais, econômicas, sociais e culturais.

Monteiro (1978) afirma que nossa tradição em realizar pesquisas em equipe, é muito reduzida, especialmente aquelas que se projetam multidisciplinarmente. Monteiro relata que uma tentativa de se romper essas barreiras, que atravancam os estudos no campo das preocupações ambientais, aconteceu no I Fórum de Debates sobre Ecologia da Paisagem e Planejamento Ambiental, realizado em Rio Claro, São Paulo, em junho de 2000, presidido por Felisberto Cavalheiro.

4.5 O conceito de paisagem: abordagem ecológica

Segundo Rougerie (1991), na abordagem americana, a obra fundadora da *landscape ecology* é do arquiteto McHarg (1969), *Design With Nature*, onde a paisagem é incorporada ao procedimento de planificação ecológica. No entanto, foram os pesquisadores Forman e Godron, na obra *Landscape Ecology* (1986), que alcançaram maior repercussão com os conceitos e procedimentos para a análise da paisagem nessa vertente. No Brasil, o pesquisador que primeiro se destacou ao desenvolver estudos com a influência da escola americana foi Jean Paul Metzger².

McHarg (1969) torna-se a primeira referência com viés de planejamento a apresentar uma abordagem sistêmica de análise da paisagem.

McHarg prioriza a ideia de equidade entre campo e cidade, buscando sempre uma integração entre ambas. Sua principal contribuição diz respeito à proposição de uma técnica, cuja ideia de aptidão do uso da terra e respeito aos limites naturais é a prioridade norteadora de intervenções na paisagem.

A técnica proposta por McHarg (1969) pode sinteticamente ser descrita em três etapas: 1) diagnóstico e inventário a partir de análise dos fatores físicos e ecológicos da paisagem em estudo, como elementos fisiográficos, geológicos, características do solo, hidrografia, refúgios para vida silvestre, marcos históricos e uso e ocupação atual da terra; 2) tabulação e cartografia dos dados geoecológicos; e 3) avaliação e síntese através da sobreposição de cartas e a elaboração da matriz de aptidões para os diferentes usos da terra (recreacional, lazer, conservação, agrícola, industrial, residencial e outras).

Para Zonneveld (1990), a ecologia da paisagem na abordagem ecológica é uma ciência emergente, com caráter complexo e conteúdo heterogêneo, mas com um claro suporte científico e filosófico. Destaca que o objeto de estudo da ecologia de paisagem é a terra ou a paisagem, sua forma, função e gênese. Segundo o autor os ecólogos da paisagem se preocupam com a paisagem em três pontos de vista que não podem ser completamente separados:

² Jean Paul Metzger é Prof. Dr. do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo.

O primeiro é o aspecto visual da paisagem, o cenário da paisagem, o mais comum e mais antigo significado da paisagem, importante fonte de diagnóstico da terra; o segundo é o aspecto corológico, um conglomerado de atributos ou padrões da terra, rochas, relevo, solos, tipos de vegetação, que, no entanto, é observado somente pelos padrões horizontais; o terceiro aspecto é a visão da paisagem como ecossistema.

O ecossistema inclui os dois primeiros aspectos e expressa o sistema aberto da superfície da Terra, formado por todos os fatores que nele atuam. Estes fatores geram complexos tridimensionais que podem ser reconhecidas visualmente como padrões horizontais de elementos mutuamente relacionados – *land units* - unidades da terra e, verticais, estratos mutuamente relacionados – *land attributes* – atributos da terra (Figura 9).

Figura 9 – Heterogeneidades da paisagem para Zonneveld. Heterogeneidade vertical expressa pelos *land attributes* (atributos da terra) e horizontal pelas *land units* (unidades da terra). Fonte: Zonneveld (1990).

A ecologia da paisagem possui uma visão holística, sendo a heterogeneidade, tanto horizontal, quanto vertical, seu maior objeto de estudo.

A heterogeneidade é também um ponto chave para Forman e Godron que definem a paisagem como “uma área heterogênea composta por conjuntos interativos de ecossistemas”, abrangendo a questão do espaço, e das trocas entre ecossistemas. Por

consequência entendem a ecologia de paisagem como o “estudo da estrutura, função e dinâmica em uma área heterogênea composta de ecossistemas interativos” (FORMAN; GODRON, 1986).

A estrutura é definida como a relação espacial entre os “elementos” de uma paisagem, chamados de unidades de paisagem, estabelecidas a partir da distribuição de energia, matéria, espécies, tamanhos, formas e tipologias e configurações dos ecossistemas.

A estrutura da paisagem pode ser determinada em sua forma mais ampla pela compartimentação numa tipologia muito simples: matriz, manchas e corredores. Sendo:

- Mancha: área homogênea, restrita e não-linear da paisagem que se distingue das unidades vizinhas. É a unidade mínima definida, a menor unidade espacial visível na escala escolhida – outros autores definem esta unidade mínima como geótopo, biótopo, ecótopo, fisiótopo, célula de paisagem, etc.
- Corredor: área homogênea e linear da paisagem que se distingue das unidades vizinhas.
- Matriz: unidade dominante da paisagem (espacial e funcionalmente) ou conjunto de unidades de não-habitat.

A função pode ser definida pelas interações entre os compartimentos espaciais (matriz, manchas e corredores) no que se refere aos fluxos de energia, matéria e espécies, diferenciando as paisagens entre si, estando tais interações intimamente ligadas à heterogeneidade e ao regime de perturbações de uma paisagem.

A dinâmica se refere às alterações da estrutura e função de uma paisagem em relação à escala temporal, assim como a capacidade da paisagem em manter-se estável ou ceder a tais perturbações, sendo que cada elemento de paisagem possui diferentes graus de resistência que se relacionam com a estabilidade do sistema físico, a capacidade de regeneração das comunidades biológicas e da resistência destas às perturbações.

Também Urban (et al. 1987), afirma que a paisagem terrestre é um mosaico heterogêneo de formas da terra, tipos de vegetação e usos da terra. Para o autor, o estudo da paisagem – seu padrão espacial e desenvolvimento – emerge como uma nova disciplina no campo da ecologia. (FORMAN; GODRON, 1986; NAVEH; LIEBERMAN, 1984).

Para Urban, a ecologia da paisagem é motivada pela necessidade de entender o desenvolvimento e dinâmica de padrões em fenômenos ecológicos, o papel do distúrbio em ecossistemas e escalas características de espaço e tempo de eventos ecológicos.

Turner (2001) ressalta que a ecologia de paisagens enfatiza amplas escalas espaciais e os efeitos ecológicos do padrão espacial dos ecossistemas. Especificamente considera: o desenvolvimento e dinâmica da heterogeneidade espacial; as interações e trocas entre paisagens heterogêneas; e a influência da heterogeneidade espacial nos processos bióticos e abióticos.

No entendimento de Turner, paisagens podem ser observadas por muitos pontos de vista, e os processos ecológicos na paisagem podem ser estudados em diferentes escalas de espaço e tempo. Simplificadamente, a paisagem pode ser considerada uma área espacial heterogênea.

Turner (op. cit.) acrescenta que a ecologia da paisagem explicitamente aborda a importância da configuração espacial para os processos ecológicos, ou seja, como os elementos da paisagem estão organizados. Segundo a autora, a ecologia da paisagem oferece novos conceitos, teorias e métodos que estão revelando a importância da padronização espacial sobre a dinâmica dos ecossistemas.

Para Metzger (2001) as definições de paisagem mostram diferentes interesses. Estando de um lado, uma ecologia de paisagem humana (geográfica), centrada nas integrações do homem com seu ambiente, onde a paisagem é vista como o fruto da integração da sociedade com a natureza. E de outro lado, uma ecologia espacial de paisagens (ecológica), particularmente preocupada com a compreensão das consequências do padrão espacial nos processos ecológicos. Para o autor as duas abordagens apresentam conceitos e definições distintas e por vezes conflitantes, que dificultam a concepção de um arcabouço teórico comum.

Pensando em uma conceituação mais abrangente e integradora das diferentes abordagens, Metzger propõe que a paisagem seja definida como “um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo esta heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador e numa determinada escala de observação” (METZGER, 2001).

4.6 A estrutura da paisagem: abordagem geográfica

Em uma revisão sobre o conceito de geografia, Moraes (2007) comenta que alguns autores irão defini-la como o estudo da paisagem, esta, vista como uma associação de múltiplos fenômenos, caracterizando a geografia como uma ciência de síntese. Outra definição da Geografia é a ciência que estuda a diferenciação de áreas, as regularidades de suas distribuições e das inter-relações.

Para Troll (1950) uma visão holística da paisagem resulta em duas consequências metodológicas para a geografia: a primeira lida com um método de classificação da paisagem e a segunda com a representação gráfica.

Segundo Troll (op. cit.), por um longo tempo houve tentativas de classificar zonas de paisagens da Terra, seja pelo delineamento da distribuição espacial dos elementos individuais da paisagem, tornando as suas sobreposições em limites fronteirios ou sintetizando essas áreas de sobreposições em cinturões marginais.

A percepção da paisagem como um todo sugere uma abordagem mais intuitiva para lidar com a ideia e caráter de uma ou mais paisagens vizinhas, observando os fatores essenciais da paisagem e suas inter-relações, e definindo fronteiras mais específicas dessa visão mais geral.

Segundo Mikessel (1972), a identificação, descrição e interpretação de paisagens tem sido uma grande jornada geográfica. Solnetsev (1948) destaca que o fenômeno da paisagem consistindo em diversas partes é um tema notado e discutido há muito pelos geógrafos.

Ao resgatarmos um texto do início do século passado, notamos a antiga preocupação com a divisão e posterior interação entre elementos da paisagem. Para Berg (1915) a divisão da superfície da Terra, ou suas partes, em regiões, baseada em seus atributos naturais é uma grande tarefa para os geógrafos. Segundo o autor, usualmente os autores descrevem formas do relevo, clima, flora, fauna e população das áreas investigadas, mas não integram os resultados obtidos em uma unidade; a interação dos vários fatores não é analisada e a imagem geral das paisagens naturais permanece desfocada.

Berg (1915), inicialmente nomeou tais partes como “paisagens de segunda ordem”. Em seguida, propõem o termo “*facies*” para essas partes da paisagem. O autor propõe então o termo “*urotshistshe*” no lugar de paisagem, alteração que foi pouco aceita.

Para Solnetsev (1948), a paisagem geográfica representa em si, as recorrentes combinações inter-relacionadas de poucas ou muitas *urotshistshes* geográficas. Para o autor as *urotshistshes* geográficas são construídas das fácies geográficas que são sistematicamente localizadas com transições graduais entre elas. Assim, para Solnetsev, a paisagem evidentemente possui uma clara estrutura.

Para Troll (1950), a tarefa inicial da geografia no estudo da paisagem é definir as fronteiras geográficas e as características das paisagens da Terra. O autor ressalta que observar a estrutura interna da paisagem nos permite entender que temos que reconhecer as características gerais da paisagem geográfica, não somente o indivíduo da paisagem ou o ecótopo e que somente com uma perspectiva holística é possível compreender um ecótopo inteiramente.

De acordo com Troll (op.cit), dentro do processo de apreensão da paisagem, podem-se criar os chamados “modelos da paisagem”, onde tipos de paisagens são organizados a partir da comparação delas individualmente e de acordo com suas características ou suas feições dominantes, sendo os critérios para organização das tipologias dependentes da perspectiva do observador da paisagem. Por exemplo, tipos de paisagem do relevo que consideram apenas critérios físicos, como feições geomorfológicas enquanto o clima e a vegetação assim como as mudanças causadas por interferências culturais não são considerados. De outro modo, paisagens como pasto, agricultura, indústria, mineração, excluem as fundações naturais da paisagem.

Desse modo Troll antevê uma problemática atual nos estudos de paisagem, os diferentes tipos de estrutura da paisagem dependendo do critério adotado para a sua apreensão.

Estrutura, hierarquia e classificação da paisagem

Para Grigoryev (1968), os estratos geográficos, podem ser diferenciados em regiões naturais caracterizadas por feições específicas que evoluem dependendo da localização

na Terra. As maiores regiões naturais básicas seriam as “zonas”, “setores” e “áreas”. Sendo as zonas divididas basicamente por diferenças de radiação na superfície da Terra.

Depois do aspecto climático, Troll (1950) esclarece outro fator de diferenciação se dará levando em conta a estrutura, o relevo, o solo e a hidrologia. Dá o exemplo das altas montanhas da Escandinávia e os Montes Urais, ambos podendo ser distinguidos em diferentes partes, revelando o caráter das zonas horizontais da paisagem em adição a sua gradação vertical, que reflete uma estrutura tridimensional das paisagens da Terra.

Ab’Sáber (1971), utilizando as diferenciações do clima, relevo e tipos de vegetação propõe uma divisão dos domínios morfoclimáticos do Brasil reconhecendo seis grandes domínios paisagísticos e macroecológicos em nosso país (Figura 10). Quatro deles são intertropicais, ocupando uma área de mais de 7,5 milhões de quilômetros quadrados, e dois outros, sensivelmente menores, dizem respeito às terras subtropicais brasileiras, totalizando pouco mais de 500 mil quilômetros quadrados de área.

Cada um dos grandes domínios paisagísticos, definidos inicialmente pelos principais quadros de vegetação e por feições morfoclimáticas de grande extensão e generalidade, apresenta padrões de paisagens de caráter sub-regional e eventuais “enclaves” de paisagens exóticas, sob a forma de recorrência de paisagens vegetais relacionadas a outros domínios de paisagem vegetal. Por outro lado, o autor ressalta que existem evidências paleontológicas e paleobotânicas que sugerem que, nem sempre, no decorrer do Quaternário, tais domínios paisagísticos tiveram as mesmas feições e a mesma distribuição do que aquela apresentada ao início da colonização portuguesa no Brasil.

Resumidamente, os domínios macropaisagísticos e macroecológicos do país, classificados por Ab’Sáber (1971), são: 1. Domínio de terras baixas florestadas da Amazônia; 2. Domínio das depressões interplanálticas semiáridas do Nordeste; 3. Domínio dos “mares de morros” florestados; 4. Domínio dos chapadões recobertos por cerrados e penetrados por florestas- galerias; 5. O domínio dos planaltos das Araucárias; e 6. O domínio das pradarias mistas do Sudeste do Rio Grande do Sul.

Figura 10. Domínios morfoclimáticos brasileiros. Fonte Aziz Ab'Sáber, 1971.

De um outro modo, pesquisadores geossistêmicos também se preocuparam em definir e representar os diferentes sistemas na paisagem.

Segundo Sotchava (1978), sistematizar o parcelamento do meio natural é um requisito indispensável à solução de muitos problemas geográficos, tais como a elaboração de cartas de paisagens. Entende que a classificação dos geossistemas, no nível da paisagem, é uma discussão de importância primordial.

Para Sotchava (1977) deve existir uma hierarquia na construção dos geossistemas. O autor entende que tanto a área elementar da superfície da Terra, quanto o geossistema planetário, ou as subdivisões intermediárias do meio natural, representam (separadamente ou em conjunto) uma unidade dinâmica, com uma organização geográfica a ela inerente e que se manifesta no espaço. De acordo com Sotchava, um

geossistema não se subdivide ilimitadamente, estando as suas unidades espaciais na dependência da organização geográfica.

Existe uma noção de que não é a extensão territorial de representação dos fenômenos que irá determinar os níveis hierárquicos, mais sim a sua homogeneidade e heterogeneidade, assim, Sotchava propõe um sistema de classificação baseado em um princípio bilateral, ou dual, do geossistema, no qual são analisados dois tipos de unidades da paisagem, o “geômero” e o “geócoro”: o primeiro, representando a estrutura homogênea de um geossistema e o segundo, representando a estrutura heterogênea e as qualidades integrativas do geossistema (SOTCHAVA, 1977).

Os geômeros e os géócoros possuem uma variação de ordem dimensional que vai do nível topológico, passando pelo regional até o nível planetário, cada uma apresenta uma escala e uma dinâmica particular de análise, mas que, ao mesmo tempo, interagem. (Figura 11).

GEÔMEROS	EPIGEOSFERA		GEÓCOROS
Série de tipos de meios ambientes naturais (séries de paisagens)	UNIDADES DITAS TAXONÔMICAS	Planetária	Áreas físico-geográficas
Tipos de meios ambientes naturais (tipos de paisagens)			Grupos de regiões
Classes de geomas			Divisões continentais
Subclasses de geomas		Regional	Regiões físico-geográficas zonais ou altitudinais
Grupo de Geomas			Grupo de províncias ou zona natural
Subgrupo de geomas			Províncias ou subzona
		Cartografia 1/1.000.000	Províncias
Geomas (Landschaft) (ligados aos tipos de relevos)	UNIDADES DITAS MORFOLÓGICAS	Unidades	Mácrogeócoros (grupo de sítios, alguns Ha)
Classes de fácies (mesnost) associação ligadas a um relevo		inferiores	Topogeócoros
Grupo de fácies (Ourotchitche) associação ligada a uma forma topográfica elementar		paisagem	Mesogeócoros (grupo de sítios, alguns Ha)
Fácies (combinação tipológica primária)		ou	Microgeócoros
Fácies elementar, fácies individual, homogêneo se for biogeocenose		topológicas	Espaço elementar (heterogêneo se for cadeia de biogeocenoses)
TAXONOMIA			CRONOLOGIA

Figura 11 – Divisão taxonômica do geossistema. Fonte: Christofletti (1999) adaptado de Sotchava (1978).

Sotchava (1978) ressalta que a classificação do geossistema segue o princípio da homogeneidade. As áreas homogêneas similares irão se unir, formando as classes superiores como fácies, grupo e classe de fácies, geoma, etc., até formarem em sua totalidade a fileira dos geômeros.

Para Sotchava (1977) a avaliação da homogeneização em diferentes graus de precisão pode se basear em estudos experimentais e observações visuais, subsidiando assim a classificação do Geossistema. Destaca que apenas os estudos experimentais e as observações visuais não classificam o Geossistema de forma absoluta, sendo necessária a realização de adaptações e aperfeiçoamentos.

Existem algumas críticas ao modelo taxonômico proposto por Sotchava, sobretudo pela ausência de precisão na definição das escalas e limites, sendo que de forma geral, torna-se difícil a visualização de sua aplicação.

Uma tentativa pioneira de classificar taxinômicamente a representação dos fatos geomórficos foi proposta por Cailleux e Tricart (1956). O trabalho dos autores marca uma tentativa inicial de utilização de uma escala espaço-temporal para fundamentar as pesquisas geomorfológicas. Os autores combinam critérios espaciais e temporais, obtendo uma classificação taxonômica das formas do relevo, baseada num princípio dinâmico e outro dimensional.

Tricart (1977) considera que a combinação entre taxonomia e espaço dá o toque geográfico do estudo integrado. Para o autor a taxonomia e espaço são o recurso teórico metodológico básico que permite visualizar a permanência e durabilidade do grau de participação dos níveis de paisagem como um traço necessário da escala geográfica do meio (MOREIRA, 2009).

Segundo Tricart (op. cit), cada unidade de paisagem é um *táxon* (“uma unidade sistemática, integrada numa classificação integrada”) e um *chore* (“uma porção do espaço bem definida”). Dois princípios se destacam nessa característica: a corologia e a dialética. Por um lado, “a ciência da paisagem é, em princípio, uma corologia, mais do que uma simples soma de diversos elementos que se reúnem”. Por outro lado, “cada

área obedece a uma dialética de homogeneidade/heterogeneidade” cuja expressão é a paisagem como um complexo.

Assim, semelhante ao pensamento adotado por Sotchava (1978), Tricart (1977) acredita que a homogeneidade e a heterogeneidade são dois princípios básicos da constituição da paisagem que identificam o tipo de meio geográfico.

Pelo princípio da homogeneidade, a paisagem é uma unidade do diverso vista a partir dos elementos comuns e observáveis na sua fisionomia e evidenciáveis nas fotografias aéreas, sendo necessário:

[...] não somente identificar essa dinâmica, definir a sua estrutura, mas conhecer o seu grau de coesão, e assim chegar à originalidade da combinação de seus elementos compósitos e ao grau de coesão de que dependem a sua extensão territorial e a sua permanência no tempo. (TRICART, 1977).

Já pelo princípio da heterogeneidade, a paisagem é uma combinação de mais de um indivíduo, reunindo nessa diversidade distintos elementos que em escala grande são presentes e visíveis em escala pequena são invisíveis e desaparecem, homogeneizando-se na generalidade. A heterogeneidade prevalece na escala grande e a homogeneidade, na escala pequena; a heterogeneidade tem existência empírica e a homogeneidade é “sempre fruto de uma certa abstração” (TRICART, 1977).

Para Bertrand (1972), a delimitação da paisagem deve ser feita seguindo um conjunto de preceitos: a paisagem não deve ser considerada como um fim em si, mas somente um meio de aproximação em relação com a realidade geográfica; deve-se evitar a determinação de unidades sintéticas a partir das unidades elementares; por último, o sistema taxonômico deve permitir classificar as paisagens em função do tempo e do espaço.

É possível identificar na proposta de hierarquia e divisão taxonômica do geossistema de Bertrand o critério da escala de perspectiva espaço-temporal de Cailleux e Tricart (1956), classificando os elementos da paisagem em unidades superiores - zona, domínio e região - e inferiores - geossistema, geofácies e geótopo (Figura 12).

Unidade da paisagem	Escala espaço-temporal (CAILLEUX; TRICART)	Exemplo tomado numa mesma série de paisagens	Relevo	Elementos fundamen- tais
Zona	G. I (*) + de 1.000.000 km ²	Intertropical	-	Climáticos e estruturais
Domínio	G. II 100.000 a 1000.000 mm ²	Das caatingas semi-áridas	Domínio estrutural	
Região natural	G. III-IV 1000 a 100000 km ²	Litoral do Nordeste brasilei- ro ou depressão sertaneja	Região estrutural	
Geossistema	G. IV-V ±10 a 1 km ²	Planície litorânea de Fortale- za ou depressão sertaneja de Baturité	Unidade estrutural	Biogeográ- ficos e antrópicos
Geofácies	G. VI	Planície flúvio-marinha do Rio Ceará	-	
Geótopo	G. VII	Salina desativada, encostas, ravinas ou outros elementos bem particulares	-	

Figura 12 – Sistema taxonômico de classificação da paisagem de Bertrand. Fonte: Bertrand (1972).

Nas unidades superiores: a zona é definida principalmente pela zonalidade climática e pelas estruturas geológicas; o domínio é uma subdivisão dentro de uma zona dominante, também delimitado por uma unidade climática; e a região natural é uma subdivisão bem delimitada dentro do domínio, pode ser definida por uma sucessão repetida de geossistemas e ser determinada pelas morfoestruturas, um exemplo é uma sequência de bacias fluviais.

Segundo Rodrigues (2001), as unidades inferiores representam uma escala mais compatível com a escala humana: o geossistema é definido como unidade homogênea, possui uma dimensão que varia de dezenas a centenas de quilômetros e, com frequência, articula-se aos topoclimas, um exemplo é um vale com suas vertentes e terraços; o geofácies é delimitado pela diferenciação do tipo de fisionomia, tem uma dimensão de hectômetros a alguns quilômetros, um exemplo é uma sequência de solos; e o geótopo é a menor unidade identificável, tem uma dimensão de alguns metros, articula-se ao biótopo e à comunidade da biocenose, um exemplo é um rochedo residual (Bertrand, 1972).

Bertrand, ao criar um sistema taxonômico completo, abrangendo o que se percebe na paisagem em todos os níveis de interação entre os elementos que a compõem e em diversas escalas, contribui para uma noção de integração de processos. No entanto, o seu sistema traz certa incerteza nas definições dos táxons e também em suas escalas,

tornando difícil a sua aplicação de forma sistemática, fato que o próprio autor previu, ressaltando que: “todas as delimitações geográficas são arbitrárias e é impossível achar um sistema geral do espaço que respeite os limites próprios para cada ordem de fenômenos” (Bertrand, 1972).

Segundo Ross (2006), nesse esforço inicial de Bertrand para definir, caracterizar e classificar as unidades de paisagens e, por conseguinte, os geossistemas, surgiu uma certa confusão, pois o geossistema passou a constituir uma unidade de paisagem homogênea com dinâmica própria e, ao mesmo tempo, nível taxonômico. Ross destaca que essa tentativa resultou da mistura de conceitos que não estavam na época suficientemente amadurecidos e influenciou a Geografia brasileira em um caminho não muito adequado, pois se difundiu a concepção de que o geossistema, como categoria de análise, era também um nível de classificação dentro de um conjunto de seis táxons.

Ross (2006) salienta ainda que tentar aplicar tal proposição e, ao mesmo tempo, representá-la cartograficamente, resultava em grandes dificuldades para estabelecer o que de fato poderia ser um geossistema, uma geofácies ou um geótopo, ou, dependendo da escala de representação, podia-se confundir geossistema com domínio, região natural, e assim por diante. Segundo o autor, torna-se mais evidente para Bertrand defender que “a solução mais fácil consiste em designar o geossistema pela vegetação correspondente, que representa muitas vezes a melhor síntese do meio”, sendo a vegetação um suporte para a identificação dos geossistemas.

Ross (1994), com base no conceito de unidades ecodinâmicas estáveis e instáveis de Tricart (1977), propõe uma classificação da paisagem para a avaliação da fragilidade da paisagem com foco no planejamento territorial ambiental.

Segundo Ross (1994), a análise empírica da fragilidade exige estudos básicos do relevo, do sub-solo, do solo, do uso da terra e do clima, assim como produtos cartográficos temáticos de geomorfologia, geologia, pedologia, climatologia, uso da terra e vegetação. A base para a análise é a carta geomorfológica, com uma diferenciação genética das formas de relevo, proposta por Ross em 1990. O autor ressaltava que para análises em escalas médias e pequenas do tipo 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000, utiliza-se como base de informação um índice de dissecação do relevo, porém, quando a

análise é de maior detalhe, como escalas de 1:25.000, 1:10.000 ou até 1:2.000, utiliza-se formas de relevo e classes de declividade.

Tendo como base a carta geomorfológica, as outras variáveis – geologia, solos, uso e vegetação – são combinadas em uma sequência específica (Figura 13), formando as unidades ecodinâmicas, classificadas a partir dos índices resultantes como estáveis ou instáveis.

Figura 13 – Etapas para a elaboração da carta de fragilidade de Ross. Fonte: Rosa e Ross (1999).

Unidades mínimas da paisagem

Troll acredita que quanto menor a estrutura analisada maior a importância relativa dos solos em oposição às feições climáticas, pois o solo cria fronteiras abruptas, enquanto o clima possui transições mais graduais. Assim, levanta a questão: “até que ponto uma distinção geográfica do espaço pode e deve ir? Qual é a menor dimensão da paisagem geográfica?” (TROLL, 1950).

Desde 1945 Troll utiliza o termo ecótopo para estas menores entidades espaciais, ou elementos da paisagem geográfica, ecótopos refletem a distribuição das forças

sucessionais em mudança contínua das paisagens e territórios, possuem também alta relevância prática, como nas ciências florestais e do solo.

Segundo Sotchava (1978), a área homogênea elementar da paisagem é “geômero elementar” ou “biogeocenose”. Par o autor, o menor número de parcelas de combinações territoriais de áreas elementares, constitui o geócoro elementar ou área de “diferenciação elementar”.

A definição da “unidade elementar da paisagem” é um problema largamente discutido por Delpoux, pois, segundo o autor, não existem frações completamente homogêneas na superfície terrestre que possam configurar um padrão conciso elementar de combinação entre os caracteres de cada elemento natural. Assim é possível definir a paisagem como a “entidade espacial correspondente à soma de um tipo geomorfológico e de uma cobertura” (DELPOUX, 1974). No sentido mais amplo deste termo, desde as áreas florestais às aglomerações urbanas e zonas industriais, passando por culturas ou superfícies aquáticas.

4.7 A estrutura da paisagem: abordagem ecológica

Para Lindenmayer e Hobbs (2007) a classificação da paisagem é uma tarefa crucial. A definição, caracterização e classificação pode ter grande efeito em uma gama de decisões ligadas ao manejo e conservação da mesma.

No entanto, apesar da importância, os autores reconhecem que continua a ser uma difícil tarefa. Elencam alguns motivos como: a complexidade, a variedade, a dinâmica, a relação única com espécies, padrões e processos multi-escalares e limites graduais da paisagem.

Segundo Lindenmayer e Fisher (2007) uma gama de modelos conceituais tem sido usada para a caracterização da paisagem. Para os autores, o tipo de modelo utilizado é importante, pois pode ter uma forte influência no entendimento das respostas bióticas às mudanças na paisagem e nas possíveis recomendações para a sua conservação. Destacam três modelos frequentemente utilizados: 1) o “modelo de ilhas”; 2) o “modelo

mancha-corredor-matriz”, e 3) o “modelo variegado”. Nesta revisão abordaremos os dois primeiros modelos.

O modelo de ilhas

Para Lindenmayer e Fisher (2007) existe uma premissa no modelo de ilhas, na qual remanescentes florestais isolados por um ambiente altamente modificado poderiam ser análogos às ilhas oceânicas cercadas pelo oceano. A relação entre o número de espécie em ilhas, isolamento e área, foi estudada pela Teoria do Equilíbrio da Biogeografia Insular - TEBI - (MACARTHUR; WILSON, 1967).

A teoria desenvolvida por MacArthur e Wilson (1967) tinha o propósito de explicar dois padrões gerais na biogeografia de ilhas, bem conhecidos por biogeógrafos desde 1800 (BROW; LOMOLINO, 2006): a tendência do número de espécies aumentar com a área da ilha e diminuir com o isolamento. A inovação dos autores foi reconhecer os temas comuns que estavam por trás dessas observações – a relação de equilíbrio dinâmico – e propor uma só teoria unificadora para explicá-los.

A teoria enuncia que “o número de espécies chegará ao equilíbrio quando a extinção for balanceada pela imigração”, ou seja, o número de espécies chegará a um ponto “ideal” para aquela ilha quando houver um equilíbrio entre as espécies que chegam à ilha (taxa de imigração) e as espécies que já estão colonizando a ilha e irão perder espaço para essas novas espécies (taxa de extinção), formando uma comunidade estável em número, “em equilíbrio”, mas dinâmica na composição, pois existe uma taxa constante de renovação de espécies que chegam e ocupam o nicho de outras.

De acordo com a Teoria Biogeográfica de Ilhas (MACARTHUR; WILSON, 1967), existe uma relação direta entre a área de uma ilha e o número de espécies presentes. Essa relação é expressa pela fórmula $S=CA^z$ em que “S” é o número de espécies, “A” é o tamanho da área, “C” e “z” são parâmetros que dependem, entre outros fatores, do grupo taxonômico considerado e da região biogeográfica.

Hipóteses para explicar o efeito espécie-área são citadas por Schafer (1990): a primeira diz que o número de espécies deve aumentar com a área porque normalmente áreas maiores contêm mais habitats; a segunda que, em áreas maiores, as populações de cada

espécie também são maiores, diminuindo a chance de serem extintas; a terceira, que cada local contém apenas uma porção de uma comunidade maior e, quanto menor é esse local, espera-se encontrar menos indivíduos, já que representa uma amostra menor da comunidade.

Segundo Ditt (2002), em fragmentos florestais a população de determinadas espécies pode atingir um tamanho tão pequeno a ponto de comprometer o seu vigor e potencial de adaptação evolutiva, com uma população mínima inviável para a conservação da espécie.

Forman (1995) afirma, no entanto, que não existe consenso sobre as vantagens, para a conservação, de muitas áreas pequenas ou poucas grandes, discussão conhecida como *“single large or several small”* (SLOSS). Essa discussão desdobrou-se em variáveis importantes que são utilizadas nas métricas de ecologia de paisagem, como a conhecemos.

Já sobre a relação espécie-isolamento, McCullough (1996) sugere que considerar o isolamento é de fundamental importância no estudo de populações de mesma espécie distribuídas em diferentes habitats separados, pois é fator que limita diretamente a capacidade de movimentação desses organismos. Forman (op. cit) destaca a importância de se considerar, nos estudos sobre tamanho e isolamento, as relações fonte-dreno, ou seja, áreas que são fontes de indivíduos dispersores e áreas que recebem estes indivíduos.

No entanto, Brown e Lomolino (2006) destacam alguns pontos fracos da teoria, como: o pouco conhecimento sobre as formas precisas das curvas de extinção e de imigração, que dificulta as previsões numéricas; o fato de que o modelo não considera a identidade e as características das espécies e o problema das áreas relativas – ilhas montanhosas podem ser muito diferentes em número de habitat em relação a ilhas planas; entre outros.

Segundo Lindenmayer e Fisher (2007), diversos autores destacam que o modelo de ilhas falha como um modelo de dinâmica da paisagem, pois: áreas entre fragmentos florestais raramente são consideradas “não-habitat” para todas as espécies; e importantes

interações entre remanescentes vegetais e a paisagem ao redor simplesmente não são consideradas.

Apesar dos problemas, segundo Whittaker (1998), a teoria proposta por MacArthur e Wilson (1967) gerou uma enorme literatura com implicações teóricas e desdobramentos para a conservação, como o desenho de corredores, a seleção de áreas prioritárias para conservação e a noção de limiares da estrutura da paisagem dados pela porcentagem de vegetação (LINDENMAYER; FISHER, 2007).

O modelo mancha-corredor-matriz

No modelo desenvolvido por Forman (1995), segundo Lindenmayer e Fisher (2007), a paisagem é concebida como um mosaico formado por três componentes: a mancha o corredor e a matriz. O modelo privilegia a composição geográfica da paisagem, seus diferentes componentes e diferentes características, formas e funções.

Segundo Forman e Godron (1986) as manchas são feições estruturais proeminentes e onipresentes na paisagem. A origem das manchas é variada, podendo ser por distúrbios naturais, por uma heterogeneidade dos recursos ambientais ou pela ação antrópica. Existem cinco tipos de manchas distinguíveis com base em suas diferentes origens: manchas de distúrbio; manchas remanescentes, manchas de recursos ambientais, manchas plantadas e habitações.

O tamanho da mancha é a variável da paisagem que mais afeta a produção de biomassa e o estoque de nutrientes por unidade de área, assim como composição e diversidade de espécies.

Os corredores são gerados pelos mesmos mecanismos das manchas. Uma característica chave dos corredores é a conectividade. Pontos “nós” contendo espécies de interior estão comumente ligadas a corredores, formando uma estrutura peculiar (FORMAN; GODRON, 1986).

Corredores estreitos são compostos basicamente por espécies de borda. A largura do corredor exerce um forte controle sobre as espécies. Corredores formados por matas ciliares regulam o fluxo de água e sedimentos. A largura desse tipo de corredor pode

influenciar no controle da erosão, perda de nutrientes e a qualidade da água, além de ser um ponto chave para a movimentação de espécies terrestres.

A paisagem é composta por muitos tipos de elementos, destes, a matriz é o mais extenso e melhor conectado, sendo assim, possui um papel dominante no funcionamento da paisagem (fluxo de energia, matéria e espécies).

Segundo Forman e Godron (1986) o elemento predominante em área é considerado a matriz, caso nenhum elemento seja predominante em área, o grau de conectividade, junto à área predominante, determina a matriz.

A matriz pode variar muito em seu nível de “porosidade”, refletindo no seu grau de conectividade. A forma da matriz pode dar indicativos dos tipos de processos que estão ocorrendo, expansão ou contração dos elementos da paisagem. O papel de “rede” na paisagem tem a sua estrutura determinada na maioria das vezes por influência antrópica, com exceção dos corredores formados pela rede hidrográfica.

A heterogeneidade da matriz pode ser determinada pelo nível de resolução desejado na análise e selecionar um método de avaliação que tenha o mesmo grau de refinamento.

Segundo Lindenmayer e Fisher (2007), o modelo mancha-corredor-matriz tem sido amplamente adotado na biologia da conservação. O modelo ajuda gestores e pesquisadores a traduzir suas ideias em um contexto espacial. No entanto o modelo mancha-corredor-matriz também contém muitas simplificações, como por exemplo: não lida com espaços contínuos; e assume que uma única classificação do padrão da paisagem pode funcionar para todas as espécies. Assim, “padrões de cobertura da paisagem observados do ponto de vista humano podem não prover o melhor enquadramento para interpretar as respostas bióticas às condições da paisagem” (MANNING et al., 2004 apud LINDEMAYER; FISHER, 2007).

Lindenmayer e Hobbs (2007) afirmam que o modelo padrão para a classificação de paisagens tem sido o modelo de ilhas, usado por pesquisadores e gestores, particularmente em paisagens sujeitas a modificações humanas (na maioria, estudos de fragmentação). Modelos simples como o modelo de ilhas representam a paisagem em um amplo contexto binomial “habitat” e “não-habitat”. Esta simplicidade é então

prontamente transferida para mapas de vegetação. Segundo os autores, muitos pesquisadores salientam a limitação de tal modelo de classificação e os mapas resultantes.

Segundo Metzger (2001), a estrutura da paisagem pode e deve ser quantificada com precisão para estabelecer a relação entre padrões espaciais e processos. Uma das formas de quantificação é a utilização das chamadas “métricas de paisagem” ou “índices da paisagem”. Lang e Blaschke (2009) sintetizam algumas das métricas mais utilizadas (Figura 14). Essas métricas são agrupadas, geralmente, em duas categorias: métricas de composição e métricas de configuração. Os parâmetros de composição geram informações sobre a riqueza das unidades e a área ocupada por elas. Os parâmetros de configuração fornecem informações sobre o arranjo das unidades na paisagem, sendo utilizadas para a avaliação da fragmentação, a partir de medidas de isolamento e conectividade.

4.8 Mudanças na Paisagem

Vimos como a delimitação e representação da estrutura da paisagem foram tópicos exaustivamente explorados tanto pela linha geográfica, quanto pela ecológica. Entretanto, a estrutura uma vez apreendida, delimitada e representada, passa a fazer parte de um momento específico de uma data na qual os elementos da paisagem se encontravam observáveis daquela forma, no momento seguinte a estrutura já pode ter sofrido alguma alteração, perceptível dependendo da escala de observação. Assim, se os processos que compõem as paisagens são dinâmicos, a paisagem igualmente é. Identificar e avaliar essas mudanças foram preocupações também foram preocupações dos pesquisadores das duas abordagens da paisagem.

