

## **Espacialização da homogeneidade e heterogeneidade do meio biofísico para planejamento ambiental utilizando análise multivariada**

João dos Santos Vila da Silva<sup>1</sup>  
José Ruy Porto Carvalho<sup>1</sup>  
Rozely Ferreira dos Santos<sup>2</sup>  
Carlos Alberto Felgueiras<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Informática Agropecuária,  
Av. Dr. André Rosello, 209, Cidade Universitária,  
13083-886, Campinas, SP.  
{jvilla, jruy}@cnptia.embrapa.br

<sup>1</sup> LAPLA/DRH/FEC/UNICAMP,  
Av. Alberto Eistein, 951, Cidade Universitária,  
13084-971, Campinas, SP.  
roze@fec.unicamp.br

<sup>2</sup> DPI/OBT/INPE,  
Av. Dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja,  
12201-970, Campinas, SP.  
carlos@dpi.inpe.br

**Resumo** – Esta pesquisa objetiva identificar e mapear zonas “homogêneas” no meio biofísico a partir da seleção de atributos ambientais que possam ser mapeados, medidos e relacionados numa base de dados em Sistema de Informações Geográficas (SIG), associada a técnicas de análise multivariada. O estudo de caso foi a bacia hidrográfica do alto rio Taquari (MS/MT) com 28.046 km<sup>2</sup>. Um SIG e um sistema de análise estatística foram utilizados. Sobre os dados aplicaram-se análise de agrupamento hierárquico de Ward e análise de correspondência. Foi obtido um mapa da dimensão biofísica com oito zonas para  $R^2=0,905$ , explicando 90,5% da variabilidade das informações que compõem a região. Para cada zona são apresentadas: a variabilidade interna (inércia) e as variáveis com maior contribuição na formação de cada eixo dimensional, quando decompostos em duas dimensões, além do peso (massa) das variáveis mais importantes na formação das zonas um e oito. Este tipo de análise ressalta as similaridades ou dissimilaridades não perceptíveis a olho nu ou por outros métodos de estatísticas mais elementares; hierarquiza as zonas homogêneas dentro da região estudada, bem como a heterogeneidade interna e as variáveis determinantes na formação de cada zona e identifica sub-zonas dentro de uma zona homogênea.

**Palavras-chave:** análise de correspondência; análise de agrupamento; zoneamento ambiental; zoneamento ecológico-econômico.

**Abstract** - This paper aims to identify and to map "homogeneous" zones in the biophysical environment starting from the selection of attributes that can be mapped, measured and related in a Geographical Information System (GIS) database, associated with multivariate analysis techniques. The case study was held in the basin of the high Taquari river (MS/MT) with an area of 28,046 km<sup>2</sup>. A GIS and a statistical analysis system were used. An hierarchical cluster analysis based on Ward's method and a correspondence analysis were applied. A map of the biophysical dimension with 8 zones reached a  $R^2 = 0.905$ , explaining 90.5% of the variability of the information that composed the region. Each zone presents: the within-cluster variability (inertia) and the variables with larger contribution in the formation of each dimensional axis, when decomposed in two dimensions, besides the weight (mass) of the most important variables in the formation of the zones 1 and 8. This type of analysis emphasizes the similarities or dissimilarities not perceptible with naked eyes or with other more elementary statistical methods, ranks the homogeneous zones inside of the studied area, as well as the within-heterogeneity and the decisive variables in the formation of each zone, and identifies sub-zones inside of a homogeneous zone.

**Key-words:** correspondence analysis; cluster analysis; environmental zoning; ecological-economic zoning.

## 1. Introdução

Historicamente os planejamentos evoluíram, deixando de ter a conotação meramente de crescimento econômico ou de planejamento físico para abordarem a questão ambiental de forma mais abrangente, constituindo-se nos planejamentos ambientais. Os fatores que compõem o meio físico-biótico-sócio-econômico devem ser considerados, assim como suas inter-relações, sob a ótica de diferentes especialistas, requerendo a abordagem multi e interdisciplinar.

