

## **Análise da estrutura da paisagem da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai**

Bruna Nunes da Cunha<sup>1</sup>  
Gustavo Manzon Nunes<sup>1</sup>  
Rodrigo Adversi Silva<sup>1</sup>  
Lucas Brasileiro Barreto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT / FENF-PPGCFA / INAU  
LabSensoR - Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geotecnologias  
Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367 - Boa Esperança, 78068-600 – Cuiabá - MT, Brasil  
{bruna.ncunha, gustavomn, rodrigoadversi}@gmail.com

**Abstract.** The Upper Paraguay Basin (UPB) has an extension of approximately 368,000 Km<sup>2</sup>, 73% of them within Brazilian territory. UPB's main rivers and springs are located at the Brazilian Plateau and are responsible for the water support and dynamics of the Pantanal area. This goal of this article is the quantification, measurement and understanding of UPB'S landscape structure, applying landscape metrics. Vectorial data was made available by the technical support " Monitoramento das alterações de cobertura vegetal e uso do solo na Bacia do Alto Paraguai". The Area was differentiated in Natural Units, Anthropic Units, and Bodies of Water, each one divided into classes. Analysis was performed by Patch Analyst 5.1 and ArcGis 10.2. The following metric categories were used to collect the data: Shape, Border, Density, Size and Variability, and Area. Anthropic Units represent 41.74% of UPB's total area, with the biggest extension belonging to the UA class, at 38.68%. Anthropic Units' classes also show the highest amount of fragmentation, at 43,121 for UA and 24,227 for AA. This number represents 52.93% of UPB'S total fragments. The Border Effect, associated with the irregular outline of the fragments, are found within the FF class, holding the largest number among the Natural Units' classes. The elevated amount of fragmentation of the Anthropic Units shows a trend of ongoing fragmentation of the Upper Paraguay Basin, specially at its borders.

**Palavras-chave:** fragmentation, ecology, spatial analysis, pantanal, fragmentação, ecologia, análises espaciais, pantanal.

### **1. Introdução**

A expansão das atividades socioeconômicas tem sido a principal responsável pela modificação e/ou destruição das paisagens naturais, os transformando em remanescentes de fragmentos com tamanhos e formatos variados, especialmente segregados, e mergulhados em mosaicos alterados pelo homem. Este processo conhecido como fragmentação de habitats, é considerado atualmente uma das maiores ameaças à biodiversidade global e a qualidade ambiental (Korman, 2003; Pires et al., 2006; Metzger, 1999).

A Bacia do Alto Paraguai (BAP) é transfronteiriça e tem extensão total de aproximadamente 368 mil km<sup>2</sup> dos quais 73% situam-se no Brasil, estando o restante situado no Paraguai e na Bolívia (Brasil, 1997; INSTITUTO SOS PANTANAL & WWF-BRASIL, 2015). Possui três regiões bastante distintas: o Planalto, o Pantanal e o Chaco. Os principais rios e nascentes da BAP localizam-se no Planalto e seguem em direção à planície pantaneira, e são responsáveis pelo o abastecimento e dinâmica das águas do Pantanal, que constitui a maior área alegável continentais do planeta, ecossistema de grande biodiversidade de fauna e flora. (ANA, 2006; INSTITUTO SOS PANTANAL & WWF- BRASIL, 2015).

O Pantanal é um sistema novo, em formação, e distante de um clímax. É uma região onde os rios mudam seus leitos de um ano para o outro. O processo de entrada de sedimentos no sistema e a formação de novas paisagens é uma características natural e permanente (Eberhard, 2000). A variabilidade espacial e temporal (sazonal e interanual) da precipitação, evapotranspiração e as vazões resultantes, associadas, a excessiva atividade antropogênica nas bordas do Pantanal (planalto) estão acelerando o processo natural, mudando a dinâmica da água e consequentemente alterando a paisagem a ele associada e interferindo de maneira danosa no processo de maturação do sistema e tem colocado em risco a estável convivência entre a agropecuária e o meio ambiente que por anos ali fora estabelecida. O desenvolvimento

e a conservação da bacia do Alto Paraguai dependem do singular comportamento hidrológico da bacia e por isso, é fundamental considerar a relação entre a região mais baixa (planície de inundação) e a região mais alta (planalto) (Eberhard, 2000; Tucci, 2005).