Para Forman e Godron (1986), a Ecologia de Paisagens é o estudo da estrutura, dinâmica e função da paisagem, sendo a mudança a alteração do mosaico ecológico ao longo do tempo. Segundo os autores (*op. cit.*), a estrutura espacial da paisagem relaciona espécies, energia e matérias ao tamanho, forma, número, tipo e configuração de manchas, corredores e matriz.

CATEGORIA	MÉTRICA	SIGLA	INDICAÇÃO ECOLÓGICA	OBSERVAÇÕES
Mancha	Tamanho da Mancha (<i>patch size</i>)	A	Calcula o tamanho total da mancha.	Número de indivíduos e espécies é diretamente proporcional à área do habitat.
	Número de Áreas Núcleo Disjuntas (<i>Number of disjunct core area</i>)	NDCA	Avalia o índice de retalhamento da paisagem.	Diferencia paisagens com a mesma porcentagem de habitat.
	Tamanho Médio das Manchas (<i>Mean patch size</i>)	MPS	Mede o tamanho médio das manchas de determinada classe.	
	Número de Áreas Núcleo (<i>Number of core area</i>)	NCA	Indica o número de áreas núcleos que compõem uma mancha.	Registro de espaços interiores do habitat ecologicamente efetivo para espécies sensíveis às bordas.
	Área Núcleo (<i>Core Area</i>)	CA	Medida de área núcleo das manchas.	Registro de espaços interiores do habitat ecologicamente efetivo para espécies sensíveis ao efeito de borda.
	Janela Móvel (<i>Moving Window</i>)	MW	Representa o agrupamento por semelhança.	Torna evidentes as conexões.
Classe	Número de Manchas (<i>Number of Patches</i>)	NP	Número de manchas por classe ou o total de ocorrência na paisagem.	Grande número de manchas geralmente é equiparado com riqueza estrutural; pode indicar também retalhamento.
	Número de Áreas Núcleo Disjuntas (<i>Number of disjunct core area</i>)	NDCA	Avalia o índice de retalhamento da paisagem.	Diferencia paisagens com a mesma porcentagem de habitat.
	Proporção ou Porcentagem de Habitat (<i>Habitat Proportion</i>)	PLAND	Percentual da área de uma determinada classe na paisagem total.	Influencia na análise de habitat efetivo para determinadas espécies.
Distância	Distância ao Vizinho mais próximo (<i>Nearest neighbor distance</i>)	NNDIS T	Distância euclidiana ou linear (borda a borda) das manchas vizinhas de mesma classe.	
	Índice de Proximidade (<i>Proximity Index</i>)	PROX	Constitui-se do tamanho da mancha e da distância mais curta de borda a borda entre a mancha e seus vizinhos da mesma classe num determinado raio de busca.	Trata-se de uma medida de distância ponderada pela área.

Figura 14: Categorias de análise estrutural da paisagem: métricas relativas a manchas, classes e distâncias. FONTE: modificado de LANG e BLASCHKE (2009). Org. Ricardo Sartorello, 2014.

A ecologia da paisagem busca compreender a interação entre o padrão espacial e os processos ecológicos, como a composição e a configuração do mosaico da paisagem afetam os sistemas ecológicos e são importantes no entendimento das mudanças ao longo do tempo (Turner et al. 2001).

As mudanças na paisagem ao longo do tempo ocorrem por processos naturais e pelas modificações humanas. Segundo Lang e Blaschke (2009), as mudanças antrópicas mais graves são as que ocorrem de forma gradual, alternando sua estrutura e consequentemente a sua funcionalidade. Segundos os autores (*op. cit.*) as mudanças podem ser medidas em taxas e intensidade.

Segundo Vieira (2010), uma característica da paisagem que pode ajudar a responder sobre as mudanças temporais na estrutura e nos processos ecológicos é a heterogeneidade, conceituada como o reflexo da composição, da contextualização e do arranjo entre os componentes de uma paisagem, o que evidencia a rede de interações e a complexidade do meio (LOVETT et al. 2005).

Na observação da heterogeneidade, a paisagem é formada por um conjunto de mosaicos integrados de diferentes tipos de habitats, usos da terra e outros componentes estruturais que facilitam ou impedem o movimento da biota (WITH, 2005).

Para Vieira (2010), esses conceitos são muito importantes em planejamentos ambientais que visem identificar unidades territoriais distintas em estrutura e função em paisagens heterogêneas. No entanto, não existe um padrão de identificação de mosaicos na paisagem. O método pode variar de acordo com a abordagem adotada na interpretação da heterogeneidade estrutural da paisagem. Além disso, a dificuldade no estudo de mosaicos em territórios extensos limita a operacionalidade desse conceito (ROLDÁN MARTÍN et al.; 2003).

Lindnmayer e Hobbs (2007) destacam que os gestores de unidades de conservação devem entender melhor as mudanças da paisagem. Mantendo o potencial de recuperação após distúrbios, por meio da manutenção dos processos e fluxos que permitem a biota lidar com eventos de perturbação.

O processo espacial na transformação da paisagem.

Para Forman (1995), a transformação da paisagem é um tema importante para todos os problemas humanos que envolvem o território. Conhecimentos sobre a cobertura florestal, a economia, a conservação da biodiversidade, a agricultura, a arquitetura da paisagem, a sociologia, a biologia, a ciência do solo, etc., explicitamente lidam com a dinâmica da terra. Segundo o autor (op.cit.), a literatura sugere que existem seis maiores causas para a alteração da paisagem: o desmatamento, a urbanização, a construção de corredores viários, a desertificação, a intensificação agrícola e o reflorestamento.

Na relação da transformação da paisagem e a conservação dos ambientes e da biodiversidade, existem dois fatores marcantes no processo. O primeiro é o processo de fragmentação e o segundo é a relação da vizinhança com as áreas remanescentes, o efeito de borda.

A fragmentação de habitats é um processo de divisão de grandes áreas contínuas de biótopos em dois ou mais fragmentos, ou seja, em partes menores comparadas à área original. Segundo Forman (1986), no processo de fragmentação, muitas espécies, incluindo grandes mamíferos e aves não conseguem manter populações viáveis em pequenos habitats, causando a extinção local dessas espécies e consequente perda da biodiversidade. A transformação da paisagem tem efeitos negativos em muitos fatores ecológicos.

Os efeitos negativos da perda de habitat aplicam-se, além das medidas diretas de biodiversidade como a riqueza de espécies, a abundância e distribuição da população e diversidade genética, também as medidas indiretas e fatores que afetam a biodiversidade (FAHRIG, 2003). Além disso, a fragmentação da paisagem geralmente rompe a integridade da rede hidrográfica, alterando também a quantidade e qualidade da água.

O segundo fator de destaque é o efeito de borda. O efeito de borda é resultado da separação de duas áreas de um ecossistema por uma transição abrupta. Pode ser dividido em efeitos físicos, tais como mudança nos ventos, penetração de luz, temperatura e umidade relativa do ar; e efeitos biológicos, como a proliferação de

vegetação secundária, invasão de vegetação e animais generalistas e alteração dos processos ecológicos (LAURENCE et al., 1997).

Para Lindenmayer e Hobbs (2007), os efeitos de borda surgem tipicamente como consequência de alterações humanas de padrões espaciais de cobertura vegetal. Uma abordagem para mitigar o efeito de borda é tentar manejar os padrões espaciais da cobertura da vegetação limitando a criação de fronteiras com manchas de atividades humanas.

A magnitude de muitos tipos de efeito de borda é geralmente fortemente associada com nível de contraste na estrutura física entre os remanescentes de vegetação, reservas, e a matriz que o cerca. Estratégias de manejo devem limitar o nível de contraste entre a matriz e os remanescentes florestais, reduzindo assim os efeitos abióticos e bióticos do efeito de borda (RODRIGUEZ et al., 2002).

4.9 A função da paisagem

Ao analisarmos a estrutura da paisagem, principalmente a partir de recursos como fotografias aéreas e imagens de satélite, podemos formar uma ideia de que todos os elementos da paisagem estão parados e ali ficarão. No entanto, a paisagem natural que definimos como estrutura resultante de um sistema de interações possui um importante dinamismo.

Para Troll (1950), o geógrafo aborda a paisagem pela sua distinta fisionomia (aparência da paisagem) e suas funções. Partes individuais ou elementos da paisagem, sejam visíveis e materiais ou não, são arranjados em um certo contexto funcional. Ressalta que, caso nenhum elemento for alterado, este contexto funcional estará, geralmente, em equilíbrio. O autor destaca que devido ao fato de todos os elementos da paisagem, geofatores animados e inanimados, e atividades sociais e econômicas, estarem conectados uns aos outros, em uma relação de interdependência, uma abordagem funcional é naturalmente oportuna.

Como vimos na revisão conceitual sobre a estrutura da paisagem, a abordagem sistêmica, adotada por muitos geógrafos em seus estudos da paisagem busca relacionar elementos estruturantes da mesma. Esta relação nos sistemas se dá por meio de fluxos.

Para Christoforetti (1999) os modelos para a análise da funcionalidade dos sistemas procuram focalizar os fluxos de matéria e energia, as características dos processos atuantes e os mecanismos de retroalimentação, assim como a interação entre a morfologia e a dinâmica dos sistemas a fim de salientar o entrosamento entre padrões e processos.

Segundo Turner (1989), padrões espaciais influenciam muitos processos ecologicamente importantes, por isso, os efeitos dos padrões espaciais nos processos devem ser considerados nos estudos ecológicos, particularmente em amplas escalas, e nas decisões de manejo da paisagem. A autora destaca que ecólogos, gestores e planejadores da paisagem tem tradicionalmente ignorado as interações entre os diferentes elementos na paisagem, sendo estes elementos tratados como sistemas diferentes.

Turner (op.cit.), sugere que seja incorporada no planejamento da paisagem uma perspectiva ampla sobre as relações espaciais. A autora ainda enfatiza que a manutenção da diversidade biológica necessita de estratégias de manejo que envolvam a biogeografia regional e o conhecimento dos padrões da paisagem, além das preocupações locais.

Metzger (2003), numa perspectiva ecológica, aponta que a problemática central da ecologia de paisagem é o efeito da estrutura da paisagem (padrão espacial) nos processos ecológicos. Comenta que de modo distinto da ecologia de ecossistemas, que procura estabelecer ou analisar as relações verticais da biota com o seu ambiente, a ecologia de paisagens dá maior ênfase as relações horizontais. Para o autor, a ecologia de paisagens pode ser assim entendida como uma ecologia de interações espaciais entre as unidades da paisagem.

Bernaldez (1981) afirma que a Geografia e a Ecologia têm chamado a atenção sobre a necessidade de se estudar a natureza não de uma forma setorial, descrevendo processos

isolados, mas sim com uma visão de conjunto, uma visão sistêmica. Tanto a Geografia como a Ecologia formularam conceituações parecidas, mas em contextos diferentes: os conceitos de ecossistema e geossistema.

Segundo Bernaldez (1981) alguns dos principais processos globais dos ecossistemas e geossistemas são: a transferência de matéria de um sistema a outro, podendo possuir um caráter cíclico; a transferência de energia; e a evolução do sistema no tempo, como os processos geomorfológicos ou de auto-organização dos ecossistemas pelo processo de sucessão ecológica.

Solnetsev (1948) sistematizou algumas propriedades dos geossistemas, como a formação de mosaicos, dado pelo agrupamento de células, formando arranjos superiores; e a orientação dos elementos da paisagem, dado por conjunto de células que gera estruturas orientadas, lineares, em cadeia. Segundo o autor esses arranjos dos elementos da paisagem dão ao geossistema um aspecto vetorial. Observamos na ilustração (Figura 15) um exemplo desse aspecto vetorial no conjunto de corrente de matéria que unifica uma bacia. Na mesma figura, a diferença entre altitudes configura uma característica equipotencial para processos climáticos e erosivos, e as superposições de manchas, ou células, caracterizam o aspecto de mosaico da paisagem.

Para Solnetsev, (*op. cit.*), a expressão dos distintos aspectos estruturais serão mais ou menos determinantes, dependendo do tipo de território. Em um território montanhoso, existirá uma dominância dos geossistemas vetoriais, com uma dinâmica de processos de transferência unidirecional. Em um território de colinas, o aspecto de mosaico, com a diferenciação e agrupamento de células. Já em territórios de planícies, irá predominar o caráter equipotencial (zonal), caracterizado principalmente pelos tipos de solos.

Forman (1995) relaciona princípios geográficos e ecossistêmicos para estabelecer uma relação entre os elementos na paisagem: o autor sugere que se por um princípio geográfico, na paisagem, tudo está inter-relacionado e objetos mais próximos estão mais relacionados do que objetos distantes, para a ciência ecossistêmica, entende-se que energia e nutrientes minerais migram de um objeto a outro dentro ou entre ecossistemas. Com a combinação dessas informações o autor destaca o “princípio do fluxo espacial” no qual: “todo ecossistema está inter-relacionado, com uma taxa de

movimento ou fluxo que diminui severamente com o aumento da distância, mas de forma mais gradual entre ecossistemas do mesmo tipo” (FORMAN, 1995).

Figura 15 – Relações entre os tipos de características geossistêmicas - vetorial, celular e equipotencial - em uma bacia. Fonte: Gonzalez Bernaldez (1981).

De acordo com Forman (1995), o princípio do fluxo espacial implica que os agrupamentos na paisagem serão interligados por fluxos ou movimentos que podem ser previstos em uma determinada taxa. Alguns fluxos são mais previsíveis, como o processo de movimento de pontos mais altos para pontos mais baixos, à maneira como se dá o movimento da água e sedimentos em uma vertente. A Figura (16) ilustra a diferenciação de solos nessas condições, com maior desenvolvimento na parte baixa da vertente, onde os minerais e nutrientes se concentram.

No entanto, Forman (op. cit.) ressalta que muitos fluxos não são simples ou lineares, como o do vento ou dos animais. Estes, a princípio, se locomovem por todas as direções. Uma ressalva é feita em relação ao movimento de animais, pois em ambientes fragmentados, existem alguns caminhos preferenciais, a partir da mesma ideia de

ambientes semelhantes. Remanescentes de vegetação formam os chamados corredores ecológicos.

Figura 16 - Fluxo ou movimento em um agrupamento ecossistêmico. Fluxo entre cinco tipos de solo. Fonte: Forman 1995, adaptado de Woodmanse (1990).

Na proposta de delimitação da estrutura da paisagem pelo modelo mancha-corredor-matriz (FORMAN; GODRON, 1986), o principal vetor para promover o fluxo de espécies é o corredor. Como vimos na revisão, corredores são elementos de ligação entre manchas, ou fragmentos de vegetação na paisagem. Podem ser definidos como áreas homogêneas (numa determinada escala) de uma unidade da paisagem, que se distinguem das unidades vizinhas e que apresentam disposição espacial linear. Em estudos de fragmentação, considera-se corredor apenas os elementos lineares que ligam dois fragmentos anteriormente conectados. Este elemento da paisagem é, portanto, essencial, do ponto de vista estrutural para a manutenção da conectividade da paisagem (METZGER, 2001).

Conectividade da paisagem

A conectividade da paisagem é definida, numa visão ecológica, como a capacidade da paisagem (ou das unidades da paisagem) de facilitar os fluxos biológicos (TAYLOR et al. 1993). A conectividade depende da proximidade dos elementos de habitat, da

densidade de corredores “*stepping stones*”, e da permeabilidade da matriz (METZGER, 2001).

A conectividade de uma paisagem apresenta dois aspectos: o estrutural e o funcional: A estrutural refere-se à fisionomia da paisagem em termos de complexidade do arranjo espacial dos fragmentos de habitat, a densidade e complexidade de corredores de habitat e a permeabilidade da matriz. A funcional diz respeito à resposta biológica específica de cada espécie à estrutura da paisagem, ou seja, depende da percepção de cada espécie. A conectividade estrutural é comumente considerada como potencial de conectividade funcional (LANG; BLASCHKE, 2009).

Segundo Bannet (2006) atualmente a fragmentação de habitats e a formação de manchas principalmente por atividades antrópicas são bastante discutidas na biologia da conservação por afetar a riqueza e abundância de espécies e fatores como sucesso reprodutivo e sucesso de dispersão. Neste cenário, a conectividade, muitas vezes gerada por corredores, é elemento essencial na paisagem, pois pode restringir ou facilitar o fluxo biológico entre fragmentos e manchas.

No caso das paisagens com alta fragmentação os riscos de extinções locais das espécies são maiores (METZGER; DÉCAMPS, 1997). Consequentemente a necessidade de se restabelecer conexões também é maior.

Segundo Metzger (2003), uma estratégia bastante eficiente para se recuperar a conectividade em paisagens muito fragmentadas é melhorar a rede de corredores, seja construindo novos ou aumentando a largura e qualidade dos já existentes (Figura 17 Aa). Outras estratégias consistem em aumentar a permeabilidade da matriz da paisagem ou alterando as características das unidades da matriz (Figura 17 Ab), ou aumentando a densidade de “*stepping stones*” ou pontos de ligação (Figura 17 Ac).

Os pontos de ligação são áreas reduzidas de habitat inseridas na matriz que funcionam como poleiros para diversas espécies de aves e podem também funcionar como núcleos de regeneração. Neste cenário, ações de restauração poderiam multiplicar o número destes núcleos ou enriquecê-los com espécies de árvores que atraiam agentes dispersores.

Figura 17: Principais estratégias de restauração de paisagens fragmentadas. O habitat é apresentado em branco e a matriz em tonalidades de cinza. O tom mais claro indica uma matriz mais permeável. Fonte: Metzger (2003).

4.10 Síntese da revisão conceitual

A Ecologia da Paisagem possui uma longa história na Geografia e uma história recente, porém, certamente de grande produção na Ecologia, devido aos tempos tecnológicos que vivemos.

Em um esforço para construirmos uma síntese - que desde o princípio, como qualquer tentativa de síntese estará sujeita a generalizações, imprecisões, e ação do tempo -

identificamos ao longo da revisão conceitual sobre a paisagem alguns pontos que consideramos fundamentalmente semelhantes ou divergentes nas duas abordagens e que implicam em construções de estudos e planejamentos para a conservação mais ou menos convergentes.

O primeiro ponto que destacamos foi a questão do observador da paisagem. Consideramos que as abordagens geográficas e ecológicas possuem diferentes ângulos de observação: a Geografia possui um olhar na dimensão humana da paisagem, o que reflete diretamente na escala, forma de apreensão, e planejamento resultante. A Ecologia executa um difícil exercício de observar a paisagem pelas necessidades dos organismos que estão sendo estudados – tipos de habitat, área de vida, tipos e forma de dispersão – fato que se traduzirá em um tipo de planejamento com escalas e funções potencialmente muito diferentes.

O segundo ponto está diretamente relacionado ao primeiro, a questão da escala. Em nossa síntese, julgamos que a escala de estudo e planejamento está associada ao observador e seu objetivo.

Dentro da observação na escala das sociedades humanas, a Geografia construiu uma estrutura hierárquica de variações de fenômenos. Muitas discussões sobre as relações entre padrões, processos e escalas foram promovidas por proeminentes geógrafos nas décadas 1960 e 1970 (HARVEY, 1968), quando o campo da Ecologia da Paisagem era ainda desconhecido para a maioria dos ecólogos.

No entanto, essa hierarquia da paisagem, estabelecida por estudos clássicos é utilizada, muitas vezes, sem maiores reflexões sobre as escolhas das escalas utilizadas (WATSON, 1978 apud WU; HOBBS, 2007). Com maior frequência são utilizadas escalas de planejamento regionais (entre 1:50.000 e 1:500.000).

A Ecologia, por sua vez, possui uma relação com a escala muito mais flexível, acompanhando as necessidades específicas. No geral, se concentra ou em escalas mais ligadas aos remanescentes florestais, escala fina, de grande detalhe, ou em escalas continentais, como nos estudos de Macro-Ecologia. Entre as escalas dos fragmentos e as escalas continentais, a escala Regional, base do repertório de análises da Geografia,

aparece como ponto mediano (Figura 18). Entendemos que uma aproximação em ambas as direções, da escala Regional para as escalas fina e continental, e vice-versa, é desejável e potencialmente frutífera para as duas abordagens.

Figura 18. Variações de escala, conforme o tipo de abordagem da Ecologia da Paisagem. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Um terceiro ponto é a Estrutura e Função ou Fluxo na paisagem. Agrupamos estes dois tópicos por entendermos que a função possui uma grande dependência da estrutura. Podemos afirmar que a compreensão e delimitação da estrutura da paisagem foram temas explorados de forma recorrente na abordagem geográfica por mais de cem anos. A ideia de que a paisagem representa a síntese de um sistema complexo de interações, fez com que surgissem inúmeras tentativas de decifrar a chave para a representação desse sistema. Receita que passa invariavelmente pelo estudo das interações das variáveis físicas, biológicas e humanas. Um trabalho de desconstrução da realidade cujas camadas são separadas - rochas, solo, relevo, clima, biota, uso social - compreendidas à luz do conhecimento disponível e reagrupadas em um modelo no qual estas fatias interagem de forma a definir espaços mais ou menos semelhantes, delimitáveis, dependendo da escala. Entendemos que uma grande vantagem dessa abordagem é construir uma representação que traz internamente a história dessa paisagem, a integração e os processos que fizeram ela evoluir dessa forma.

Na abordagem ecológica não existe uma preocupação tão forte para uma representação da paisagem baseada na interação de múltiplos sistemas. Os esforços se concentram

para a compreensão da atual configuração da estrutura da paisagem, principalmente remanescentes de vegetação, seus tamanhos, formas, distribuição, arranjo, etc. e qual a relação entre as manchas. Como essa estrutura influencia no fluxo entre seus componentes.

Entendemos que a vegetação se constitui em um parâmetro sintético para as duas abordagens, no entanto, pode não estar sempre relacionada aos múltiplos fatores relacionados aos sistemas naturais.

Se, por um lado, temos uma abordagem demasiadamente preocupada com a representação de uma estrutura sintética da paisagem - Sotchava, um dos pesquisadores mais influentes dessa abordagem afirma que para além da morfologia e subdivisão da paisagem, deve-se projetar o estudo de sua dinâmica, estrutura funcional e conexões (SOTCHAVA, 1978) - de outro, temos uma abordagem cuja simplificação na apreensão da estrutura favorece o desenvolvimento de estudos de fluxo e conectividade.

Na Geografia encontramos uma investigação mais generalizada sobre fluxos de energia e matéria – energia solar, massas de ar, água, sedimentos, etc. Enquanto que na vertente Ecológica, temos uma preocupação mais ligada ao fluxo de espécies – movimentação, migração, dispersão – e como isso ocorre na paisagem.

Uma limitação recorrente dos estudos de fluxo da paisagem na vertente ecológica é a utilização de informação de estruturas provenientes do modelo de ilhas. Esse modelo, binário (por considerar a paisagem como manchas de vegetação ou não vegetação) e bidimensional (por não considerar atributos de diferenciação dada pelo relevo) poderia facilmente ser aperfeiçoado com a combinação de variáveis como o uso da terra, elevação e declividade.

Por outro lado, a abordagem Geográfica poderia utilizar os conhecimentos aplicados a outros tipos de fluxos, como água e sedimentos para análises considerando também o fluxo de espécies (além do que já ocorre dentro do repertório de análises da Biogeografia). Estudos de conectividade da paisagem considerando outras informações sobre a superfície - usos da terra - e a morfologia, que de certa forma já trazem

sinteticamente um pouco da história de processos de evolução, poderiam gerar informações mais precisas sobre os caminhos potencialmente mais adequados para a conservação, restauração ou criação de corredores ecológicos. Novamente, uma aproximação entre abordagens na qual os estudos e planejamentos para a conservação só tem a ganhar.

Nesse quarto e último ponto destacaremos como diferentes momentos de reflexão e construção conceitual podem se transformar em estudos aplicados com um objetivo, a conservação pelo planejamento da paisagem. Entendemos que a ciência lida com paradigmas que podem ser utilizados como pano de fundo para práticas sociais, dentre elas o planejamento.

Vimos, nas muitas e diversas conceituações, que itens como estrutura, funcionalidade e tempo estão sempre presentes. Pesquisadores como Monteiro e Metzger reconheceram, cada um à sua forma, o potencial de integração das abordagens geográfica e ecológica.

Mas talvez, mais do que buscar um potencial de integração, uma preocupação atual devesse ser a construção de um conhecimento com objetivos de planejamento e conservação. As duas abordagens são diferentes por essência, por nascimento, crescimento e tempos vividos. E se as tentativas de integração dessas abordagens parecem penosas e distantes da realidade, talvez não exista realmente essa necessidade. Talvez baste que se conheçam e interajam, busquem reconhecer as qualidades e vantagens de cada uma. Talvez uma aproximação poupe grandes gastos de tempo e energia em problemas que já foram explorados em uma ou outra vertente. Talvez, assim, se tornem abordagens mais completas, cada mais úteis e sirvam melhor para os problemas atuais, sérios e complexos que os ambientes naturais enfrentam no Brasil e no resto do mundo.

Nos próximos capítulos tentaremos demonstrar possibilidades de interação entre conceitos e técnicas das duas abordagens da paisagem em uma sequência de estudos de caso em diferentes escalas.

5 Estudos de Caso

5.1 Proposta para identificação e mapeamento das paisagens brasileiras

5.1.1 Contextualização

Ab'Sáber (2003) ressaltou a ideia de que toda paisagem é sempre uma herança. Em um primeiro plano, de processos de atuação mais antigos, como a modelagem de velhos planaltos; e outros mais recentes, como as remodelagem e criação de planícies no Quaternário. Em um segundo plano, uma herança de conjuntos paisagísticos de longa e complicada elaboração fisiográfica e ecológica. Ab'Sáber é categórico, mais do que simples espaços territoriais, os povos herdaram paisagens e ecologias pelas quais certamente são responsáveis.

Se observarmos a transformação da paisagem do território brasileiro na última década, qual é a atual herança que as paisagens brasileiras deixam para o futuro de seus povos?

Não temos a pretensão de conseguir responder a esta questão, ao menos não da forma abrangente que a matéria requer – assunto que facilmente ocuparia toda uma tese. Mas pretendemos mostrar possibilidades para que essa pergunta possa ser avaliada e com o tempo respondida.

Nosso objetivo neste primeiro estudo é testar e avaliar novas técnicas para identificação e mapeamento da estrutura da paisagem em uma escala pequena, do território brasileiro no continente Sul-americano. Buscamos especificamente analisar como as diversas formações vegetais naturais e formações vegetais caracterizadas por espécies de interesse agrícola se diferenciam, formando unidades de paisagem.

Importante ressaltar que este estudo não tem a pretensão de propor um novo mapeamento dos Biomas ou Domínios de Natureza para o Brasil, antes, preocupa-se em abrir possibilidades para a investigação e mapeamento de estruturas da paisagem relacionadas com a cobertura vegetal e implicações para o monitoramento e conservação de formações vegetais naturais.

Como vimos na revisão conceitual, a vegetação tem sido utilizada como elemento sintético na paisagem tanto na abordagem geográfica, como na ecológica da paisagem. Entretanto, para a primeira abordagem, é considerada em algumas análises mais um componente, enquanto para a segunda, geralmente, tem sido utilizada como indicador da estrutura da paisagem.

Neste estudo trazemos uma proposta que utiliza a vegetação como indicador na paisagem, mas com a adição da informação sobre a sua variação no tempo. Quando utilizamos os ciclos da vegetação, de crescimento, floração e vida, como critério de análise, podemos obter informações sobre a similaridade de respostas referentes à uma série de fatores ambientais, como relevo e clima, aos quais são dependentes. Também podemos inferir dados sobre a influência antrópica.

Para que os diferentes ciclos da vegetação possam ser utilizados como parâmetros para a identificação de distintos agrupamentos na paisagem, faz-se necessária a análise do percurso do tempo na mesma paisagem. A análise temporal da paisagem será utilizada, no caso deste estudo, como indicador de sua estrutura.

As técnicas utilizadas nesse estudo são, principalmente, oriundas do sensoriamento remoto. Nos basearemos, portanto na análise de imagens de satélite em uma determinada série temporal.

Para alcançar o objetivo deste estudo, utilizaremos uma série de análises estatísticas pertinentes ao repertório do sensoriamento remoto. Utilizamos desde análises simples como média, até análises mais complexas como as multivariadas. Tentaremos expor as análises e cálculos realizados da forma mais precisa, nos furtando, porém, da utilização mais acentuada da linguagem matemática.

5.1.2. Procedimentos

5.1.2.1 Área de estudo e seleção de imagens de satélite

A área de interesse deste estudo é o território brasileiro. Entretanto, para a delimitação do recorte da imagem a ser utilizado nas análises, não optamos utilizar os limites

políticos por entendermos que os processos analisados transpõem tais limites. Utilizamos um recorte que engloba as áreas adjacentes ao território brasileiro para possibilitar análises de processos contínuos na paisagem. Devido ao tamanho do território brasileiro, o recorte, engloba quase grande parte da América do Sul (Figura 19).

Figura 19. Território brasileiro como área de estudo. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Para a análise da estrutura da paisagem na escala do continente da América do Sul, com foco no Brasil, foram selecionadas imagens de satélite *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - Enhanced Vegetation Index* (MODIS - EVI) entre os anos 2000 e 2012. As imagens MODIS - EVI proporcionam uma excelente fonte para análises da vegetação (HUETE et al., 2002). O satélite utilizado produz um imageamento da mesma

cena a cada 16 dias. Foram utilizadas ao todo 296 imagens para o período analisado. A resolução espacial da imagem MODIS é de 250m, no entanto, para que o processamento desse montante de imagens pudesse ser feito, a resolução foi degradada para 1 km.

As imagens MODIS EVI foram adquiridas no site da *United States Geological Survey* (USGS). Cada imagem original ocupa cerca de 70 Mb de memória. Para abranger o recobrimento de todo o território brasileiro foi necessário obter duas cenas, partes da América do Sul e do Norte, posteriormente as imagens foram agrupadas e corrigidas por georreferenciamento. As imagens foram verificadas visualmente em relação a qualidade. As bandas espectrais com defeitos ou com menor qualidade foram excluídas da análise.

5.1.2.2 Análise da densidade e variabilidade da vegetação

Segundo Small (2012), a média dos valores das imagens MODIS EVI mostra variações espaciais na densidade de vegetação, enquanto o desvio padrão e o desvio médio absoluto mostram uma variabilidade temporal da vegetação. Ainda segundo o autor, apesar da análise mostrar a distribuição espacial e a variabilidade temporal da vegetação, não é possível obter informações sobre suas diferenças em termos de formação.

O primeiro tratamento estatístico realizado com o conjunto de imagens MODIS EVI, de 2000 a 2012, foi o cálculo de três estatísticas: média, o desvio padrão e o desvio médio absoluto.

A “média” é definida como o valor resultante da soma de todos os valores de uma série de dados dividido pelo número total de dados.

O “desvio padrão” é uma medida de dispersão de dados, é definido como a raiz quadrada da variância, que por sua vez é a distância de um valor de uma série de dados do valor da média. A “variância” é definida como o valor da soma dos quadrados dos desvios dividido pelo número de dados. O desvio padrão é amplamente utilizado com uma medida de variação dos dados em relação à média.

O “desvio absoluto médio” também é uma medida de dispersão de dados e é definida como a distância média entre o valor de cada dado e a média. Para calcular a média do desvio absoluto é preciso encontrar a média do conjunto de valores, a diferença entre o valor de cada dado e a média, o valor absoluto de cada diferença e calcular a média entre essas diferenças.

Assim, com o intuito de analisar a distribuição e variação temporal da vegetação no território brasileiro, o resultado dos três tratamentos estatísticos – média, desvio padrão e desvio absoluto da média - foi combinado em uma composição espectral do tipo RGB (*Red, Green, Blue*), o programa utilizado para as análises estatísticas e para a composição espectral foi o ENVI 4.7.

5.1.2.3 Identificação de agrupamentos na paisagem por similaridades de variação da vegetação

Uma forma eficiente para obter informações em imagens multiespectrais é utilizar tratamentos estatísticos que são capazes de lidar com grande quantidade de dados e diferentes dimensões, como as análises multivariadas.

Diferentes tipos de transformação são utilizados para diminuir a dimensionalidade das imagens multiespectrais e para representar as topologias das feições espectrais (LEE et al, 1990).

Segundo Small (2012) as transformações por Componentes Principais (*Principal Components* - PC) são frequentemente usadas para representar modos de variância não relacionados em imagens com muitas dimensões, provendo uma ferramenta muito conveniente para a identificação de padrões espaço-temporal. O autor explica ainda que, geralmente, as bandas espectrais são correlacionadas, assim, as transformações por PC geram eficientes projeções com baixa dimensionalidade de componentes não relacionados da feição espectral.

A Análise por Componente Principal (*Principal Component Analysis* – PCA) é matematicamente definida como uma transformação linear ortogonal que modifica os dados dos parâmetros em um novo espaço com os respectivos eixos rotacionados (Figura 20). A principal razão para a transformação dos dados (na análise PCA) é a sua

melhor compreensão, eliminando redundâncias de informação, tornando as variáveis melhor interpretáveis.

O resultado do PCA indica os principais componentes, ou eixos (PC1, PC2...), que representam a maior parte da variância encontrada nos dados nesse novo espaço. O primeiro componente principal agrupa a maior variância, o segundo, a maior variância não descrita pelo primeiro eixo e assim sucessivamente.

Figura 20. Ilustração da análise de componente principal (PCA). Fonte: Richards (1986).

Segundo Small (2006) O PCA é equivalente a Funções Ortogonais Empíricas (*Empirical Orthogonal Functions* -EOF), um nome que é usado nos estudos de padrões espaço temporais na Meteorologia e na Oceanografia. Nesse estudo, também adotaremos o termo EOF para a representação gráfica dos PCs.

A Análise por Componentes Principais foi aplicada ao conjunto de 296 imagens MODIS EVI (2000 a 2012) e processada no ENVI 4.7.

Como resultado dessa etapa do procedimento, obtivemos 296 Componentes Principais (PCs), um PC relativo a cada banda espectral do conjunto temporal de imagens. Entretanto, os primeiros 3 ou 4 PCs representam a maior parte da variância total das informações (SMALL, 2004). Cada PC pode ser visualizado como uma imagem que possui uma intensidade de tons de cinza dada pelos dados de variância agrupados pelo respectivo eixo.

Podemos observar na Figura (21), que cada componente principal agrega um tipo de informação. O PC1 possui o maior agrupamento e está muito relacionado a formações florestais mais úmidas e perenes como a Floresta Amazônica e a Mata Atlântica. O PC2, possui a segundo maior agrupamento de variâncias e ressalta formações como a Zona da Mata Nordestina e áreas úmidas como o Pantanal e a Bacia do Araguaia. O PC3 destaca um contraste de informações na região das Matas de Araucária e a Caatinga. No PC4 notamos novamente a região da Mata de Araucária e áreas de plantio no Sul e Sudeste do Brasil. É interessante notar que, quanto maior o número do PC em relação a classificação por eixos, as informações ficam menos evidentes e aumenta o nível de “ruído” na imagem como observado no PC10 e no PC30, no qual já não é possível distinguir qualquer tipo de informação.

Eigenvalores e eigenvetores

A análise por PC gera um conjunto de outras informações associados aos eixos PC1, PC2, etc. Para cada eixo PC existem informações sobre o comprimento relativo do eixo – Eigenvalor – e a orientação espacial do eixo – Eigenvetor. Os eigenvalores podem ser considerados medidas de “peso”. Os eigenvetores são usados para auxiliar na interpretação das análises.

A “eigenestrutura” (*eigenstructure*) da matriz de covariância da série temporal da imagem gera os EOFs e suas contribuições relativas para a variância espaço-temporal. A topologia do espaço de feição temporal dos PCs de baixa ordem (PC1, PC2, PC3) fornece a base para a seleção de combinações de EOFs representando processos específicos de interesse.

A eigenestrutura da matriz de covariância das 296 imagens MODIS EVI utilizadas nesse estudo mostra uma distinção mais clara nos oito primeiros EOFs. Podemos notar em detalhe a diferenciação nas oito primeiras transformações em relação às centenas de bandas restantes (Figura 22).

Figura 21. Componentes Principais resultantes da Análise PCA. Foram selecionados como ilustração das informações agregadas em cada eixo os primeiros PCs, 1, 2, 3 e 4 e outros com pouco ou nenhuma informação interpretável como os PCs 10 e 30. Org. Ricardo Sartorello (2014).

A transformação por componentes principais (PC) produz dimensões de variância espaço-temporal não relacionados (EOFs), mas que não possuem, necessariamente um significado físico.

Assim, o primeiro desafio para a análise usando esse tipo de transformação é a interpretação dos EOFs resultantes. Um único processo espaço-temporal pode ser representado por mais de um EOF, enquanto processos múltiplos podem estar contidos em um único EOF. Segundo Storch (1999), algumas abordagens têm sido desenvolvidas para a rotação ou recombinação de EOFs para facilitar a interpretação dos dados.

A partir da eigenestrutura da matriz de covariância, selecionamos os oito primeiros EOFs, relativos aos oito primeiros PCs.

Figura 22. Eigenestrutura da matrix de covariância da série temporal. A matrix é formada pelos 296 EOFs provenientes das transformações (PC) de cada banda espectral utilizada no estudo (A). Em detalhe os oito EOFs com estrutura diferenciada (B). Org. Ricardo Sartorello 2014.

Figura 23 – EOFs dos oito primeiros Componentes Principais da análise de PC. No eixo “Y”, temos a escala de variação das amplitudes e no eixo “X” a série temporal entre os anos 2000 e 2012. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

A análise dos EOFs, nesta etapa do procedimento, não possui o intuito de extrair informações específicas sobre a paisagem ou um local determinado, tem por objetivo verificar a existência ou não de padrões no comportamento da vegetação ao longo da série temporal, o que pode indicar êxito no agrupamento de variações das formações vegetais na paisagem e possibilitar análises derivadas buscando correspondências espaciais nos padrões encontrados.

Observamos na Figura (23) que os EOFs representam as variações de amplitude ao longo da série temporal dos dados de vegetação. Dessa forma, notamos que o EOF1 - representando o PC1 – apresenta baixas amplitudes em um padrão ondulatório constante ao longo dos anos e sem mudanças abruptas. Comportamento que corresponde com as informações analisadas na imagem do PC1 (Figura 21), na qual verificamos o agrupamento de variações ligadas a florestas úmidas mais perenes como

as Florestas Amazônicas e as Matas Atlânticas, Se considerarmos a área ainda ocupada por esse tipo de formação vegetal no Brasil e na América do Sul, principalmente as Florestas Amazônicas, podemos inferir a razão para baixa variação e clara homogeneização na distribuição das amplitudes ao longo dos anos da série temporal analisada.