De maneira geral esse planejamento é um processo contínuo que envolve a coleta, organização e análise sistematizadas das informações por meio de procedimentos e métodos, a fim de decidir acerca das melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos naturais, econômicos e tecnológicos disponíveis em função de suas potencialidades, e com a finalidade de atingir metas específicas no futuro, levando à melhoria de determinada situação e a qualidade de vida das sociedades (Conyers & Hills, 1984; Christofolletti, 1999; Silva, 2003; Santos, 2004).

A base para tal planejamento é o zoneamento ambiental (Plano, 1997a; Silva, 2003; Santos, 2004) ou zoneamento ecológico-econômico (Sánchez & Silva, 1995; Becker & Egler, 1997; Programa, 2001), que implica na desagregação do espaço em zonas com uma suposta homogeneidade interna, delimitando algum tipo de finalidade. O que se busca na realidade é encontrar na superfície terrestre, zonas ambientais "homogêneas" ou áreas com características semelhantes, nas quais, individualizadas ou agrupadas, possam se implementar planos, programas, projetos, metas e diretrizes de planejamento ambiental, almejando o desenvolvimento sustentado.

A análise integrada de dados da natureza para obtenção de zonas homogêneas pode ser efetuada de diferentes maneiras. Por sobreposição de mapas sobre uma mesa de luz, geralmente dois a dois; por cruzamento de vários mapas utilizando regras de álgebra booleana implementadas num sistema de informações geográficas (SIG) ou pela aplicação da análise multivariada, que trata da descrição integrada do ambiente mediante a detecção multivariada de suas relações espaciais mais relevantes, além de fornecer informações quantitativas sobre tais relações.

Os SIGs são bastante utilizados atualmente, no que se refere a estudos integrados sobre o meio ambiente (Ripple, 1994 & Morain, 1999). Em Rodriguez-Bachiller (2000a, 2000b) encontra-se uma revisão extensa com exemplos do potencial de SIGs associados a Sistemas Especialistas e Sistemas de Suporte à Decisão. Desenvolvimentos metodológicos podem ser vistos em Simões-Meirelles (1997) e em Medeiros (1999). Da mesma forma pode ser visto em De Pablo et al. (1994) a proposta de um sistema de informação para planejamento ambiental, objetivando facilitar a tomada de decisão pelos governantes.

A abordagem numérica ou quantitativa deveria permear a tomada de decisão envolvendo questões ambientais, porém isto nem sempre é observado, dada a carência de análises desta natureza entre muitas pessoas que discutem, analisam e opinam sobre questões ambientais. Magnusson (1999) alerta para a necessidade da análise estatística nos projetos integrados e para uma adequação por parte das agências financiadoras que exigem a multidisciplinaridade e a multi-institucionalidade nos projetos, porém não estão preparadas para efetivarem uma correta avaliação das propostas. De acordo com Legendre & Legendre (1998) a análise numérica contribui bastante para analisar a complexidade dos dados ambientais, visto que normalmente as variáveis ambientais estão altamente inter-relacionadas, excedendo a capacidade dos métodos estatísticos elementares. A análise multivariada é um método muito empregado nas questões ecológicas, permitindo análise simultânea de dados multidimensionais (composto por várias variáveis) - estrutura conhecida na geometria como hiper-espaço (espaço com muitas dimensões). Exemplos de aplicação de análise multivariada para análise integrada de dados da natureza podem ser encontrados em Bojórquez-Tapia et al. (1994), Agar et al. (1995), De Pablo (2000).

## 2. Objetivo

Identificar e mapear zonas “homogêneas” no meio biofísico a partir da seleção de atributos ambientais que possam ser mapeados, medidos e relacionados em uma base de dados SIG, associada a técnicas de análise multivariada.

## 3. Material e Métodos

A área selecionada foi a bacia hidrográfica do alto rio Taquari (BAT), localizada entre as coordenadas 17° 15' S a 19° 30' S e 53° 00' W a 55° 00' W, adjacente ao Pantanal. Possui uma área total de 28.046 km<sup>2</sup> e foi delimitada por meio de interpretação visual sobre a tela do computador, utilizando quatro imagens digitais do satélite Landsat TM-5 do ano de 2000 e seis cartas planialtimétricas na escala de 1:250.000.