A avaliação das consequências das atividades humanas no ambiente pode ser expressa em termos do uso do solo e de variações na estrutura da paisagem, que podem ser quantificadas através de métricas (Turner et al., 2001). As métricas da paisagem são índices quantitativos que descrevem aspectos composicionais e espaciais da paisagem que ajudam a compreender a sua complexa estrutura e a forma como esta influencia determinadas relações ecológicas (Carrão et al, 2001; Leitão e Ahern, 2002). A capacidade de quantificar a estrutura da paisagem é, portanto, o pré-requisito para o estudo da função e das alterações de uma paisagem (Mcgarigal e Marks, 1995). Ferramentas envolvendo Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são fortes aliadas no desenvolvimento de estudos de análises de paisagem em áreas de grandes extensões, de difícil acesso e são de grande valia para a avaliação e compreensão dessas áreas, sua evolução e conseqüentemente sua gestão. O custo baixo e a facilidade de aquisição de dados em escalas amplas são também responsáveis pela difusão dessas ferramentas.

Neste contexto o objetivo deste trabalho é a quantificação, mensuração e entendimento da estrutura e processo de fragmentação da paisagem da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai, através do emprego de métricas de paisagem.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho corresponde à porção brasileira da Bacia do Alto Paraguai (BAP), localizada no estado do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e abrange duas regiões adjacentes à planície e o planalto do Pantanal (Figura 1).

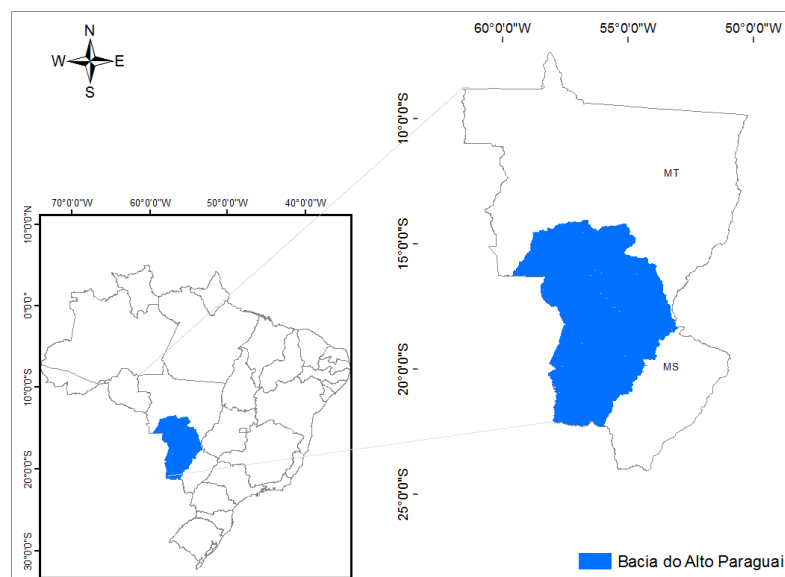


Figura 1. Mapa de Localização da área de estudo

### 2.2 Classes utilizadas para cálculo de métricas

Para o cálculo das métricas de paisagem foram utilizados os dados vetoriais disponibilizados pelo Relatório Técnico Metodológico: “Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do solo na Bacia do Alto Paraguai – Porção Brasileira – Período de Análise: 2012 a 2014”, realizado pela WWF – Brasil e o Instituto SOS Pantanal. O critério de interpretação de imagens de satélite e a avaliação das áreas naturais e alteradas foram por eles

estabelecidos, a partir da comparação das imagens de satélite 2002, 2008, 2010, 2012 e 2014. A interpretação das alterações foi realizada de forma visual na escala 1.50.000. As imagens LANDSAT TM de 2002, 2008 e 2010, as imagens Resouce-Sat-1 LISS III de 2012 e as imagens do LANDSAT 8 de 2014, constituem a base de referência do projeto.

A área total foi diferenciada em Unidades definidas como Natural, Antrópica e Corpos d'água. A unidade Natural foi agrupada em função da proximidade referente aos aspectos fitogeográficos da vegetação considerando a similaridade quanto ao porte da vegetação mapeada (herbácea, arbustiva ou arbórea), seguindo a classificação do RADAM Brasil (1982), nela estão presentes as seguintes classes:

**Formações Florestais (FF):** Este agrupamento de formações apresenta árvores altas e arbustos no estrato inferior. Esta classe engloba categorias, incluindo as Florestas Estacionais Deciduais e Semideciduais, caracterizadas pelo aspecto da sazonalidade.

**Savana Florestada (SF - Cerradão):** Esta classe é representada por árvores densamente dispostas, no entanto, de menor porte que as identificadas na categoria de Formações Florestais.