Os EOFs 2 e 3 apresentam variações também homogêneas ao longo do tempo, mas com altas amplitudes, cristas estreitas e mudanças abruptas no período de um ano, conjunto de fatores que sugerem a identificação do comportamento de espécies cultivadas com ciclos anuais de plantio, crescimento e colheita.

Observamos nos EOFs 4 e 5 um padrão semelhante aos EOFs 2 e 3, mas com um aumento de frequência no período, o que pode representar espécies cultivadas em dois ciclos anuais ou ciclos semestrais alternados.

A partir do EOF6 o padrão ondulatório se torna mais difícil de interpretar e relacionar com o comportamento da vegetação. Observamos no EOF7 uma clara linha de tendência de crescimento ao longo do tempo do tipo de vegetação agrupado. Já no EOF8, não é possível distinguir o comportamento ondulatório.

Combinação de Componentes Principais

Notamos na análise dos EOFs que ao menos os quatro primeiros PCs possuem um potencial para outras análises, já que apresentam algum tipo de padrão ondulatório que pode ser associado ao comportamento da vegetação.

Dessa forma, utilizamos a técnica de combinação de Componentes Principais para analisar possíveis agrupamentos da vegetação na paisagem.

Os cinco primeiros eixos de Componentes Principais foram relacionados em gráficos bidimensionais (X, Y) em diferentes combinações: PC1 X PC2, PC1 X PC3, PC3 X PC2 e PC4 X PC5. Segundo Small (2006), os espaços criados a partir dessas combinações entre os eixos dos PCs são chamados “*spectral feature space*” (espaços de feições espectrais). Os gráficos na Figura (24) mostram em duas dimensões a redistribuição dos pixels -

oriundos das imagens MODIS EVI, nas quais estavam organizados em um espaço com referências baseadas em projeções da Terra. Nesse novo espaço multidimensional o critério para a organização é a similaridade de variação ao longo da série temporal escolhida para a análise.

Dos gráficos resultantes das diferentes combinações (Figura 24), observamos duas informações relevantes: tipos de agrupamentos e a estrutura da distribuição dos pixels no espaço de feição espectral.

Para a identificação de agrupamento dos pixels (*clusters*) dentro do espaço bidimensional devemos considerar as diversas possibilidades de combinação entre os PCs e os diferentes tipos de agrupamentos resultantes. Quanto maior o número de pixels em um mesmo local (X,Y) maior a intensidade da tonalidade, áreas no gráfico com pixels com grande densidade podem ser identificadas como grupos com variações semelhantes.

Podemos observar na combinação PC1 X PC2 (Figura 24 A) ao menos três agrupamentos que se destacam em relação ao restante dos pixels. Na combinação PC1 X PC3 (Figura 24 B) identificamos três grupos mais nítidos e um quarto com menor densidade, mas claramente separado dos outros. Nas figuras (24 C e D) não é possível identificar visualmente diferentes tipos de agrupamentos, os pixels tem uma clara tendência a se concentrarem em uma única área com grande densidade, formando um núcleo que contém a grande parte das informações das variações da imagem.

Como esses grupos de pixels identificados nesses espaços de combinação entre eixos dos Componentes Principais se relacionam com as representações espaciais?

Para tentar responder a essa pergunta, selecionamos a combinação PC1 X PC3 (figura 24 B), que apresentou maior número de agrupamentos distintos. Cada agrupamento foi delimitado e relacionado com as imagens MODIS originais (anterior aos tratamentos estatísticos). Delimitamos também áreas no gráfico entre os agrupamentos mais destacados.

Figura 24. Combinação nos eixos X e Y, dos cinco primeiros Componentes Principais resultantes da análise PCA. Em A, PC1 X PC2; em B, PC1 X PC3; em C, PC2 X PC3 e em D, PC4 X PC 5. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Outra informação relevante da combinação dos eixos dos primeiros PCs é a identificação da estrutura formada pela distribuição dos pixels no espaço espectral.

Segundo (Small, 2004), a formação de estruturas semelhantes a figuras geométricas como quadriláteros e triângulos indica a existência de grandes diferenças entre os tipos de variação, como por exemplo, pixels onde não houve variação em relação a vegetação pois correspondem a elementos da paisagem como água, substrato rochoso exposto, ou áreas construídas, pixels onde a variação foi pequena (comparativamente) em formações florestais perenes e pixels onde a variação foi grande como em áreas de cultivo agrícola de ciclo anual. Os vértices das estruturas em formas geométricas representam os extremos dessas diferenciações.

Observamos nas figuras (24 A e B) - que mostram as combinações entre os eixos PC1 X PC2 e PC1 X PC3, respectivamente - a existência dessas estruturas geométricas. Podemos inferir, assim, que a Análise por Componentes Principais separou em diferentes eixos distintos tipos de variação dos atributos da paisagem e que a paisagem analisada possui, a princípio, certo nível de heterogeneidade.

Nas combinações entre os PC2 X PC3 e PC4 X PC5 (Figuras 24 C e D, respectivamente) não foi possível identificar estruturas geométricas como nas combinações anteriores, fato que pode ter duas explicações: a primeira, é o ângulo mostrado no gráfico em duas dimensões dos eixos multidimensionais, como no caso da combinação PC2 X PC3 (Figura 24 C); a segunda é a falta de informações em nível de agrupamento suficiente para demonstrar a separação dos elementos da paisagem na organização desse espaço, como na combinação PC4 X PC5 (Figura 24 D).

A existência de estruturas geométricas indicando a separação das informações no espaço espectral possibilita uma análise derivada, o refinamento das informações contidas nos pixels das imagens originais. Técnica que pode ajudar na interpretação da estrutura da paisagem e seus componentes.

5.1.2.4 Análise de representação das paisagens brasileiras

Modelo Linear de Mistura Espectral

O Modelo Linear de Mistura Espectral visa identificar a contribuição de cada alvo presente nos pixels de uma cena, permitindo que uma imagem de satélite seja analisada de forma “suave”, na escala de subpixel. Segundo Ferreira (2003), o termo “suave” vem do conceito de *soft classification* (classificação suave), onde os pixels não são necessariamente identificados como pertencentes a uma determinada classe temática, mas sim pela maior ou menor proporção dos componentes analisados pelo modelo de mistura.

Este modelo fundamenta-se no pressuposto de que um espectro misturado (diferentes alvos no campo de visão do sensor) pode ser modelado através de uma combinação linear de espectros puros, conhecidos por “endmembers” (ROBERTS et al., 1998),

Nestas condições, para qualquer imagem, e sendo as respostas espectrais dos componentes conhecidas, as proporções destes podem ser estimadas, de forma individual, por meio da geração de “Imagens Fração” (*endmember fractions*) (SCHOWENGERDT, 1997; SHIMABUKURO et al., 1998; SMALL, 2006). Portanto, os *endmembers* referem-se ao conjunto de espectros “puros” que serão utilizados em um modelo de mistura e que, quando combinados por regra apropriada, são capazes de reproduzir os demais espectros encontrados na imagem (ADAMS et al., 1995).

Representando cada pixel como uma combinação espectral, as frações das imagens resultantes mostram de forma contínua as gradações heterogêneas no uso da terra.

Para muitas aplicações, como modelos físicos de dinâmica da paisagem, a classificação contínua fornece uma representação mais precisa da superfície, simplificando, assim as classes temáticas de uso da terra com fronteiras discretas (ROBERTS et al. 1998).

Análise de Mistura Temporal

A Análise de Mistura Temporal basicamente aplica o Modelo Linear de Mistura Espectral para um conjunto de imagens orbitais adquiridas em diferentes épocas (FERREIRA, 2003). Nessa análise, o conjunto de “n” dados temporais assume a condição de “n” bandas multiespectrais. Essas bandas podem ser agrupadas numa escala que vai da maior para a menor quantidade de dados disponíveis para um determinado componente, em função do mês ou do ano de aquisição da imagem (PIWOWAR et al., 1998).

Para realizar a Análise de Mistura Temporal, selecionamos os *endmembers* das combinações entre os primeiros PCs, PC1 X PC2, PC1 X PC3 e PC3 X PC2. Cada *endmember* pode conter a informação da variação da vegetação ao longo do tempo de um único pixel, ou da média de pixels do espaço espectral, dependendo da densidade da área em que o *endmember* foi coletado. Assim, selecionamos para cada vértice das figuras geométricas - identificadas pela combinação dos PCs - um conjunto de cinco *endmembers* contendo informação de um único pixel e dois *endmembers* de pixels com a média de informação (variando de 3 a 10 pixels). A Figura (25) ilustra os vértices da figura e os pontos de coleta dos *endmembers*. Em seguida analisamos graficamente a

variação dos endmenbers ao longo do tempo em quatro vértices da combinação PC1 X PC3.

Figura 25. Coleta de endmenbers nos vértices da estrutura resultante da combinação de Componentes principais, PC1 X PC3. Em detalhe os vértices da figura formada pela distribuição dos pixels (v1, v2, v3 e v4) e os pontos onde foram coletados os endmenbers individuais (end – i) e a média (end-m). Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Cada gráfico com o conjunto de endmenbers para cada vértice (individual e média) foi analisado em busca de padrões de variação que pudessem representar os extremos das diferenças das respostas espectrais.

Podemos observar na Figura (26) diferentes variações como no conjunto do vértice 1 (da combinação PC1 X PC3) com certa homogeneidade, representando áreas com cobertura florestal mais estável e o vértice 4, com uma nítida frequência de variação anual, correspondendo a áreas de cultivo de espécies vegetais para o consumo.

Alguns testes foram realizados com outros endmenbers, mas ao final da análise dos gráficos, foram selecionados quatro endmenbers representado as variações com

distintas frequências. Podemos observar na figura (27) que endmembers A e B possuem um padrão de frequência anual mais semelhante entre si, foram denominados endmembers “Periódicos A e B”. Os endmembers C e D, possuem um padrão de frequência também anual, mas que se alterna ao conjunto A e B, foram denominados endmembers “Anti-periódicos C e D”.

Figura 26. Gráfico com os “endmembers” individuais (End –i) e média (End –m) para cada vértice (1 a 4) da combinação PC1 X PC3. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

O resultado da análise gerou 4 bandas com os pixels refinados com base nas informações dos endmembers. Após uma série de testes, escolhemos uma combinação RGB

(utilizando os endmembers) para melhor representar as diferenciações buscadas na paisagem.

Figura 27. Gráfico dos quatros endmembers selecionados para a Análise de Mistura Temporal. Periódicos A e B (tracejados) e Anti-periódico C e D (cinza e preto). Org. Ricardo Sartorello, 2014.

5.1.3. Resultados e Discussão

5.1.3.1 Análises de densidade e variabilidade da vegetação

A partir das análises estatísticas da variação da vegetação ao longo dos anos – média, desvio padrão e desvio médio absoluto – elaboramos a figura (28), demonstrando duas informações, a densidade e a variabilidade da vegetação. Tonalidades de verde indicam que a vegetação é mais densa e que houve pouca variação ao longo dos anos. Tons magenta indicam que a vegetação é pouco densa e que teve alta variação, comparativamente. Tons claros indicam vegetação densa mas com alta variabilidade.

Observamos na Figura (28), que os tons de verde mais claros, onde a vegetação supostamente é mais densa e com menor variabilidade, correspondem a áreas de florestas úmidas como as Florestas Amazônicas (Noroeste na figura) e as Matas Atlânticas (Leste na figura), em uma faixa de larguras variáveis ao longo de toda a costa do litoral brasileiro.

Figura 28. Densidade e variabilidade da vegetação no território brasileiro. Composição (RBG) utilizando a média, desvio padrão e desvio médio absoluto. Distribuição da vegetação no território brasileiro derivada da análise da composição temporal de 12 anos de imagens MODIS EVI (2000 – 2012). A figura mostra as áreas com maior densidade de vegetação e com estabilidade (em verde), áreas densamente vegetadas, mas com alta variabilidade (áreas de tonalidades claras) e alta variabilidade com menor densidade de vegetação (em magenta). Org. Ricardo Sartorello (2014).

Na região central da figura, notamos uma complexidade de tons de verde mais escuros, relacionados a áreas úmidas como o Pantanal (Centro-Oeste na figura) e a Bacia do Araguaia (Centro-Norte na figura), e outros tons de verde um pouco mais claros, relacionados a formação do Cerrado.

Os tons de magenta mostram áreas com menor densidade e alta variabilidade da vegetação. Podemos distinguir dois grupos de tons de magenta: o primeiro, relacionado às características da formação vegetal, como no caso da Caatinga (Nordeste da figura); o segundo, relacionado a áreas para cultivo de espécies como a soja, milho, cana-de-açúcar e algodão região (Sul, Sudeste, Centro e Centro-Oeste na figura).

As regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil, apresentam uma complexidade ambiental e diversidade de formas de uso e ocupação da terra. Destacamos principalmente a existência de grandes faixas de transição entre os Domínios Morfoclimáticos e Biogeográficos (AB'SÁBER, 1967), a atuação frequente de conjuntos de massas de ar com diferentes propriedades físicas (temperatura e umidades) influenciando uma dinâmica climática regional (ação das massas mPA, mTA, mTC), a concentração das principais áreas produtivas do agronegócio com destaque para as monoculturas de algodão, cana-de-açúcar e soja.

Segundo Kayano e Andreoli (2009) O clima na região Nordeste do Brasil apresenta acentuada variabilidade interanual, particularmente em relação a precipitação, com alguns anos extremamente secos e outros chuvosos. Ab'Sáber (2003), ressalta que para o cotidiano dos sertanejos e sua sobrevivência, o fator mais grave reside nas irregularidades climáticas periódicas que assolam os espaços sociais dos sertões secos.

Essa variabilidade climática, entre outros fatores como o relevo e os solos, se reflete na variação da vegetação, formando um nítido desenho dos limites do Domínio das Caatingas - Depressões intermontanas e interplanálticas semi-áridas - (AB'SÁBER, 1967).

Áreas com tonalidades mais claras, representando alta densidade da vegetação, mas com certo grau de variabilidade, podem ser observadas ao Norte da figura, na região Norte da formação amazônica, como o estado do Amapá.

Segundo Marengo (2009), as variações climáticas interanuais na região amazônica podem ocorrer devido ao fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS). A combinação das circulações atmosféricas anômalas, induzidas pelas distribuições espaciais da

temperatura da superfície do mar sobre os oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical, afetam o posicionamento latitudinal da Zona de Convergência Intertropical sobre o Atlântico, influenciando a distribuição pluviométrica. Ainda segundo o autor, no Norte da Amazônia, as anomalias negativas de chuva são mais intensas do que em outras áreas na Amazônia.

5.1.3.2 Análise de agrupamentos

O resultado da análise por agrupamentos mostra (Figura 29) uma grande correspondência entre os grupos (*clusters*) identificados na relação entre os componentes principais PC1 X PC3, - resultantes da análise PCA – e a localização de formações vegetais típicas na paisagem brasileira.

Podemos observar no gráfico que o agrupamento (A), apresenta uma tonalidade de verde mais destacado, mostrando a intensidade de concentração de pixels nesta área do gráfico, corresponde às grandes extensões das florestas úmidas das Florestas Amazônicas e Matas Atlânticas (A').

O agrupamento (B), com pixels menos concentrados, mas ainda assim com um núcleo identificável, mostra uma certa correspondência com as áreas de Cerrado do Centro-Oeste brasileiro (B') e outras formações associadas. Neste grupo não ficam claros os limites das formações, como no grupo (A e A'), mas visivelmente está associado a formações vegetais mais secas.

Observamos que o agrupamento (C), apesar de possuir menor concentração de pixels, está nitidamente separado dos outros grupos no gráfico. Quando relacionamos este grupo com a imagem, identificamos grande associação com as regiões do Domínio da Caatinga no Nordeste brasileiro (C'). No entanto, verificamos que o agrupamento representa uma parte da formação vegetal mais seca, não incluindo áreas de transição para o Cerrado ao Sul ou para a Mata de Cocais a Oeste.

Estas transições estão representadas não por um grupo, mas pelos pixels posicionados entre os agrupamentos mais evidentes. Realizamos um exercício de verificar a correspondência de pixels entre os agrupamentos (A, B e C). A representação dessa área

de transição entre os grupos (E) revelou uma impressionante correspondência com as áreas de transições identificadas por Aziz Ab'Sáber em seu trabalho sobre os Domínios Morfoclimáticos do Brasil publicado em 1967 (Figura 10 do item 4.6). No entanto, as semelhanças também foram encontradas na problemática da delimitação dessas áreas de transição enfrentada pelo autor:

[...] Poderia parecer lógico que entre o domínio A e o Domínio B, pudessem ocorrer transições ou contatos em mosaico de A + B. No entanto, a experiência demonstrou que podem registrar-se combinações de A + B, passando por C, ou de A + B passando por D; ou ainda, de A + B, incluindo um tampão Z. Constatou-se, ainda, que em alguns raros casos de áreas de transição e contato, com forma *grosso modo* triangular, situadas entre os domínios A, B e C, podem ser multiplicadas as combinações fisiográficas e ecológicas, que comportam contatos em mosaico e subtransições locais (Ab'Sáber, 2003, pg.12)

Ainda podemos observar um último agrupamento (D), bem separado dos demais, com uma correspondência geográfica bem delimitada por áreas desérticas e campos de altitude andinos (D').

A semelhanças com a distribuição dos principais Domínios Morfoclimáticos brasileiros é clara, e intrigante, já que os eixos que formaram esses agrupamentos podem não ter correspondência algumas com as formações naturais vegetais.

Neste estudo não propusemos uma classificação das formações vegetais brasileiras, com base na análise por agrupamentos, pois o método para o delineamento e representação ainda é arbitrário. Um caminho para uma possível delimitação utilizando os agrupamentos, passa por compreender melhor a distribuição e formação dos grupos nesse espaço multidimensional ao qual só temos acesso a duas dimensões.

No entanto, ressaltamos que a análise se constitui em grande potencial para futuros estudos de identificação de agrupamentos na paisagem por combinação de componentes principais. Estimulamos a investigação de outras combinações em diferentes paisagens e escalas.

Figura 29. Agrupamentos representados na paisagem. Correspondência entre os agrupamentos de pixel na combinação PC1 X PC3 e as respectivas representações das formações de vegetação no território brasileiro. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

5.1.3.3 Análise da representação das paisagens brasileiras

Verificamos na composição formada a partir das combinações das bandas resultantes da Análise Linear de Mistura Espectral (Figura 30), as diversas formações vegetais e formas de uso e ocupação da terra presentes nas paisagens do território brasileiro.

Observamos no território brasileiro uma miríade de paisagens representadas por uma grande variação de agrupamento por cores. Algumas podem ser mais facilmente associadas a formações vegetais naturais, como os biomas descritos no mapa de biomas brasileiros (MMA, 2004), ou como os Domínios Morfoclimáticos de Aziz Ab'Sáber (1967), outras, são mais diretamente associadas a transformações humanas, principalmente áreas para exploração agropecuária. Outras ainda, se tornaram manchas complexas, as quais os agrupamentos não representam necessariamente uma formação ou um tipo de ocupação, mas sim a síntese de diferentes processos em um mesmo território.

Discutimos aqui algumas dessas paisagens identificadas. Para facilitar a localização das paisagens descritas utilizamos uma descrição com base nas regiões brasileiras e seus estados.

Ainda existem amplas paisagens delimitáveis pelas suas formações vegetais naturais como nas regiões Norte e Centro-Oeste Figura (30), em verde claro, há um grande contínuo que representa as Florestas Amazônicas, onde podemos verificar também uma densa rede de drenagem. Apesar de toda heterogeneidade das florestas amazônicas, sua representação se dá de maneira mais uniforme nesta análise.

Segundo Ab'Sáber (2003), a Amazônia se destaca pela extraordinária continuidade de suas florestas e pelas sutis variações de seus ecossistemas, em nível regional e de altitude. Dessa forma, as sutis variações foram agrupadas nessa gigantesca mancha que representa um gigantesco Domínio.

Figura 30 – Paisagens brasileiras. Obtidas por meio da combinação RGB das bandas espectrais resultantes da Análise de Mistura Temporal. Em R = endmember (End.) Periódico A; Em G = End. Anti-Periódico B; em B = End. Periódico A. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Considerando a divisão de Biomas adotada pelo Ministério do Meio Ambiente e o mapeamento realizado na escala 1:250.000 das formações vegetais brasileiras (MMA, 2014) a Amazônia ainda possui mais de 80% de sua área total recoberta por vegetação nativa florestal, quase 3,5 milhões de km², área mais vasta que a Índia, o sétimo maior país do mundo. Apenas 9,5% da área total foi alterada para uso antrópicos, o que no entanto, corresponde a mais de 400 mil km², equivalente a todo o Paraguai.

Identificamos dentro do Domínio da Amazônia, uma mancha verde-escura, no Noroeste de Roraima. Ab'Sáber (1967) denominou esta área como uma transição indiferenciada, no entanto, Ross (2006) classificou esta mesma área como um Domínio dos enclaves dos campos cerrados na Floresta Amazônia (Figura 31).

Figura 31: Sistemas Ambientais do Brasil. FONTE: ROSS, 2006.

A análise separa com clareza as áreas desmatadas circundando as fronteiras ao Sul e Leste da Floresta Amazônica. Podemos distinguir duas tonalidades em especial: grandes

agrupamentos em tons de vermelho representam áreas de cultivo de soja, com fragmentos de Floresta Amazônica, como no Centro e Oeste do estado do Mato Grosso (Figuras 32 A e B). Em tons magenta, verificamos paisagens nas quais predomina o cultivo de gramíneas para a criação bovina, como nos Sudeste do estado do Acre; grande parte do estado de Rondônia (Figura 32 C); Norte do Mato Grosso, e Leste do estado do Pará

O Pantanal mato-grossense está nitidamente bem-delimitado, o formato semicircular e os tons de verde claro e verde escuro permitem individualizá-lo. Assim como foi possível identificar as áreas úmidas da bacia do Araguaia no Centro-Oeste do país. Segundo o mapeamento das formações vegetais nos Biomas brasileiros (MMA, 2014), o Pantanal ainda pode ser considerado um bioma pouco alterado, com mais de 87% de sua área original recoberta por vegetação nativa e apenas cerca de 11% de área alterada para usos antrópicos.

As Caatingas nordestinas, também são facilmente visualizadas na imagem. As Caatingas estendem-se do litoral dos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte até o norte da Bahia, estando representadas em azul escuro e tons de lilás, em uma área transicional para o Cerrado. O mapeamento das formações vegetais nos Biomas brasileiros (MMA, 2014) aponta que mais de 1/3 da área total do Bioma (900 mil km²) já foi alterado.

Na região Sul Identificamos um grande agrupamento em tons de amarelo ouro, do Noroeste do Rio Grande do Sul até a região central do Paraná. Em um primeiro momento podemos relacionar com a mancha com o Domínio dos planaltos subtropicais com araucárias (figura 10, item 4.6). No entanto, esta cor representa, especialmente no Noroeste do Rio Grande do Sul, vastas áreas de cultivo de soja, com fragmentos de Mata de Araucária (Figura 33 D). Ross (2006) classifica essa mesma área como um Domínio das florestas subtropicais dentro dos Sistemas ambientais naturais fortemente transformados (Figura 31). Apesar de ter perdido força no cenário nacional para o Centro-Oeste, as áreas de produção de soja no Sul, continuam vigorosas.

Figura 32. Exemplos de paisagens brasileiras 1. Principais formas de usos socioeconômicos que transformam a paisagem nas bordas da Floresta Amazônica. Em A e B, temos a produção de soja no estado do Mato Grosso, em A' e B', as mesmas áreas em detalhe. Em C, temos pastagens para a criação de gado em Rondônia, em C' detalhe dessa paisagem. Fonte: Google Earth, 20014. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Figura 33. Exemplos de paisagens brasileiras 2. Complexa rede de mosaicos de paisagens, na porção central do território brasileiro, elemento que dificulta a diferenciação pelo Modelo Linear de Mistura Espectral. Em D, temos a produção de soja no estado do Rio Grande do Sul, em E, produção de Frutas no Oeste da Bahia e em F, cultivo de cana de açúcar em Goiás. Em D', E' e F', detalhes dessas paisagens. Fonte: Google Earth, 2014. Ricardo Sartorello, 2014.

Uma questão que se poderia levantar, por que a soja foi identificada em tons de vermelho no Centro-Oeste e Norte e amarelo no Sul? Aventamos duas explicações: primeiro, a associação com os fragmentos florestais de formações diferentes, Florestas Amazônicas e Matas Atlânticas; segundo, a diferença no período de plantio e colheita. Sabe-se que o plantio da soja se dá épocas diferentes dependendo da latitude.

As pradarias do Sul do Brasil também foram identificadas na análise, indicadas por tons de azul claro no Rio Grande Sul, sendo possível notar o avanço até o Uruguai. Denominado como Pampa na classificação por biomas, esta paisagem possui um nível de alteração antrópica muito grande, quase 50% da área total original estipulada (cerca de 178 mil km²).

Entre os estados de Santa Catarina e o Espírito Santo é possível observar uma faixa contínua, paralela à zona costeira, em marrom claro. Essa feição coincide com o trecho mais úmido da Mata Atlântica. Condição similar é verificada na “Zona da Mata” Nordestina entre o litoral do Rio Grande Norte e da Bahia.

Nesta análise, as Matas Atlânticas foram diferenciadas de outras formações, no entanto, a cor resultante não auxilia na visualização e interpretação de sua distribuição no território brasileiro. Sabemos, no entanto, que trata-se de uma formação extremamente reduzida, com mais de 70% de sua área original (mais de 1 milhão de km²) alterada para uso antrópico (MMA, 2014) e fragmentada, com mais de 80% de seus remanescentes florestais com menos de 50 ha (RIBEIRO et al., 2009).

O Cerrado é outro Domínio com alto índice de degradação de suas formações naturais, tendo sido substituído por muitos usos estimulados por diferentes projetos ao longo dos anos no Brasil, quase 40% da área total original, cerca de 2 milhões km² (MMA, 2014). As paisagens herdadas nessa área central do Brasil são complexas, difícil de serem apreendidas, representadas e interpretadas.

Dada à complexidade das paisagens do Brasil Central (Centro-Oeste, e vizinhanças), que associam zonas de transição e concentram diferentes formas de uso e ocupação da

terra, Identificamos uma grande combinação de cores (vermelho, magenta, marrom e amarelo) que representam desde associações de feições antrópicas a remanescentes da vegetação com rupturas bruscas entre tais feições. Além da soja, já descrita, notamos que paisagens em tons de vermelho estão associadas a outros produtos agrícolas, como frutas, a Oeste da Bahia, e cana-de-açúcar no Sul de Goiás (Figuras 33 E e F).

5.1.4 Considerações

A Análise de densidade e variabilidade da vegetação mostrou uma representação bastante sintética das paisagens brasileiras, mais ou menos estáveis. Os dois parâmetros diferenciaram com clareza paisagens mais densamente vegetadas como a Floresta amazônica e com alta variabilidade como a Caatinga. Também foi possível identificar claramente as áreas alteradas para produção agropecuária. A limitação desta análise está na diferenciação das tipologias das formações vegetais e dos usos antrópicos. Mas, ainda assim, mostra-se uma primeira análise bastante informativa sobre as paisagens brasileiras.

Na análise por agrupamentos, verificamos um grande potencial para a diferenciação de paisagens, baseado na relação entre os componentes principais da análise PCA. Verificamos uma alta relação dos grupos de pixels com formações vegetais ou Domínios da paisagem. No entanto, ainda não foi possível elaborar uma classificação da paisagem com base nesse procedimento. O nível de arbitrariedade para a representação dos grupos ainda é elevado. Acreditamos que estudos mais aprofundados sobre as relações multidimensionais dos eixos de variação (PCs) possam gerar melhores resultados quanto a limites para a representação.

Já a análise de representação das paisagens brasileiras, com base (Análise de Mistura Temporal) gerou agrupamentos na paisagem com uma correlação bastante forte entre o resultado alcançado em outros trabalhos com os Domínios Morfoclimáticos Brasileiros propostos por Ab'Sáber (1967), destacando-se principalmente o Domínio Amazônico (Terras baixas florestadas equatoriais), o Domínio das Caatingas (Depressões

intermontanas e interplanálticas semi-áridas), o Domínio das Pradarias (Coxilhas subtropicais com pradarias mistas) e as Faixas de Transição não Diferenciadas.

Também verificamos que há uma correspondência entre os Sistemas Ambientais propostos por Ross (2006). Dentro dos Sistemas ambientais pouco transformados – os Domínios da floresta amazônica densa e da floresta tropical amazônica aberta coincidem com a área da floresta Amazônica representado na imagem; dentro dos Sistemas ambientais naturais fortemente transformados há coincidências com Domínio da caatinga de clima semiárido e com o domínio dos campos naturais subtropicais – Campanha gaúcha.

Impressiona o fato de conseguirmos representações das paisagens brasileiras com altos níveis de correspondência com outras classificações - que utilizam informações associadas como relevo e clima - adotando apenas dados sobre a variação da vegetação em 12 anos. Fato que não exclui o valor de variáveis como relevo e clima, pelo contrário, mostra um enorme potencial de refinamento com a combinação de outras informações.

A paisagens identificadas a partir da análise de um curto período de tempo conseguem traduzir a estrutura da paisagem brasileira pois carregam as heranças de outros tempos. Temos claramente dois tipos de paisagens: as primeiras com heranças de processos naturais mais antigos, que se revelam até os dias atuais, como na Amazônia, na Caatinga e no Pantanal. E outras sínteses de processos naturais antigos e outros processos mais atuais de alterações antrópicas, como no Cerrado, nas Matas Atlânticas, e nas Matas de Araucárias.

A Análise de Mistura Temporal por meio do Modelo Linear de Mistura Espectral permite uma avaliação dinâmica da paisagem, mostrando uma resultante no espaço das transformações que ocorreram ao longo do tempo. Também permite que sejam realizadas previsões e monitoramentos com base na tendência geral verificada.

Entretanto a escala, definida em função da resolução das imagens MODIS, a variação e característica dos alvos, limitam a capacidade de representação dos pixels, o que dificulta a interpretação das áreas economicamente mais dinâmicas do centro do Brasil.

Nessa região central um pixel pode conter informações de alvos diversos, mas, com características semelhantes de refletância produzindo um resultado generalizado para usos diferentes. Da mesma forma podem ocorrer variações para um mesmo uso, como no exemplo de cultivos de soja com ciclos desiguais, a alternância entre áreas de pousios e produtivas produzirá resultantes diferentes ao longo das séries temporais.

Acreditamos que a possibilidade de separar de separar formações e suas derivadas ao longo do tempo pode ser um instrumento muito preciso de avaliação de variação das características e dos agrupamentos de paisagens.

O uso e ocupação da terra é uma grande chave de interpretação para a conservação de fluxos na paisagem. Acreditamos que a técnica aplicada a escalas como a deste estudo (continental) possibilita a identificação dessas grandes paisagens modificadas. Entretanto, ainda existem grandes desafios no refinamento dos limites destes agrupamentos e suas representações.

O aperfeiçoamento dessa técnica pode contribuir e muito para o monitoramento das modificações ocorridas nas paisagens brasileiras, pois como a análise se baseia em uma série temporal, os mesmos procedimentos podem ser realizados adicionando um novo conjunto de imagens. As análises poderiam ser realizadas anualmente, por exemplo. Tendências identificadas poderiam ser acompanhadas, confirmando ou não as projeções de formando um melhor entendimento dos processos identificados.

Também incentivamos análises realizadas em escalas maiores, com detalhamentos de regiões específicas de interesse, sendo possível a identificação de outros processos, desde que sejam compatíveis, no entanto, com a resolução espacial de 250m das imagens MODIS EVI.

No estudo apresentado, analisamos paisagens resultantes da variação da vegetação ao longo de uma determinada escala espacial e temporal. Nos próximos estudos traremos outras propostas para a compreensão dos processos na paisagem em uma diferente escala espacial, a regional.

Apresentamos a seguir, informações sobre a área de estudo – Corredor Cantareira-Mantiqueira - escolhida para o desenvolvimento dos quatro próximos estudos de caso com análises sobre a estrutura, mudanças e funcionalidade (conectividade) da paisagem.

5.2 O Corredor Cantareira-Mantiqueira

Esta área de estudo foi selecionada com um interesse especial em servir como base para uma série de estudos de caso envolvendo questões sobre a paisagem. Selecionamos uma área que denominamos Corredor Cantareira-Mantiqueira (CCM), devido a um conjunto bem específico de atributos, como variações geomorfológicas, quantidade e distribuição de remanescentes florestais; e diferentes tipos de uso na paisagem (Figura 34).

A área do Corredor engloba unidades de proteção integral do chamado Contínuo da Cantareira, formado pelos Parques Estaduais de Itaberaba e de Itapetinga, o Monumento Natural Estadual da Pedra Grande e a Floresta Estadual de Guarulhos, protegendo uma área total de 28,6 mil ha (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2014).

Os Parques Estaduais do Contínuo da Cantareira delimitam um conjunto de Serras de mesmo nome. Em uma diagonal na direção Nordeste da Figura (34), encontramos o início das elevações da Serra da Mantiqueira, quase na divisa com o Sul de Minas Gerais, região do município de Joanópolis.

Além das Unidade de Conservação de categoria integral, a área de estudo do Corredor abrange algumas Áreas de Proteção Ambiental (APAs) como a APA Sistema Cantareira, criada para proteger os recursos hídricos da região, especialmente os reservatórios: Jaguari, Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro. No entanto, a APA possui uma ocupação muito intensa, com áreas urbanas, polos industriais e áreas de produção agrícola.

A área engloba o limite Norte da Região Metropolitana de São Paulo, próxima a Serra da Cantareira, municípios do início do Vale do Ribeira (a Sudeste da figura) e municípios do interior do estado como Atibaia, Bom Jesus dos Perdões e Bragança Paulista.

Existem importantes eixos rodoviários na área de estudo, como as rodovias Ayrton Senna e Presidente Dutra. Entretanto, destacaremos nos estudos duas rodovias que seccionam a paisagem na área do Corredor, a Dom Pedro I (em um sentido Leste-Oeste) e a Fernão Dias (em um sentido Norte-Sul).

Notamos que a área de estudo Corredor Cantareira-Mantiqueira possui um mosaico de unidades de conservação que recobre praticamente toda a diagonal Sudoeste – Nordeste entre as Serras da Cantareira e Mantiqueira (Figura 35). Além da área selecionada para o estudo, o sistema de áreas protegidas alcança o Parque Estadual de Campos do Jordão. No entanto, algumas áreas apresentam proteção integral, outras categorias menos restritivas ao uso da terra. Uma questão que emerge desse cenário de sistemas de proteção é se o Corredor apresenta diferenças em seu estado de conservação, devido às variações dos níveis de proteção.

Figura 35. Trecho do mapa das Unidades de Conservação do estado de São Paulo. No retângulo, destaque para a área de estudo Corredor Cantareira-Mantiqueira. Número 04 = Parque Estadual (PE) Campos do Jordão; 05 = PE da Cantareira; 14 PE Juquery; 28 = APA Sistema Cantareira. Fonte: Fundação Florestal (2014). Ricardo Sartorello, 2014.

5.2.1 Aspectos físicos da área do Corredor Cantareira-Mantiqueira

A área de estudo situa-se predominantemente sobre os maciços que compõe a Serra da Cantareira e os demais que se prolongam até a proximidade da Serra da Mantiqueira, como as serras de Pirucaia, do Itaberaba, de Atibaia/Itapetinga, e da Pedra Branca/Barro Branco. A grande extensão e a diversidade litológica, geomorfológica e climática

traduzem-se em unidades complexas e bastante distintas em todas as características do meio biofísico.

Do ponto de vista estrutural, segundo Ross e Moroz (1992), trata-se de duas unidades morfoestruturais: o Cinturão Orogênico do Atlântico e as Bacias Sedimentares Cenozoicas/Depressões Tectônicas.

O Cinturão Orogênico do Atlântico apresenta as morfoesculturas regionais do Planalto Atlântico, denominadas Planalto de Jundiaí e Planalto e Serra da Mantiqueira. Por ocorrer em faixas de orogenia antiga, o Cinturão Orogênico do Atlântico corresponde a relevos sustentados por litologias diversas, quase sempre metamórficas associadas com intrusivas. Neste vasto planalto podemos identificar variações fisionômicas regionais, que possibilitaram delimitar unidades geomorfológicas distintas, face às suas características geotectônicas, litológicas e estruturais, postas em evidencia pelas atividades dos diversos ciclos erosivos pré e pós cretácios. Segundo Ross (1985), “o modelado dominante do Planalto Atlântico constitui-se por formas de topos convexos, elevada densidade de canais de drenagem e vales profundos. É a área do ‘Domínio dos Mares de Morros’ definidos por Ab’Sáber (1970)” (ROSS, 1985).

As litologias mapeadas por Perrota et al. (2005) na área de estudo que correspondem ao Planalto Atlântico são pré-cambrianas, do Eon Proterozoico. As mais antigas, do período ectasiano (Era Mesoproterozoica), são do supergrupo Açungui, subgrupo Lageado. Trata-se de rochas metamórficas do Grupo Serra de Itaberaba (MP2si), como xistos, metapelitos e metandesitos.

Destacam-se os seguintes complexos neoproterozoicos: Complexo Embu (período criogeniano), com uma unidade paragnáissica (NPepg), composta por gnaisses e xistos gnaissodes; e Complexo Varginha Guaxupé, com uma unidade paragnáissica migmatítica superior (NPvm), composta por gnaisses e micaxistos restritos, e uma unidade ortognáissica migmatítica intermediária (NPvog), com granitoides e granitos gnáissicos.

No recorte escolhido, predominam os corpos graníticos e granitoides neoproterozoicos (período ediacariano) de magmatismo relacionado ao orógeno Socorro-Guaxupé (NP3sy_), como os granitos Santa Isabel, Pedra Branca, Serra Preta, entre outros. Há

extensas áreas com litologias metamórficas e metassedimentares do Grupo São Roque, das formações Boturuna, Estrada dos Romeiros e Pirapora do Bom Jesus (unidade carbonática).