Foram utilizados os mapas referentes ao meio biofísico: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Tipos Climáticos, Recursos hídricos - representado pelo índice de qualidade da água (IQA) (Mato Grosso do Sul, 1999) e Vegetação, todos na escala de 1:250.000. Os mapas do meio físico, com exceção do IQA, foram recuperados do PCBAP – Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai, encontradas em Plano (1997b). Tais arquivos foram convertidos para o *SPRING - Sistema de Processamento de Imagens Georreferenciadas* (Câmara et al., 1996), estruturando o banco de dados georreferenciado neste SIG. O mapa de vegetação foi elaborado pelo mesmo procedimento da delimitação da bacia. Três viagens de campo (março/2002, setembro/2002 e janeiro/2003) foram realizadas para verificações “in loco” das classes mapeadas.

As zonas foram determinadas por agrupamentos onde as variáveis ambientais (componentes, fatores e atributos) apresentaram alto grau de associação dentro da zona e significativa diferenciação entre as zonas. Os componentes ambientais seriam os meios biótico e físico; os fatores referem-se aos seis temas utilizados e; os atributos seriam os dados e informações obtidas de cada fator ambiental - por ex.: classe temática. A delimitação dessas zonas leva em consideração o conceito de organização hierárquica da natureza e a inter-relação entre os fatores ambientais (Agar et al., 1995). Duas técnicas de análise multivariada foram utilizadas: análise de agrupamento e análise de correspondência simples e múltipla, ambas implementadas no *SAS - Statistical Analysis System* (SAS, 1999) na versão 8.2.

A fundamentação teórica das técnicas utilizadas pode ser encontrada em Greenacre (1984), Benzécri (1992), Everitt (1995), Santos & Luque (1996), Legendre & Legendre (1998) e Pereira (2001).

Cada um dos mapas temáticos foi convertido no formato matricial com resolução de 250x250 metros (0,0625 km<sup>2</sup>), sendo que o retângulo que engloba a área de estudo gerou uma matriz de 1085 linhas por 817 colunas, num total de 886.445 células. Como o contorno da bacia não é retilíneo, várias células sem informações foram eliminadas, restando para análise 448.724 recobrando os 28.046 km<sup>2</sup> da BAT.

Para a análise estatística necessita-se dos dados numa estrutura de matriz binária, onde cada célula passa a ser um vetor de informação do que foi mapeado no terreno em cada um dos temas. Como os seis mapas compõem-se de 103 classes, distribuídas em geologia (g1-g11), geomorfologia (m1-m45), solos (s1-s5), clima (c1-c5), qualidade da água (R-ruim, B-boa, A-aceitável) e vegetação (v1-v10), foi possível escrever uma matriz com 448.724 observações (linhas) e com 103 variáveis (colunas), preenchida de forma binária com dados de presença ou ausência (0,1), conforme mostra o exemplo sintético da Tabela 1. O agrupamento é efetuado com essa matriz de dados, e como ele é hierárquico basta selecionar um nível de corte que leve em conta uma informação suficiente sem obter um excessivo número de classes. Porém, a quantidade de agrupamentos selecionados depende da heterogeneidade dos mapas iniciais. O ponto de recorte dos agrupamentos é indicado pelas distâncias que separam os diferentes grupos ou num dendrograma, por meio do coeficiente R<sup>2</sup>.

**Tabela 1.** Exemplo de uma matriz utilizada na análise pelo SAS.

Observações	Coordenadas		Geologia			Solos					Vegetação					
	Linha	Coluna	g1	g2	g3	s1	s2	s3	s4	s5	v1	v2	v3	v4	v5	v6
P000000	11	608	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P000001	11	609	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
P448723	1075	401	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Onde: g1 a g3, s1 a s5 e v1 a v6 são classes genéricas de geologia, solos e vegetação, respectivamente.

#### 4. Resultados e Discussão

A Tabela 2 mostra as principais estatísticas obtidas pela aplicação da análise multivariada com as 103 variáveis (classes) dos seis mapas do meio biofísico. O coeficiente de correlação múltipla quadrada R<sup>2</sup> = 0,905 obtido na formação de oito zonas indica que 90,5% de toda a variabilidade da dimensão biofísica da bacia encontram-se reduzida nessas delimitações. A inércia indica a variabilidade interna de cada zona e quanto mais próxima a zero mais a torna homogênea. Neste caso, a zona oito (com 31 variáveis, 4,36% da área da bacia e inércia de 4,167) é a mais homogênea, contrapondo-se com a zona um com 71 variáveis e inércia de 10,833, apresentando a menor homogeneidade ambiental.

