

Análise ambiental da bacia hidrográfica de rio Apeú, Nordeste Paraense, com base na fragmentação da vegetação arbórea

Bruno Wendell de Freitas Pereira¹
Stephan de Almeida Jesuino¹
Maria de Nazaré Martins Maciel¹
João Almiro Corrêa Soares¹
Merilene do Socorro Silva Costa¹
Márcio Roberto da Silva Melo¹
Denison Lima Correa¹

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA/PA
Caixa Postal 66.077-901 - Belém - PA, Brasil
{brunowendell, mrs Melo}@yahoo.com.br,
{stephan.almeida, joaoalmiro}@gmail.com
{nazare.maciel, merilene.costa}@ufra.edu.br
denison_lima_correa@hotmail.com

Abstract. The aim of this study was, through techniques of remote sensing and GIS in environmental characterization and study of landscape ecology in the river basin Apeú, with the prospect of generating subsidies for the implementation of public policies aimed at environmental planning that meets biodiversity conservation. We used digital images TM / Landsat 5, in 2008, where he initially was generated map of land cover and land use and, subsequently, we performed the analysis of the fragmentation of trees by landscape metrics. The landscape of the river basin Apeú is strongly marked by cattle ranching and natural vegetation covers 34.4% of the basin area. This vegetation is highly fragmented and most of it is located next to water resources. In the landscape of the river basin Apeú, 70% of the natural vegetation consists of edge environment, which compromising the sustainability of the ecosystem. Thus, the development of efficient ecological management plans, constitute a form of contribution to the conservation and recovery of the remaining fragments of degraded areas in the region.

Palavras-chave: remote sensing, geoprocessing, landscape ecology, biodiversity conservation, sensoriamento remoto, geoprocessamento, ecologia de paisagem, conservação da biodiversidade.

1. Introdução

A primeira etapa no processo de planejamento ambiental consiste no conhecimento do ambiente. Esta fase é conhecida como caracterização e análise ambiental, e exige tempo e recursos para conhecer as características dos diversos compartimentos ambientais na área de estudo e classificá-los conforme sua capacidade para absorver os diferentes usos antrópicos, considerando os riscos que cada atividade pode oferecer (Pires, 1995).

Para que essa etapa seja cumprida de forma eficaz, é de fundamental importância a delimitação de uma área de trabalho adequada. Deste modo, é percebida a eficiência do uso da bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento, considerando-se que “não há qualquer área de terra, por menor que seja que não se integre a uma bacia hidrográfica” (Santos, 2004).

O sensoriamento remoto e o geoprocessamento são ferramentas muito empregadas no planejamento de bacias hidrográficas, pois auxiliam tanto na busca de conhecimento sobre padrões e processos ecológicos, quanto no apoio a ações de manejo e gestão (Becker, 2002). Com a contribuição do sensoriamento remoto e do geoprocessamento, torna-se possível vincular os conceitos ecológicos de bacias hidrográficas aos conceitos da Ecologia da Paisagem. A manutenção em longo prazo da integridade ecológica de sistemas naturais em uma paisagem requer áreas naturais em tamanho e em condições suficientes. Uma paisagem

muito alterada não mantém uma estrutura ambientalmente saudável e que permita sustentar as atividades humanas (Araújo, Bernadino e Magalhães, 2008).

Assim, para o gerenciamento ecologicamente adequado dos recursos disponíveis em uma região, torna-se essencial a identificação e a compreensão de como as estruturas ambientais estão dispostas e interagem na paisagem para a manutenção da integridade regional.

O objetivo foi realizar, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, o estudo de ecologia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Apeú, baseado na análise da estrutura dos fragmentos de vegetação arbórea.

1.1. Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Apeú ocupa uma área de aproximadamente 315,05 km² (Santos, 2006; Jesus, 2009), e está localizada no Nordeste Paraense, mesorregião metropolitana de Belém (IBGE, 2009). A bacia está localizada entre 3 municípios (Figura 1), sendo que 70% da área pertence ao município de Castanhal, 20% ao município de Inhangapi e 10% ao município de Santa Isabel do Pará.