Do terreno Apiaí, também do período ediacariano, há a presença das formações metamórficas e metassedimentares do Grupo São Roque: Boturuna (NP3srbt), Estrada dos Romeiros (NP3srer), Pirapora do Bom Jesus. Essas formações são compostas por diversas litologias, que vão de metarenitos, metagrauvaca e metapelitos, a fiilitos, mármore e quartzitos.

Pelas características geológicas e geomorfológicas, podemos diferenciar na área de estudo três faixas principais, orientadas pela direção Sudoeste-Nordeste (SW-NE) e identificadas nas Figuras (36) e (37).

Na faixa I, a Noroeste na figura, encontra-se o Planalto de Jundiaí, que apresenta colinas e morros altos, e altitudes variando entre 900 a 1200 metros, e 700 a 800 metros. Essa unidade vai se diferenciar em duas áreas de acordo com o grau de dissecação do relevo. A porção Oeste da faixa apresenta formas de dissecação média a alta, modelado convexo, com vales entalhados e densidade de drenagem média a alta, enquanto na porção central da faixa, o Planalto de Jundiaí apresenta formas muito dissecadas, com vales entalhados associados a vales poucos entalhados e com alta densidade de drenagem. Ao Sul dessa área, está localizado o Parque Estadual do Juquery, já na região da borda do Planalto e Serra da Mantiqueira.

A Nordeste, há uma faixa do Planalto de Jundiaí que se diferencia por apresentar formas muito dissecadas, apresenta algumas áreas formas denudacionais de modelado convexo, mas também algumas formas denudacionais de modelado aguçado, no geral possuem formas muito dissecadas, com vales entalhados associados a vales pouco entalhados, e alta densidade de drenagem.

Nessa faixa há também porções classificadas como Planalto e Serra da Mantiqueira, uma unidade regional de relevo do Planalto Atlântico que apresenta, portanto, características principais similares às áreas adjacentes do Planalto de Jundiaí. Essa área se diferencia por apresentar escarpas e morros altos, com altitudes variando entre 1000 a 2000 metros, e 700 a 1000 metros, e apresentar em geral dissecação muito intensa, com vales de entalhamento pequeno e densidade de drenagem alta, ou vales muito entalhados com densidade de drenagem menores.

Ainda nessa mesma região é possível encontrar resquícios de feições geomorfológicas do Planalto e Serra da Mantiqueira, no geral com formas denudacionais de modelado aguçado, e formas de dissecação muito intensa, com vales de entalhamento pequeno e densidade de drenagem alta, ou vales muito entalhados com densidade de drenagem menores.

Na faixa II se concentra o maior número de unidades de conservação, como o P. E. Itaberaba, uma grande área do P.E. Itapetinga, P. E. Cantareira, entre diversas outras. Essa faixa é muito similar à primeira, diferenciando-se sobremaneira pela litologia, com grandes extensões da formação Serra de Itaberaba, de origem metamórfica.

Predomina a Morfoescultura do Planalto e Serra da Mantiqueira, ao longo de um grande contínuo, variando entre formas denudacionais de modelado convexo e aguçado. A dissecação nessa área varia de formas muito dissecadas a dissecação muito intensa, e os vales variam de entalhados com alta densidade de drenagem a vales muito entalhados com menor densidade de drenagem. Nas áreas adjacentes ao Planalto e Serra da Mantiqueira, o predomínio é de porções do Planalto de Jundiaí.

As morfoesculturas relacionadas à morfoestrutura das Bacias Sedimentares Cenozoicas/Depressões Tectônicas são: Planalto de São Paulo, Depressão do Médio

Paraíba e duas Planícies Fluviais. Essas morfoesculturas estão distribuídas pela faixa III, e as planícies fluviais estão presentes em áreas descontínuas nas demais faixas.

O Planalto de São Paulo se caracteriza pela presença de colinas e patamares aplainados e altitudes entre 700 e 800m. Apresenta formas de dissecção média a alta, com vales entalhados e densidade de drenagem de média a alta. Ao Norte do Planalto de São Paulo, encontra-se a Depressão do Médio Paraíba, marcada por colinas de topos convexos e altitudes entre 500 a 700 metros. Apresenta formas de dissecção muito intensa, com vales de entalhamento pequeno e densidade de drenagem alta, ou vales muito entalhados com densidade de drenagem menores.

No caso das morfoesculturas do Planalto de São Paulo e Depressão do Médio Paraíba,

[...] o principal fator associado à sedimentação é sem dúvida a tectônica. (...) Apresentam forma de grabens e semigrabens com preenchimento continental (fluvial e lacustre) de idade paleogena e neogena. Os processos tectônicos formadores associam-se com reflexos tardios dos processos continentais que determinaram a abertura do Atlântico Sul (a partir do Mesozóico) e subsequentes deslocamentos da placa Sul americana. Foram particularmente ativos durante o Paleogeno, sendo retomados em pulsos sucessivamente atenuados ao longo do Neogeno e Quaternário. (LIMA et al., 1991).

Quanto às litologias associadas a essa faixa, há duas formações sedimentares cenozoicas e dois conjuntos de depósitos quaternários. A Formação Resende (Er) é contemporânea às formações São Paulo (Esp) e Taubaté (Et), mas possui origem diferente. As rochas sedimentares da Formação Resende foram formadas em sistema sedimentar de leque aluvial e deposição de fluxo de lama e barras arenosas. Em relação à litologia é composta por: Arenito, Diamicito, Lamito e Conglomerado. A origem da Formação São Paulo (Esp), no entanto, está associada a um sistema sedimentar fluvial meandrante e depósito de: Barras Arenosas, Barra de Pontal, Dique Marginal (Levee), Meandros Abandonados (Oxbow Lake) e Planície de Inundação. A litologia é composta por: Arenito, Argilito, Siltito, Arenito Conglomerítico.

A área apresenta depósitos denominados Coberturas Detríticas Indiferenciadas (Qdi). De origem pleistocênica, possuem ambiente sedimentar Continental e Transicional, e litologia composta por Areia, Argila e Cascalho.

As Morfoesculturas Planícies Fluviais ocorrem em áreas mais restritas, associadas a depósitos a montante de níveis de base locais e regionais. Corresponde às áreas essencialmente planas, geneticamente geradas por deposição de origem fluvial, onde atualmente predominam os processos agradacionais. É caracterizada por planícies e terraços fluviais. São áreas sujeitas a inundações periódicas, lençol freático pouco profundo e apresentam sedimentos inconsolidados sujeitos a acomodações, denominados Depósitos Aluvionares (Q2a). Apresentam sistema sedimentar fluvial meandrante e deposição de barras arenosas. A litologia é composta por areia e cascalho.

Em relação à pedologia, a área apresentada na Figura (38), possui um recobrimento de três diferentes coberturas pedológicas, sendo duas delas predominantes.

O tipo de solo que apresenta maior predominância entre toda a área, representado pela cor amarela corresponde aos Argissolos Vermelho-amarelos de caráter alumínico.

Figura 38. Aspecto pedológico da área de estudo - CCM. As faixas (I), (II) e (III), orientam a descrição das unidades pedológicas. Fonte: Oliveira (et al., 1999b).

Os argissolos são constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença e horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa. São solos com caráter alumínico na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA).

O segundo tipo de solo predominante em toda a área representado pela cor laranja corresponde aos Latossolos Vermelho-Amarelos.

Latossolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte.

São, em geral, solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos. Ocorrem, todavia, solos com saturação por bases média e até mesmo alta; encontrados geralmente em zonas que apresentam estação seca pronunciada, semi-áridas ou não, ou ainda por influência de rochas básicas ou calcárias. São típicos das regiões equatoriais e tropicais, ocorrendo também em zonas subtropicais, distribuídos, sobretudo, por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos, normalmente em relevo plano e suave ondulado, embora possam ocorrer em áreas mais acidentadas, inclusive em relevo montanhoso. São originados a partir das mais diversas espécies de rochas e sedimentos, sob condições de clima e tipos de vegetação os mais diversos.

E o terceiro tipo de solo que aparece na área apresentada, porém em locais isolados representado pela cor bege corresponde aos Cambissolos háplicos.

Cambissolos são solos pouco desenvolvidos com horizonte B incipiente. A classe dos coambissolos compreende solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que em qualquer dos casos não satisfaçam os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes Vertissolos, Chernossolos, Plintossolos, Organossolos. Têm sequência de horizontes A ou hístico, Bi, C, com ou sem R. Devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um local para outro. Assim, a classe comporta desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-amarelada

até vermelho escuro, e de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração argila.

Apresenta pedogênese pouco avançada evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, alteração do material de origem expressa pela quase ausência da estrutura da rocha ou da estratificação dos sedimentos, croma mais alto, matizes mais vermelhos ou conteúdo de argila mais elevado que os horizontes subjacentes.

A classificação como háplico significa que essa classe não apresenta nenhuma das características que qualificam as classes que o antecedem na sequência da chave dos cambissolos.

Em relação às condições climáticas da área de estudo, segundo o Mapa de Pluviosidade (totais anuais) publicado pelo DAEE (1972) as faixas 1 e 2 apresentam um índice de pluviosidade crescente no sentido Sudoeste-Nordeste. Já em relação aos dados de temperatura nessa mesma faixa, segundo o Mapa de Temperatura de Médias Anuais, a situação já se inverte e as médias anuais de temperatura diminuem na medida em que se avança no sentido Nordeste da figura.

Na região localizada no extremo Sudoeste da área de estudo, a pluviosidade varia entre 1.300mm a 1.400mm ao ano, com temperaturas médias anuais variando entre 19°C e 18°C, enquanto na área mais central a variação do índice de pluviosidade anual fica entre 1.500mm e 1.700mm e temperatura variando entre 18°C e 17°C. Na porção a Nordeste, os índices de pluviosidade já aumentam para 2.000mm por ano, com média anual de 15°C.

5.2.2 Aspectos bióticos do Corredor Cantareira-Mantiqueira

A região das Serras da Cantareira e Mantiqueira compreende uma área considerada prioritária para a conservação da biodiversidade, reconhecida tanto em âmbito federal pelo Mapa de Áreas Prioritárias para a Conservação (Portaria MMA nº 09/2007), quanto em âmbito estadual, pelo Mapa de Áreas Prioritárias para Restauração e Conectividade do Estado de São Paulo (Figura 39), que reconhece a área como um potencial corredor de ligação entre os fragmentos da região da Serra da Cantareira aos maciços florestais

da Mantiqueira (SÃO PAULO, 2010). Também pertence ao perímetro da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde de São Paulo.

Figura 39. Áreas prioritárias para a restauração da biodiversidade no estado de São Paulo. Fonte: Joly (et al. 2010).

Este corredor, caracterizado por grande diversidade de ambientes, possui ainda relevante cobertura vegetal florestal. Diversas unidades de conservação protegem estes importantes remanescentes florestais, entre outros: os Parques Estaduais da Cantareira, Juquery, Itapetinga e Itaberaba, as Florestas Estaduais de Guarulhos e Atibaia, e a Estação Ecológica Tanque Grande.

Nessa região a cobertura vegetal possui variações devido à altitude e umidade, sendo classificada como Floresta Ombrófila Densa Montana, Floresta Ombrófila Densa Montana de Mata Baixa e Floresta Ombrófila Densa Montana Aluvial (IBGE, 2012). Levantamentos indicaram a presença de mais de 200 espécies arbóreas, incluindo espécies ameaçadas. A fauna da região também é bastante diversa, com grande número de espécies endêmicas da mata atlântica e várias espécies raras e ameaçadas de extinção (SÃO PAULO, 2010).

Grande área da região da Cantareira é caracterizada por vegetação secundária, composta principalmente, de várias espécies de melastomatóceas e Cecropias (embaúbas). Na região do corredor até a Mantiqueira a variação da vegetação acompanha o aumento da altitude e diminuição da temperatura em regiões como Campos do Jordão. A vegetação transita das matas para os campos de altitude, e há ocorrências de matas de neblina (MAZZEI, 2007).

Foi apurado em um levantamento desenvolvido para o Relatório Final da Criação de Sistema de Áreas Protegidas do Contínuo da Cantareira: Serras do Itaberaba e Itapetinga (SÃO PAULO, 2010), que na região a vegetação engloba duas formações: Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Montana e Aluvial. Segundo o relatório, os remanescentes de vegetação apresentam valores baixos de similaridade. Essa variação na composição em florestas ombrófilas pode indicar o predomínio de espécies com nichos restritos, o que sugere alta heterogeneidade florística estrutural.

No levantamento realizado (SÃO PAULO, 2010) foram amostradas 223 espécies arbóreas sendo 217 espécies nativas, 28% do total de espécies arbóreas da floresta ombrófila densa no Estado de São Paulo. As famílias que apresentaram maior frequência na amostragem foram: Fabaceae, Myrtaceae, Lauraceae, Melastomataceae, Rubiaceae, e Euphorbiaceae.

Entre as espécies ameaçadas de extinção, na lista do Ministério do Meio Ambiente: estão as espécies *Eutepe edulis* e *Ocotea nectandrifolia*, ambas com registro histórico de predação intensiva (SÃO PAULO, 2010).

Em relação à fauna, na região das Serra Itapetinga e Itaberaba, apesar de estudos apontarem um alto número de espécies de aves (366), o índice de similaridade entre as áreas amostradas é baixo, o que mostra a importância relativa que cada fragmento apresenta para o conjunto total da avifauna, pois várias espécies são exclusivas de cada região.

Em levantamentos realizados na região da Serra da Cantareira para o Plano de Manejo do Parque Estadual da Cantareira (2009) foram encontradas 44 espécies de mamíferos de médio e grande porte, distribuídas em 18 famílias, sendo 33 nativas.

Cerca de 96% das espécies constam como ameaçadas, algumas merecem destaque pela categoria de ameaça que se encontram, bem como pela função ecológica que desempenham no ecossistema. Neste sentido, podemos citar o sagui-da-serra-escuro (*C. aurita*) e os carnívoros como a onça-parda (*Puma concolor*), a jaguatirica (*Leopardus pardalis*) e o gato-do-mato-pequeno (*Leopardus tigrinus*) que são listados como vulneráveis a extinção. Outra espécie *Mazama americana* ou veado mateiro também é listada como vulnerável pela lista vermelha do estado de São Paulo. As espécies de mamíferos nativos de médio e grande porte detectadas correspondem a aproximadamente 15% do total de espécies brasileiras, 40% das espécies de ocorrência na Mata Atlântica, e o total de espécies encontradas corresponde a cerca de 50% do total de espécies encontradas no estado (SÃO PAULO, 2009).

5.2.3 Aspectos socioeconômicos na área do Corredor Cantareira-Mantiqueira

A região estudada ainda mantém áreas relativamente extensas de florestas, no entanto, é uma área que sofre intensa pressão dos diferentes usos de seu entorno, com supressão de remanescentes de vegetação, especialmente em substituição pela cultura do eucalipto, que é uma das poucas atividades realizadas em terrenos com inclinação acentuada, onde está a maior parte dos remanescentes florestais.

Os principais usos econômicos no entorno dos fragmentos dessa região, são: silvicultura, particularmente eucalipto; turismo, constituído principalmente por chácaras de lazer, atividades de aventura e meios de hospedagem; agropecuária; e empreendimentos imobiliários de médio-alto padrão encontrados em situações regulares e irregulares.

A principal pressão sobre essa região é a expansão urbana, caracterizada por ocupações irregulares e especulação imobiliária. A caça e as queimadas também têm se apresentando como problemas para esses remanescentes florestais.

Outra realidade comum nessa área é a existência de pequenos produtores rurais, com suas respectivas famílias que há muito tempo residem e trabalham nas terras da região, entretanto não possuem nenhum tipo de documento que comprove a propriedade dessa terra.

Na área de estudo, o setor de serviços e de indústria representam a maior parte dos rendimentos, e os setores que mais empregam, principalmente em regiões Guarulhos e Arujá, entretanto o setor de serviços é o de maior representatividade em todos os municípios do entorno (IBGE, 2000). Esses dados enfatizam, assim, a pressão que o crescimento urbano e industrial exerce sobre os fragmentos florestais existentes nessa região.

A seguir, apresentaremos o segundo estudo de caso da tese, o primeiro utilizando a área de estudo do Corredor Cantareira-Mantiqueira. Neste estudo, abordaremos a questão da vegetação florestal como indicador da estrutura da paisagem em análises do tipo “modelo de ilhas”.

5.3 O modelo de ilhas e a análise por regiões: a distribuição de remanescentes florestais na paisagem.

5.3.1 Contextualização

O modelo de ilhas tem sido o padrão mais utilizado para a classificação de paisagens (LINDENMAYER; HOBBS, 2007). A representação da estrutura da paisagem nesse modelo se resume, geralmente, ao mapeamento da vegetação, evidenciando as “ilhas de habitat” em contraste com o “não habitat” - na prática todos os outros elementos da paisagem não reconhecíveis como vegetação ou “habitat”.

Como vimos na revisão conceitual a Teoria do Equilíbrio da Biogeografia Insular (MACARTHUR; WILSON, 1967) propõe que em ambientes insulares o ponto de equilíbrio das populações em ambientes insulares se dará por meio da relação entre a área e o isolamento dessas ilhas.

Em princípio adotamos esses mesmos dois critérios - área e isolamento – para realizar uma análise sobre os remanescentes florestais na paisagem do Corredor Cantareira-Mantiqueira.

Entretanto, a análise individual - para cada fragmento florestal - pode não representar os processos dominantes em um nível acima do indivíduo analisado. Podem existir remanescentes de vegetação florestal na paisagem com grandes áreas (proporcionalmente), mas extremamente isolados; ou fragmentos menores, mas em grande número na paisagem. Qual cenário é mais favorável para a conservação considerando a paisagem como um todo? Essa discussão é conhecida na literatura como SLOSS (*single large or several small*).

Assim, para tentarmos superar a análise individual, propomos uma análise por regiões da distribuição dos remanescentes de vegetação florestal na paisagem. Utilizamos a delimitação da estrutura da paisagem do modelo de ilhas, na avaliação por distintos agrupamentos na paisagem. É, em último termo, uma proposta de análise do contexto da paisagem em relação aos seus remanescentes, que considera mais do que a “mancha”, o conjunto de manchas existentes, como se distribuem e que tipos de estruturas formam.

A análise por regiões pode contribuir para a compreensão, em uma escala regional, da conjuntura dos fragmentos florestais e dar subsídios para o entendimento do estado de fragmentação da paisagem.

Uma visão mais abrangente e sintética sobre a distribuição das manchas de vegetação florestal pode favorecer a escolha de áreas prioritárias para a conservação ou restauração e orientar outras estratégias e em planos de conservação. O Programa Biota FAPESP no estado de São Paulo, demonstra iniciativa neste sentido, mas a definição de regiões com áreas prioritárias, tanto para conservação quanto para restauração ainda apresenta desafios quanto à síntese cartográfica.

Existe um razoável consenso sobre a importância da identificação de áreas prioritárias para conservação. Segundo Mittermeier (et al. 2005) aproximadamente 50% das plantas e entre 70 e 80% das espécies de vertebrados estão concentradas em "hot spot" de biodiversidade, que cobrem apenas 2,3% da superfície da Terra. Essas regiões insubstituíveis estão, assim, "entre as maiores prioridades globais para a conservação de ambientes terrestres Kremer" (2008).

Tambosi (et al., 2013), utiliza a análise por regiões para a orientação de áreas prioritárias para a restauração para a Mata Atlântica, o autor utiliza como critério, principalmente, a conectividade em índices obtidos a partir de análises baseadas na teoria dos grafos.

Neste estudo de caso, nos focaremos na área do Corredor Cantareira-Mantiqueira, destacamos nas análises algumas unidades de conservação como os Parques Estaduais do Juquery, da Cantareira, Itapetinga e Itaberaba, basicamente as unidades de conservação de proteção integral que formam o Contínuo da Cantareira.

5.3.2 Procedimentos

5.3.2.1 O mapeamento da paisagem

No modelo de ilhas, a delimitação e classificação da paisagem são realizadas pelo mapeamento da vegetação de interesse. No caso deste estudo, nosso interesse está nos remanescentes florestais de Mata Atlântica entre o Contínuo da Cantareira e a Serra da Mantiqueira, nos limites do estado de São Paulo.

A base para este estudo de caso foi o inventário florestal do estado de São Paulo, realizado pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo (2009). A metodologia empregada foi o mapeamento visual das fisionomias vegetais utilizando como base imagens de satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) do ano de 2009, com resolução espacial de 10 metros. A escala do mapeamento final foi de 1:25.000.

Para a utilização do mapa dos remanescentes florestais do estado de São Paulo foi realizado um recorte arbitrário em um retângulo que englobasse a área de estudo desejada, o corredor entre as Serras da Cantareira e Mantiqueira. Nesse recorte, foi realizada uma verificação do mapeamento, utilizando a mesma imagem (ALOS de 2009) e imagens de maior detalhe, no caso, as imagens CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres), do ano de 2010, com resolução espacial de 2,5 metros.

5.3.2.2 Análise da estrutura da paisagem

A estrutura da paisagem foi analisada com o apoio de variáveis de maior peso na Teoria do Equilíbrio da Biogeografia Insular (MACARTHUR; WILSON, 1967), número, tamanho e isolamento dos fragmentos florestais.

Tamanho e número

O tamanho dos fragmentos florestais de Mata Atlântica se traduz na medida da área de cada remanescente. Esta medida de área tem se mostrado um importante fator no que se refere à extinção de espécies e migração, sendo que a redução desta implica no aumento da concorrência interespecífica devido à perda de habitat, reduzindo o tamanho das populações e a diversidade de espécies (ANDRÉN, 1994; FAHRIG, 2003). De acordo com Andrén (1994), as populações podem se movimentar e migrar entre os fragmentos reduzidos, entretanto indivíduos de determinadas espécies não são capazes de se movimentar fora de sua área de habitat, ou seja, em uma matriz inter-habitat, ficando restritos a viver no interior dos fragmentos.

A área dos fragmentos florestais foi obtida por meio de uma operação realizada no programa ArcGIS 9.3 (ESRI), na qual a área do polígono é medida em metros ou hectares. No mesmo programa foi realizada uma classificação dos remanescentes

florestais em cinco classes de tamanho (hectare): 0 a 50, 51 a 100, 101 a 300, 301 a 1000 e maior que 1000. As classes de tamanho foram definidas com base em testes; em conceitos sobre limiares de fragmentação da paisagem e em outros estudos como o BIOTA (METZGER, 2006).

Isolamento

Outro aspecto importante da estrutura da paisagem no modelo de ilhas é o isolamento. O aumento da distância entre os remanescentes florestais tem um impacto direto sobre a conectividade. A redução da conectividade dificulta a conservação da biodiversidade, pois os fluxos intraespecíficos e interespecíficos são prejudicados pela diminuição de locais propícios para o deslocamento na paisagem. O grau de fragmentação possui uma relação direta com o isolamento dos fragmentos (ANDRÉN, 1994; METZGER; DECÁMPIS, 1997; PARDINI, 2004).

A análise do isolamento foi realizada utilizando o cálculo do Índice de Proximidade (*prox*) desenvolvido por Gustafson e Parker (1992):

$$Prox = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2}$$

Onde a_{ijs} é igual a área dos fragmentos e h_{ijs} é a distância entre os polígonos de vegetação medidos de borda a borda, dentro de um raio estipulado.

Este índice pode ser compreendido com uma evidência da conectividade entre os fragmentos. Ele leva em consideração a distância das manchas vizinhas e as áreas desses remanescentes em um raio determinado estipulado (Figura 40). Foram realizados testes com raios de 100m, 200m, 500m, 1000m e 2000m. Ao final, selecionamos o raio de 500m para a análise. O índice foi aplicado utilizando o programa V-LATE 1.1 (*Vector-Based Landscape Analysis Tools Extension*) dentro do sistema de informação geográfica Arcgis 9.3 (ESRI). Os valores resultantes foram classificados, utilizando a separação por quartil, em cinco classes de índice de proximidade: muito baixo, baixo, intermediário, alto e muito alto.

Figura 40. Ilustração do cálculo do índice de proximidade. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

A fragmentação da paisagem

Existem vários conceitos aplicados ao termo fragmentação. Para Andrén (1994), caracteriza-se pela perda de habitat, redução no tamanho das manchas e o aumento da distância entre elas, acompanhada pelo incremento ou formação de um novo habitat. Há, nesta análise, uma associação de processos – se por um lado ocorre a perda de habitat original com a consequente diminuição de espécies, por outro lado o tamanho e o isolamento potencializam o surgimento de novos habitats.

A fragmentação de habitats é um processo de divisão de grandes áreas contínuas vegetação em dois ou mais fragmentos, ou seja, em partes menores comparadas à área original. As causas da fragmentação podem ser naturais (enchentes, avalanches e deslizamentos) ou antrópicas, pelo aproveitamento da área para o uso e ocupação da terra ou de recursos para as atividades produtivas (LANG; BLASCHKE, 2009). Conceito semelhante a este é utilizado por Wilcove (et al., 1986), que considera a fragmentação como um processo no qual uma grande extensão de habitat é transformada em um certo número de manchas menores com uma soma total de área menor do que a inicial e isoladas umas das outras por uma matriz diferente.

Concomitante à fragmentação, pode ocorrer o processo de retalhamento da paisagem.

O retalhamento vincula-se ao efeito divisor das estruturas, mas que não diminui o tamanho da área absoluta; “funcionalmente, no entanto, são esperadas sensíveis perturbações do hábitat anteriormente não recortado” (LANG; BLASCHKE, 2009). Os principais efeitos do retalhamento sobre a biota são: a perda de hábitat; efeito de separação e barreira; subdivisão da área contínua transformada em pedaços irregulares e pequenos; mortalidade de espécies.

“Os efeitos negativos da perda de habitat aplicam-se, além das medidas diretas de biodiversidade como a riqueza de espécies, a abundância e distribuição da população e diversidade genética, também as medidas indiretas e fatores que afetam a biodiversidade” (FAHRIG, 2003). A perda de habitat tem sido considerada, por vários autores, como a responsável pela redução do tamanho da cadeia trófica, alteração das relações entre as espécies e redução de espécies mais especializadas e de grande porte, podendo também ter efeito negativo na reprodução, dispersão e taxa de predação.

A Figura (41) mostra uma condição teórica para a análise da fragmentação. Na curva de fragmentação da paisagem (*fragmentation*), há dois limites de referência (0 e 1) que indicam graus contrastantes de conectividade. Se o valor estiver mais próximo a 1, as paisagens estão bem conectadas para todas as populações. Quando o valor atinge um limiar de manutenção (*habitat proportion*) inicia-se uma inflexão na curva de fragmentação, que passa a tender a zero, limite em que não há conexão. Para essa última condição, pequenas mudanças na distância de dispersão máxima podem produzir grandes diferenças na abundância de espécies e utilização de habitat. Algumas espécies invasoras ou exóticas, mais adaptadas às paisagens fragmentadas, podem ser beneficiadas pela ocorrência de áreas de borda (METZGER; DECÁMPIS, 1997).

A curva de extinção (*extinction*) tem um comportamento proporcional ao processo de fragmentação (Figura 30). Nos valores próximos a 1 apresenta uma reta com variações sutis, sendo relativamente homogênea. Quando o valor alcança o ponto crítico (Pc), ocorre uma elevação exponencial das extinções, até que tendem a um novo equilíbrio linear no momento em que o limite de Pc é ultrapassado. A correlação ecológica inversa ocorre com a conectividade estrutural, que é máxima se a curva de fragmentação estiver próxima a 1 e mínima, se esta curva estiver próxima a 0.

Figura 41. Relação teórica entre proporção de habitat, conectividade estrutural, fragmentação do habitat e a extinção global de espécies. Fonte: Metzger e Décamps (1997).

As espécies e suas populações apresentam diferentes limites de conectividade, de acordo com seus requisitos biológicos. Quando o limite da conectividade estrutural é excedido, aumentam as perturbações causadas pela matriz, fazendo com que a taxa de recolonização seja reduzida e os limites de conectividade das populações sejam ultrapassados para um grande número de espécies. Isto corrobora a ideia de que o aumento da taxa de extinção se inicia quando é atingido um valor crítico da conectividade estrutural.

5.3.2.3 Análise por regiões

Para a análise da distribuição dos remanescentes florestais na paisagem selecionamos um conjunto específico de medidas da paisagem que representem atributos relevantes para a estrutura e configuração: a porcentagem de vegetação por área, ou proporção de habitat (PLAND) e número de fragmentos por área.

Adotamos para a avaliação dessas métricas a técnica de análise por regiões: sobre o recorte de paisagem foram colocados hexágonos com área de 2.500 ha, formando uma malha (Figura 42). A área do hexágono foi definida a partir de uma série de testes.

Acreditamos que a técnica facilita a análise, pois subdivide a paisagem em áreas menores, mas ainda com um nível de generalização das informações.

Figura 42. Modelo de resposta gerado a partir da aplicação da análise por regiões (hexágonos). Como exemplo, a tonalidade mais escura indica a maior porcentagem de vegetação ou proporção de habitat. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

A proporção de habitat foi calculada separadamente para cada hexágono com 2500 ha de área utilizando a seguinte fórmula:

$$P_{land} = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$$

Onde P_i é igual a proporção da paisagem ocupada pela classe, no caso, a vegetação; a_{ij} é igual a área do fragmento florestal; e A representa a área total na paisagem, nesta análise, área de cada hexágono.

O resultado da análise foi disposto em cinco classes em uma divisão da porcentagem de vegetação: 0 a 10, 10 a 30, 30 a 60, 60 a 80 e 80 a 100. Foi utilizada uma escala de tons de cores, possibilitando a visualização das áreas com maior e menor proporção de habitat por hexágono no recorte da paisagem.

O número de fragmentos florestais também foi calculado para cada hexágono. O resultado com o número total de remanescentes por área foi dividido, utilizando uma distribuição por quartil, em cinco classes: 0 a 15, 16 a 35, 36 a 57, 58 a 85 e 86 a 125.

Análise por regiões: cenários para conservação

Podemos afirmar categoricamente que todos os remanescentes da Mata Atlântica são importantes para a manutenção desta formação florestal tão reduzida e fragmentada. No entanto, combinando as análises já produzidas neste estudo, podemos ter uma visão das regiões com melhores condições, em termos de área e número de fragmentos, para a manutenção da floresta na paisagem.

Entendendo a fragmentação como um processo de perda e subdivisão da estrutura da paisagem, concluímos que uma interpretação mais assertiva quanto a seleção de áreas prioritárias para a conservação na paisagem pode ser feita quando número de fragmentos por área é associado à porcentagem de vegetação.

A classificação de cada análise foi transformada em um *ranking* de 1 a 5, os valores foram somados e divididos pelo número de classes. Nessa classificação, foi atribuído peso 2 ao PLAND e peso 1 ao número (de fragmentos), em uma medida de ponderação da relevância dos dados. O índice resultante foi dividido em cinco classes de cenários para a conservação: não favorável; muito pouco favorável; pouco favorável e favorável.

5.3.3 Resultados e Discussão

5.3.3.1 Área e Isolamento

Podemos observar na Figura (43) que alguns dos maiores fragmentos florestais da área de estudo estão localizados no Contínuo da Cantareira, portanto, protegidos por lei pelos Parques Estaduais da Cantareira, Itapetinga e Itaberaba. Já outros fragmentos com grandes áreas não estão protegidos por unidades de conservação de proteção integral, como os fragmentos com mais de 1000 hectares a Sudeste e a Nordeste na figura. No entanto, o que mais chama a atenção é a enorme quantidade de fragmentos com áreas pequenas, 0 a 50 e 51 a 100 ha.

Os resultados da análise mostram que uma expressiva maioria (95%) do número total de fragmentos (8161) possui, no máximo, 50ha de área. Todos os fragmentos dessa classe representam, no entanto, aproximadamente 34% da área total dos fragmentos florestais (Figura 44).

Figura 43. Área dos fragmentos florestais.

Figura 44. Porcentagem de número e área, por classe de tamanho (em ha), no CCM. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

A classe de tamanho de 51 a 100 ha constitui menos de 3% (185) do número total de remanescentes, mas já representa mais de 10% da área total dos fragmentos. Estes dados refletem uma tendência que se mantém para praticamente todas as outras classes, pois mesmo apresentando um menor número de fragmentos, existe um aumento da área representada devido ao aumento da classe de área. Os fragmentos com mais de 1000 ha, neste recorte da paisagem, são apenas 14, mas configuram mais de 26% da área total dos remanescentes florestais.

É de amplo conhecimento que a Mata Atlântica é uma floresta altamente fragmentada e distribuída em diversos tamanhos de remanescentes. Ribeiro (et al. 2009) conclui que o maior número de remanescentes florestais da Mata Atlântica, cerca de 80% do número total, possui menos de 50 ha de área, representando aproximadamente 20% da área total da Mata Atlântica. Para o recorte da área de estudo encontramos uma distribuição semelhante, com uma ocorrência ainda maior de fragmentos pequenos, mais de 95% do total, evidenciando o atual estado ou estrutura da Mata Atlântica nessa região e ressaltando a importância dos fragmentos considerados pequenos e médios.

Podemos observar na Figura (45) que os fragmentos florestais com os melhores índices de proximidade ocupam uma extensa área na paisagem, podendo ser encontrados na diagonal Sudoeste-Nordeste da figura, principal área foco desse estudo, e nas unidades de conservação que formam o Contínuo da Cantareira. Uma exceção é o Parque Estadual do Juquery – considerado um enclave de cerrado - que apresenta fragmentos com um índice de proximidade intermediário, demonstrando um maior isolamento em relação às áreas vizinhas. Na porção Norte-Noroeste da figura, assim como na porção Leste, podemos observar grande quantidade de fragmentos com índices baixo e muito baixo de proximidade, são fragmentos que, comparados com os outros nesta paisagem, possuem menor conectividade, por estarem a maiores distâncias de outros fragmentos ou próximos a fragmentos com áreas reduzidas.

Segundo Ribeiro (2009) o isolamento médio entre fragmentos florestais para a Mata Atlântica é de 1.441 m, com uma grande variação de metros a dezenas de quilômetros. O autor ressalta novamente a importância dos fragmentos pequenos, diminuindo o isolamento médio, quando os fragmentos com área menor que 50ha são retirados da análise, o isolamento médio aumenta para mais de 3.500 m.

Em nossa análise, 95% dos fragmentos possuem menos de 50 ha e, no entanto, ainda existem consideráveis porções da paisagem com altos índices de proximidade, o que além de ressaltar a importância desses remanescentes, também coloca em evidência o papel do arranjo espacial, ou seja, a configuração desses fragmentos na paisagem. Buscando compreender a funcionalidade da paisagem para o deslocamento de organismos, podemos inferir que espécies que possuam uma capacidade de deslocamento entre fragmentos florestais igual ou superior a 500 m, ainda encontram possibilidades em uma estratégia do tipo *“stepping stones”*.

5.3.3.2 Análise por regiões: proporção de habitat e número de fragmentos

A Figura (46) mostra a distribuição da proporção de habitat ou porcentagem de vegetação por regiões (hexágonos) na área de estudo. Por meio dessa análise foi possível observar mais claramente a concentração de vegetação em alguns pontos e a escassez em outros. Notamos que existem poucos hexágonos com mais de 80% de vegetação. Um deles está localizado na região do Parque Estadual da Cantareira, outros quatro estão agrupados na região da Floresta Estadual de Guarulhos e do Parque Estadual Itaberaba, todas essas unidades se encontram dentro do Contínuo da Cantareira. Na porção Nordeste na figura, encontramos mais dois hexágonos, na região da Serra da Mantiqueira. Podemos perceber que a classe de proporção de habitat entre 30 e 60% forma um corredor entre o Contínuo da Cantareira e a Serra da Mantiqueira, numa diagonal Sudoeste-Nordeste na figura. No entorno desse corredor, encontramos majoritariamente a classe entre 10 e 30% de porcentagem de vegetação.

Na Figura (47) observamos a distribuição das classes de número de fragmentos por área. Notamos uma concentração de hexágonos com maior número de remanescentes na porção Sudeste da figura, região dos municípios de Guarulhos, Santa Isabel e Mogi das Cruzes, evidenciando que a vegetação se encontra extremamente parcelada. A ocorrência de poucos fragmentos por área pode ter duas explicações: a primeira é que no hexágono a cobertura vegetal é mais contínua, portanto, existem poucas divisões e poucos fragmentos, como é o caso da região do contínuo da Cantareira e da porção Nordeste da figura; a segunda é que existem poucos fragmentos de vegetação e por isso o número total por área é baixo, como é o caso da porção Centro-Norte da Figura.

Figura 47. Número de fragmentos florestais por região.

Org. Ricardo Sartorello, 2012.
Fonte: Inventário Florestal do estado de São Paulo, 2009.
Instituto Florestal - SP.

5.3.3.3 Análise por regiões: cenários para a conservação

Notamos que a ponderação do número de fragmentos pela área, expressa uma interessante distribuição de cenários mais ou menos favoráveis para a conservação na paisagem.

Por um lado, uma região com área total elevada, dividida em diversos fragmentos, recebe uma classificação menor, devido à ponderação pelo número de fragmentos florestais. Por outro, uma região com poucas subdivisões é diferenciada pela área da vegetação, como observado na diagonal Sudoeste-Nordeste, enquanto na porção Noroeste, regiões com poucos fragmentos são classificados como cenários pouco ou muito pouco favoráveis, por causa das reduzidas áreas totais.

Os melhores cenários estão distribuídos em alguns pontos da área de estudo, como nas regiões do Contínuo da Cantareira - incluindo os Parques da Cantareira, Itapetinga e Itaberaba – e regiões próximas a Serra da Mantiqueira. Notamos uma clara ausência de cenários favoráveis em regiões entre as Serras do Contínuo da Cantareira e Mantiqueira.

Excluindo a diagonal Sudoeste-Nordeste da figura, poucas regiões isoladas apresentam cenários muito favoráveis. Essa descontinuidade de cenários muito favoráveis observada no Corredor Cantareira-Mantiqueira é preocupante, pois mostra um gargalo na paisagem, o que pode dificultar fluxo e deslocamento de espécies pelo Corredor. Também identificamos uma descontinuidade entre o Parque Estadual do Juquery e os Parques que compõem o Contínuo da Cantareira, apesar do PE Juquery possuir remanescente de outra formação vegetal, o cerrado.