O número ótimo de zonas a ser definido para a bacia pode ser escolhido pela explicação da variabilidade da área fornecida pelo R<sup>2</sup>. O pesquisador fixa um valor desejado para esse coeficiente e, ao analisar o dendrograma geral emitido pela análise, identifica o número de zonas que atende a determinação da variabilidade desejada. Neste caso foi adotado o primeiro número de zonas encontrado com R<sup>2</sup> ≥ 0,900. A Figura 1 mostra o dendrograma geral para as 103 variáveis utilizadas.

Observa-se na quinta coluna da Tabela 2 a raiz quadrada do desvio-padrão médio (RMSSTD), que também é uma medida de dispersão, utilizada no caso das zonas possuírem a

mesma inércia. Por isso, entre as zonas um e dois, a zona dois, com RMSSTD = 0,215 foi considerada mais homogênea. A sexta coluna mostra a distância média entre centróides das zonas, ou seja, o quanto eles se afastam, tornando-as diferentes entre si. A análise permite verificar, também, quais as zonas são mais similares ou mais próximas, ressaltando, neste caso, as zonas um e dois.

A redução de dimensionalidade busca achar um subespaço que melhor se ajuste ao conjunto (nuvens) de pontos no espaço euclidiano, sendo que isto pode ser efetuado para a matriz de dados de cada zona. Considere-se, por exemplo, a zona seis com 44 variáveis e observemos que na redução para duas dimensões (dim1 e dim2) a inércia explicada é de apenas 14,2%, sendo 9,0% na dim1 e 5,2% na dim2, indicando a heterogeneidade ambiental interna da zona. A análise permite identificar, também, quanto cada variável contribui para a caracterização de cada eixo. Neste caso, a variável geológica G2=Tnd1 (Cobertura Detrito Lateríticas Neogênicas) é que mais contribuiu para a direção do eixo um, explicando 17,2% da inércia nessa dimensão. Por outro lado, a variável solo S33=AQa11 (Areias Quartzosas) é que mais contribuiu para a direção do eixo dois, explicando 24,1% da inércia nessa dimensão. O ideal seria encontrar altas contribuições de uma determinada variável para cada eixo, entretanto na análise de dados ambientais isto nem sempre ocorre.

**Tabela 2.** Estatísticas derivadas da aplicação da análise multivariada para obtenção de oito zonas na dimensão biofísica. Zonas ordenadas em ordem crescente de homogeneidade.