**Savana Arborizada (SA - Cerrado):** Esta categoria de vegetação apresenta espécies arbóreas de forma esparsa, tendo, no entanto, como característica principal, o aspecto graminóide, normalmente ocorrendo em áreas de inundações periódicas ou permanentes. A vegetação herbácea se mistura com arbustos eretos decumbentes.

**Savana Estépica (SEC - Chaco):** Esta categoria identifica um tipo de vegetação arbustiva/herbácea, com menor densidade de vegetação que as áreas de Savana Arborizada (Cerrado).

**Savana Estépica/Chaco (SEU - Chaco Úmido) -** Esta categoria identifica um tipo de vegetação herbáceo/ arbustivo, com menor densidade de vegetação que as áreas de Savana Arborizada (Cerrado). Localiza-se em áreas úmidas de planície, sujeitas a inundações periódicas ou permanentes.

**Vegetação com influência Fluvial (VF) -** Essa categoria de vegetação é composta por vegetação de porte arbóreo e formações pioneiras (ex: Brejos, Cambarazal, Paratual, Carandazal), localizadas ao longo dos cursos de água e em área de depressões que acumulam água.

**Alteração Natural/Manejo (ANM) -** Se refere às categorias de vegetação que possibilitam o uso da Pastagem Natural para o gado e foi considerada pela metodologia adotada como área de vegetação natural. Essas áreas apresentam diferenças espectrais nas imagens de satélite, que podem ocorrer em função das diferenças de sazonalidade e do manejo nas pastagens naturais, características dos modelos tradicionais de pecuária do Pantanal. São áreas que apresentam recuperação da vegetação nativa conforme época do ano e o manejo empregado na pecuária.

A unidade Antrópica possui duas classes:

**Uso Antrópico (UA) -** áreas de uso antrópico consolidado onde houve a conversão total da vegetação original.

**Alteração Antrópica (AA) -** áreas onde a vegetação nativa original apresenta sinais de alteração da cobertura natural, no entanto, ainda não foi convertida por completo para o uso antrópico. A comparação de imagens de satélite ao longo dos anos identifica áreas de Cerrado com menor densidade de cobertura vegetal e de clareias ou remoção de árvores em áreas de Floresta.

A unidade Corpos d'água foi delimitada e individualizada como categoria específica. Houve uma atenção especial na delimitação de massa d'água em meio ao uso antrópico (por exemplo, separando áreas de lagos em meio às áreas de pastagem). Em alguns casos a vegetação de influência fluvial pode incluir pequenas áreas de massa d'água não individualizadas. Isso ocorre principalmente nas áreas mais baixas, onde o regime hídrico

natural do Pantanal possui grande influência nas áreas inundadas. No caso dos rios baías e salinas, apenas as maiores foram mapeadas (Instituto SOS Pantanal e WWF Brasi, 2015). Pertence a essa unidade a classe AGUA os rios, córregos, vazantes, baía e salinas. Abaixo, na figura 2, encontram-se as classes pertencentes à área de estudo.