Os cenários “favoráveis” para a conservação estão distribuídos também ao longo do Corredor Cantareira-Mantiqueira, fazendo fronteiras com grande quantidade de cenários favoráveis, o que os coloca em uma posição estratégica para o “fortalecimento” e manutenção dos cenários mais favoráveis. Notamos que essas regiões promovem a conexão entre blocos de cenários favoráveis no Contínuo da Cantareira e Serra da Mantiqueira e outros agrupamentos de regiões a Sudeste e Leste na figura.

Neste gradiente, as regiões pouco favoráveis - ou mesmo as não favoráveis - não podem ser entendidas como de menor importância, ou descartáveis. Como observamos, essas regiões podem exercer um importante papel na manutenção de uma estrutura da paisagem com melhores condições para conservação.

5.3.4 Considerações

Certamente o modelo de ilhas é um modelo importante na geração de conhecimentos sobre a estrutura da paisagem. A avaliação dos fragmentos isoladamente permite o estabelecimento de relações e desdobramentos na análise de forma muito mais prática, gerando resultados de fácil interpretação.

De forma geral, notamos que a análise da estrutura da paisagem por meio do modelo de ilhas pode gerar informações básicas, mas importantes, como o número de fragmentos existentes e a sua distribuição em classes de tamanho, assim como a organização espacial desses remanescentes; a relação de distância e as diferentes possibilidades de configuração da estrutura da paisagem.

Recentemente, Fahrig (2013), considerando a riqueza de espécies, abriu uma grande discussão sobre a relativa importância dos fragmentos estudados individualmente e isoladamente, alegando a necessidade de considerar apenas a proporção de habitat, como principal elemento da paisagem.

A análise por regiões, como a análise de cenários para a conservação, pode contribuir para o entendimento da distribuição e dar suporte para análises de contexto de elementos da paisagem, como unidades de conservação e corredores ecológicos. Acreditamos ainda que a análise por regiões pode contribuir no planejamento das prioridades das ações de restauração em áreas degradadas, realizadas ainda muitas vezes de maneira arbitrária.

Temos consciência que toda e qualquer generalização inclui uma margem de erro que pode ser assumida dependendo dos benefícios que a proposta de síntese traz. No caso deste estudo, acreditamos que as generalizações nas análises por regiões e os resultantes cenários para a conservação, tragam mais informações sobre o potencial

para a conservação da paisagem dado pela interpretação de sua atual estrutura.

Entendemos que o contexto formado por uma análise de agrupamentos possa facilitar entendimento sobre vários aspectos estruturais, que influenciam diretamente nos aspectos funcionais e de diversidade, no entanto, não é possível assumir as regiões como unidades de paisagem. Os fragmentos compõem as regiões agrupadas que facilitam e orientam algumas observações, mas as ações de conservação e restauração devem com base nos remanescentes. O aumento de área e diminuição do isolamento por região é desejável, mas deve ser direcionado. A análise é por regiões, mas a atuação tem que ser pontual.

Também devemos destacar que o modelo de ilhas e as análises por regiões subsequentes possuem muitas limitações e devem ser assimiladas com todas as premissas de análises realizadas considerando somente a vegetação como indicador da estrutura da paisagem.

Acreditamos que análises complementares, que incluam variáveis ambientais e sociais, são imprescindíveis para uma compreensão mais profunda dos processos que se desenvolvem em paisagens com potencial para a conservação.

Buscaremos, nos próximos estudos desta tese, outras aproximações utilizando variáveis físicas, principalmente parâmetros do relevo.

A seguir, apresentaremos o terceiro estudo de caso, segundo no Corredor Cantareira-Mantiqueira. Neste estudo abordamos a questão da estrutura da paisagem, no estudo a seguir trazemos uma proposta de análise das mudanças na estrutura da paisagem ao longo do tempo. Relacionamos as mudanças com parâmetros do relevo como elevação e declividade, buscando compreender os processos que predominam ou direcionam as transformações identificadas na paisagem.

5.4 Mudanças da paisagem no Corredor Cantareira – Mantiqueira e implicações para a conservação.

5.4.1 Contextualização

A apreensão da paisagem utilizando tanto abordagens geográficas ou ecológicas ocorre, geralmente, como um retrato de um momento específico, no qual os elementos, a composição, a distribuição, os tamanhos e formas, são reconhecidos em um tempo, resultado de um acúmulo de outros momentos.

Acompanhar uma mesma paisagem em diferentes momentos dá uma condição especial ao pesquisador de ver os processos que geralmente são somente identificados por dedução. O estudo da transformação de uma paisagem ao longo do tempo, ou seja, de sua dinâmica, pode trazer muitas informações sobre tipo, ritmo, magnitude e tendência das mudanças de uma área de interesse para a conservação.

No entanto, entender processos temporais no espaço não é uma missão simples, pois envolve uma série de teorizações, conceitos, procedimentos e materiais que, assim como a paisagem, variam ao longo do tempo. A questão tecnológica é clara. Não existem imagens de satélite disponíveis - ao menos livres para estudos acadêmicos - anteriores a década de 1980. Assim como não existiam as fotografias aéreas até a primeira metade do século XX.

Mesmo considerando os mais de 30 anos de imagens orbitais disponíveis, temos que considerar a qualidade, resolução e tipos de sensores utilizados, que podem variar imensamente – assim como o preço de alguns desses produtos – e inviabilizar a utilização dependendo do tipo de análise a ser realizada. Uma outra questão envolve a evolução dos programas para análises específicas e procedimentos.

Nesse estudo, analisamos as mudanças ocorridas na paisagem na região do Corredor Cantareira-Mantiqueira com o intuito de compreender a transformação e tendências de processos que se desenvolvem nesse importante eixo para a biodiversidade.

Por entendermos que, na área de estudo, o relevo possui um papel preponderante na constituição e diferenciação de ambientes, assim como para a conservação dos

remanescentes florestais de Mata Atlântica - e outras formações associadas como campos naturais e campos de altitude - buscamos compreender também que tipo de relação existe entre atributos do relevo como altitude e declividade e as mudanças na paisagem em três momentos, em uma escala temporal de 22 anos.

5.4.2. Procedimentos

5.4.2.1 Análises temporais

Os métodos mais utilizados para a avaliação das mudanças na paisagem estão baseados na comparação temporal entre mapeamentos da paisagem, por meio da classificação de fotografias aéreas ou imagens de satélite, em classes de uso da terra.

As classificações são geradas de forma supervisionada ou automática. Segundo Moreira (2005), os classificadores por regiões utilizam como critério de decisão a informação espectral de cada *pixel* da imagem e a informação espacial que envolve a relação entre o *pixel* e seus vizinhos. Estes classificadores procuram simular o comportamento de um fotointérprete ao reconhecer áreas homogêneas nos dados orbitais, baseados nas propriedades espectrais e espaciais na imagem.

Segundo Small (2004), a acurácia das classificações temáticas é fortemente dependente da escala espacial dos diferentes tipos de cobertura da terra e da resolução espacial do sensor. Classificações temáticas possuem maior acurácia em áreas com um limitado número de tipos de cobertura espectralmente homogêneas. Classificações temáticas possuem notoriamente pouca acurácia onde as transições entre os tipos de cobertura da terra resultam em um grande número de pixels com mais de um tipo de cobertura como resposta espectral. Portanto, as classificações temáticas falham na representação de alguns aspectos da estrutura e das transições gradativas das paisagens (SMALL, 2004).

Neste estudo utilizaremos uma análise que resulta em uma classificação contínua da paisagem.

5.4.2.2 Seleção de Imagens de Satélite

Utilizamos neste estudo imagens Landsat TM em três diferentes datas. Os pesquisadores que já se aventuraram a trabalhar com imagens em uma longa série temporal no Brasil provavelmente se depararam com o mesmo problema inicial enfrentado nessa investigação, a cobertura de nuvens. Todas as imagens Landsat TM (5 e 7) disponíveis no site da USGS (*United States Geological Survey*) - para a cena que englobava a área de estudo - foram adquiridas e avaliadas quanto à qualidade e cobertura de nuvens.

Para auxiliar a escolha das imagens, elaboramos dois gráficos (Figura 49 A e B) com a distribuição da cobertura de nuvens das imagens por ano e por dia do ano. Selecionamos imagens com cobertura máxima de 40% para a análise. As duas informações são importantes, pois revelam quais são as datas com menor cobertura de nuvens e qual época do ano possui imagens com maior qualidade.

Observamos na Figura (49 A) que em uma série de 29 anos, apenas 12 datas possuem imagens com porcentagem de cobertura zero. Existe uma grande concentração de imagens com coberturas entre 0 e 10%, considerada uma porcentagem relativamente baixa. No entanto, esses 10% de recobrimento podem estar dispersos em pequenas áreas espalhadas ou concentradas em pontos específicos. Notamos uma concentração relativamente maior de imagens sem o recobrimento de nuvens (cobertura zero) entre os dias do ano 180 e 260 (Figura 49 B), correspondendo aos meses de Julho, Agosto e Setembro, meses tradicionalmente com menor pluviosidade na área de estudo.

Com base nas informações dos gráficos, selecionamos inicialmente 26 imagens entre os anos 1984 e 2011, com recobrimento de nuvens menor que 10% entre os dias julianos 230 e 270. A proximidade dos dias é outro fator relevante, pois influencia as condições de luminosidade, ângulo relativo de inclinação do Sol, e climáticas, estações secas e chuvosas.

Nesse conjunto com menos de 10% de cobertura por nuvens, a alta concentração de nebulosidade na área de estudo - fenômeno favorecido por se tratar de serras com altas elevações - inviabilizou a utilização de mais da metade da série temporal. Selecionamos,

ao final, três imagens Landsat TM com as respectivas datas: 1988_256 (12/09), 1999_238 (26/08) e 2010_236 (24/08). Apesar da diferença de 20 dias entre 1988 e 2010 não ser a ideal para a comparação temporal, julgamos que a qualidade da imagem e o fato de terem sido obtidas na mesma estação, predominantemente seca, dá suporte ao benefício obtido pelas informações do uso da terra.

Figura 49. Distribuição da porcentagem de cobertura de nuvens em imagens de satélite Landsat, na cena São Paulo. Distribuição da porcentagem por ano – 1983 a 2012 (A) e por dias do ano (B). Org. Ricardo Sartorello, 2014.

5.4.2.3 Análises de Mistura Linear e Modelo SVD (*Substrate - Vegetation - Dark*)

Para a obtenção de maior qualidade de informação dos pixels das imagens selecionadas, aplicamos na série temporal a Análise de Mistura Linear, já descrita em maior detalhe nesta tese (ver item 5.1.2.4). A análise tem o objetivo de separar diferentes informações contidas (misturadas) no mesmo pixel. Esse tipo de análise possibilita a classificação contínua da paisagem, ao invés da classificação categórica, tradicionalmente mais utilizada em análises temporais.

O modelo fundamenta-se no pressuposto de que um espectro misturado (diferentes alvos no campo de visão do sensor) pode ser modelado através de uma combinação linear de espectros puros, conhecidos por “endmembers” (ROBERTS et al., 1998).

Os “endmembers” utilizados nesse estudo para a Análise de Mistura Linear são provenientes de um estudo realizado por Small (2004) no qual 30 paisagens de diferentes locais no mundo tiveram imagens Landsat ETM+ selecionadas e submetidas a análises por Componentes Principais (PCs). O estudo mostrou que, na maioria das paisagens selecionadas, a combinação dos PCs gerou uma estrutura triangular de distribuição dos pixels cujos vértices - extremos da separação de variações distintas – correspondiam a basicamente três tipos de elementos na paisagem, vegetação, substrato com alta refletância e superfície escura com alta absorção da luz (Figura 50). Com base nas 30 paisagens analisadas o autor elaborou uma “Composição Global de Endmembers” utilizando as médias dos três endmembers, vegetação (V), substrato (S) e superfície escura (D). Segundo o Small (op. cit.), essa composição pode ser aplicada no Modelo Linear de Mistura, gerando um Modelo *Substrate, Vegetation e Dark* (SVD).

Utilizamos a “Composição Global de Endmembers” para realizar a Análise de Mistura Linear em cada uma das três imagens Landsat TM selecionadas (1988, 1999 e 2010). A análise gerou três bandas (para cada imagem) que correspondem aos endmembers: substrato (S), vegetação (V) e superfície escura (D).

A distribuição geográfica desses três elementos da paisagem pode ser observada por meio de uma composição RGB (*Red, Green, Blue*), para a qual selecionamos as bandas

nas respectivas posições, R = substrato (S), G = vegetação (V) e B = superfície escura (D). Realizamos composições para as três datas. O programa utilizado foi o ENVI 4.7.

Figura 50. Ilustração da “Composição Global de Endmembers” para imagens Landsat. A composição foi obtida a partir da coleta de informações sobre a variação das respostas espectrais nos vértices das estruturas triangulares formada pela distribuição dos pixels: substrato (S), vegetação (V) e superfície escura (D). As figuras A, B mostram diferentes combinações dos três primeiros Componentes Principais (PCs) ou dimensões (*Dimension*), 1X2, e 3X2. Fonte: Small (2004).

5.4.2.4 Análise tri-temporal

A análise de mudanças da paisagem ao longo do tempo foi realizada por meio da construção de uma composição espectral RGB, na qual as bandas provenientes da Análise de Mistura espectral foram combinadas. Como existe um interesse específico na área de estudo do corredor Cantareira-Mantiqueira e os remanescentes florestais de Mata Atlântica, utilizamos neste estudo somente as bandas relativas a vegetação (V).

A composição final selecionada foi: para o R = 2010 (Vermelho), G = 1999 (Verde) e B = 1988 (Azul). A imagem resultante foi composta por informações sobre 3 momentos diferentes da mesma área, sendo que as alterações na paisagem mais recentes (2010) se destacaram na cor vermelha, as intermediárias (1999) na cor verde e as mais antigas (1988) na cor azul. Também obtemos informações sobre áreas sem alterações nesse período em cores como branco e preto e possíveis alternâncias de tipos de usos em

diferentes períodos resultando em recombinações das cores iniciais. O programa utilizado foi o ENVI 4.7.

Para auxiliar a análise e a interpretação dos resultados, selecionamos cerca de 60 amostras de elementos da paisagem, principalmente na área do corredor Cantareira – Mantiqueira, que apresentaram diferenciação em relação as cores resultantes. Ao todo 16 variações foram analisadas. Cada amostra foi checada em imagens de satélite de alta resolução disponíveis no programa Google Earth, na data mais próxima à da imagem Landsat TM 2010. Alguns dos elementos da paisagem identificados foram selecionados para checagem em campo.

5.4.2.5 Relação entre as mudanças na paisagem e parâmetros do relevo

Para estudarmos a relação entre as mudanças na paisagem e parâmetros do relevo, foi realizada, inicialmente, uma análise da diferença dos elementos das paisagens na série tri-temporal. A diferença entre os elementos da paisagem entre uma data e outra pode ser calculada, pela subtração dos valores dos pixels nas bandas de imagens de diferentes anos.

Utilizamos como base para o cálculo as bandas espectrais resultantes da Análise de Mistura Linear, substrato (S), vegetação (V) e superfície escura (D). Descreveremos os resultados com foco nas bandas de vegetação (V). Aplicamos uma técnica de subtração espectral em pares de datas: Banda 3 (vegetação 2010) – B2 (vegetação 1999) e Banda 2 (vegetação 2010) – Banda 1 (vegetação 1988). Neste estudo, selecionamos para apresentar como resultado somente a diferença entre as datas 2010 e 1988, por representar maiores quantidades e magnitudes de mudanças.

Os resultados das subtrações entre as datas foram relacionados em gráficos (X, Y) com dois parâmetros do relevo, elevação e declividade. A elevação da área de estudo foi obtida por meio de um Modelo Digital de Elevação (MDE) criado a partir da base topográfica digital do IBGE, em escala 1:25.000, com distanciamento entre as curvas de nível de 20 m. As informações sobre a declividade foram obtidas por meio de uma análise derivada utilizando o MDE (no item 5.5 desta tese detalharemos o processo de

extração de parâmetros do relevo a partir do Modelo Digital de Elevação). Os procedimentos foram realizados no programa ENVI 4.7.

Para ilustrar os resultados obtidos relacionando a diferença temporal da vegetação e os parâmetro do relevo, elaboramos dois recortes na área de estudo: o primeiro, abrange os limites Norte da Região Metropolitana de São Paulo e o Contínuo da Cantareira até a Serra de Itaberaba, denominamos a área como Cantareira (C); o segundo abrange os limites Nordeste da Serra de Itapetinga (e a Unidade de conservação de mesmo nome), o início da Serra da Mantiqueira e a área entre as duas serras - local estratégico para a conexão entre as porções mais elevadas na paisagem - denominamos o recorte como Mantiqueira (M).

5.4.3 Resultados e Discussão

5.4.3.1 Análise de Mistura Linear

A composição resultante da combinação das bandas Substrato (em vermelho), Vegetação em Verde e Superfície escura (em azul) mostra a distribuição desses elementos na paisagem. Os elementos em vermelho, tons de lilás e roxo, possuem uma maior correspondência com áreas urbanas, como no limite Norte da Região Metropolitana de São Paulo, próximo ao Parque Estadual da Cantareira. A cor laranja e tons associados, correspondem, principalmente a áreas de campo e culturas. A cor azul refere-se aos principais corpos d'água, como as diversas represas do Sistema Cantareira de abastecimento de água encontradas na área de estudo. A cor verde corresponde a áreas de vegetação, basicamente remanescentes florestais de Mata Atlântica e áreas de reflorestamento e silvicultura.

Utilizamos os limites de Unidades de Conservação no Contínuo da Cantareira como referência para a descrição dos diferentes elementos na paisagem nas áreas de maior interesse para a conservação, no entanto é preciso lembrar que os Parques Estaduais possuem diferentes datas de criação. A maioria das UCs foi criada posterior a primeira imagem analisada, de 1988. O Parque Estadual da Cantareira foi criado em 1963. O Parque Estadual do Juquery, em 1993. Os Parques Estaduais Itapetinga e Itaberaba, somente em 2010.

A composição de 1988 (Figura 51), mostra uma sensível ausência de vegetação florestal na área do Parque Estadual do Juquery, que ainda não havia sido criado, mas temos que considerar que na área deste Parque existem enclaves de cerrado, fisionomia com resposta espectral diferente na análise. Nos outros Parques, notamos considerável presença de cobertura vegetal florestal, inclusive nas Serras de Itapetinga e Itaberaba, que só viriam se tornar áreas protegidas em 2010. Na diagonal Sudoeste - Nordeste da composição de 1988 (Figura 51) observamos fragmentos florestais formando o corredor entre o Contínuo da Cantareira (final do Parque do Itaberaba) e a Serra da Mantiqueira (setor Nordeste da figura). Entre essas duas porções da paisagem com fragmentos maiores existe uma área de conexão, com fragmentos menores, em meio a uma profusão de outras “manchas” na paisagem, como campos antrópicos, agro culturas e silvicultura. Iremos analisar em maior detalhamento a natureza desses elementos no tópico seguinte.

A composição de 1999 (Figura 52), mostra basicamente a mesma distribuição dos elementos da paisagem, substrato, vegetação e superfície escura. Notamos processos de adensamento e expansão da mancha urbana (em vermelho) na zona Norte do município de São Paulo e outras áreas no eixo da Rodovia Presidente Dutra (porção Sudeste da figura) e também ao longo dos eixos das rodovias Fernão Dias, como no município de Bragança Paulista (ao Norte da figura) e Dom Pedro I, como os municípios de Atibaia e Bom Jesus dos Perdões (ao Norte do P.E Itapetinga). Na região do Corredor Cantareira-Mantiqueira a vegetação não sofreu sensíveis alterações nesse período, ao menos em termos de supressão ou substituição do tipo de uso. Verificamos uma relativa estabilidade nas áreas dos Parques Estaduais da Serra da Cantareira, Itapetinga e Itaberaba. Notamos um sensível aumento de área verde na região do começo do complexo de Serras da Mantiqueira (setor Nordeste da figura). No entanto, esse aumento não representa necessariamente aumento de área de vegetação nativa, dentro de um processo de regeneração natural ou plantio, verificamos que na maioria dos casos, existiu uma mudança para a silvicultura.

A composição de 2010 (Figura 53), confirma alguns processos, como expansão de manchas urbanas ao longo das Rodovias Presidente Dutra, Fernão Dias e Dom Pedro I. Também confirma o aumento relativo da cobertura vegetal na porção Nordeste da

figura - substituindo manchas de cor laranja, geralmente, associadas a áreas de campos e culturas agrícolas – como podemos observar na região entre os reservatórios Jaguari e Cachoeira (entre os Municípios de Bragança Paulista e Piracaia). Notamos uma sensível diminuição do tamanho de manchas de cobertura vegetal florestal na porção Noroeste da figura, região do município de Itatiba. As áreas dos Parques Estaduais apresentam basicamente a mesma homogeneidade (cor verde) das outras datas.

5.4.3.2 Análise da composição tri-temporal

A composição espectral temporal utilizando as bandas de vegetação oriundas da Análise de Mistura Linear (Figura 54), reforça as análises realizadas previamente. Notamos que as áreas urbanas como a zona Norte da Região Metropolitana de São Paulo e demais municípios de Atibaia, Bom Jesus dos Perdões e Bragança Paulista, apresentam cor azul, predominantemente, com áreas de expansão em cor verde, mostrando uma evolução da mancha urbana nestes locais entre os anos 1988 e 1999. Mudanças urbanas mais recentes (2010) também foram identificadas, como manchas de cor vermelha à esquerda da Rodovia Fernão Dias, entre os municípios de Atibaia e Bragança Paulista, e ao Sul da Rodovia Dom Pedro I, entre os municípios de Atibaia e Bom Jesus dos Perdões.

A região do Corredor Cantareira-Mantiqueira, de cor predominantemente branca, sofreu poucas alterações relevantes, principalmente nas áreas dos Parques do Contínuo da Cantareira (Parques da Cantareira, Itapetinga e Itaberaba). Notamos que a porção Nordeste da figura, apresenta uma grande mancha de cor branca, no início da Serra da Mantiqueira, também com poucas alterações ao longo da série temporal. No entanto, identificamos - entre essas duas porções do Contínuo da Cantareira e Mantiqueira e na região Norte e Nordeste da figura - inúmeras pequenas manchas sobretudo com cores verde, amarelo e rosa (em diferentes tonalidades) representando alterações no tipo de uso entre os anos 1999 e 2010.

Grande parte das alterações identificadas no mapa tri-temporal da área de estudo, principalmente nas cores verde, amarelo e rosa, representa áreas de campo antrópico ou culturas agrícolas que foram substituídas por silvicultura, ou em outros casos, menos frequentes, áreas de campo em processo de regeneração natural.

5.4.3.3 Relação entre as mudanças na paisagem e parâmetros do relevo.

Ao combinarmos em um gráfico (X,Y) informações sobre parâmetros do relevo, elevação e declividade, com a diferença dos elementos da paisagem entre as datas 2010 e 1988 – dada pela subtração das informações das bandas de vegetação da Análise de Mistura Linear - notamos que existe uma clara relação entre os dados, formando agrupamentos e limiares, tanto no recorte da paisagem Cantareira (C), quanto para Mantiqueira (M) (Figura 55).

O distanciamento do valor zero no eixo X do gráfico (Figura 55), mostra as mudanças com valores positivos ou negativos (resultado da subtração espectral), o sinal dos valores não indica qualidade, ou seja, não quer dizer que as mudanças são negativas ou positivas para a paisagem, apenas indica que existiu algum processo de alteração do tipo de uso ao longo do tempo. A interpretação do tipo de mudança depende do conhecimento sobre a área seus tipos de uso.

Para o recorte Cantareira (C), a distribuição desses distanciamentos em relação a elevação (Figura 55 - C1) mostra uma estrutura com a base mais estreita nas menores altitudes, um alargamento nas altitudes intermediárias (relativas exclusivamente para a diferença altimétrica no recorte de estudo) e um novo estreitamento que se alonga nas altitudes mais elevadas. Estrutura similar é encontrada na relação com a declividade na mesma área (Figura 55 - C2), com uma diferença na base da estrutura, que não é estreita como no gráfico de elevação.

Para o recorte Mantiqueira (M), encontramos distribuições com mesmo tipo de estrutura básica de variação, em relação a elevação e a declividade, descritas pra o recorte Cantareira. Uma diferença notável é o maior desvio dos valores positivos em relação ao valor zero, que pode ser observado tanto no gráfico de elevação (Figura 55 – M1), quanto no de declividade (Figura 55 – M2).

Figura 55. Relação entre a elevação e o resultado da subtração entre as datas 2010 e 1988, para os recortes da área de estudo (parte superior), Cantareira (C1) Mantiqueira (M1). O mesmo para o a relação entre a declividade em C2 e M2. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Para a interpretação das estruturas identificadas nos gráficos, realizamos uma categorização dos dados. Analisamos as informações por dois ângulos, o primeiro é a distribuição dos pixels ao longo do eixo Y, representando a variação de altitude ou declividade. Existe uma clara diferença entre as concentrações, densidade de pixel, e faixas de altitude e inclinação do relevo. Tentamos demonstrar nos dois recortes da paisagem (Contínuo da Cantareira e Mantiqueira) as rupturas identificadas nos gráficos como diferentes faixas ou limiares de alteração em relação a altitude; o segundo é a diferença de variação no eixo (X), positivas ou negativas, das mudanças na paisagem de uma data para a outra. Selecionamos o gráfico de elevação para realizar uma análise categórica, separando as informações dos eixos X e Y em classes de cores, representando a distribuição geográfica na área de estudo correspondente.

Notamos no recorte da Cantareira (Figura 56 CG), que as alterações na paisagem - identificadas pelo distanciamento do valor zero no eixo X, possuem maior variação na faixa altitudinal entre 750 e 950m (Figura 56 C-E2, em vermelho). Abaixo dessa, existe variação menor na faixa entre 600 e 750m (Figura 56 C-E1, em marrom). Na faixa entre 950 e 1050 m, notamos uma segunda área de maior dispersão em relação a mudanças (Figura 56 C-E3, em amarelo). Na faixa acima de 1050m a variação volta a ser bastante reduzida (Figura 56 C-E4, em verde). As faixas entre 600 e 950m concentram as principais atividades antrópicas, como assentamentos humanos, culturas agrícolas e campos antrópicos. Acima de 950m as mudanças são gradativamente menores e representam áreas com vegetação florestal como observado nos limites dos Parques da Cantareira, Itapetinga e Itaberaba. Na faixa acima de 1050m as variações de alteração são mínimas, correspondendo as áreas de topos das Serras do Contínuo da Cantareira.

Em relação a variação negativa ou positiva dos valores, observamos que existe, no recorte de estudo, uma maior concentração de variações positivas (Figura 56 C-V Pos.), geralmente mais relacionadas às áreas de campo e cultivo agrícola, incluindo áreas de silvicultura. As variações negativas apresentam menor concentração (Figura 56 C-V Neg.) e possuem certo nível de correspondência com manchas urbanas. Também notamos como as manchas de remanescentes de vegetação nas Serras da Cantareira, Itapetinga e Itaberaba, não são classificadas nas áreas com maiores variações positivas

ou negativas, reforçando a relativa estabilidade dessas porções mais elevadas da paisagem na série temporal analisada (22 anos).

Figura 56. Representação das mudanças por elevação no recorte Cantareira (C). Classes de elevação (E1, E2, E3 e E4) e de variações negativas e positivas (V Neg.) e (V Pos.) no recorte Cantareira (C), a partir do gráfico (C-G) que relaciona a elevação com as mudanças na paisagem. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

No recorte da paisagem Mantiqueira (M), as classes delimitadas no gráfico (Figura 57 M-G) seguem os mesmos critérios utilizados para o recorte Cantareira. Foram identificadas as mesmas quatro categorias de altitude para a distribuição de variações da paisagem. Novamente relacionamos as categorias com menores altitudes, 600 a 750m (Figura 57 M-E1) e 750 a 950m (Figura 57 M-E2) a áreas na paisagem de estudo mais ligadas a tipos de uso como assentamentos urbanos, campos, pastagens, e agricultura. A categoria entre 950 e 1050m (Figura 57 M-E3, apesar de sensível diminuição na variação quando comparada a categoria inferior (750 a 950m) apresenta ainda grandes variações. Observamos que essa categoria se distribui geograficamente na região de conexão entre o contínuo da Cantareira e Serra da Mantiqueira, com muitos fragmentos de vegetação florestal. Na categoria acima de 1050m (Figura 57 M-E4) identificamos áreas de topo da Serra do Itapetinga e da Serra da Mantiqueira.

A análise das diferenças negativas e positivas no eixo X do gráfico (figura 10 M-G), mostra que os valores positivos se distribuem de forma ampla (quando comparados aos valores negativos) e que estão associados genericamente a usos de campo e agricultura nas categorias intermediárias de altitudes e a silvicultura nas faixas mais elevadas da paisagem, como na área a nordeste na figura (57 10 M- V Pos.). As diferenças negativas (57 10 M- V Pos.) têm menor distribuição e estão associadas às manchas urbanas entre outros usos. Novamente notamos manchas com menores diferenças, negativas ou positivas, relacionadas a cobertura vegetal, como nos topos das Serras de Itapetinga, a Sudoeste nas figuras, e a Serra da Mantiqueira, a Nordeste. Entre essas duas manchas mais destacadas na paisagem, existe um grande número de manchas de vegetação com tamanhos pequenos (comparativamente) cercadas por usos com variações distintas ao longo do tempo.

Figura 57. Representação das mudanças por elevação no recorte Mantiqueira (M). Classes de elevação (E1, E2, E3 e E4) e de variações negativas e positivas (V Neg.) e (V Pos.) no recorte Mantiqueira (M), a partir do gráfico (M-G) que relaciona a elevação com as mudanças na paisagem. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

5.4.Considerações

Cada paisagem possui a sua dinâmica, a forma como se transforma ao longo do tempo. Paisagens com estruturas mais simples ou homogêneas podem se tornar mais complexas e o contrário também pode ocorrer. A percepção sobre essa dinâmica pode ser influenciada pelas escalas espacial e temporal de análise, assim como pelo entendimento dos processos que nela se desenvolvem.

Verificamos que a cobertura vegetal nas Serras da Cantareira, Itapetinga, Itaberaba e Mantiqueira – durante a escala temporal analisada, entre 1988 e 2010 - não sofreu alterações de maiores magnitudes, ao menos em termos de substituição do tipo de uso, ressaltando a associação do relevo às manchas de remanescentes florestais de Mata Atlântica. Apenas a Serra da Cantareira já se constituía como Unidade de Conservação antes da data da primeira imagem analisada (1988), as serras de Itapetinga e Itaberaba não possuíam nível de proteção integral até 2010, e a porção da Serra da Mantiqueira englobada na área de estudo não possui até o presente momento.

Assim, concluímos que os mesmos processos que fizeram com que essas áreas tivessem remanescentes florestais até 1988 - basicamente a falta de aptidão para usos agrícola e assentamentos urbanos - continuaram a influenciar a permanência dessas manchas de vegetação nessas porções da paisagem até o ano de 2010.

Esses processos são refletidos diretamente na relação entre a diferença das datas e os parâmetros do relevo analisados. Podemos concluir que no Corredor Cantareira-Mantiqueira, quanto maiores os valores de elevação e declividade, menores são as mudanças ocorridas na paisagem.

Com vimos, a maior a concentração de mudanças se dá em faixas altitudinais entre 750 e 950m, com declividades de até 20 graus, associadas a usos como campos e culturas. No entanto, mudanças na paisagem são observadas também em faixas de altitude entre 950 e 1050m com declividades dominantes entre 20 e 30 graus. Verificamos maior estabilidade na paisagem apenas acima dos 1050m e declividades dominantes superiores a 30 graus.

Refletindo sobre a conservação do Corredor Cantareira-Mantiqueira, entendemos que os processos que levaram a distinção de determinadas áreas como mais dinâmicas ou menos dinâmicas estão selecionando os ambientes naturais ou as manchas nas paisagens com maior estabilidade ao longo do tempo e menor pressão em relação a mudanças de uso. Essas manchas se concentram em faixas com altitudes elevadas e declividades acentuadas e estão cercadas por manchas mais dinâmicas em faixas de altitudes menores.

As mudanças identificadas na paisagem podem ter diferentes implicações para a conservação. Paisagens com maiores dinâmicas agrícolas ou urbanas geram maiores pressões sobre manchas de remanescente florestais. Identificamos essas dinâmicas no entorno das faixas mais elevadas da paisagem - limites com grande correspondência com as fronteiras dos Parques Estaduais encontrados na área de estudo, o que sugere que o entorno dessas unidades de conservação, ou zonas de amortecimento, exerce pressão nas áreas protegidas e nas manchas de remanescentes florestais de formas geral.

A área localizada entre o Contínuo da Cantareira e a Serra da Mantiqueira, fundamental para a conectividade – movimentação, dispersão, facilitação de fluxo de espécies – apresenta grande quantidade de mudanças (comparativamente) em meio a uma profusão de pequenas manchas de vegetação. Entendemos que essa área representa um “gargalo” na paisagem, no qual remanescentes de Mata Atlântica de tamanhos reduzidos servem como pontes de ligação para o fluxo na paisagem entre manchas maiores e mais estáveis. Como não existe nenhuma legislação que proteja integralmente essa área, mudanças podem continuar a ocorrer, aumentando a descontinuidade nessa porção do Corredor Cantareira-Mantiqueira.

Devemos lembrar que existem diferentes categorias de unidade de conservação e, em cada uma, diferentes possibilidades para gerar restrições ou diretrizes para uma área de interesse para a conservação. Não devemos pensar somente em conservar áreas com grandes fragmentos florestais. Outras localidades que promovem a conexão entre grandes blocos florestais na paisagem são de extrema importância para a manutenção desse sistema. Entretanto, essas áreas, geralmente, recebem menos atenção e proteção

legal. Na região de estudo em específico, existem muitas possibilidades de aumentar a proteção das áreas identificadas como “gargalos” no Corredor Cantareira-Mantiqueira, como diretrizes mais direcionadas na APA Sistema Cantareira ou nas zonas de amortecimento dos Parques Estaduais do Contínuo da Cantareira.

Identificamos na análise temporal a existência um processo dinâmico na paisagem que tem uma dupla possibilidade de interpretação quanto a conservação. Verificamos um expressivo aumento de manchas de vegetação principalmente no setor Nordeste da área de estudo próximo a Serra da Mantiqueira. Trata-se, em geral, da substituição do uso de campo e agricultura para silvicultura.

Por um lado, a silvicultura pode representar algumas vantagens como uso associado a áreas de remanescentes de vegetação: os ciclos de cultivo são longos, quando comparados a culturas anuais, promovendo menos mudanças ao longo do tempo. A estrutura florestal dos bosques formados por eucaliptos ou pinus favorecem o abrigo e deslocamento de muitas espécies, por serem menos contrastantes que outros usos.

Entretanto, por outro lado, diversos estudos apontam que a silvicultura de eucalipto possui características não desejáveis em áreas de interesse para a conservação: é uma espécie invasora com grande potencial de dispersão; A espécie se utiliza de grandes quantidades de água do solo para o seu rápido crescimento.

Identificamos o maior crescimento dessa cultura na região nordeste da área de estudo, área de grandes elevações e altas declividade, que concentra muitas nascentes. Além disso, essa é a área da APA Sistema Cantareira, que tem por objetivo proteger os recursos hídricos e o abastecimento das represas que abastecem grande parte da Região Metropolitana de São Paulo.

Recomendamos que sejam realizados estudos sobre esse balanço entre o ganho potencial de conectividade na paisagem e pontos negativos da cultura do eucalipto.

Quanto à técnica de sensoriamento remoto utilizada nesse estudo, entendemos que demonstrou um grande potencial para análises temporais, não somente, mas principalmente para a avaliação da vegetação. Precisamos entender os limites das informações obtidas e quais as limitações da técnica. A eficiência recai na facilidade de

obter dados sobre mudanças na paisagem. A interpretação dos processos depende muito do conhecimento sobre a área de estudo e da associação a outras técnicas de verificação por imagens de satélite ou fotografias aéreas e trabalhos de campo.

Neste estudo sobre as mudanças na paisagem no Corredor Cantareira-Mantiqueira notamos como parâmetros do relevo possuem uma alta relação com a quantidade de mudanças ocorridas. As categorias de análise por cotas altimétricas mostraram uma interessante representação do agrupamento das magnitudes de mudanças. No entanto, uma proposta de classificação da paisagem com base somente nesses limites observados teria um alto grau de arbitrariedade.

No próximo estudo de caso apresentaremos uma proposta de classificação da paisagem, baseada na análise de diversos parâmetros do relevo, como altitude, declividade, índice de insolação, curvaturas do relevo, etc. Relacionamos as classes obtidas com informações de uso da terra para identificar possíveis relações; entender os processos dominantes na paisagem e como eles se relacionam com a conservação do Corredor Cantareira-Mantiqueira.

5.5 Classificação da paisagem a partir de parâmetros do relevo

5.5.1 Contextualização

Nos estudos de paisagem, principalmente com a abordagem geográfica, a apreensão da estrutura da paisagem se mostra como o resultado da combinação entre os elementos ou variáveis identificáveis que a compõe, sejam abióticos ou bióticos. Neste estudo buscamos uma abordagem diferente para a classificação da paisagem. Adotamos a ideia de que algumas variáveis da paisagem podem servir como indicadores para a diferenciação de elementos da paisagem e a realização de agrupamentos de ambientes com características semelhantes.

Segundo Burnet (1998), paisagens compostas por condições abióticas espacialmente heterogêneas geram maior diversidade de nichos potenciais para plantas e animais do que paisagens homogêneas. O autor ainda afirma que a riqueza de espécies de plantas está altamente relacionada à heterogeneidade geomorfológica em manchas de mesmo tamanho dentro de florestas decíduas e que a associação entre diversidade biótica e abiótica tem implicações relevantes para estratégias de conservação a longo prazo.

Para Carlson (2004), o uso de dados geofísicos para a previsão da distribuição de tipos de comunidades naturais está baseado na premissa de que existe uma relação entre as variáveis geofísicas e os fatores ambientais que controlam o estabelecimento de indivíduos, espécies de plantas e a comunidade complexa associada. Esta relação está ligada às feições geomorfológicas como a elevação, a declividade e a orientação das vertentes.