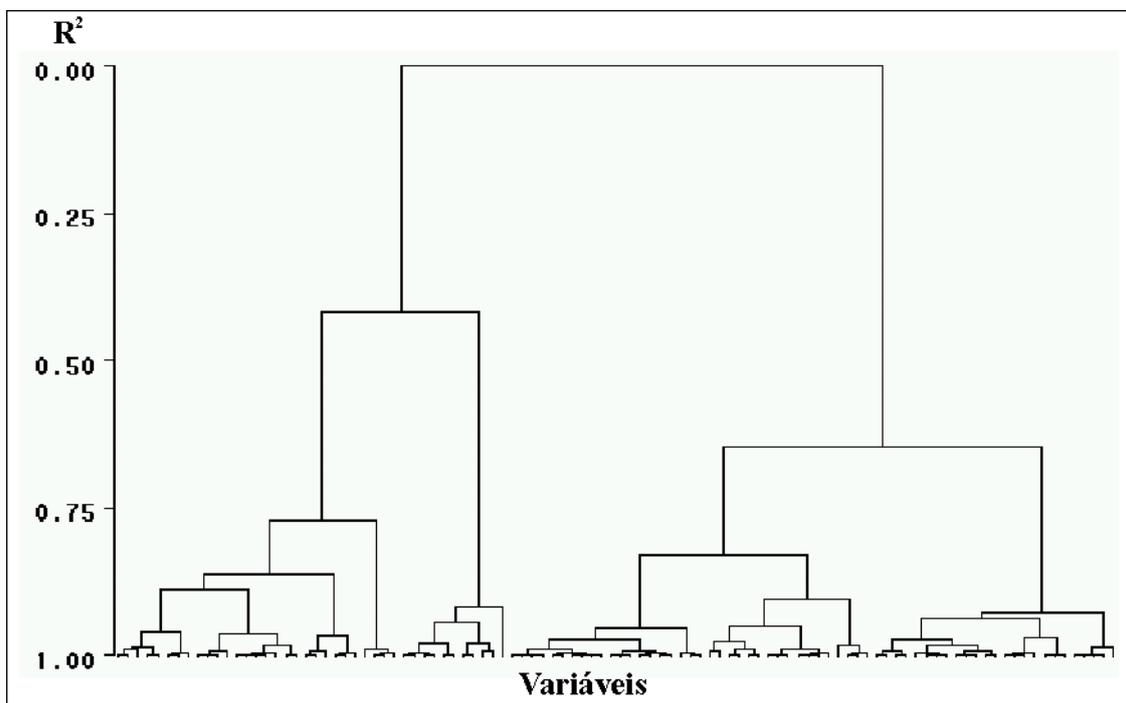
R <sup>2</sup>	Zona	Área (%)	NV	RMS STD	DBCC	Zona + próxima	Decomposição da Inércia em duas dimensões				% da variável de maior contribuição
							Dimensão	Inércia	%	% acumulado	
0,905	1	15,85	71	0,229	0,570	2	Dim1	0,565	5,22	5,22	M3 (16,2)
							Dim2	0,414	3,82	9,04	C2 (11,3)
							Total	10,833	-	100,00	-
	2	28,62	71	0,215	0,570	1	Dim1	0,513	4,74	4,74	M23 (13,3)
							Dim2	0,404	3,73	8,47	S34 (16,5)
							Total	10,833	-	100,00	-
	3	10,01	67	0,334	0,813	7	Dim1	0,686	6,75	6,75	S12 (13,5)
							Dim2	0,440	4,33	11,08	R (11,3)
							Total	10,167	-	100,00	-
	4	10,77	61	0,279	0,955	8	Dim1	0,431	4,70	4,70	C3 (13,9)
							Dim2	0,332	3,62	8,32	S9 (10,6)
							Total	9,167	-	100,00	-
	5	12,18	61	0,201	0,704	1	Dim1	0,526	5,74	5,74	M19 (16,1)
							Dim2	0,473	5,16	10,90	S26 (16,2)
							Total	9,167	-	100,00	-
	6	14,71	44	0,229	0,487	7	Dim1	0,573	9,04	9,04	G2 (17,2)
							Dim2	0,329	5,20	14,24	S33 (24,1)
							Total	6,33	-	100,00	-
	7	3,49	37	0,201	0,487	6	Dim1	0,521	10,08	10,08	G11 (16,5)
							Dim2	0,391	7,57	17,65	S22 (15,6)
							Total	5,167	-	100,00	-
	8	4,36	31	0,180	0,955	4	Dim1	0,409	9,83	9,83	S44 (18,9)
							Dim2	0,283	6,80	16,63	S18 (33,7)
							Total	4,167	-	100,00	-

NV = Número de variáveis; RMSSTD = Raiz quadrada do desvio-padrão médio; DBCC = Distância entre centróides dos grupos; variáveis mapeadas em: geologia (g1-g11), geomorfologia (m1-m45), solos (s1-s5), clima (c1-c5), qualidade da água (R-ruim, B-boa, A-aceitável) e vegetação (v1-v10).

Além da inércia, que mede a dispersão entre o centróide do agrupamento e as demais linhas, agrupando aquelas mais similares, uma outra medida importante é a massa ou peso de cada variável na formação da zona, que indica o quanto essa variável está contribuindo ou pesando para a formação de determinada zona. Numa interpretação prática, zonas com

variáveis possuindo massas grandes são mais homogêneas. Caso ocorresse uma zona formada com apenas uma variável de cada uma das seis categorias (temas) do meio biofísico, cada variável possuiria massa 0,167, a inércia seria zero e a zona seria considerada totalmente homogênea.