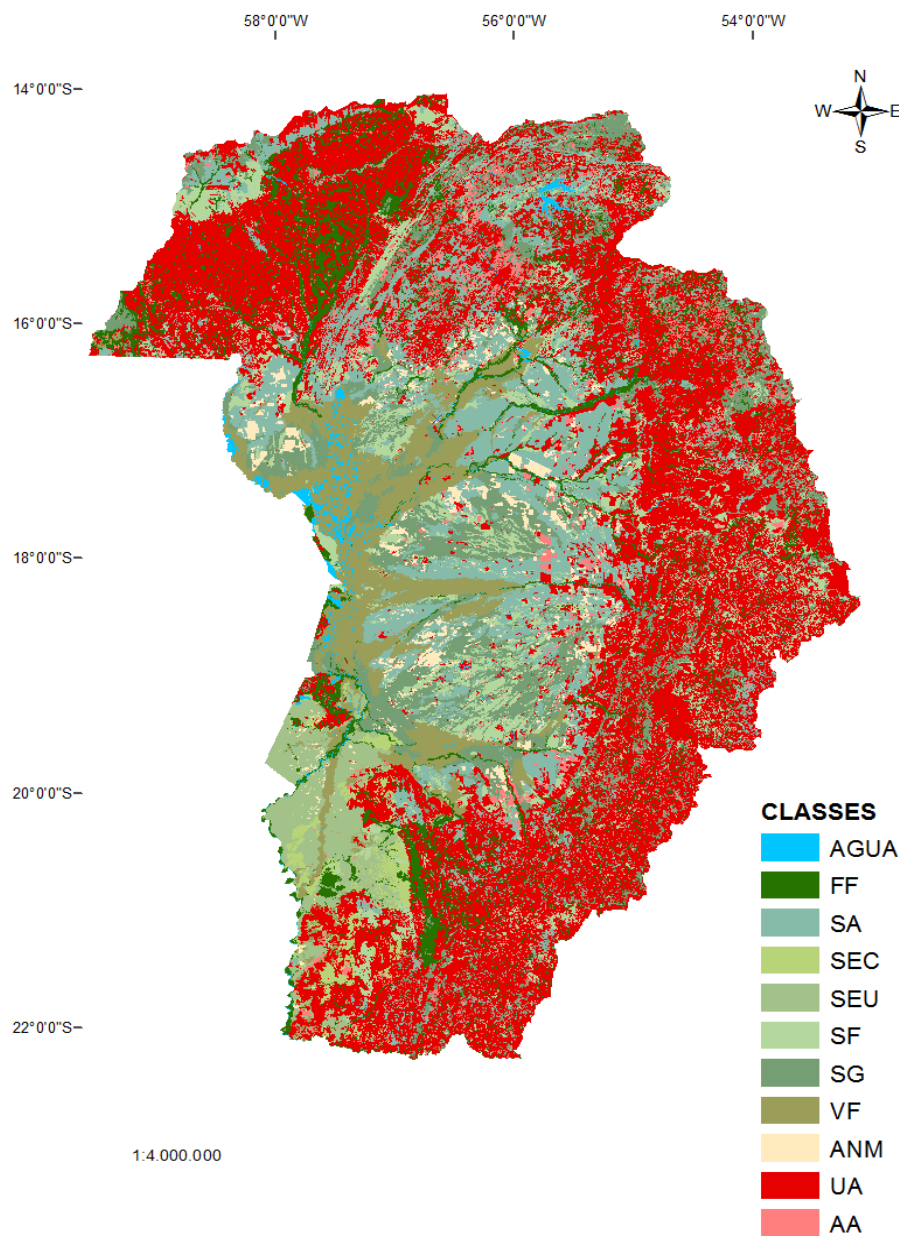


Figura 2. Mapa temático de Classes presentes na área de estudo.

### 2.3 Análise da estrutura da paisagem

A análise do padrão estrutural da paisagem por meio de métricas é direcionada por duas abordagens, uma relacionada à composição e outra a configuração da paisagem. Essas abordagens se diferenciam em função da apreciação ou não da referência espacial para a descrição das características da paisagem e podem independente ou combinados, estar influenciando no processo, que se constitui o principal enfoque de determinado estudo (McGarigal & Marks, 1995; Valente, 2001).

Para a análise da configuração dos padrões espaciais da paisagem e quantificação da estrutura da paisagem, as métricas de paisagem foram calculadas por meio da ferramenta



*Patch Analyst* 5.1e ArcGis 10.2. No presente trabalho utilizaram-se as seguintes categorias de métricas: Forma, Borda, Densidade, Tamanho e Variabilidade e de Área.

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados da quantificação das métricas das classes e da área total da paisagem são apresentados na Tabela 1. A área total da paisagem (TLA) foi de 36.865.613,31 hectares, sendo 15.404.958,15 hectares correspondentes a Unidade Antrópica (UA + AA), o que representa 41,79% da área total da área da bacia. A classe Uso Antrópico (UA) possui maior extensão, e representa 38,68% da área total da BAP. Dentro da Unidade Natural a classe Savana Estépica (SEC) foi a apresentou menor tamanho, 481.658,87 hectares.

Foram contabilizados 128.346 fragmentos em toda a área da BAP, as classes da Unidade Antrópica também foram as que apresentaram maior valor, 43.121 fragmentos para a classe UA e 24.227 para a classe AA, o que representa 52,93% dos fragmentos na BAP.