Segundo Beier (2010), desde a concepção do zoneamento de área de vida introduzido por Merriam (1890, apud Beier, 2010), ecólogos tem reconhecido a influência da topografia e geologia na distribuição de comunidades de plantas e animais. Certas feições do relevo refletem fatores mais estáveis, como a topografia e a geologia. A topografia também influencia localmente variações na precipitação e temperatura. Assim, a diversidade de feições do relevo na paisagem deve também dar suporte a diversidade biológica.

Conservar ambientes fisicamente heterogêneos colabora com processos de evolução e manutenção da biodiversidade. Por exemplo, proteger gradientes ambientais ajuda a conservar a diversidade genética intraespecífica necessária para a adaptação evolutiva e especiação (NOSS, 2000).

Dentre algumas variáveis como: embasamento geológico, solos, relevo, hidrografia e o clima, entendemos que nessa área de estudo específica - o corredor Cantareira-Mantiqueira - e na escala de análise regional, a variável que melhor indicaria possíveis variações na paisagem é o relevo. Temos consciência que em outras paisagens ou em outras escalas, as melhores respostas possam vir de outras variáveis. Segundo Wessels (1999), feições do relevo podem representar distintos agrupamentos de espécies e são, dessa forma, importantes delimitadores de biodiversidade em escalas que variam do local ao regional (1:50.000 a 1:100.000).

Abreu (1985) discorre sobre o papel do relevo e suas propriedades na organização do espaço. Para o autor, o relevo e a sua dinâmica fornecem para a geografia uma das mais ricas fontes de leis espaciais e de movimentos de transformação da matéria na superfície do planeta. Dentre os muitos pesquisadores que utilizam o relevo como variável norteadora nos estudos integrados da paisagem, alguns já revisados nesta tese, Abreu (1985) destaca autores como Neef e Kugler.

Neef (1972 apud ABREU, 1985) destaca a importância do relevo, constituído pelo fisionótopo, veículo de articulação material dos elementos ecológicos e sociais que, através de impulsos de diferentes ordens, definem o sistema territorial operado pela sociedade. Para Kugler (1976 apud ABREU, 1985), a paisagem é resultante da integração dialética de fenômenos naturais e sociais que formam a epiderme da Terra. Segundo esse autor as formas da superfície conceituadas como “georelevo” emergem em forte dependência genética de todo o conjunto de estruturas que se articulam no geossistema paisagístico, assumindo um papel de grande significado como indicador da dinâmica precedente e da situação atual do mesmo.

Abreu (1985) esclarece que Kugler resgata o pensamento de Passarge e Penck, através do qual o estudo do relevo traz para a geografia uma contribuição fundamental na investigação da paisagem e do território, tanto do ponto de vista idiográfico como

nomotético, colaborando nos estudos de regionalização e na avaliação do uso potencial do território.

No Brasil, também já revisamos importantes pesquisadores da paisagem que utilizam o relevo como parâmetro para a análise da paisagem, como Ab'Sáber (1977) em sua proposta de delimitação dos Domínios Morfoclimáticos do Brasil e Ross (1994) e sua proposta de mapeamento da fragilidade potencial ambiental. Utilizamos assim, atributos ou parâmetros do relevo para elucidar diferenciações na estrutura da paisagem que possam sugerir agrupamentos e orientar a sua classificação. Também buscamos compreender a relação entre as classes da paisagem encontradas e as áreas que ainda possuem remanescentes florestais de Mata atlântica, assim como outros usos da terra.

Segundo Lombard (2003), as classes de uso da terra são frequentemente utilizadas no planejamento da conservação como delimitadoras para a ocorrência e distribuição de espécies. No entanto, a relação entre essas áreas e a distribuição de espécies é raramente testada. Para o autor melhores estratégias para a conservação combinam informações sobre classes de uso da terra e dados sobre espécies.

5.5.2. Procedimentos

5.5.2.1 Análise do Relevo

Geomorfometrias

A geomorfometria tem como princípio a extração de parâmetros da superfície utilizando a topografia, por meio de cartas ou modelos digitais de elevação (MDE). O MDE é um arquivo de computador tipo raster, ou vetor, que contém informações sobre a diferença de altura da superfície da terra em relação ao nível do mar (PIKE et al, 2000).

A obtenção de parâmetros da paisagem segue alguns procedimentos, desde a amostragem da elevação da superfície, passando pelo processamento e extração do parâmetro desejado (Figura 58).

Figura 58 – Exemplo esquemático do procedimento utilizado para a extração de parâmetros do relevo. Fonte: Pike (et al. 2009).

Existe um grande número de parâmetros geomorfométricos possíveis de serem extraídos a partir do modelo de elevação. Tais parâmetros são divididos em três grupos: 1) parâmetros e objetos morfométricos básicos, como declividade, aspecto da vertente e curvatura; 2) parâmetros e objetos para hidrologia, como acumulação de fluxo e índice de movimento de massa; e 3) parâmetros e objetos para clima e meteorologia. Além dos parâmetros desses três grupos, também é possível extrair informações categóricas como tipos de unidades geomorfológicas e elementos do relevo.

Extração de parâmetros geomorfométricos

O ponto de partida para a extração dos parâmetros foi a base topográfica digital do IBGE, em escala 1:25.000, com distanciamento entre as curvas de nível de 20 m. Foi realizado um recorte correspondente à área de estudo e em seguida o arquivo foi transformado em um modelo digital de elevação do tipo raster. O programa utilizado foi o ArcGIS 9.3.

Nesse estudo utilizamos uma seleção de oito parâmetros para a delimitação da estrutura da paisagem. Os parâmetros selecionados foram: 1) elevação, 2) declividade, 3) insolação, 4) acumulação de fluxo, 5) curvatura do perfil, 6) curvatura cros-seccional, 7) curvatura máxima, e 8) curvatura mínima. Os parâmetros selecionados foram testados em relação a possíveis redundâncias de informação.

A extração dos parâmetros foi realizada no sistema de informação geográfica GRASS 6.4.2 (*Geographic Resources Analysis Support System*). Este programa é um SIG de domínio público, distribuído gratuitamente pela Internet e desenvolvido de forma comunitária. Entendemos que atualmente, para a realização de trabalhos acadêmicos que necessitem de uma etapa de geoprocessamento, existe uma grande dependência de programas privados que possuem altos custos, o que muitas vezes inviabiliza suas aquisições, podendo prejudicar assim o fluxo de desenvolvimento de estudos. A utilização de programas de domínio público, apesar de algumas limitações, é uma alternativa muito interessante, principalmente para a academia.

Apresentaremos os resultados das extrações dos parâmetros do relevo como uma etapa do procedimento para a classificação da paisagem.

Elevação e declividade

Como vimos na revisão conceitual, a elevação é reconhecidamente um fator de diferenciação da paisagem, sendo inclusive parâmetro para zonação de fisionomias vegetais e ocorrência de espécies. Paisagens com diferentes altitudes implicam em diferenças na pressão, temperatura, radiação, ventos, formação de solo, disponibilidade de água, densidade de assentamentos humanos, entre outros.

O parâmetro elevação é basicamente a representação do modelo de elevação, obtido por meio das diferenças de altura entre os pontos (pixels) do modelo e um ponto base, como o nível do mar. O resultado da extração do parâmetro da elevação pode ser visualizado na Figura (59), parâmetro geomorfológico 1: elevação.

Segundo Valeriano (2008), devido à sua estreita associação com processos de transporte gravitacional (escoamento, erosão, deslizamento), a declividade do terreno é uma variável básica para a segmentação de áreas em muitos procedimentos de

planejamento territorial. O autor destaca que praticamente todos os métodos de avaliação de terras ou planejamento para a conservação, baseados em modelagem numérica ou em decisões lógicas, lidam com a variável declividade. Além dessas aplicações, ela também figura entre as variáveis de evidente aplicação na interpretação geomorfológica.

A declividade é definida como o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno. Seus valores podem variar de 0 a 90 graus, embora seja mais comumente expressa em porcentagem, de zero a infinito. Em um modelo digital de elevação (MDE), sua estimativa se baseia na análise dos desníveis entre pixels vizinhos. Podemos visualizar o resultado da extração desse parâmetro na Figura (60), parâmetro geomorfométrico 2: declividade.

Insolação

A radiação solar incidente na superfície da Terra (insolação) é a principal fonte de energia que orienta os processos biofísicos e atividades humanas em nosso planeta. Segundo Conti e Furlan (1996) a luz é a fonte primária de energia para os ecossistemas. A energia luminosa recebida pelo Sol se distribui em intensidades desiguais pela superfície terrestre. Quanto maior a quantidade de luz, mais propícia será a condição para que as plantas realizem a conversão da energia luminosa em biomassa.

Em uma escala de análise regional, a topografia é o fator determinante na variabilidade espacial da insolação. Variações na elevação, orientação da vertente e sombreamento podem influenciar a distribuição da radiação solar na paisagem.

Para extração desse parâmetro foi calculada a quantidade de radiação incidente no período de 365 dias para toda a paisagem. O resultado pode ser observado na Figura (61), parâmetro geomorfométrico 3: insolação.

Acúmulo de fluxos

Entendemos que as áreas de acumulação de fluxos sejam representadas nessa paisagem pelas calhas fluviais de diferentes dimensões. Segundo Christofolletti (1980) os rios constituem os agentes mais importantes no transporte dos materiais intemperizados das áreas elevadas para as mais baixas e dos continentes para o mar. Para o autor sua

importância é capital para todos os processos morfogenéticos. Os rios funcionam como canais de escoamento, compreendendo o total de água que alcança os cursos de água incluindo o escoamento pluvial imediato e o subterrâneo.

Para Christofolletti (1980), os fluxos de água e de material sedimentar são os dois elementos fundamentais na estruturação do sistema da geometria hidráulica, em cursos aluviais. Cada um desses elementos pode ser caracterizado por diversas variáveis ou atributos como, entre outros, a largura do canal, velocidade e volume do fluxo, concentração e granulometria de sedimentos e rugosidade do leito.

Para a extração desse parâmetro utilizamos um índice que calcula os pontos de convergência, concentração de fluxo na paisagem, a partir da diferença de altura dos pixels e direcionamento preferencial. Observamos o resultado na Figura (62), parâmetro geomorfométrico 4: acumulação de fluxo.

Curvaturas do relevo

Os parâmetros de curvatura do relevo são considerados parâmetros de segunda ordem, pois derivam dos parâmetros básicos, elevação e declividade. As curvaturas podem ser calculadas em relação aos eixos do modelo e elevação gerando assim uma gama de possibilidades de análise (Figura 63). Segundo Wood (1996), a forma da curvatura mais apropriada para a análise da paisagem dependerá da área de estudo específica. Para análises geomorfológicas, o autor destaca o estudo de curvaturas de perfil e dos canais cros-seccionais. O autor considera que os parâmetros declividade, curvatura cros-seccional, máxima e mínima, formam um conjunto único para a identificação de feições do relevo.

Neste estudo utilizaremos quatro parâmetros de curvaturas do relevo: A curvatura do perfil (profc) está relacionada ao efeito do máximo processo gravitacional. A curvatura do perfil é calculada a partir da intersecção do plano definido pelo eixo Z (altura) com o gradiente máximo de direção. Valores positivos descrevem perfis de curvatura convexos e negativos, perfis côncavos. A curvatura cros-seccional é calculada a partir da intersecção da tangente da curvatura com o plano definido pela superfície normal e a tangente de contorno – perpendicular ao gradiente máximo de direção.

Figura 63. Curvaturas do relevo. Fonte: Valeriano (2008).

Neste estudo utilizaremos quatro parâmetros de curvaturas do relevo: A curvatura do perfil (profc) está relacionada ao efeito do máximo processo gravitacional. A curvatura do perfil é calculada a partir da intersecção do plano definido pelo eixo Z (altura) com o gradiente máximo de direção. Valores positivos descrevem perfis de curvatura convexas e negativos, perfis côncavos. A curvatura cross-seccional é calculada a partir da intersecção da tangente da curvatura com o plano definido pela superfície normal e a tangente de contorno – perpendicular ao gradiente máximo de direção.

As curvaturas máximas e mínimas são calculadas a partir da máxima ou mínima inflexão da curvatura em relação ao plano. Estes dois parâmetros destacam no relevo as cristas e o entalhamento dos vales. São descritos em valores positivos ou negativos dependendo da máxima ou mínima inflexão. Os resultados dos quatro parâmetros de curvatura são visualizados nas figuras (64, 65, 66 e 67).

Figura 59. Parâmetro geomorfométrico 1: elevação. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Figura 60. Parâmetro geomorfométrico 2: declividade. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Figura 61. Parâmetro geomorfométrico 3: insolação. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Figura 62. Parâmetro geomorfométrico 4: acumulação de fluxo. Org. Sartorello, 2014.

Figura 64. - Parâmetro geomorfométrico 5: curvatura do perfil. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Figura 65. Parâmetro geomorfométrico 6: curv. cros-seccional. Org. Sartorello, 2014.

Figura 66. Parâmetro geomorfométrico 7: curvatura máxima. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Figura 67. Parâmetro geomorfométrico 8: curvatura mínima. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

5.5.2.2. Classificação de ambientes similares

A delimitação e classificação da paisagem neste estudo foram realizadas por meio do agrupamento de variáveis similares, a partir da combinação de parâmetros geomorfométricos do relevo. Os parâmetros selecionados são variáveis contínuas ou numéricas, portanto, para a obtenção do agrupamento, realizamos uma análise ou classificação multivariada. Foi feito primeiramente um agrupamento por classes (*cluster analysis*), em seguida as classes foram analisadas quanto à similaridade, utilizando uma análise de máxima verossimilhança (*maximum likelihood*).

O algoritmo de agrupamento *cluster* retira as informações dos pixels, separando em um número de classes pré-definido a partir da geração de um arquivo de assinatura espectral. O resultado da distribuição é influenciado pela amplitude de valores associados aos pixels. Por esse motivo todos os parâmetros analisados nesse estudo tiveram os seus valores transformados a uma amplitude de 0 a 255.

Foram testados agrupamentos com diferentes números de classes, de quatro a dez. No entanto, quanto maior o número de classes, maior a dificuldade em interpretar os resultados e relacionar com as características conhecidas da área de estudo. Optamos, em última análise, por um número menor de classes, porém, com maior correspondência para a paisagem. Assim, o agrupamento final foi realizado em quatro classes. O programa utilizado foi o GRASS 6.4.2.

A assinatura resultante da análise de agrupamento (*cluster*) foi utilizada para a análise de máxima verossimilhança. Esta análise parte do princípio que pixels ou células em uma determinada classe raramente são homogêneos. O classificador calcula para cada classe a probabilidade de um pixel pertencer a esta classe dados os valores atribuídos Figura (68). O pixel então é marcado para a classe com a maior probabilidade de pertencimento (RICHARDS, 1999).

Figura 68. Ilustração da classificação de pixels por análise de máxima verossimilhança. Fonte: Richards (1999).

Submetemos o resultado da Análise por Verossimilhança a uma Análise de Componentes Principais (*principal component analysis* - PCA) com o intuito de verificar quais parâmetros da paisagem mais contribuíram para a classificação da paisagem.

Como já vimos no primeiro estudo de caso, a PCA é uma análise que transforma os dados dos parâmetros em um novo espaço com os respectivos eixos rotacionados, eliminando redundâncias de informação (ver item 5.1.2.3). Tal redundância é evidente entre parâmetros como elevação, declividade e aspecto, pois derivam do mesmo modelo de elevação. Em muitos casos os três ou quatro primeiros componentes descrevem mais de 90 % da variância.

Selecionamos os parâmetros com maior relevância para a diferenciação da paisagem e agrupamento de classes: elevação, curvatura mínima e declividade. Com esses parâmetros selecionados, repetimos o procedimento de classificação por máxima verossimilhança, realizando o agrupamento (*cluster*) em quatro classes. O resultado pode ser observado na figura (49): Classificação da paisagem (2) a partir de 3 parâmetros.

5.5.2.3 Relação das classes de paisagem com o uso da terra

Para entender como as classes da paisagem com base no relevo, representante do substrato, se relacionam com a cobertura, especificamente com os remanescentes de vegetação da Mata Atlântica, realizamos uma classificação do uso da terra para área de estudo.

Classificação do Uso da Terra

A classificação foi realizada com uma metodologia híbrida de mapeamento temático, ou seja, técnicas mais automatizadas de processamento digital de imagens (PDI) e verificação com técnicas tradicionais de fotointerpretação, de forma combinada.

Seleção de imagens de satélite

Foram realizados testes com imagens Alos do ano 2008 e Landsat TM do ano de 2010. Apesar da maior resolução espacial da imagem ALOS (10 metros), devido ao alto nível de saturação da imagem, os resultados para a separação de classes não foram satisfatórios. Assim, selecionamos a imagem Landsat TM 2010, que apesar da resolução média (30m) apresentou maior potencial de diferenciação entre as classes de uso da terra.

A imagem Landsat é gratuita e seu sensor possui uma ampla gama de utilização, incluindo o monitoramento da cobertura vegetal. Possui boa resolução radiométrica, que permite uma satisfatória distinção entre os objetos da superfície terrestre. Devido à resolução espacial de 30 m, estas imagens possibilitam o mapeamento temático regional com relativa precisão.

Processamento e classificação da imagem

O procedimento de processamento digital de imagem divide-se em três etapas: pré-processamento, classificação e pós-processamento. As etapas de pré-processamento e processamento foram realizadas no programa SPRING 4.2, já a etapa de pós-processamento foi desenvolvida nos programas Envi 4.7 e Arcgis 9.3.

A etapa de pré-processamento consiste basicamente na preparação das imagens para a classificação e manipulação. Segundo Moreira (2005), o tratamento de imagens digitais pode ser entendido como a rotulação (identificação) automática de todos os pixels contidos em determinada cena, em classes temáticas, segundo a ocupação da terra.

Nesta etapa, foram executadas três tarefas: o registro da imagem de Landsat 7, sensor TM (ano 2010); a redução da dimensionalidade para área de estudo; e o contraste linear, banda a banda, de todas as cenas utilizadas. O registro da imagem foi realizado a partir

de imagens ortorretificadas do programa ENVI 4.7, que possui um alto nível de processamento.

Executamos um recorte das cenas e respectivas bandas utilizadas com intuito de diminuir o tempo de processamento computacional na fase de classificação. Para isto foi utilizado um limite vetorial da área de estudo. Em seguida, realizamos um realce linear banda a banda de cada cena utilizada. Esta técnica permite uma melhora na qualidade visual das imagens já que amplia a abrangência dos valores dos pixels (número digital) da imagem bruta para o intervalo de 0 a 255, facilitando o discernimento dos alvos.

Na etapa de classificação, já com as imagens preparadas, foram realizados diversos testes a fim de definir qual seria a técnica mais eficiente para o mapeamento. Foram aplicados alguns procedimentos bastante difundidos na bibliografia específica, tais como análises de índice de vegetação, fatiamentos, classificações supervisionadas e não supervisionadas, utilizando diversos algoritmos implantados nos programas SPRING 4.2. e ENVI 4.7.

Após os testes, optamos por uma classificação supervisionada, utilizando a análise por verossimilhança já descrita nesse estudo. As classes utilizadas foram: 1– água, 2- urbano, 3- vegetação, 4- reflorestamento e 5- campo. Infelizmente não foi possível diferenciar áreas de culturas agrícolas das áreas de campo que englobam tanto os campos antrópicos, áreas de clareiras e em processo de regeneração, quanto campos naturais.

Combinação de informações de classes da paisagem e do uso da terra

Com o intuito de analisar os principais usos que as classes da paisagem abrangem, combinamos as informações das áreas das classes da paisagem com as áreas dos usos da terra. Os resultados foram dispostos em gráficos de área de uso por classe de paisagem em hectares e em porcentagem. Não pretendemos gerar um mapa síntese entre o suporte e a cobertura, mas sim entender como as classes de uso da terra se distribuem na classificação sintética da paisagem com base no relevo. O procedimento foi desenvolvido nos programas GRASS 6.4.2 e Arcgis 9.3.

5.5.3 Resultados e Discussão

5.5.3.1 Classificação da paisagem com base em parâmetros do relevo

A Tabela (1) mostra os resultados da análise dos componentes principais para os parâmetros selecionados. Observamos que o componente principal 1 (PC1) representa 43.54% da variância dos dados analisados, e o parâmetro que mais contribui para o componente é a elevação. A importância da elevação nessa paisagem já era esperada, devido aos desníveis de altitude encontrados, principalmente nas Serras da Cantareira, Itaberaba e Mantiqueira.

O componente principal 2 (PC2) representa 27.16% da variância dos dados e é influenciado principalmente pelo parâmetro curvatura mínima. Além das serras na diagonal central do recorte da paisagem, a curvatura mínima destaca na paisagem o entalhamento dos vales, distinguindo áreas de planalto como o Planalto de Jundiaí com vales menos entalhados e o Planalto de São Paulo em direção ao Vale do Paraíba, com maior dissecação do relevo.

Tabela 1 - Resultados da análise de componentes principais (PCA) para os parâmetros do relevo. Nas colunas, os oito parâmetros analisados: elevação (elev.), declividade (decliv.), insolação (inso.), acúmulo de fluxo (acu. flux.), curvatura do perfil (curv. perf), curvatura cros-seccional (curv. crosc), curvatura máxima (curv. max) e curvatura mínima (curv. mín.); também representamos a porcentagem da variância de cada eixo PC (vari.) e a soma acumulativa da porcentagem de variância por eixo (s. vari.). Nas colunas os oito PCs. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

	elev.	decliv.	inso.	acu. flux	curv. perf	curv. crosc	curv. máx.	curv. mín.	vari.(%)	s. vari. (%)
PC1	-0.7884	-0.2343	0.0405	0.0026	-0.2589	-0.2255	-0.3924	-0.2234	43.54	43.54
PC2	-0.5087	-0.1849	0.0885	0.011	0.3373	0.3749	0.3692	0.5555	27.16	70.7
PC3	0.2904	-0.8057	0.4887	0.0036	-0.026	-0.0422	-0.1464	0.0615	13.25	83.95
PC4	-0.0086	-0.0633	0.027	0.0009	-0.669	0.6544	0.2521	-0.2363	7.37	91.32
PC5	-0.1188	-0.1919	0.025	0.0016	0.2766	-0.2177	0.6525	-0.6315	5.81	97.13
PC6	0.145	-0.4699	0.866	0.0051	0.0067	0.026	0.0104	0.0859	2.71	99.84
PC7	0.0007	0.0059	0.0027	0.999	0.0011	-0.001	0.0021	-0.0012	0.15	99.99
PC8	0.002	-0.0098	0.0198	0.0005	0.5425	0.5749	-0.4458	-0.4194	0.01	100

O componente principal 3 (PC3) representa 13.25% da variância dos dados, tendo como parâmetro de maior relevância a declividade. Assim como a elevação, também esperávamos que a declividade tivesse um papel importante na diferenciação da

paisagem pelas características da área de estudo. Os três primeiros componentes principais representam quase 84% da variação dos dados gerados pelos oito parâmetros. Os componentes seguintes, do PC4 ao PC8, possuem representatividades cada vez menores na explicação da variação total dos dados.

5.5.3.2 Análise das classes da paisagem

Observamos na classificação 1 (Figura 69), que a classe 1 - resultante da análise por máxima verossimilhança dos oito parâmetros geomorfométricos - representa as áreas com menores elevações e curvaturas mínimas no relevo, nessa classe a elevação varia entre 600 e 800 m de altitude, as declividades são majoritariamente baixas, podendo variar entre 0 e 10 graus. Basicamente nesta classe são encontradas as principais planícies e calhas fluviais das áreas de planalto. Entendemos que a classe 1 representa importante rede de fluxos: hidrológico, de sedimentos e espécies adaptadas a ambientes de matas ciliares ou que utilizam essas áreas como corredores de deslocamento.

A classe 2 (Figura 69) representa ainda na mesma faixa de altitude as curvaturas máximas do relevo, porções convexas das vertentes, com declividades um pouco mais acentuadas, alcançando 15 graus. A principal diferença entre a classe 1 e a 2 é que a classe 2 não possui a tendência de concentração de fluxos, mas sim de dissipação.

A classe 3 pode ser caracterizada por altitudes que variam numa faixa de 900 a 1000 m, basicamente delimita as feições mais ressaltadas do relevo na paisagem como as Serras da Cantareira, Itaberaba e Mantiqueira, encontradas numa diagonal Sudoeste-Nordeste na Figura (69). As declividades nessa classe se apresentam mais acentuadas variando de 15 a 30 graus, podendo apresentar pontos com maiores inclinações. É um ambiente com características mais específicas, provavelmente um ambiente mais seletivo em relação à adaptação de espécies.

Nesse sentido, entendemos que a classe 4 é o ambiente menos recorrente na paisagem. Caracterizada por altitudes entre 1000 e 1480 m, a classe 4 representa os topos da paisagem, com declividades predominantemente acentuadas, entre 20 e 50 graus,

apresenta pequenas áreas menos declivosas, como na Serra de Itaberaba na porção Centro-Oeste da Figura (69).

Quando comparamos a classificação 2 (Figura 70), elaborada a partir dos três parâmetros mais representativos na Análise de Componentes Principais, percebemos que existe certa correlação entre as classes 3 e 4. No entanto, nessa classificação, fica evidente a separação entre a região do Planalto de Jundiaí, na porção Noroeste da figura, com colinas amplas e entalhamentos dos vales mais suaves e a porção Sudeste da figura, com um maior índice de dissecação do relevo e entalhamentos mais marcados, representado pela classe 1.

Para a análise de correlação entre as classes da paisagem e as classes do uso da terra, escolhemos a classificação 1, por entendemos que ela demonstra separações mais claras entre elementos da paisagem com relação funcional, como as áreas de planalto de acúmulo e dissipação de fluxos e as classes que circunscrevem as serras do Contínuo da Cantareira e Mantiqueira.

5.5.3.3 Análise da classificação do uso da terra

A paisagem do Corredor Cantareira-Mantiqueira é composta por elementos dominantes que puderam ser diferenciados pela classificação da Imagem Landsat TM (2010). Notamos na Figura (71) a distribuição dos tipos de uso da terra selecionados como parâmetros.

A classe “vegetação” se destaca na região do corredor, marcando a diagonal Sudoeste-Nordeste na figura. Apresenta manchas maiores no Contínuo da Cantareira – área dos Parques Estaduais da Cantareira, Itapetinga e Itaberaba – e na porção Nordeste, início da Serra da Mantiqueira. Entre as duas áreas, existem manchas menores de remanescentes de Mata Atlântica. Nessa área intermediária do Corredor, notamos uma grande associação da classe “silvicultura”, desde a Serra de Itaberaba, até a Serra da Mantiqueira.

Figura 69. Classificação da paisagem (1) a partir de 8 parâmetros do relevo. Org. Sartorello, 2014.

Figura 70. Classificação da paisagem (2) a partir de 3 parâmetros do relevo. Org. Sartorello, 2014.

As áreas identificadas como “campo” resultado da associação de campos antrópicos, naturais e culturas agrícolas dominam a paisagem na porção Noroeste da figura e também são observados, em menor tamanho e número de manchas, na área de ligação entre o Contínuo da Cantareira e a Serra da Mantiqueira.

Categorias de uso da terra como “urbano” e “água” podem ser consideradas barreiras para a movimentação de espécies na paisagem. A classe “urbano” - que engloba áreas urbanas consolidadas, áreas em expansão e rodovias - traça alguns limites claros para a vegetação, como ao Sul do Contínuo da Cantareira, onde a mancha urbana da Região Metropolitana de São Paulo faz limite com os Parques Estaduais. Ao Norte da Serra de Itapetinga, a vegetação também é limitada pelas manchas urbanas dos municípios de Atibaia e Bom Jesus dos Perdões.

As rodovias possuem um papel importante na segmentação da paisagem, pois apesar de estruturas com larguras reduzidas (comparadas às manchas urbanas), o comprimento, a linearidade e o fluxo de veículos, as consolidam como obstáculos muito efetivos para o fluxo de espécies. Na região do Corredor Cantareira – Mantiqueira duas rodovias se destacam como barreiras: a rodovia Fernão Dias, no eixo Norte-Sul da Figura (71), que segmenta a Serra da Cantareira e bordeja o Leste da Serra de Itapetinga; e a rodovia Dom Pedro I, no eixo Leste-Oeste, que divide o Corredor nos limites Nordeste das Serras de Itapetinga e Itaberaba.

Ainda observamos como a classe “água” pode representar manchas com grandes áreas na paisagem e se constituir como barreira para algumas espécies, como no caso dos reservatórios do Sistema Cantareira e a represa Atibainha, localizada entre o Contínuo da Cantareira e a Serra da Mantiqueira.

Comparamos a área total de cada tipo de uso em hectares e em porcentagem (Figura 72). Notamos que na área de estudo, o uso “vegetação” possui a maior área total, se distribuindo por cerca de 40% da área total da paisagem. O uso “campo” é o segundo com maior representação, ocupando pouco mais de 30% da área. As classes de uso “urbano” e “silvicultura”, ocupam aproximadamente 14 e 12 % da área, respectivamente. O uso “água” representa menos de 3% da área total.

Figura 72 - Área total dos tipos de uso da terra na paisagem em hectares e em porcentagem. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

5.5.3.4 Análise do uso da terra por classes da paisagem

As classes definidas a partir dos parâmetros geomorfométricos possuem quais tipos de uso da terra? Estão associadas a um tipo de uso dominante? Para responder a essas questões elaboramos uma série de gráficos a partir da combinação das informações das classes da paisagem e tipos de uso da terra.

As quatro classes delimitadas no estudo possuem relevantes diferenças em termos de área. Notamos na Figura (73), que a Classe 3 possui a maior representação na área total, com cerca de 38 %, é a principal classe que delimita o corredor Cantareira-Mantiqueira. As Classes 1 e 2, relativas a áreas de planalto, colinas e rede de drenagem, apresentam áreas semelhantes, correspondendo a cerca de 27 % da área total. A Classe 4, dos topos das Serras do Contínuo da Cantareira e Mantiqueira, representa a classe com menor área, com cerca de 6 % da área total.

Figura 73. Área total das classes da paisagem em hectares e em porcentagem. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

As classes da paisagem apresentam diferentes áreas em relação aos tipos de uso do solo que englobam (Figura 74). A Classe 3 se destaca concentrando a maior área de “vegetação”, cerca de 80.000 ha, tendo como segundo principal uso o “campo”, com pouco menos de 40.000 ha. Destaca-se também pela grande concentração de “silvicultura”, pouco mais de 25.000 ha. As áreas urbanas nessa classe somam menos de 10.000 ha.

As Classes 1 e 2 apresentam distribuições de tipos de usos muito semelhantes entre si, tendo como principal uso o “campo”, com pouco mais de 40.000 ha, seguido pela “vegetação”, com pouco mais de 30.000 ha. A Classe 1 concentra a maior área de uso “urbano” entre todas as classes, com quase 30.000 ha, enquanto a Classe 2 apresenta cerca de 20.000 ha. A Classe 4 possui as menores áreas totais de “vegetação” com cerca de 15.000 ha, “silvicultura” com cerca de 8.000 ha e menos de 5.000 ha de áreas de campo.

Quando observamos a porcentagem relativa de cada uso para as classes de paisagem (Figura 75), identificamos que a Classe 4 é a que possui a maior porcentagem área de “vegetação”, ocupando quase 60% da sua área. A Classe 3 apresenta pouco mais de 50% de “vegetação” recobrindo sua área total. A Classe 2 possui um pouco mais de 30% e a

Classe 1, cerca de 28%. Nas Classes com menores elevações e declividades, o tipo de uso dominante é o campo, ocupando quase 40% da Classe 2 e cerca de 35% da Classe 1. O uso “urbano” ocupa porcentagens mais significativas somente nas Classes 1 e 2, com cerca de 25% da área para a primeira e pouco menos de 20% para a segunda. O uso “silvicultura” apresenta a segunda maior porcentagem de área na classe 4, correspondendo a aproximadamente de 35% da área dessa classe.

Figura 74. Área total dos tipos de uso da terra distribuídos em classes de paisagem em hectares. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Figura 75. Área total por classe dos tipos de uso na paisagem – Água, Silvicultura, Urbano, Campo e Vegetação – em hectares e em porcentagem. Org. Ricardo Sartorello.

5.5.4 Considerações

O processo de apreensão da paisagem, de seus elementos, sua composição e estrutura, pode variar significativamente conforme o olhar de seu observador, direcionado pela sua bagagem de conhecimentos específicos acumulados, e pelo objetivo a que se presta a tentativa de colocar limites no espaço. Como vimos (item 5.3), as análises da paisagem realizadas a partir do modelo de ilhas, delimitando a sua estrutura apenas pela cobertura vegetal existente, possui sérias limitações. Em outro plano, entendemos como a complexidade e quantidade de informações, necessárias para uma análise de unidades de paisagens na abordagem geográfica, podem restringir a sua utilização.

Neste estudo, mostramos uma alternativa experimental de delimitação de classes de paisagem a partir de parâmetros do relevo e como essas informações se relacionam com os tipos de usos dominantes na paisagem. Assim, agregamos mais do que uma ideia da tridimensionalidade do espaço, mas também exploramos a ideia de como algumas variáveis podem ajudar a compreender melhor a distribuição dos ambientes que se diferem na paisagem.

A vegetação remanescente de uma paisagem pode ser entendida como a síntese da combinação de muitos elementos e processos. Mas, no caso da Mata Atlântica e de outros tantos Domínios e Biomas, o processo de manejo e supressão causado pelas sociedades humanas tem sido preponderante para a determinação de sua distribuição e estruturação na paisagem.

A utilização de outras variáveis como o relevo, indicam outros processos e fornecem outras referências para a compreensão da estrutura da paisagem e suas implicações para a conservação dos ambientes naturais derivados. A resposta dos parâmetros do relevo utilizados na classificação da área do Corredor Cantareira-Mantiqueira gerou um resultado que delimitou com clareza ambientes com propriedades distintas da composição e funcionalidade na paisagem. Sem conhecermos o uso da terra, foi possível antever a distribuição de determinadas atividades e processos pela aptidão derivadas das características das classes de paisagem.

Nessa área de estudo, em particular, o relevo mostrou ter um papel fundamental na compreensão dos processos de uso e não uso da terra, pois direciona a ação de supressão da vegetação para atividades agrícolas ou de assentamentos urbanos, assim como a não supressão em áreas de difícil acesso, inaptas para outros usos, áreas nas quais a cobertura original remanesceu. A associação das classes de paisagem com os tipos de uso do solo mostra com nitidez como as diferentes categorias da paisagem agregam distintas atividades e em proporções específicas.

Usando o critério de classificação da paisagem por mancha, corredor, matriz (FORMAN e GODRON, 1986), compreendermos de forma geral quais são os elementos dominantes na paisagem e pela estrutura, podemos ter uma ideia de como pode se dar a funcionalidade dessa paisagem dadas as proporções desses elementos e sua distribuição. As classes na paisagem com maiores elevações e declividades possuem como uso dominante a “vegetação”, se essas classes fossem analisadas separadamente como paisagens, a “matriz” de ocupação seria formada por remanescentes florestais, enquanto outros usos minoritários seriam considerados “manchas”. Já nas classes com menores elevações e declividades, notamos uma inversão, a matriz dominante passaria a ser o uso “campo”, seguido por “urbano” e a “vegetação” se configuraria como manchas na paisagem.

Entendemos as classes de paisagem geradas nesse estudo como sínteses de parâmetros do relevo que agregam características específicas do uso da terra. Acreditamos que estudos de fluxo na paisagem possam ser realizados a partir dessa apreensão inicial sobre a estrutura da paisagem.

Algumas questões derivam dessa análise da estrutura da paisagem: Notamos que a vegetação está distribuída em menor proporcionalidade nas classes da paisagem 1 e 2, mas está configurada isolada em muitos fragmentos pequenos ou concentrada em poucos fragmentos grandes? Forma corredores de ligação entre remanescentes de vegetação, uma vez que a Classe 1 está diretamente ligada às planícies e calhas fluviais? A classe 3 apresenta a estrutura de maior continuidade na região do Corredor Cantareira-Mantiqueira e possui mais de 50% de sua área coberta pelo tipo de uso “vegetação”; como essa configuração se reflete no deslocamento de espécies no

Corredor? A classe 4, dos topos das Serras do Contínuo da Cantareira e da Mantiqueira é a que possui maior porcentagem de vegetação (cerca de 60%), como os ambientes dessa classe (altamente seletivos) se comunicam na paisagem? Quais seriam as facilidades e obstáculos para que o fluxo de espécies ocorra?

Para tentar responder a tais questões, elaboramos o próximo estudo de caso, quarto na área do Corredor Cantareira-Mantiqueira. Nesse estudo analisamos a funcionalidade da paisagem para o deslocamento de espécies. Com base nas classes de paisagens, ambientes mais similares entre si, assumimos a premissa que as espécies têm maior facilidade em se movimentar em ambientes mais semelhantes ao qual estão ligadas originalmente. Realizamos uma série de simulações de deslocamentos entre manchas das classes de paisagem para aumentar a compreensão sobre conectividade da paisagem no Corredor Cantareira-Mantiqueira.

5.6 Similaridades e conectividades no Corredor Cantareira-Mantiqueira

5.6.1 Contextualização

Existe um senso comum de que a conectividade da paisagem aumenta a viabilidade de população para muitas espécies e que até recentemente a maioria das espécies viviam em paisagens bem conectadas (NOSS, 1987).

Paisagens Naturais são geralmente mais conectadas do que paisagens alteradas pelas sociedades humanas e corredores são essencialmente uma estratégia para manter ou aumentar a conectividade natural.

Segundo Damschen (2006), corredores na paisagem, que hipoteticamente reduzem as consequências negativas da fragmentação, têm se tornado estratégias muito utilizadas no planejamento e manejo ecológico no mundo todo. Apesar dessa popularidade o autor destaca que existem poucas evidências documentadas da efetividade do uso de corredores na conservação da biodiversidade em escalas amplas.

Geralmente corredores ecológicos são planejados como caminhos de menor custo que consideram habitat e não habitat ou o uso da terra como referência de custo. Contudo, estas superfícies de custo geradas a partir do habitat ou do uso da terra consideram uma realidade bidimensional. A inclusão de características do relevo na concepção dos corredores pode alterar a configuração dos mesmos e apontar para alternativas de trajetos mais pertinentes à realidade tridimensional da paisagem.