O procedimento utilizado permite separar as observações contidas em cada zona formada, associando-as com suas respectivas linhas e colunas originais. Desta forma, realiza-se o caminho inverso, passando de um vetor (linha de informação) até uma grade regular, que pode ser importada pelo SIG. A partir desta etapa as zonas podem ser espacializadas como na Figura 2, que representa o mapa das oito zonas ambientais homogêneas obtidas em função do meio biofísico. Esta figura retrata o arranjo atual do espaço na superfície do terreno, determinado pelas interações das diferentes componentes ambientais envolvidas.



**Figura 1.** Dendrograma das zonas ambientais homogêneas obtidas em função das variáveis do meio biofísico da BAT.

O mapa de zonas homogêneas obtido foi analisado para verificar sua coerência com as informações no terreno, utilizando para tal análise os mapas das diferentes temáticas envolvidas no processo, bem como o conhecimento obtido nas verificações em campo. Em seguida as zonas foram caracterizadas em função das informações utilizadas, que neste caso mostra o estado de conservação de cada uma delas, em função do percentual de vegetação natural existente. No caso de um mapa de zonas não traduzir o arranjo observado no terreno pode-se redefinir o valor requerido de  $R^2$  e refazer todo o procedimento de análise, até a aceitação de um determinado mapa de zonas. O uso deste procedimento permite testar rapidamente vários pontos de recorte.



## 5. Conclusões

1. A aplicação da análise de agrupamento e a análise de correspondência integrando informações biofísicas, associada a um SIG permitem aprimorar a execução de diagnósticos e identificação de zonas, que pode auxiliar na tomada de decisão em planejamento ambiental.

2. Um grande volume de dados pode ser analisado concomitantemente e, o fato da análise de correspondência comparar cada variável com relação a todas as outras e com ela mesma, aumenta consideravelmente a capacidade de compreensão integrada do meio ambiente, ressaltando as similaridades ou dissimilaridades não perceptíveis a olho nu ou por outros métodos de estatísticas mais elementares.

3. A metodologia aplicada permite ressaltar e hierarquizar as zonas homogêneas dentro da região estudada, bem como a heterogeneidade interna e as variáveis determinantes na formação de cada zona, subsidiando objetivamente o tomador de decisão em planejamento ambiental.

4. A estratégia metodológica é essencialmente quantitativa e de fácil repetição, garantida pela robustez do método estatístico, cujas etapas de análise são claramente explicitadas.

## 6. Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – Fapesp, pelo apoio financeiro ao projeto 2001/10555-2 e a Embrapa Pantanal pela infra-estrutura na região.

## 7. Referências

Agar, P. M. de; De Pablo, C. L.; Pineda, F. D. Mapping the ecological structure of a territory: a case study in Madrid (Central Spain). **Environmental Management**, New York, v.19, n.3, p. 345-357, May/Jun., 1995.

Becker, B. K.; Egler, C. A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico econômico pelos estados da Amazônia Legal**. Brasília: MMA/SAE, 43 p., 1997.

Benzécri, J.P. **Correspondence analysis handbook**. New York: Marcel Decker, 665 p., 1992. (Statistics: Textbooks and Monographs).

Bojórquez-Tapia, L. A.; Ongay-Delhumaev, E.; Ezcurra, E. Multivariate Approach for Suitability Assessment and Environmental Conflict Resolution. **Journal of Environmental Management**, 41:187-198, 1994.

Câmara, G.; Souza, R. C. M. de; Freitas, U. M.; Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Journal Computers & Graphics**, v.20, n.3, p.395-403, May-Jun. 1996.

Christofoletti, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 236 p., 1999.

Coneys, D.; Hills, P. **An introduction to development planning in the third world**. Fort Willian, Scotland: John Wiley & Sons, 271 p., (Public Administration in Developing Countries), 1984.

De Pablo, C. L.; Agar, P. M. de; Barturen, R.; Nicolas, J. P.; Pineda, F. D. Design of a Information System for Environmental Planning and Management (SIPA). **Journal of Environmental Management**, v.40, p.231-243, 1994.