A classe Vegetação com influência Fluvial (VF) foi a classe com o maior tamanho médio de fragmentos (média de 2.100,83 hectares). Na Unidade Natural a classe Formações Florestais (FF) é a que possui menor valor para esta métrica, com 204,062 hectares, o que para muitos autores, está relacionado a uma menor biodiversidade da fauna e da flora. O alto valor dos coeficientes de variação do tamanho da mancha (PSCoV) corresponde que existe uma grande diferença entre os menores e os maiores fragmentos de cada classe. Enquanto os grandes fragmentos são importantes para a manutenção da biodiversidade e de processos em larga escala, os pequenos remanescentes cumprem funções relevantes ao longo da paisagem, funcionando como elementos de ligação os *stepping stones* (trampolins ecológicos) entre áreas, processos ecológicos e para a biodiversidade (Forman e Godron, 1986). Qualquer diminuição em área de um fragmento florestal pode levar a uma diminuição exponencial do número de espécies e afetar a dinâmica de populações de plantas e animais, podendo comprometer a regeneração natural e, por sua vez a sustentabilidade do ecossistema (Harris et al, 1984 e Valente, 2001).

Quanto às métricas de forma MSI e MPFD a classe Formações Florestais (FF) é a que possui valores mais distantes de 1, o que significa que esta classe tem formatos mais distantes ao de uma circunferência, caracterizando esses fragmentos como os com formatos mais irregulares. De acordo com Almeida (2008) fragmentos de habitats mais próximo ao formato circular têm a razão borda-área minimizadas e, portanto, o centro da área está equidistante das bordas.

O efeito de borda associado ao formato irregular dos fragmentos pode ser observado através dos resultados das métricas de bordas em que, novamente, Formações Florestais (FF) é a classe que apresenta os maiores valores entre as classes Unidade Natural, ED igual a 4,35 m/m<sup>2</sup>, Metzger (2009) definiu como bordas, áreas onde a intensidade dos fluxos biológicos entre as unidades de paisagem se modifica de forma abrupta devido à mudança abiótica repentina das matrizes para os fragmentos e vice-versa. Geralmente possui estrutura e composição da vegetação, microclima e fauna diferenciada do interior da floresta, sendo a principal zona que sofre com a eutrofização por fertilizantes e invasão de espécies daninhas, providos das áreas exploradas. O efeito de borda é a mais significativa consequência ecológica da fragmentação florestal, representando diferenças de fatores bióticos e abióticos que existem ao longo da borda de um fragmento relativo ao seu interior (Portela, 2002).



Tabela 1. Métricas de ecologia da paisagem calculadas pelo *Patch Analyst* para as Classes da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai.

		MÉTRICAS							
CLASSES		Forma		Borda	Densidade, Tamanho e Variabilidade			Área	
		MSI	MPFD	ED	MPS	NumP	PSCoV	CA	TLA
Unidade Natural	<b>Formações Florestais (FF)</b>	2.42	1.32	4.35	204.06	14568	837.86	2972772.44	36865613.31
	<b>Savana Florestada (SF)</b>	2.05	1.29	3.21	283.98	10853	636.58	3081997.04	36865613.31
	<b>Savana Arborizada (SA)</b>	1.96	1.29	3.97	395.49	13269	686.62	5247774.21	36865613.31
	<b>Savana Estépica (SEC)</b>	2.07	1.29	0.38	392.55	1227	673.17	481658.87	36865613.31
	<b>Savana Estépica Úmida (SEU)</b>	2.06	1.27	0.55	1347.96	888	747.77	1196988.73	36865613.31
	<b>Vegetação c/ Influência Fluvial (VF)</b>	2.02	1.28	0.90	2100.83	1327	692.76	2787799.52	36865613.31
	<b>Alteração Natural/Manejo (ANM)</b>	1.74	1.26	0.58	272.38	2653	287.70	722628.28	36865613.31
	<b>Savana Gramínea (SG)</b>	2.08	1.30	4.30	307.53	15113	837.13	4647667.08	36865613.31
	Unidade Antrópica	<b>Uso Antrópico (UA)</b>	1.76	1.28	11.10	330.66	43121	1806.76	14258237.60
<b>Alteração Antrópica (AA)</b>		1.69	1.29	2.31	47.33	24227	350.46	1146720.55	36865613.31
<b>AGUA</b>		2.01	1.27	0.46	292.15	1100	957.54	321368.99	36865613.31

MSI = Índice de forma média (adimensional); MPFD = Dimensão fractal da mancha média (adimensional); ED = Densidade de borda (m/ha); MPS = Tamanho médio dos fragmentos (ha); NumP = Número total de manchas ou fragmentos (unidades); PSCoV= Coeficiente de variação do tamanho médio dos fragmentos (%); CA = Área de todas as manchas pertencentes a uma determinada classe (ha); TLA = Área Total da Paisagem (ha).