O planejamento de corredores ecológicos utiliza o modelo de ilhas para analisar a estrutura da paisagem, e as Teorias da Percolação (Quadro 1) e dos Grafos (Quadro2) para simular a movimentação de espécies na paisagem. O estudo da conectividade sob uma perspectiva dos grafos permite modelar a conectividade funcional da paisagem para uma determinada espécie. Avalia-se o efeito de diferentes variáveis através de operações com os grafos relacionadas com a conexão entre os nós (URBAN; KEITT, 2001). Estas operações permitem avaliar o efeito de modificações nas conexões funcionais entre fragmentos, por exemplo, o uso de corredores (FORERO-MEDINA; VIEIRA, 2007). Assim, assumimos que a simulação de corredores gera uma compreensão sobre a conectividade funcional da paisagem (TAYLOR et al., 1993), dependendo da

proximidade e da percolação do habitat, da permeabilidade da matriz e do comportamento de movimentação dos organismos (Quadro 3).

As críticas em relação ao planejamento de corredores baseados somente na teoria da percolação apontam para o fato de que o descolamento é simulado apenas em um sentido na paisagem e a estrutura das manchas é representada pelo modelo de ilhas (habitat e não-habitat) num contexto bidimensional. Para superar a limitação desta análise unidirecional dos fluxos, os pesquisadores da paisagem começaram a utilizar a Teoria dos Grafos. Passaram também a substituir o modelo habitat/não-habitat por uma aplicação que considera as diferentes matrizes (usos da terra) com a atribuição de diferentes valores de custo para o deslocamento na paisagem. Ainda assim, o emprego do uso da terra como base para a elaboração da superfície de custo não incorpora a tridimensionalidade da paisagem.

Seguiremos a premissa da similaridade dos ambientes: Forman, em uma visão ecológica, enuncia o “princípio do fluxo espacial” no qual: todo ecossistema está inter-relacionado, com uma taxa movimento ou fluxo que diminui severamente com o aumento da distância, mas de forma mais gradual entre ecossistemas do mesmo tipo (FORMAN, 1995).

Assim, assumimos uma hipótese de que ambientes mais similares entre si devem prover melhores caminhos para a movimentação de espécies pelo Corredor Cantareira Mantiqueira.

A partir classificação de ambientes similares com base em parâmetros do relevo e uso da terra (ver item 5.5), realizamos a simulação de corredores usando superfícies de custo geradas a partir de diferentes características da paisagem: 1) elevação; 2) declividade; 3) cobertura vegetal e; 4) uso da terra. Procuramos testar as seguintes afirmações: os corredores resultantes das simulações são diferentes com relação (1) à localização dos traçados; (2) à variação de altitude e; (3) ao comprimento do percurso.

Quadro 1 - Teoria dos Grafos

A Teoria dos Grafos é uma teoria matemática do século XIX, desenvolvida por Lenhard Euler, que estuda as relações entre os objetos de um determinado conjunto a partir de estruturas chamadas de grafos. Um grafo é um conjunto formado por nós e vértices conectados entre si, representado, geralmente, como um diagrama (URBAN; KEITT, 2001). Um grafo com um determinado conjunto de nós pode ser dividido em subgrafos, a formação de um grafo depende do alcance dos vértices. Os vértices indicam a conexão entre os nós, representando assim a possibilidade de fluxo entre eles. Transpondo a teoria para as análises de conectividade da paisagem, os nós podem ser representados como manchas ou remanescentes de vegetação, e os vértices o indicativo da capacidade de deslocamento de espécies. Assim, dependendo da capacidade dos organismos atingirem outro local, a mesma paisagem pode ser dividida em subgrafos diferentes.

Ilustração da Teoria dos Grafos. Em (a), (b) e (c), temos diferentes formações de subgrafos devido a distintas capacidades de deslocamento de organismos na paisagem. Fonte: Forero-Medina e Vieira (2007).

Utilizando a informação da distribuição dos remanescentes de vegetação na paisagem, os autores (PINTO; KEITT, 2009) analisaram os corredores simulados utilizando estes remanescentes como locais de deslocamento com menor “custo” ou gasto energético. Como resultado, obtiveram como resultado os desenhos dos caminhos de deslocamento na paisagem com menor custo para as espécies. Estes caminhos podem ser interpretados como corredores ecológicos potenciais.

Ilustração da conectividade entre unidades de conservação na Mata Atlântica utilizando a Teoria dos Grafos e o conceito de matriz de custos. Em (a) e (b), corredores ligando Jacupiranga a Serra do Mar, em (c) e (d) ligando Juréia a Paranapiacaba, em dois cenários de matrizes de custo para o deslocamento. Fonte: Pinto e Keitt (2009).

Quadro 2 - Teoria da Percolação

Segundo Stauffer (1985) a Teoria da Percolação foi desenvolvida inicialmente na física para responder perguntas relacionadas à conectividade em espaços bidimensionais. Esta teoria se refere à capacidade de elementos se deslocarem de um ponto a outro, como água no solo, por exemplo. Quanto maior a quantidade e tamanho dos poros no horizonte pedológico, maior a capacidade de fluxo e velocidade de deslocamento. Ecólogos transpuseram a teoria para tentar modelar a movimentação de espécies. Em paisagens fragmentadas, quanto menor a quantidade de habitat (remanescente de vegetação, por exemplo) disponível, teoricamente, menor a capacidade de deslocamento das espécies na paisagem.

Ilustração da Teoria da Percolação. Em (a) num modelo de paisagem com alta fragmentação da vegetação (quadrículas escuras), as espécies encontram maior dificuldade para se deslocar. Em (b) num modelo com um índice menor de fragmentação, ainda existem caminhos possíveis para que as espécies atravessem a paisagem. (Adaptado de Gastner, 2012).

Stauffer (1985) testou em modelos hipotéticos qual seria o limiar de porcentagem de quadrículas presentes (ou porcentagem de vegetação na paisagem) no qual a paisagem passaria bruscamente de um estado conectado para um estado desconectado. Segundo estes testes, para paisagens com dimensões específicas, abaixo de 59% de habitat, a probabilidade do arranjo da estrutura da paisagem gerar caminhos para o deslocamento de uma ponta à outra da paisagem é mínima.

Segundo Metzger e Decámps (1997) esse limiar de percolação está ligado diretamente à estrutura da paisagem, com efeitos na conectividade estrutural e funcional. Em paisagens nas quais esse limiar é ultrapassado ocorreriam os efeitos de explosão da extinção de espécies e o isolamento das populações. Para Oborny (et al., 2006), a teoria da percolação pode ser muito útil, por exemplo, para avaliação da eficiência de corredores ecológicos.

Ilustração da análise de deslocamento aleatório em uma matriz de custo com base na Teoria dos Grafos. Os vértices (v) estão alocados nos centros dos pixels, cada vértice se conecta a oito pixels vizinhos pelas bordas (e). As bordas contêm os valores da matriz de custos, fornecendo informação para o deslocamento pelo menor custo. Fonte: Pinto e Keitt (2009).

Quadro 2. Síntese sobre a teoria da percolação. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Quadro 3 – Comportamento de movimentação

Baguette e Dyck (2007) modelaram o comportamento e o percurso dos organismos pela matriz em interação com processos da paisagem representados por meio de vetores de dispersão.

Esta modelagem seleciona a melhor rota que o indivíduo (dispersante) deveria seguir baseado no menor custo energético para a sua dispersão. Esta figura representa a interação entre os processos biológicos e da paisagem para a conectividade funcional. Fonte: Baguette e Dyck (2007).

Quadro 3. O comportamento e movimentação de espécies. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

5.6.2 Procedimentos

5.6.2.1 Simulação de movimentação de espécies na paisagem

Para realizar a simulação de corredores com as diferentes superfícies de custo, utilizamos o programa LORACS: *Landscape Organization and Connectivity Survey*. O LORACS foi desenvolvido para integrar mapeamentos de uso e cobertura da terra e preferências de habitat para gerar possíveis rotas de dispersão por espécies na paisagem (PINTO et al., 2012). Este programa utiliza um método derivado da abordagem de caminhos de menor custo, baseado na Teoria dos Grafos e algoritmos de busca para gerar rotas múltiplas de dispersão (PINTO; KEITT, 2009; PINTO et al, 2012).

No LORACS são utilizados dois dados de entrada: 1) uma superfície de custo, na qual o valor de cada *pixel* representa o custo relativo de sua travessia, e 2) um arquivo *raster*, com a mesma dimensão e resolução da superfície de custo, identificando a mancha fonte e a mancha alvo (*source-target*) entre as quais se deseja identificar potenciais corredores. Para realizar as simulações após a entrada dos dados, inserimos no

programa o número de caminhos a serem simulados (entre 1 e 1000) e a porcentagem da largura do corredor que queremos considerar nas análises (entre 1 e 100) (PINTO et al, 2012).

Medimos as diferenças de largura, qualidade relativa e redundância dos corredores gerados a partir das diferentes matrizes. Analisamos também os gargalos dos corredores para identificar pontos estratégicos que merecem maior atenção devido à importância para o fluxo na paisagem.

Seleção de manchas fonte e alvo (*source-target* ST)

Para analisar a conectividade entre estes ambientes, seguimos uma metodologia semelhante a do estudo realizado por Pinto e Keitt (2009), selecionando manchas fonte e alvo na paisagem e empregando diferentes superfícies de custo para a simulação da movimentação de espécies na paisagem. No entanto, existem algumas diferenças fundamentais nesta proposta. A primeira é que não consideramos somente fragmentos de vegetação ou unidades de conservação como base de informação para as simulações. Utilizamos primordialmente os ambientes similares identificados na paisagem (ver estudo 5.5), obtidos na classificação por atributos do relevo (Figura 69, item 5.5.3.2), para identificar as manchas fonte e alvo. A segunda diferença consiste na utilização de superfícies de custo geradas por parâmetros do relevo: altitude e declividade, com a intenção de investigar os efeitos da tridimensionalidade da paisagem nas simulações.

A classificação da estrutura da paisagem (Figura 76), resultante da análise estatística das similaridades entre diversos parâmetros do relevo, foi usada como base para a definição das manchas fonte e alvo (ST) formando pares de manchas pertencentes à mesma classe. Selecionamos, ao todo, sete pares de manchas ST de acordo com seu arranjo espacial buscando contemplar toda a amplitude da área de estudo e priorizando a direção do Corredor Cantareira-Mantiqueira.

Na classe 4, foram selecionados quatro pares de manchas fonte e alvo (ST1, ST2, ST3 e ST4); na classe 3, que apresenta grande continuidade na paisagem, foram selecionados dois pares (ST5, ST6) representando manchas menores e distintas que viabilizam a

simulação de corredores; e pelo mesmo motivo, apenas um par foi escolhido na classe 2 (ST7). Todos os pares estão descritos na Tabela (2). Não selecionamos nenhum par de manchas na classe 1 por entendermos que a conectividade nessa classe se dá pelos próprios caminhos desenhados por ela, pois representa basicamente os vales e planícies da rede hidrográfica.

Figura 76. Classes da paisagem para seleção de pares Fonte-Alvo (ST). Em (1), (2), (3) e (4), temos representadas as respectivas classes separadas a partir da Classificação da paisagem 1. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Tabela 2 - Descrição dos pares de manchas fonte e alvo (ST), selecionados para cada classe de similaridade a partir da combinação de parâmetros geomorfométricos do relevo: elevação (elev.), declividade (decliv.) e curvatura (curvat.). Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Classe de Similaridade	Par de manchas	Mancha fonte (<i>source</i>)	Mancha alvo (<i>target</i>)
Classe 4 Elev. [1000 e 1500 m] >decliv. (topos das maiores elevações)	ST1	S1 topo da Serra de Itaberaba	T1 topo da Serra da Mantiqueira
	ST2	S2 topo da Serra da Cantareira	T2 topo da Serra da Mantiqueira
	ST3	S3 mancha a Noroeste da área de estudo	T3 topo da Serra da Mantiqueira
	ST4	S4 mancha a Noroeste da área de estudo	T4 topo da Serra da Cantareira
Classe 3 Elev. [100 e 900m] >decliv. (Serras da Cantareira e Mantiqueira)	ST5	S5 mancha na Serra da Cantareira	T5 mancha na Serra da Mantiqueira
	ST6	S6 mancha a Noroeste da área de estudo	T6 mancha na Serra da Mantiqueira
Classe 2 mesma altitude curvat. máxima (cristas e diferentes amplitudes dos morros)	ST7	S7 mancha a Noroeste da área de estudo	T7 mancha a Sudoeste da área de estudo

Geração das superfícies de custo

No passo seguinte estabelecemos as superfícies de custo para serem utilizadas na simulação de corredores. Elas foram desenvolvidas a partir de parâmetros geomorfométricos do relevo e no uso e cobertura da terra. Foram elaboradas quatro superfícies de custo: 1) elevação, 2) declividade, 3) vegetação e 4) uso da terra.

A escolha da elevação e da declividade como parâmetros geomorfométricos pertinentes para gerar superfícies de custo derivou do resultado anterior da classificação que as aponta como variáveis relevantes para identificar a similaridade de ambientes. Nessa mesma lógica, assumimos que o custo de corredores que percorrem ambientes mais similares ao ST é menor do que o custo de deslocamento por ambientes menos similares. Podemos observar nas Figuras (59) e (60) do item 5.5.2.1 as superfícies de custo de 1) elevação e 2) declividade, respectivamente.

O custo proposto nestas duas superfícies foi gerado a partir da média das altitudes e declividades calculada para cada classe. Atribuímos valores mais semelhantes às médias

para os *pixels* das unidades da classe em análise e valores menos semelhantes à média para os outros *pixels*, diferenciando os custos de acordo com a semelhança aos valores médios. Desta forma, a simulação dos corredores com a utilização destas duas superfícies de custo dá preferência aos caminhos que percorrem áreas mais similares às manchas ST na paisagem.

Para a superfície de custo de vegetação, utilizamos como base o Inventário Florestal do estado de São Paulo de 2009. Esta superfície de custo pode ser observada na Figura (43), no item 5.3.3.1, na qual as áreas com remanescentes florestais de Mata Atlântica foram associadas a um custo menor para o deslocamento na paisagem do que as áreas sem vegetação.

A superfície de custo elaborada a partir do uso da terra (Figura 71, no item 5.5.3.3) considerou valores distintos para cada um dos usos mapeados. Classificamos os usos como mais ou menos compatíveis para o deslocamento. Adotamos a seguinte ordem de compatibilidade de usos: Fragmentos Florestais > Silvicultura > Campo. Alguns usos foram designados como barreiras para o fluxo de animais: áreas urbanizadas dos municípios e as represas. As duas principais rodovias que cortam a área também foram consideradas barreiras, porém não homogêneas. Atribuímos a estas duas rodovias (Dom Pedro I e Fernão Dias) valores diferenciados associados ao Índice de Permeabilidade de Estradas (RPI) (ASSIS, 2014).

Índice de Permeabilidade de Estradas

O índice de permeabilidade de estradas relaciona informações sobre as rodovias e atributos da paisagem no entorno das estradas que favorecem ou dificultam a chance da travessia dependendo das espécies consideradas. As variáveis da estrada e da paisagem e seus pesos foram estabelecidos por especialistas para grupos de espécies com requerimentos e comportamentos diversos.

Outro fator preponderante para o uso deste índice (RPI) foi o fato de ter sido desenvolvido por especialistas e aplicado para trechos das rodovias Dom Pedro I e Fernão Dias, principais eixos que cortam a paisagem no Corredor Cantareira-

Mantiqueira. Neste estudo ampliamos consideravelmente a área e o número de pontos analisados no estudo original (ASSIS, 2014).

O Índice de Permeabilidade de Estradas (RPI) utilizado na superfície de custo resulta do valor médio dos valores do índice calculados para cinco táxons: mamíferos de médio e grande porte, aves, anfíbios, morcegos e primatas. Utilizamos 16 variáveis para o cálculo do RPI: 10 relacionadas às características da paisagem (cobertura florestal, corpos d'água, construções/ área urbanizada, várzea, desnível do terreno/ declividade, visibilidade, silvicultura, presença humana/ fluxo de pessoas, animais domésticos, pastagens), e 6 relacionadas à estrutura da estrada (tráfego (luminosidade/ruído), retorno de carro, barreiras de concreto (*new jersey*), taludes, manilha/ tubulação e estruturas aéreas).

Para o cálculo do RPI foram utilizadas as influências de cada variável, seja da estrada ou da paisagem, determinada para o comportamento de cada táxon de acordo com as opiniões dos especialistas. Observamos que existe uma grande variação do tipo de influência, dependendo da variável e do táxon analisado (Figura 77). A presença de tráfego tem influência negativa em aves e morcegos, mas não em anfíbios e mamíferos. A presença de floresta, remanescentes de Mata Atlântica, tem uma influência positiva em quase todos os táxons, sendo um pouco menor para primatas. Existem variáveis que exercem influência somente para um táxon, pois representam uma necessidade peculiar daquele grupo, como a presença de planícies de inundação e manilhas para anfíbios, influenciando positivamente. Analisando a magnitude geral dos dados, sem distinguir por táxons, ou por tipo (negativo ou positivo), notamos que as variáveis da estrada com maior influência são: presença de tráfego, retorno de veículos e barreiras do tipo “*new jersey*”. Na paisagem, a presença de floresta (remanescentes de vegetação florestal), corpos de água e áreas urbanas exercem maior influência.

Figura 77. Tipos de Influência das variáveis da estrada e da paisagem para a travessia de espécies. A magnitude geral das influências dos atributos da paisagem e estruturas da estrada na permeabilidade está representada pela média dos valores absolutos de todos os táxons. As influências específicas para cada táxon estão apresentadas com seus respectivos sinais. Próximos a -1 são considerados como fortes influências negativas, enquanto valores próximos a 1 são fortemente positivas, e valores em torno do zero são fracamente influentes. Fonte: Assis (2014). Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Após a identificação das influências das variáveis para cada táxon, cada uma delas foi analisada e identificada como presente ou ausente na paisagem. Os levantamentos de presença e ausência das variáveis foram realizados com a visualização das imagens e fotos do programa *Google Earth* utilizando buffers consecutivos com raio de 500 m ao longo dos trechos das Rodovias Fernão Dias e Dom Pedro I contidos na área de estudo. Ao todo, foram analisados 79 pontos na rodovia Fernão Dias e 78 pontos na rodovia Dom Pedro I. Na Tabela (3) podemos observar um exemplo de como a análise foi registrada para posterior processamento das informações.

Tabela 3 - Exemplo do registro da análise de presença (1) ou ausência (0) das variáveis da estrada e da paisagem na rodovia nos pontos selecionados na rodovia Fernão Dias (FD). As variáveis analisadas foram: água (Agu.), planície fluvial (P.flu.), manilhas (Mani.), inclinação acentuada (Decl.), visibilidade (Visb.), silvicultura (Silv.), pastagem (Past.), área urbana (Urb.), taludes (Talu.), retornos (Ret.), passarelas (Pas.), barreiras “*new Jersey*” (N.J.), animais domésticos (Ani.), pessoas (Pes.) e intenso tráfego de veículos (Tráf.).

	Agu.	P. flu.	Mani.	Veg.	Decl.	Visb.	Silv.	Past.	Urb.	Talu.	Ret.	Pas.	N. J.	Ani.	Pes.	Tráf.
FD01	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
FD02	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1
FD03	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1
FD04	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1
FD05	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
FD06	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
FD07	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
FD08	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
FD09	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
FD10	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

A presença de estruturas de tubulação e outras variáveis problemáticas para a identificação por meio das imagens foram verificadas em expedições ao campo (Figura 78). Foram checadas estruturas como passagens de fauna (Figura 78 A), galerias de água com grandes dimensões (Figura 78 B), “passagens de gado” (Figura 78 C) e tubulações do tipo manilhas, com diâmetros reduzidos (Figura 78 D). Também verificamos a existência de potenciais passagens aéreas como passarelas. Na Figura (78 E), notamos uma passarela não terminada que liga duas áreas de remanescentes florestais na Rodovia Dom Pedro I, altura do km 47. Na Rodovia Fernão Dias, a Figura (78 F) mostra o exemplo de um local propício para a localização de passagens subterrâneas, mas que não foram encontradas em campo.

O cálculo do índice para cada trecho e para cada táxon foi realizado de acordo com Assis (2014) pela média do produto entre a influência de cada variável e a sua presença (valor 1) ou ausência (valor 0) naquele trecho. Em seguida, foi calculado o valor médio do RPI entre os cinco táxons para cada trecho. Para a incorporação do resultado do RPI à superfície de custo, transformamos os valores em um gradiente de permeabilidade de estradas - variando de valores mínimos à máximos – de acordo com a variação do RPI. Este gradiente foi integrado na superfície de custo do uso da terra (Figura 79).

Figura 78. Fotos de estruturas subterrâneas e aéreas das Rodovias Dom Pedro I e Fernão Dias. Em A, B e C, amplas galerias; em D, estreita manilha; em E, passarela inacabada ligando fragmentos florestais; em F, exemplo de área propícia para construção de estruturas de passagens de fauna. Fotos e Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Figura 79. Gradiente de permeabilidade de estradas nas Rodovias Fernão Dias e Dom Pedro I compondo a superfície de custo de uso da terra. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

5.6.2.2 Análise da variação de altitude e comprimento dos corredores

Com os conjuntos de pares de manchas fonte e alvo (ST) e com as superfícies de custo, realizamos as simulações de corredores na área de estudo utilizando 100 simulações e a representação de 10% da largura do corredor (CMTC).

Os corredores simulados com as quatro superfícies de custo foram representados para cada um dos pares ST separadamente. Cada corredor foi comparado com relação à variação de altitude ao longo de seu trajeto e com relação ao seu comprimento.

A variação de altitude - um indicio dos diferentes ambientes pelos quais uma determinada espécie teria de percorrer - foi identificada com o cruzamento da linha principal de cada corredor com a matriz de elevação para cada trecho do corredor. Obtivemos assim um perfil topográfico de cada corredor simulado.

Para compararmos a variação de altitude de cada corredor, calculamos o coeficiente de variação das séries de valores de altitude.

O coeficiente de variação (CV) é uma medida de dispersão e é obtido pela razão entre o desvio-padrão e a média:

$$c_v = \frac{\sigma}{\mu}.$$

O desvio-padrão, calculado pela raiz quadrada da variância. O desvio padrão é o desvio em relação à média, no entanto, como duas distribuições podem ter médias/valores médios diferentes, o desvio-padrão dessas duas distribuições não é comparável. O coeficiente de variação torna a variância comparável. O coeficiente de variação foi multiplicado por 100, passando a ser expressado como percentagem. Posteriormente, calculamos a variação do coeficiente de variação para todos os corredores resultantes das superfícies de custo entre os sete pares ST.

Testamos a significância da variação por meio de uma Análise de Variância (*Analysis of variance* - ANOVA). Este teste estatístico analisa as diferenças entre as médias de grupos de dados. O teste ANOVA indica se as médias de diversos grupos de dados são significativamente diferentes ou semelhantes.

Como uma análise complementar ao teste ANOVA, submetemos os dados a um outro teste estatístico, teste de Tukey, que analisa diferenças entre os resultados relativos a cada grupo de dados, em nosso caso, cada par ST e as superfícies de custo.

Para auxiliar a compreensão sobre as diferenças entre os corredores resultantes das simulações, calculamos os comprimentos dos corredores utilizando a distância euclidiana entre os pares de manchas ST como referência:

$$Razão\ de\ Comprimento = \frac{comprimento\ do\ corredor}{distância\ Euclidiana\ ST}$$

5.6.3 Resultados e Discussão

5.6.3.1 Simulação de corredores

Os resultados das simulações de corredores para os sete pares fonte e alvo (ST) estão representados espacialmente nas Figuras (80) a (86).

Podemos observar na Figura (80), que houve considerável divergência nos corredores entre ST1 considerando as diferentes superfícies de custo. Observamos que a diferença mais discrepante é do corredor formado pela superfície de custo de vegetação que é muito mais extenso e apresenta um 'desvio' maior que os outros corredores. Os corredores resultantes da declividade e uso da terra apresentam alguma sobreposição. Considerando o ST2 (Figura 81), observamos que todos os corredores apresentam uma semelhança em sua localização espacial, mesmo que não estejam necessariamente sobrepostos.

No ST3 (Figura 82), observamos uma diferença mais evidente entre todos os corredores, sendo que o corredor da vegetação percorre uma distância 4,5 vezes maior do que a distância euclidiana entre S3 e T3. Os corredores de elevação e declividade apresentam quase metade de seus trajetos sobrepostos. O par ST4 (Figura 83) apresenta a porção central dos quatro corredores mais coincidentes, com uma variação maior nas outras porções.

Entre o par ST5 (Figura 84) notamos uma sobreposição mais contundente entre os corredores de vegetação e de uso da terra, mas no geral há uma semelhança entre os quatro corredores apenas com algumas variações do corredor de declividade. No par ST6 (Figura 85), assim como no ST3, observamos uma diferença entre todos os corredores, sendo mais diferente e longo o corredor da vegetação. Há também uma grande diferença entre os corredores de elevação e declividade. Entre o par ST7 (Figura 86) notamos mais uma vez a divergência entre os corredores resultantes das diferentes superfícies de custo. Neste caso, a elevação gera o corredor mais extenso, enquanto vegetação e uso da terra geram corredores mais curtos e parcialmente similares.

Figura 80. Corredores simulados entre S1 e T1 (classe 4) com quatro superfícies de custo. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Figura 81. Corredores simulados entre S2 e T2 (classe 4) com quatro superfícies de custo. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Figura 82. Corredores simulados entre S3 e T3 (classe 4) com quatro superfícies de custo. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Figura 83. Corredores simulados entre S4 e T4 (classe 4) com quatro superfícies de custo. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Figura 84. Corredores simulados entre S5 e T5 (classe 3) com quatro superfícies de custo. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Figura 85. Corredores simulados entre S6 e T6 (classe três) com quatro superfícies de custo. Org. Ricardo Sartorello, 2012.

Figura 86. Corredores simulados entre S7 e T7 (classe 2) com quatro superfícies de custo. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Observamos na Figura (87), que as simulações utilizando as superfícies de custo geram corredores com diferentes proporções comparando com a distância euclidiana entre os pares ST. Os corredores gerados pela superfície de custo de vegetação (em preto) possuem as maiores discrepâncias variando entre 2 e 4,5 vezes a distância mais próxima. Interessante notar como os corredores que utilizam como base a superfície de custo do uso da terra (cinza escuro) possuem variações bem menores de distância, comparando com os dados da vegetação. Os corredores baseados na elevação e declividade possuem, em geral, menores discrepâncias, quando comparados a vegetação, no entanto, no par ST7 a elevação apresenta maior discrepância entre todas as superfícies, fato que pode ser explicado pela associação com a classe da paisagem que representa, áreas com elevações menores.

Figura 87. Representação da razão de comprimento dos corredores. Divisão do comprimento dos corredores de cada superfície de custo e a distância euclidiana entre os sete pares de manchas ST. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

De forma geral, notamos que podem existir relevantes diferenças entre a localização das simulações de corredores considerando as distintas superfícies de custo. Elevação e declividade geralmente sugerem corredores semelhantes entre si, se aproximando muitas vezes das distâncias mínimas em linha reta entre as manchas fonte e alvo (especialmente em ST1, ST2, ST3 e ST4).

5.6.3.2 Análise da variação topográfica dos corredores

Observamos na Figura (88), que existe uma sensível diferença visual entre as altitudes percorridas pelos corredores, dependendo da superfície de custo utilizada. Notamos que no par ST1 - que simula a movimentação entre manchas na Serra de Itapetinga e a Serra da Mantiqueira – o corredor gerado pela superfície de vegetação (em cinza) além de muito mais extenso, possui variações grande topográficas, com amplitudes de quase 500m, nenhum outro corredor possui variação tão acentuada (neste exemplo). Considerando o par ST2 – que simula a movimentação entre as Serras da Cantareira e Mantiqueira, percebemos que o corredor da superfície de custo de uso da terra (em amarelo) apresenta algumas variações quase tão acentuadas quanto corredor que usa a vegetação como base, chegando a amplitudes de mais de 400m. Os corredores

baseados em superfícies de custo de elevação e declividade (em azul e laranja, respectivamente) apresentam as menores elevações.

Dessa forma, utilizando a comparação visual dos perfis topográficos, foi possível identificar dois blocos distintos: 1) elevação e declividade, e 2) vegetação e uso da terra. Os dois blocos apresentam uma variação da elevação ao longo dos trajetos dos corredores distinta, sendo que elevação e declividade tem uma variação menor.

Quando comparamos o coeficiente de variação de cada corredor (Figura 89), notamos que nos quatro primeiros conjuntos STs, todos da classe 4, os corredores desenhados pela matriz de vegetação apresentam grandes variações, mas a diferença para outros corredores simulados pelas matrizes de elevação e declividade não é tão acentuada. Fato que não se sustenta nas outras classes dos pares STs. Entre os pares ST5 e ST7 as diferenças de variações são nítidas entre os blocos de corredores vegetação/uso e elevação/declividade.

Temos que interpretar esses dados tendo em mente as classes representadas em cada conjunto ST. Os quatro primeiros conjuntos são manchas da classe de paisagem 4 (topos das Serras). A busca por ambientes similares entre manchas dessa classe passa obrigatoriamente por outras classes da paisagem, pois as manchas de topos são menos frequentes na paisagem e pelo simples fato de que para se atingir outro topo é preciso descer a encosta e subir novamente. No entanto, existem claras diferenças nas variações das altitudes percorridas. Os pares ST5 e ST6 se referem aos “corpos” das Serras, desenhando um contínuo entre as áreas mais elevadas da Cantareira até a Mantiqueira. Os resultados para essa classe refletem essa continuidade, principalmente os corredores com base na elevação (em azul), com as menores variações topográficas entre todos os outros. Do outro lado, nessa classe a diferença entre as variações para os corredores com base no uso e elevação se tornam gritantes.

Figura 88. Perfis topográficos dos corredores simulados em quatro superfícies de custo. Elevação (Elev.), declividade (Decliv.), vegetação (Veg.) e uso da terra (Uso), entre os pares ST1 (entre as Serras de Itapetinga e Mantiqueira) e ST2 (entre as Serras da Cantareira e Mantiqueira) da classe 4. Org. Ricardo Sartorello, 2014.

Figura 89. Coeficiente de variação (%) dos valores de elevação dos corredores. Valor para cada par ST (1 ao 7), nas quatro superfícies de custo, elevação (Elev.), declividade (Decliv.), vegetação (Veg.) e uso da terra (Uso). Org. Ricardo Sartorello, 2014.

A separação desses dois blocos de variações – altitude/declividade, vegetação/uso da terra - pode ser observada no gráfico do coeficiente de variação por superfícies de custo (Figura 90). O teste ANOVA, realizado para dimensionar a separação dos grupos apontou um resultado significado ($p=0,0019$) para os blocos elevação/declividade e vegetação/uso da terra.

Comparando cada par ST, o teste de Tukey apontou que existe uma diferença significativa entre as superfícies de custo elevação e vegetação, elevação e uso e declividade e vegetação. Não sendo estatisticamente significativas as diferenças entre os pares elevação e declividade, vegetação e uso e declividade e uso.

Os resultados estatísticos apontam que modelos de simulações que consideram atributos do relevo geram corredores com menores variações topográficas. E que modelos que consideram informações sobre o uso da terra, não possuem variações menores, ou seja, a não consideração de variáveis físicas como elevação ou declividade, pode resultar em modelos com grandes variações de altitudes e por consequência de ambientes.

Figura 90. Coeficiente de variação da altitude dos corredores simulados entre os sete pares de manchas ST com diferentes superfícies de custo: elevação (Elev), declividade (Decliv), vegetação (Veg) e uso da terra (Uso). Org. Ricardo Sartorello, 2014.

5.6.4 Considerações

O planejamento de corredores para a movimentação de espécies na paisagem é certamente, uma tarefa que pode se beneficiar da interação entre abordagens ecológicas e geográficas da paisagem.

Verificamos nesse estudo como a similaridade de ambientes, obtida por meio da classificação da paisagem baseada em atributos do relevo, propõe uma nova forma de pensar as conectividades na paisagem, além dos remanescentes florestais.

Os fragmentos de Mata Atlântica se organizam na paisagem dirigidos pelos processos de supressão e substituição de uso. Propor um planejamento da conservação de uma paisagem com base apenas nos remanescentes é consolidar ainda mais os processos de modificação e supressão da vegetação.

Temos que pensar a conservação de uma paisagem como o Corredor Cantareira-Mantiqueira observando a vegetação, mas se pensarmos a longo prazo, dezenas, centenas de anos, também devemos conservar os ambientes heterogêneos da paisagem, ou a variedades de habitats, pois estes dão suporte a biodiversidade.

Para isso, devemos investir de forma vigorosa na ideia de recuperação e conservação de ambientes heterogêneos. Verificamos neste estudo, por meio das simulações dos corredores utilizando diferentes superfícies de custo, ótimas oportunidades para avançarmos nessa discussão.

Nesse sentido já existem iniciativas muito interessantes como o Pacto Pela Restauração da Mata Atlântica (RODRIGUES et. al, 2009), que tem como objetivo promover a recuperação da vegetação em larga escala por meio de estratégias como a valoração, pagamentos por serviços ambientais e a adequação legal das atividades agropecuárias.

Sobre a hipótese de que ambientes similares geram melhores possibilidades para o deslocamento de espécies, os resultados comparando os corredores por superfície de custo foram categóricos, utilizar somente informações sobre a vegetação ou, mesmo o uso da terra, implica em infligir ao corredor planejado, grandes variações topográficas.

Abrimos aqui uma questão importante, qual é a real variação topográfica no deslocamento de espécies em uma paisagem como o Corredor Cantareira-Mantiqueira? Sabemos que a resposta irá variar muito de espécie para espécie e suas características de deslocamentos. No entanto, estudos que levantem esse tipo de informação podem contribuir muito para entendermos se as premissas e os modelos possuem correspondência com a realidade.

Ainda temos que considerar as diferenças entre as distâncias, mesmo porque, nessa escala de análise, diferenças aparentemente pequenas entre os desenhos significam alguns quilômetros na paisagem.

Enfatizamos, assim, que estudos para planejamento de corredores devem incorporar nos modelos de simulação variáveis do relevo nas superfícies de custo.

De outro lado, sabemos que as informações sobre o uso da terra são de extrema importância para melhores planejamentos e simulações. Existe uma grande dificuldade em obter mapeamentos com níveis de detalhamento compatível para este tipo de estudo em escala regional ou de maior detalhe.

Também a análise categórica dos tipos de uso da terra não se configura na melhor opção para análises pixel a pixel, como a realizada na simulação utilizando a Teoria dos grafos. Poderíamos ter melhores resultados considerando a paisagem de forma mais contínua, sem rupturas ou limites abruptos impostos pelas classes de uso. Nesse sentido, a combinação de técnicas de Análise de Mistura Linear (ver item 5.4.3.1) pode prover um novo modelo para a simulação de corredores em paisagens contínuas.

Devemos destacar que a combinação do Índice de permeabilidade de estradas (RPI) com as informações de uso da terra foi fundamental para o aprimoramento dos resultados das simulações utilizando a superfície de custo de uso da terra. Recomendamos que estudos e planejamentos de corredores considerem a questão das barreiras como as estradas e rodovias. Sabemos que a influência das variáveis das estradas e da paisagem diferem de um local para outro, e que este índice possui um significado para as rodovias estudadas, mas incentivamos a experimentação no sentido de compreender melhor as influências positivas e negativas para a travessia de barreiras tão eficientes na paisagem.

6 Considerações Finais

6.1 Interações entre abordagens da paisagem

A tese elaborada abordou as concepções históricas da paisagem, os seus princípios teórico-conceituais e as suas aplicações na conservação e no planejamento. Considerou as particularidades nas abordagens geográfica e ecológica e destacou as possibilidades de avanços proporcionados pela interação destas escolas no desenvolvimento e aplicação de projetos para conservação.

Em princípio, tratamos dos temas relacionados ao observador da paisagem e da escala. A abordagem geográfica trabalha em dimensões de planejamento e escalas mais amplas e com uma visão humana. A ecológica usa escalas mais flexíveis, analisando a paisagem pelo olhar dos organismos estudados. Entretanto, as escalas regionais representam uma aproximação potencialmente adequada para a mediação das análises em ambas abordagens.

Além disso, existe uma correspondência que poderia ser melhor explorada entre as vertentes: os pesquisadores da paisagem na abordagem geográfica determinam a escala de análise com base em magnitudes de fenômenos que desejam observar e compreender; enquanto os estudiosos da paisagem na abordagem ecológica avaliam critérios mais ligados ao comportamento das espécies, como área de vida, capacidade de dispersão, etc. Sabemos que muitos fenômenos observados pelos geógrafos estão diretamente relacionados com tipos de comportamento de espécies na paisagem. Acreditamos que a utilização de informações de ambas abordagens pode refinar os delineamentos sobre a escala de observação e apreensão da paisagem.

A perspectiva do observador da paisagem é determinante para a sua apreensão e consequente delimitação dos elementos que formam a sua estrutura. Nos estudos de caso, demonstramos alternativas para a delimitação, mapeamento, análise e interpretação da estrutura da paisagem.

O primeiro estudo de caso - proposta para identificação e mapeamento das paisagens brasileiras (item 5.1) – mostrou que a análise da variação da vegetação em uma determinada série temporal pode fornecer informações sobre múltiplos processos que

ocorrem na paisagem. Em nosso experimento, identificamos as paisagens brasileiras, estrutura que alcançou uma forte correlação com os Domínios Morfoclimáticos Brasileiros de AB'Saber (1965) e com os Sistemas Ambientais propostos por Ross (2009). As paisagens identificadas correspondem a dois tipos básicos: paisagens mais estáveis, refletindo as heranças de processos naturais mais antigos: como os encontrados em formações vegetais na Floresta Amazônica, na Caatinga e no Pantanal; e as paisagens mais complexas, resultantes da combinação de heranças antigas com processos antrópicos atuais: como no Cerrado, nas Matas Atlânticas, e nas Matas de Araucárias.

Os padrões encontrados evidenciam o uso e ocupação da terra como fenômeno determinante para as transformações das paisagens brasileiras. Daí a importância dessa técnica de Sensoriamento Remoto que poderá contribuir com o monitoramento das paisagens auxiliando decisivamente nos projetos de conservação e planejamento.