De Pablo, C. T. L. Cartografia ecológica: conceptos e procedimientos para la representación espacial de ecosistemas. **Boletín da Real Sociedad Espanhola del a História Natural (Sec. Geol.)**, Madri, v.96, n.1-2, p.57-68, 2000.

Everitt, B. S. **Cluster Analysis**. 3 ed., London: Arnold, 170 p., 1995

Greenacre, M. J. **Theory and Applications of Correspondence Analysis**. London: Academic Press, 364 p., 1984.

Legendre, P.; Legendre, L. **Numerical Ecology**; second english edition. Amsterdam: Elsevier Science B.V., 853 p. (Developments in Environmental Modelling, 20). 1998.

Magnusson, W. E. Estatística, delineamento e projetos integrados: a falta de coerência no ensino e na prática. **Brazilian Journal of Ecology**, Rio Claro, ano3, n.1, p.37-40, 1999.

Mato Grosso do Sul. Secretaria de Estado de Meio Ambiente / Fundação de Estado de Meio Ambiente Pantanal. Coordenadoria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental. Divisão Centro de Controle Ambiental. **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais da Bacia do Alto Paraguai – 1997-1998**. Campo Grande: Teassul & Multigraf Fitolito, 130 p., 1999.

Medeiros, J. S. de. **Banco de dados geográficos e redes neurais artificiais: tecnologias de apoio à gestão do território**. 236 p. Tese (Doutorado em geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

Morain, S. (ed.). **GIS Solutions in Natural Resource Management: Balancing the Technical-Political Equation**. Santa Fé, USA: OnWord Press, 364 p., 1999.

Pereira, J. C. R. **Análise de Dados Qualitativos**; Estratégias Metodológicas para as Ciências da Saúde, Humanas e Sociais. 3 ed., São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 157 p., 2001.

**Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai – PCBAP/Projeto Pantanal**, Programa Nacional do Meio Ambiente. Brasília: PNMA, 1997b. 3 vol. em 7t., il., fig., mapas.

Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai – PCBAP/Projeto Pantanal, Programa Nacional do Meio Ambiente. **Metodologia do Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai**. Brasília: MMA/SEMAM/PNMA, v.1, 76 p., 1997a.

**Programa Zoneamento Ecológico-Econômico**: diretrizes metodológicas para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil. Brasília: MMA/SDS, 110 p., 2001.

Ripple, W. J. (ed.). **The GIS Applications Book; examples in Natural Resources: a compendium**. Maryland, USA: ASPRS, 380 p., 1994.

Rodriguez-Bachiller, A. Geographical Information Systems and Expert Systems for Impact Assessment. Part I: GIS. **Journal of Environmental Assessment Policy and Management**, Oxford, UK, v.2, n.3, p.369-414, Sep. 2000a.

Rodriguez-Bachiller, A. Geographical Information Systems and Expert Systems for Impact Assessment. Part II: Expert Systems and Decision Support Systems. **Journal of Environmental Assessment Policy and Management**, Oxford, UK, v.2, n.3, p.415-448, Sep. 2000b.

Sánchez, R. O.; Silva, T. C. da. Zoneamento ambiental: uma estratégia de ordenamento da paisagem. **Cadernos de Geociências**, Rio de Janeiro, n.14, p.47-53, abr/jun., 1995.

Santos, Rozely Ferreira dos. **Planejamento ambiental - teoria e prática**. Campinas: Oficina de textos. 2004, 237p.

Santos, V. A.; Luque, A. P. de V. **Métodos multivariantes en bioestadística**. Madri: Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, 452 p., 1996.

Sas Institute Inc., SAS/STAT. **User's Guide, Version 8**, Cary, NC: SAS Institute. (chapter 23 – The CLUSTER Procedure e chapter 24 – The CORRESP Procedure, p. 835-1011 ). 1999.

Silva, J.S.V. **Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental, estudo de caso: bacia hidrográfica do alto rio Taquari MS/MT**. (Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 307 p. 2003.

Simões-Meirelles, M. P. **Análise Integrada do Ambiente Através de Geoprocessamento – Uma Proposta Metodológica Para Elaboração de Zoneamentos**. 174 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Geociência, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.