#### 4. Conclusão

A ocorrência de um número elevado de fragmentos de alteração antrópica indica a tendência de processos de fragmentação para a Bacia do Alto Paraguai, principalmente nas bordas da bacia, região com maior aumento da fronteira agrícola, com maior aumento da fronteira agrícola, empreendimentos rurais e energéticos.

Estudos que quantifique a dinâmica de uso em paisagens com extensas áreas de cobertura natural, e de difícil acesso são importantes para entender as consequências das mudanças ocorridas nos habitats e desenvolver efetivas estratégias para a manutenção da biodiversidade em paisagens alteradas. Ferramentas envolvendo Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são fortes aliadas no desenvolvimento para esses estudos e são de grande valia para a avaliação e compreensão dessas áreas, sua evolução e consequentemente sua gestão.

#### Agradecimentos

Os autores desse trabalho agradecem a Universidade Federal do Mato Grosso, ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas (INAU), Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico e Científico (CNPq) por fornecer as bolsas de pesquisa de mestrado; além de toda a equipe técnica do LabSensor-UFMT por ter contribuído de certa forma.

#### Referências Bibliográficas

Almeida, C.G. **Análise espacial dos fragmentos florestais na área do Parque Nacional dos Campos Gerais, Paraná.** 2008. 72 p. Dissertação (Mestrado em Gestão do território), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná, 2008.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Implementação de práticas de gerenciamento integrado de bacia hidrográfica para o Pantanal e a Bacia do Alto Paraguai: programas de ações estratégicas para o gerenciamento integrado do pantanal e Bacia do Alto Paraguai.** GEF. Relatório Final. Brasília: Athalaia Gráfica e Editora, 513 p, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal; Secretaria de Coordenação dos Assuntos de Meio Ambiente; Programa Nacional do Meio Ambiente; Projeto Pantanal. **Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal): PCBAP.** Brasília: PNMA, v12, 1997.

Carrão, H.; Caetano, M.; Neves, N. LANDIC: cálculo de indicadores de paisagem em ambiente SIG. In: Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica ESIG, 6, 2001, Oeiras, Portugal. Lisboa: Associação dos Utilizadores de Sistemas de Informação Geográfica USIG, 2001.

Eberhard, A. 2000. The Pantanal today, Prospect for tomorrow. p. 77-91. In: Swart F.A. **The Pantanal: Understanding and preserving the world's largest wetland.** St. Paul, Minnesota: Paragon House.2000. cap.4.301 p

Fahrig, L. Effects of fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 34: 487-515, 2003.

Forman, R.T.T. ; M. Godron. 1986. **Landscape ecology.** John Wiley & Sons, New York. 620 pp.

Harris, L.D. **The fragmented forest: island biogeography theory and the preservation of biotic diversity.** Chicago: University of Chicago. 1984. 229p.

Instituto SOS Pantanal; WWF- Brasil. Brasília, 2015. **Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do Solo na Bacia do Alto Paraguai – Porção Brasileira – Período de Análise: 2012 a 2014.** 66p.

Korman, V. **Proposta de integração das glebas do Parque Estadual de Vassununga (Santa Rita do Passa Quatro, SP)**, 2003. 131 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2003.

Leitão, A.B; Ahern, J. **Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning**. Landscape and Urban Planning, 59. p. 65–93, 2002.

McGarigal K. & Marks BJ. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 122 p. 1995.

Metzger, J.P. 1999. **Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 71: 445-463.

Metzer, J.P. 2001. **O que é ecologia de paisagens?** Biota Neotropica. VI, n. 12. 9p.

Pires, A. S.; Fernandez, F. A. S.; Barros, C. S. Vivendo em um Mundo em Pedacos: efeitos da fragmentação florestal sobre comunidades e populações animais. In: Rocha, C. F. D. et al. **Biologia da Conservação: essências**. São Carlos: RiMa Editora, 2006.cap,10. p. 231-260.

Portela, R.C.Q. **Estabelecimento de plântulas e jovens de espécies arbóreas em fragmentos florestais de diferentes tamanhos**. 2002. 83p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

Tucci, C. E. M. **Recursos hídricos do Pantanal**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 2005. Disponível em <<http://rhama.com.br/artigos/2005/hidricospantanal.pdf>>. Acesso em: 27 set.2016

Turner, A.; Doxa, M.; O'Sullivan, D.; Penn, A. From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 28, p. 103 -121, 2001.

Valente, R.O.A. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Corumbataí, SP**, 2001.144p. Dissertação (mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2001.