As abordagens geográficas que geralmente preconizam a elaboração de mapas com fronteiras discretas, representando uma “fotografia” de momento, ampliariam seu arsenal de análise incorporando as tendências temporais. A resultante das transformações vegetais poderiam fornecer um conjunto de dados quanto à resistência e resiliência dos ecossistemas frente às pressões antrópicas para as análises baseadas na abordagem ecológica.

No segundo estudo de caso – o modelo de ilhas e análise por regiões (item 5.3) - analisamos a estrutura da paisagem com base no modelo de ilhas. O modelo proporcionou a apreensão de informações básicas relacionadas às propriedades e organização dos fragmentos de forma rápida e com fácil interpretação, no entanto, demonstrou importantes restrições.

Os trabalhos desenvolvidos aplicando essa metodologia são concentrados na vertente ecológica/biológica da Ecologia da Paisagem, tendo como principal limitação em sua utilização a ausência de variáveis ambientais (clima, relevo, drenagem, etc.) e sociais (manchas urbanas, agricultura, sistema viário) que são imprescindíveis para compreensão de processos que influenciam da organização da paisagem.

A proposta de análises por regiões não resolve o problema inicial de ausência de variáveis, mas fornece uma outra gama de possibilidades de análises levando em consideração o contexto mais imediato da paisagem na qual os fragmentos florestais estão inseridos. A identificação de cenários mais ou menos favoráveis para a conservação, com base em premissas clássicas - da Teoria da Biogeografia Insular - pode ajudar a identificar áreas estratégicas para o investimento de recursos e energia, visando ações de restauração de conservação.

O terceiro estudo de caso – mudanças na paisagem no Corredor Cantareira-Mantiqueira (item 5.4) - enfatizou os processos responsáveis pelas modificações da paisagem na área do Corredor e suas implicações para a conservação, a partir da análise de imagens de satélite. Os resultados demonstraram uma forte correlação entre as propriedades do relevo, altitude e declividade, com as aptidões para uso agrícola ou assentamentos urbanos e a conservação.

Verificamos que a concentração de mudanças na área do Corredor se dá nas faixas com altitudes entre 750 e 950m e declividades de até 20 graus, associadas a usos como campos e culturas, havendo maior estabilidade na paisagem em regiões acima de 1050 m e com declividades superiores a 30 graus. A conservação dos ambientes naturais dá-se, assim, em decorrência da menor influência das atividades antrópicas nas áreas mais íngremes e elevadas.

Essa correlação entre parâmetros (como a elevação) e áreas conservadas destacou a importância de considerar variáveis como o relevo para a compreensão de processos nesta área de estudo. Sabemos que o modelo ilhas é um modelo bidimensional, pois não considera as elevações das manchas na paisagem. No entanto, além da tridimensionalidade, o relevo traz uma síntese de outras variáveis que determinam outros processos na paisagem. A incorporação de um modelo que traga em sua gênese esses outros processos pode ser significar um avanço em estudos de conservação da paisagem.

Em nosso quarto estudo de caso - classificação da paisagem a partir de parâmetros do relevo (item 5.5) – concluímos que as classes da paisagem agrupadas a partir da similaridade entre diversos parâmetros geomorfométricos estão fortemente ligadas ao

processo de uso e conservação na área do Corredor Cantareira – Mantiqueira. Concluímos que esse tipo de classificação apresenta um enorme potencial de utilização como modelos para análises da estrutura da paisagem.

Demonstramos uma dessas possibilidades em nosso quinto estudo de caso – similaridades e conectividades no Corredor Cantareira-Mantiqueira (item 5.6) - que trouxe uma proposta alinhada com os paradigmas contemporâneos de conservação e planejamento: o estabelecimento de corredores para a movimentação de espécies na paisagem. Por ser uma estratégia abrangente, que propõe a conectividade de ambientes e fragmentos, há uma facilitação para integrar as abordagens ecológicas e geográficas da paisagem.

Como já demonstrado, o relevo constitui um elemento central para a compreensão do Corredor Cantareira – Mantiqueira. Nossa proposta para a simulação de corredores considerou além dos remanescentes florestais e das formas de uso e ocupação da terra os atributos topográficos da paisagem. Ficou comprovado que utilizar somente informações sobre a vegetação e uso da terra, desprezando os dados de relevo, significaria gerar corredores com custo elevado para o deslocamento associado às grandes variações topográficas.

Algumas considerações gerais para a conservação e o planejamento da paisagem apresentadas na tese são:

- A vegetação pode gerar melhores informações para a compreensão da estrutura da paisagem se analisada ao longo do tempo. Podemos, dessa forma, identificar quais são os tipos de heranças.
- A compreensão da dinâmica da paisagem deverá incluir as tendências de transformações verificadas em escalas temporais;
- Os modelos de estrutura da paisagem devem incorporar outros componentes da paisagem além das formas de uso e ocupação da terra e dos remanescentes da vegetação. Ficou demonstrado que relevo pode prover alternativas.

- A interação entre as abordagens geográficas e ecológicas pode ser alcançada na fase de desenvolvimento de projetos, que facilitem essa integração, ou pela análise do conjunto dos resultados gerados.

6.2 Além das abordagens da paisagem, a geografia e a conservação

Um aspecto central para a conservação é também um dos maiores desafios dos trabalhos ambientais – a integração de elementos e processos sociais e físicos para abordagem e análise dos seus objetivos. Essa perspectiva fundamental é a gênese de grandes conflitos conceituais e divergências metodológicas encontradas nesses trabalhos.

A abordagem geográfica contempla, em essência, a relação homem/natureza ou sociedade/meio e é justamente no âmbito dessa correlação que a paisagem surgiu, como conceito e fundamento teórico-metodológico. Com técnicas e métodos próprios tornou-se um campo de pesquisa independente – designado de Ecologia da Paisagem – que manteve fortes vínculos com a Geografia, mas também incorporou e foi incorporado pela Ecologia.

Na Ecologia da Paisagem, explorada inicialmente pelo seu vínculo estreito com a Geografia, os temas associados à conservação e/ou proteção não aparecem isolados da cultura, particularmente do modo como as sociedades se inscrevem nas paisagens. No entanto, percebe-se cada vez mais o aprofundamento de uma visão biológica que não incorpora adequadamente práticas sociais de comunidades, cuja cultura em sua projeção espacial possui dimensões igualmente importantes na conservação ambiental, tornando difícil a execução de modelos ou mesmo reduzindo a análise espacial (em fase de elaboração).³

É extremamente importante mencionar que a “migração” do eixo temático da Ecologia da Paisagem para a esfera de análise biológica deveu-se a questões práticas,

³ Furlan, S. A.; Gomide, M. L.; Sartorello, R. Geografia da Conservação da Natureza: discutindo conceitos e relações.

consolidadas com a preocupação em conservar os recursos naturais, decorrente de posicionamentos políticos (consolidados no século XX) e das constatações científicas quanto à intensa degradação ambiental, contínua fragmentação de habitats, poluição da água, do ar e dos solos, introdução de espécies exóticas e consequente perda de diversidade biológica em todas as escalas (METZGER; CASATTI, 2006, p. 2).

Uma conjuntura que motivou questões cruciais para serem respondidas pelos cientistas: *onde* a conservação é prioritária; e *como* viabilizar essa conservação em longo prazo. A valorização dos dados e argumentos quantitativos em prol da resposta a essas questões, aliada ao maior engajamento de pesquisadores dedicados a elucidar a funcionalidade dos habitats naturais, por meio das métricas da Ecologia de Paisagens, ampliou a distância desse campo científico do viés geográfico clássico de compreender como as comunidades veem o uso e proteção de recursos explorados no território.

Para a Geografia é imprescindível manter a coerência dos seus postulados filosóficos para o desenvolvimento de trabalhos de análises da paisagem, propostas de conservação e planejamento com uma abordagem capaz de integrar natureza e cultura, pois a paisagem é também um fato cultural, produto indissociável da experiência humana com os habitats. É neste sentido que uma Geografia voltada para a conservação da natureza poderá se articular com a Ecologia de Paisagens para a construção de novos paradigmas e modelos científicos que não dissociem a dimensão das espécies e as dinâmicas sociais que potencializam, inibem ou excluem a biodiversidade.

O desenvolvimento dos trabalhos a partir dos princípios da Geografia da Conservação da Natureza precisa refletir e empregar os seus conceitos científicos fundamentais de territorialidade, área e lugar, que também estão na base da noção de conservação da natureza quando analisada na perspectiva Ecológica.

A conservação será instituída e realizada em meio a territorialidades produzidas historicamente a partir de aprendizagens dos povos com seu meio e, portanto, uma aprendizagem no habitat. Para compreender a territorialidade devemos investir na reconstrução histórico-cultural da formação da paisagem, visto que, na prática os territórios configuram paisagens que contém diferentes camadas do tempo biológico e sociocultural. E à conservação de territórios vividos e ocupados por comunidades

tradicionais – indígenas, quilombolas, caiçaras, sertanejos, caboclos – precisa ser somado a eficiência dos dados quantitativos fornecidos pelas métricas da paisagem e as práticas sociais desses povos.

Nos estudos biológicos a área é o habitat ou a extensão da paisagem onde ocorre a interação da espécie com o ambiente. A área de distribuição de um organismo é um fundamento essencial para espacializar a biodiversidade e gerar modelos de fragmentação e conectividade que subsidiam as tomadas de decisão ecológicas para selecionar e implementar a conservação. Do ponto de vista cultural a área é o fragmento e também a fonte de recursos naturais, comportando o tempo da cultura humana e sua capacidade técnica de explorar esses recursos.

Dessa forma, as análises que abordam a configuração da área a partir de fatores que afetam a diversidade dos habitats, como tamanho, distância, geometria (relação perímetro/área), distribuição espacial dos fragmentos e os seus efeitos sobre a funcionalidade, mobilidade e efetiva colonização de habitats precisarão ser analisadas e complementadas por fatores antrópicos que respondam pelo padrão de uso e ocupação do espaço, mesmo que tratem de um nível de integração preliminar, sujeitos a aperfeiçoamento e detalhamentos. As normas e regras de conservação a serem implantadas só farão sentido se comporem um pacto para um manejo que inclua as comunidades de entorno, muitas vezes, em detrimento do rigor preservacionista deve-se optar por unidades de uso sustentável.

Na prática a aplicação de critérios instituídos e bem formulados ainda não garantem que a conservação será implementada e/ou viabilizada.

A implementação e viabilização das áreas escolhidas para conservação representam um dos maiores desafios da atualidade para os que se preocupam com a conservação. Não são raros os casos, no Brasil e no mundo, de Unidades de Conservação irreais, onde as terras não foram desapropriadas, onde não há zoneamento ou planejamento, ou seja, reservas que só existem “no papel” (METZGER; CASATTI, 2006, p. 5).

Entre a seleção de uma área potencialmente adequada para a conservação e a efetiva instituição de uma reserva é necessário atentar para o proprietário das terras (público ou privado) e qual categoria (unidades de conservação de uso sustentável ou de proteção integral, conforme Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, SNUC, Lei n. 9.985 de 18 de Julho de 2000) está mais bem adequada ao seu diagnóstico físico. Dependendo dos objetivos e da estrutura social relacionada às condições descritas, poderá haver maior dificuldade ou até mesmo inviabilização do estabelecimento da reserva – considerando-se a necessidade do empenho de verba e o esforço político para aprovar às medidas protetivas.

A compreensão do modo de vida, da cultura, dos fenômenos e processos biológicos traduzem-se no amálgama de elementos que compõe as paisagens. Uma abordagem clássica para a Geografia e necessária nos trabalhos ambientais são os estudos de percepção, cujo conceito fundamental é o de lugar. E como destaca Furlan (2000) – a compreensão do local indica um rumo possível entre o planejado e o executável:

[...] o lugar é a dimensão na qual as pessoas estabelecem a identidade e apropriam-se afetivamente do espaço para vivê-lo, defendê-lo e transformá-lo. Ou seja, a dimensão local deve ser lida na perspectiva do conceito lugar e território. Vejo essa ligação como uma forma necessária de mediação entre aquilo que se tem, aquilo que se conhece, aquilo que se deseja e aquilo que se pode fazer para garantir uma vida digna e democrática, em harmonia com os processos ecológicos que a natureza necessita para a sua continuidade (Furlan, 2000, p. 7-8).

O lugar é o espaço concebido e compartilhado por grupos sociais de diferentes interesses e modos de vida. Neste sentido não basta catalogar e quantificar as espécies conhecidas por populações tradicionais, ou apenas descrever o seu modo de uso. É fundamental compreender os significados, as representações espaciais e a extensão da paisagem vivida que deverão embasar ou estar contidos nos planos de manejo, valorizando, por exemplo, uma cartografia social e a experiência do uso mais harmônico dos recursos naturais pelas comunidades tradicionais.

Obter êxito na implantação de uma unidade de conservação também não é garantia de manutenção e conservação do ambiente; será necessário desenvolver e empregar

adequadamente o plano de manejo, “o principal instrumento legal para a viabilização da conservação”. O plano deve guiar-se pelos objetivos para a conservação e diagnósticos físicos da reserva, proporcionando a realização de um zoneamento ecológico e “socioeconômico” (ZEE) fomentado pela participação da população do seu interior ou do seu entorno, sem o qual, segundo Metzger e Cassati (2006) poucas ações de conservação conseguem ter respaldo e sucesso.

A Geografia voltada para a conservação da natureza deverá lidar também com a conservação de áreas economicamente produtivas ou intensamente pressionadas pela urbanização em sistemas ambientais muito alterados. Uma estratégia interessante para promover a conectividade, diversidade e representatividade dos ambientes por incluir fragmentos de habitat natural em áreas já intensamente modificadas pelo Homem, tendo como perspectiva que toda reserva isolada estará fadada à perda progressiva de sua diversidade, à degradação do seu entorno, à invasão de espécies exóticas ou à propagação de outras perturbações (METZGER; CASATTI, 2006).

Direção semelhante é apontada por Ross (2006) que destaca principalmente as limitações dos conceitos de território e lugar, propondo escalas e limites flexíveis que só poderão ser definidos por uma política pública de Estado, cujo planejamento ambiental deverá fortalecer a ideia de análise integrada da totalidade – de todos os componentes e fenômenos ambientais – facilitando, futuramente, a construção de uma teia “institucional” de unidades de conservação.

[...] Cabe ressaltar que tanto os elementos que determinam as especificidades dos componentes naturais como as relações econômico-sociais não terminam no espaço territorial de um lugar, pois as estruturas geológicas, o relevo, o solo, a vegetação, a fauna e o clima, por serem regidos por uma complexidade de mecanismos naturais, definem espaços territoriais próprios. Igualmente, as relações sociais e econômicas das populações humanas, assentadas em um determinado lugar, têm vínculos culturais e econômicos que invariavelmente, extrapolam o limite do lugar onde vivem, pois seus vínculos e interações são estabelecidos pelos mecanismos econômicos, culturais e sociais que são globais” (ROSS, 2006, p. 57-58).

O processo histórico revela que as intervenções das sociedades com maior sofisticação técnicas e sistemas econômicos complexos conduziram a perda da qualidade de vida e ambiental, decorrente de práticas econômicas predatórias. Impôs-se a necessidade urgente de instituir planejamentos físico-territoriais integradores das perspectivas socioeconômicas e ambientais na direção de desenvolvimentos mais harmônicos que considerem as potencialidades e fragilidades dos recursos naturais disponíveis para as indústrias, exploração de minérios e práticas de recreação e lazer (ROSS, 2006).

Em síntese, entendemos que, além de estudos de paisagem, uma geografia voltada para a conservação deve estar aberta ao intercâmbio de conhecimentos e técnicas e superar antigos paradigmas na observação de um objetivo urgente, a conservação ambiental.

Nesse sentido, de forma preliminar, com base nos estudos das abordagens da paisagem, elencamos princípios que possam ajudar na construção de uma geografia da conservação:

- Primar pela integração e abrangência da totalidade dos fenômenos, componentes e elementos dos sistemas naturais e socioeconômicos ajustados aos objetivos da conservação.
- Reconhecer na totalidade as particularidades e funções locais dos modos de vida e do ambiente. Na maioria das vezes será necessário planejar em escalas diferentes, considerando maior concessão ou rigidez, tendo como sequências de prioridade a cultura, a fragilidade e a potencialidade ambiental.
- Aprimorar constantemente o conhecimento científico e as técnicas aplicadas por meio da consulta e atualização de planos de manejos existentes, análise de pesquisas publicadas e monitoramento das unidades de conservação já implantadas.
- Desenvolver projetos que consigam apontar direcionamentos para a política de conservação, adotada pelo Estado, e que, simultaneamente, estejam articulados com os avanços já alcançados em outras áreas como a acadêmica.

7 Bibliografia

ABREU, A. A. **O Significado e propriedades do relevo na organização do espaço**. Boletim da Geografia Teorética, v. 15, 1985.

AB'SÁBER, A. N. **A organização natural das paisagens inter e subtropicais brasileiras**. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, 3., São Paulo. Anais. São Paulo, 1971.

_____. Bases Conceptuais e Papel do Conhecimento na Previsão de Impactos. In: AB'SÁBER, A. N.; MÜLLER-PLANTENBERG, C. (orgs.) **Previsão de Impactos. O estudo de impacto ambiental no Leste, Oeste e Sul: experiências no Brasil, na Alemanha e na Rússia**. São Paulo: Edusp, 1994.

_____. **Domínios de Natureza do Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. São Paulo, 2003.

_____. **Domínios Morfoclimáticos e Províncias Fitogeográficas no Brasil. Orientação**. São Paulo, USP-IGEOG, nº 3, 1967, p. 45-48.

_____. **Os Domínios Morfoclimáticos na América do Sul**. Geomorfologia, 52. Instituto de Geografia. São Paulo, 1977.

_____. Topografia, paisagem e ecologia. **Scientific American Brasil**, jan. 2005.

ADAMS, J. B. et al. Classification of Multispectral Images Based on Fractions of Endmembers: Application to Land-Cover Change in the Brazilian Amazon. **Remote Sens. Environ**, New York, v. 52, p. 137-154, 1995.

ANDRÉN, H. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. **Oikos**, v. 71, nº 3, p. 355-366, 1994.

ASSIS, J. C. **Planejamento e Gestão da Paisagem na Conservação Ambiental: Ecologia de estradas e o mosaico da Serra da Cantareira**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

BAGUETTE, B.; DYCK, H. V. **Landscape connectivity and animal behavior: functional grain as a key determinant for dispersal**. Landscape Ecology 22. 2007.

BEIER, P.; BROST, B. Use of Land Facets to Plan for Climate Change: Conserving the Arenas, Not the Actors. **Conservation Biology**, 2010.

BENNETT, A. F.; RADFORD, J. Q.; HASLEM, A. Properties of land mosaics: Implications for nature conservation in agricultural environments. **Biological Conservation**, v. 133, issue 2, p. 250-264, 2006.

BERG, L. S. **The objectives and tasks of geography**. Translated by KHOROSHEV, A. V. Proceedings of the Russian Geographical Society, 15. 1915.

BERNALDEZ, F. G. **Ecologia y paisaje**. H. Blume. Madrid, 1981.

- BERTALANFY, L. V. **General System Theory**. New York, 1968.
- BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico**. Instituto de Geografia. São Paulo, 1972.
- BERTRAND, G.; BERTRAND, C. **Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades**. Maringá, 2007.
- BESSE, J. M. **Ver a terra: seis ensaios sobre a paisagem e a geografia**. São Paulo: Perspectiva, 2006.
- BOLOS; CAPDEVILA, M. de. (org.) **Manual de Ciência del Pasaje: teoria, métodos y aplicaciones**. Barcelona: Masson S.A., 1992.
- BURNET, M. R. et al. The Influence of Geomorphological Heterogeneity on Biodiversity. **Conservation Biology**, v. 12, issue 2, p. 363-370, april 1998.
- BROWN, J. H.; LOMOLINO, M. V., **Biogeografia**. 2. ed. FUNPEC, 2006.
- CAILLEUX, A.; TRICART, J. **Le problème de la classification des faits géographiques**. Annales de Géographie, LXV. 1956.
- CARLSON, B.; et al. An evalution of GIS-derived landscape diversity units to guide landscape-level mapping of natural communities. **Journal for Nature Conservation**, v. 12, p. 15-23, 2004.
- CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J.C; GUZZO, P.; ROCHA, Y.T. Proposição de terminologia para o verde urbano. **Boletim Informativo da SBAU (Sociedade Brasileira de Arborização Urbana)**, ano VII, n. 3, Rio de Janeiro, p.7, 1999.
- CHAUÍ, M. **Natureza, Cultura e Patrimônio Ambiental**. In: Meio Ambiente: Patrimônio Cultural da USP. São Paulo: EDUSP – Imprensa Oficial, 2003, p. 47- 55.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Editora Blucher, 1980.
- _____. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Editora Blucher, 1999.
- CONTI, J. B.; FURLAN, S. A. Geoecologia: o clima, os solos e a biota. In: ROSS, J. L. S. (org.) **Geografia do Brasil**. EDUSP: São Paulo, 1996.
- CONTI, J. B. **Geografia, Zonalidade e Paisagem**. In: III ENCONTRO NACIONAL SOBRE OS ESTUDOS DA PAISAGEM. Rio Claro, 1998.
- DAMSCHEIN, E. I. et al. Corridors increase plant species richness at large scales. **Science**, v. 313, p. 1284-1286, 2006.
- DARBY, H.C. The Chaning English Landscape. In: ENGLISH, P. W. & MAYFIELD, R. C. **Man, Space and Environment**. New York: Oxford, University Press, 1972.
- DELPOUX, M. **Ecosistema e paisagem, métodos em questão**. IGEOG/USP, 1974.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (DAEE). **Atlas Pluviométrico do Estado de São Paulo: Período 1941-1970**. São Paulo, 1972.

DITT, E. H. **Fragmentos Florestais no Pontal do Paranapanema**. São Paulo: AnnaBlume, 2002.

ENGLISH, P. W.; MAYFIELD, R. C. **Man, Space and Environment**. New York: Oxford University Press, 1972.

FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 34, p. 487-515, 2003.

_____. Rethinking patch size and isolation effects: the habitat amount hypothesis. **Journal of Biogeography**, v.40, Issue 9, p.1649-1663, 2013.

FERREIRA, M. E. **Análise do Modelo Linear de Mistura Espectral na Discriminação de Fitofisionomias do Parque Nacional de Brasília (Bioma Cerrado)**. 127f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

FORERO-MEDINA, G.; VIEIRA, M. V. Conectividade funcional e a importância da interação organismo-paisagem. **Ecology Brasil.**, v. 11, nº 4, 2007.

FORMAN, R.T.T.; GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York: John Wiley, 1986.

FORMAN, R.T.T. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

FROLOVA, M. **A paisagem dos geógrafos russos: a evolução do olhar geográfico entre os séculos XIX e XX**. R.RA'EGA, 13. Curitiba, 2007.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. **Mapa de Unidades de Conservação do estado de São Paulo**. Disponível em: < <http://fflorestal.sp.gov.br/mapas/>>. Acesso em: 08 mai 2014.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. **Sistema de áreas protegidas do contínuo da Cantareira**. Disponível em: < <http://fflorestal.sp.gov.br/sistema-de-areas-protegidas-do-continuo-da-cantareira/sistema-de-areas-protegidas-do-continuo-da-cantareira-apresentacao/>> Acesso em: 08 mai 2014.

FURLAN, S. A. **Lugar e cidadania: os impactos sociais e ambientais das políticas de conservação ambiental (o caso do Parque Estadual da Ilhabela – São Sebastião – SP)**. São Paulo: Departamento de Geografia – FFLCH – USP, 2000.

GASTNER, M. T. **Ilustração da Teoria da Percolação**. Disponível em (<http://www2.imperial.ac.uk/~mgastner/percolation/percolation.html>). Acesso em: 20 Abr. 2011.

GREGORY, K. J. **A natureza da geografia física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

GRIGORYEV, A. A. **The theoretical fundaments of modern physical geography**. In: The interaction of sciences in the study of the earth. Moscow: Progress Publishers, 1968, p. 77-91.

GUSTAFSON, E. J.; PARKER, G. R. **Using an index of habitat patch proximity for landscape design**. Landscape and Urban Planning, 29. 1994.

HARVEY, D. W. Pattern, Process, and the Scale Problem in Geographical Research. **Transactions of the Institute of British Geographers**, nº 45, p. 71-78, September, 1968.

HOBBS, J; WU, J. **Key Topics in Landscape Ecology**. Cambridge University Press, 2007.

HUETE et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, Arizona, v. 83, p. 195-213, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010**. Disponível em: < <http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 15 abr 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnico_vegetacao_brasileira.pdf>. Acesso em: 05 mai 2014.

INSTITUTO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Plano de Manejo da Cantareira**. Disponível em: <fflorestal.sp.gov.br/files/2012/01/PECantareira/Plano%20de%20Manejo/Plano%20de%20Manejo%20Completo.pdf>. Acesso em: 10 jan 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **O Avanço do Desmatamento na Amazônia no Contexto das Novas Fronteiras**. In: III Seminário Técnico-científico de análise dos dados de desmatamento na Amazônia Legal. São José dos Campos, 2009.

JOLY et al. Biodiversity Conservation Research, Training and Policy in São Paulo. **Science**, v. 328, nº 5984, p. 1358-1359, 11 june 2010.

KREMEM, C. et al. Aligning Conservation Priorities across Taxa in Madagascar with High-Resolution Planning Tools. **Science**, v. 320, nº 5873, p. 222-226, 11 april 2008.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Clima da região nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 213-233, 2009.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Trad. Hermann Kux. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LAURENCE, W. F. Hyper-disturbed parks: edge effects and ecology of isolated rainforest reserves in tropical Australia. In: LAURENCE, W. F.; BIERREGAARD, R. O., **Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities**. Chicago: The University of Chicago Press, 1997.

LEE, J. B. et al. Enhancement of high spectral resolution remote sensing data by a noise-adjusted principal components transform. **I.E.E. Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 28, p. 295-304, 1990.

LIMA, M. R.; MELO, M. S.; COIMBRA, A. M. **Palinologia de sedimentos da Bacia de São Paulo, Terciário do estado de São Paulo, Brasil**. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 01 e 02, 1991.

LINDENMAYER, D. B.; HOBBS, R. J. **Managing and designing landscapes for conservation: moving from perspectives to principles**. Malden, MA. Blackwell Pub, 2007.

LINDENMAYER, D. B.; FISHER, J. Landscape models for use in studies of landscape change and habitat fragmentation. In: **Managing and designing landscapes for conservation: moving from perspectives to principles**. Malden, MA. Blackwell Pub, 2007.

LOMBARD, A. T. et al. Effectiveness of land classes as surrogates for species in conservation planning for the Cape Floristic Region. **Biological Conservation**, v. 112, p. 45-62, 2003.

LOVETT, G.M. et al. **Ecosystem function in heterogeneous landscapes**. New York: Springer, 2005.

MACARTHUR, R.H.; WILSON, E. O. **The theory of Island Biogeography**. New Jersey: Princeton University Press, 1967.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Clima da região amazônica. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 197-212, 2009.

MARTINELLI, M.; PEDROTTI, F. **A cartografia de unidades de paisagem: questões metodológicas**. Revista do Departamento de Geografia, 14. São Paulo, 2001.

MAZZEI, K. **Corredores de Fauna na Região Cantareira Mantiqueira: Evidências Geográficas**. 2007. Dissertação (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MCHARG, I. L. **Design with Nature**, 1969.

MCCULLOUGH, D.R. **Metapopulation and wildlife conservation**. Washington: Island Press, 1996.

METZGER; DÉCAMPS, H. **The structural connectivity threshold hypothesis in conservation biology at the landscape scale**. Acta O ecologica, Toulouse, Centre de'Écologie des Systemes Aquatiques Continentaux, UMR C5576; São Paulo, Departamento de Ecologia Geral, Instituto de Biociências, v. 18, p. 1-12, 1997.

METZGER, J.P. **O que é ecologia de paisagem?** v. 1, n1/2. Biota Neotropica, Campinas, São Paulo, v1, n1/2. 2001.

METZGER, J. P. Restauração ecológica de ecossistemas naturais. In: KAGEYAMA, P. et al. **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisa Agrícolas e Florestais – FEPAF, v. 1, 1ed., p. 49-76, 2003.

METZGER, J. P.; CASATTI, L. **Do diagnóstico à conservação da biodiversidade: o estado da arte do programa BIOTA/FAPESP**. Biota Neotropica, v. 6, 2006.

MIKESSEL, M. W. Landscape. In: ENGLISH, P. W.; MAYFIELD, R. C. **Man, Space and Environment**. New York: Oxford University Press, 1972.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Mapas da cobertura vegetal**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/mapas_cobertura_vegetal.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomas.shtm>> Acesso em: 20 fev 2014.

MITTERMEIER, R. A. **Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions**. Conservation International. Univ. of Chicago Press, Chicago, 2005.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000.

_____. **Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação**. Simpósio sobre a comunidade vegetal como unidade biológica, turística e econômica. São Paulo, 1978.

MORAES, A. C. R. **Geografia: pequena história Crítica**. São Paulo: Anna Blume, 2007.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: Ed. UFV, p. 320, 2005.

MOREIRA, R. **O pensamento geográfico brasileiro 2: as matrizes da renovação**. São Paulo: Contexto, 2009.

NAVEH, Z.; LIEBERMAN, A.S. **Landscape Ecology – Theory and Application**. New York / Berlin / Heidelberg / Tokyo: Springer Series on Environmental Management, 1984.

NOSS, R. F. Corridors in real landscapes a reply to Simberloff and Cox. **Conservation Biology**, v. 1, p. 159-164, 1987.

NOSS, R. F.; BEIER, P. Arguing over Little Things: Response to Haddad et al. **Conservation Biology**, v. 14, nº 5, p. 1546-1548, October 2000.

NUCCI, J. C. **O espaço geográfico em análise**. RA'EGA. Curitiba. DGEOG/UFPR, nº 8, p.137-139, 2004.

NUCCI, J. C. **Ecologia e Planejamento da Paisagem in: Paisagens Geográficas, um tributo a Felisberto Cavalheiro**. SANTOS, D. G. dos; NUCCI, J. C.(Org.). Campo Mourão: Ed. Fecilcam, 2009.

OBORNY, B. G. et al. **Survival of species in patchy landscapes: percolation in space and time**. In: D. Storch; P. Marquet & J. Brown (Eds) **Scaling Biodiversity**. Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

OLIVEIRA, J.B. de et al. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: ENGEMAP, 1999b, Escala 1:500.000.

PARDINI, R. et al. **Beyond the fragmentation threshold hypothesis: regime shifts in biodiversity across fragmented landscape.** PloS ONE v.5. 2010.

PARDINI, R. Effects of forest fragmentation on small mammals in an Atlantic Forest landscape. **Biodiversity & Conservation**, v. 13, issue 13, p. 2567-2586, December 2004.

PERROTA, M. M. et al. **Mapa geológico do estado de São Paulo.** São Paulo: CPRM, Programa Geologia do Brasil – PGB, 2005, Escala 1:750.000.

PIKE, R. J. **Geomorphometry – diversity in quantitative surface analysis.** Progress in Physical Geography, 24 (1), 2000.

PIKE, R. J. et al. Geomorphometry: a brief guide. In: HENGL, T; REUSTER, H. I. **Geomorphometry: concepts, software, applications.** Developments in Soil Science, v. 33, 2009.

PINTO, N. et al. LORACS: JAVA software for modeling landscape connectivity and matrix permeability. **Ecography**, v. 35, p. 388-392, 2012.

PINTO, N.; KEITT, T.H. **Beyond the least-cost path: evaluating corridor redundancy using a graph theoretic approach.** Landscape Ecology, 24. 2009.

PIWOWAR, J. M. et al. Temporal mixture analysis of Arctic Sea ice imagery: a new approach for monitoring environmental change. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 63, p.195-207, 1998.

RAFFESTIN, C. **Du paysage à l'espace.** Herodote nº 9. Paris: Librairie François Maspero, 1978, p. 90-104.

RIBEIRO, M. C. et al. **The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed?** Implications for conservation. Biological Conservation, 149. 2009.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis.** An Introduction. Berlin: Springer-Verlag. 1986.

RICHARDS, J.A. **Remote Sensing Digital Image Analysis.** Springer-Verlag, Berlin ,1999. p. 240.

ROBERTS, D. A. et al. Change identification using multitemporal spectral mixture analysis: Applications in eastern Amazonia. In: ELVIDGE, C.; LUNETTA, R.(Eds.). **Remote sensing change detection: Environmental monitoring applications and methods**, Ann Arbor: Ann Arbor Press, p. 137-161, 1998.

RODRIGUES, C. **A teoria geossistêmica e a sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais.** Revista do Departamento de Geografia, 14. 2001.

RODRIGUES, R. R. et al. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica.** LERF/ESALQ. Instituto Bioatlântica. 2009.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. **A classificação das paisagens a partir de uma visão sistêmica.** Mercator, 1. 2002.

ROLDÁN MARTÍN M. J. et al. Landscape mosaics recognition and changes over time: a methodological approach. In: MANDER, U. ed. **Multifunctional landscape: continuity and change**, v. 3, Continuity and change. Southampton, 264 p.

ROSA, M. R.; ROSS, J. L. S. **Aplicação de SIG na geração de cartas de fragilidade**. Revista do Departamento de Geografia, 13. São Paulo, 1999.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, FFLCH-USP, 1992, escala 1:500.000.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade de ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, 8, 1994.

_____. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

_____. Relevo Brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, 04, 1985.

ROUGERIE, G. e BEROUDCHACHVILI, N.L. **Géosystèmes et paysages**. Bilan et méthodes. Paris: Armand Colin, 1991.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de textos, 2004.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Plano de Manejo do Parque Estadual da Cantareira**. São Paulo: Fundação Florestal, 2009. 533 p.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Relatório Final da Criação de Sistema de Áreas Protegidas do Contínuo da Cantareira: Serras do Itaberaba e Itapetinga**. São Paulo: Fundação Florestal, 2010. 221p.

SCHAFER, C. L. **Nature reserves: island theory and conservation practice**. , Whashington: Smithsonian Institution Press, 1990.

SMALL, C. Spatiotemporal dimensionality and Time-Space characterization of multitemporal imagery. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 124, p. 793-809, 2012.

_____. The Landsat ETM+ spectral mixing space. **Remote Sensing of Environment**, 2004.

SMALL, C.; LU, J.W.T. Estimation and vicarious validation of urban vegetation abundance by spectral mixture analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 100, p. 441-456, 2006.

SOLNETSEV, N. A. **The natural geographic landscapes and some of its general rules**. Translated by KHOROSHEV, V. Proceedings of the All-Union Geographical Congress, Moscow, v.1, 1948.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**. São Paulo, Instituto de Geografia, 51. 1977.

SOTCHAVA, V. B. **Por uma teoria de classificação da vida terrestre**. Instituto de Geografia. Métodos em Questão, 16. São Paulo, 1978.

STAUFFER, D. **Introduction to percolation theory**. Taylor and Francis, London. Tischendorf, L. and L. Fahrig (2000). On the usage and measurement of landscape connectivity. **OIKOS 90**. Copenhagen, 1985.

STORCH, HANS von. Misues of Statistical Analysis in Climate Research. **Analysis of Climate Variability**, p. 11-26, 1999.

TAMBOSI, L. R. et al. A Framework to Optimize Biodiversity Restoration Efforts Based on Habitat Amount and Landscape Connectivity. **Restoration Ecology**, v. 22, p. 169-177, 8 september 2013.

TANSLEY, A. G. The use and abuse of vegetational terms and concepts. **Ecology**, v. 16, p. 284-307, 1935.

TAYLOR, P. D. et al. Connectibity is a vital elemente of landscape structure. **Oikos**, 68, 1993.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, 1977.

TRICART, J. J. L. **Paysage et écologie. Revue de Géomorphologie dynamique: géodynamique externe. Études intégrée du milieu naturel**, XXVIII, nº 3, p. 81-95, 1979.

TROLL, C. **The Geography landscape and its investigation**. Translated by Conny Davinsen. Studium Generale, 3. 1950.

TROPPEMAIR, H. **Geossistemas e Geossistemas Paulistas**. IGCE, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

TUAN, Yi-Fu. **Discrepancies between Environmental Attitude and Behavior: Examples from Europe and China**. . In: ENGLISH, P. W. & MAYFIELD, R. C. **Man, Space and Environment**. New York: Oxford University Press, 1972.

TURNER, M. G. **Landscape Ecology: the effect of pattern on process**. Annual Review of Ecology and Systematics, 1989.

TURNER, M. G. **Landscape ecology in theory and pratice**. New York; Springer-Verlag, 2001.

URBAN, D.; O'NEILL, R.V.; SHUGART JUNIOR, H. Landscape ecology: a hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns. **Bio Science**, v. 37, p. 119-127, 1987.

URBAN, D. L., KEITT, T.H. **Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective**. Ecology, 82 (5), 2001.

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para a utilização de dados geomorfológicos locais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 2008.

VIERA, E. H. A. **Conservação ambiental em cenários de uso: medidas de mudança, heterogeneidade e valoração da paisagem**. 2010. Dissertação (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) São Paulo, 2010.

ZONNEVELD, I. S.; FORMAN, R. T. T. **Changing Landscapes: an ecological perspective**. Springer-Verlag. 1990.

WESSELS, K. J. et al. The use of land facets as biodiversity surrogates during reserve selection at a local scale. **Biological Conservation**, v. 89, p. 21-38, 1999.

WITH, K.A. **Landscape conservation: a new paradigm for the conservation of biodiversity**. In: WIENS, J.; MOSS, M. Issues and perspectives in Landscape Ecology. Cambridge: Cambridge University Press, p.238-247, 2005.

WHITAKER, R. J. **Island biogeography: Ecology, evolution and conservation**. Oxford: Oxford University Press, 1998.

WHITMORE, T. C. Tropical Forest disturbance, disappearance, and species loss. In: LAURENCE, W. BIERREGAARD, R. O. (Orgs). **Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragment communities**. Chicago: The University of Chicago Press, 1997.

WILCOVE, D. S. et al. Habitat fragmentation in the temperate zone. In: SOULÉ, M. **Conservation Biology: the science of scarcity and diversity**. Sauer's Associates, p.237-255, 1986.

WOOD, J. **The Geomorphological characterisation of Digital Elevation Models**. Diss., Department of Geography, University of Leicester, U.K. 1996.