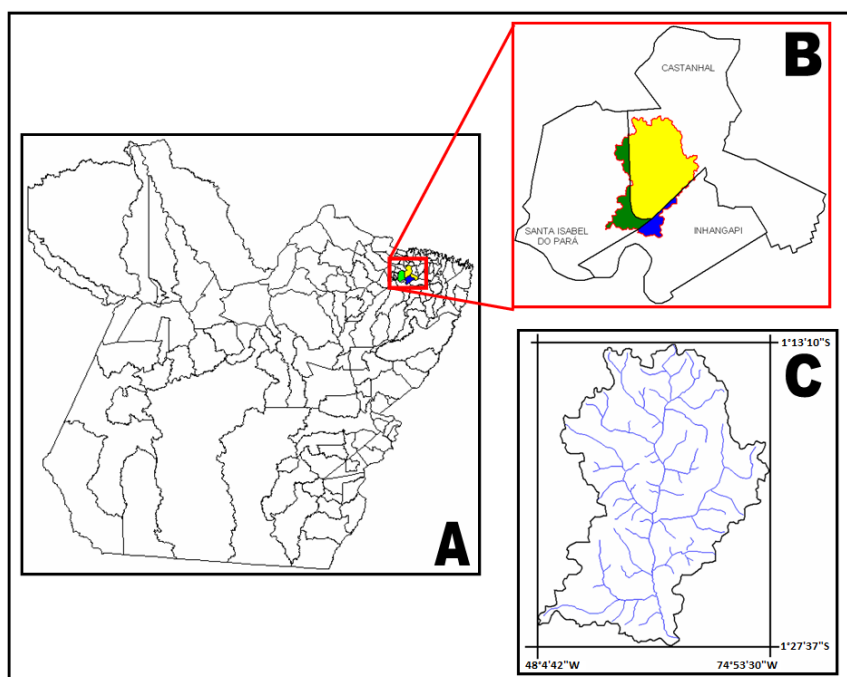


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Apeú. A - Estado do Pará; B – Municípios de Castanhal, Santa Isabel do Pará e Inhangapi; C - Limites da bacia hidrográfica do rio Apeú.

2. Metodologia de Trabalho

O tratamento e análise do conjunto de dados e informações georreferenciadas das áreas de estudo foram conduzidas nos programas Envi 4.2 e ArcGis 9.3. Visando o levantamento da cobertura vegetal e uso da terra da área de estudo, foram selecionadas imagens digitais TM/ Landsat, órbita/ ponto 223/061, bandas TM 3, 4 e 5 do ano de 2009.

Como base cartográfica foi utilizada a base planialtimétrica compilada a partir do uso de dados digitais disponibilizados pelo IBGE, na escala de 1:100.000, DATUM South American 69 e sistema de projeção UTM, contendo entre outros elementos, a rede de drenagem e a malha viária existente para a área de estudo.

O limite da bacia de estudo foi baseado em dados georreferenciados do relevo das áreas em questão, derivados de produtos Shuttle Radar Topography Mission – SRTM com resolução espacial de 30m. Para isso, utilizou-se a ferramenta Hidrology, que funciona acoplada ao programa ArcGis 9.3. O limite da bacia foi, portanto, definido pelos divisores topográficos que circunscrevem a área que drena para este ponto específico.

De posse da imagem georreferenciada pelo software ENVI, através de 24 pontos de controle, e erro médio final (RMS), inferior a 0,08 km, este produto foi submetido ao processo de classificação. O processo de classificação foi conduzido a partir do algoritmo de máxima verossimilhança que, por ser ligado ao método supervisionado, necessita de um conhecimento prévio das feições ocorrentes na área de estudo. Tal análise teve apoio do trabalho de campo, permitindo assim, correlacionar as feições espectrais presentes nas imagens com padrões de cobertura vegetal e uso da terra observado em campo.

Após a coleta de amostras das classes de interesse, foi efetuada uma análise do desempenho das mesmas sendo, a seguir, gerada a classificação visando obter o maior índice Kappa. A partir do mapeamento para as geoclasses, foram realizadas edições temáticas de modo a refinar as informações presentes na imagem.

As análises relacionadas à configuração da paisagem e dos fragmentos de vegetação natural foram realizadas por meio do software Arcview, módulo Patch Analysy. Esse software calcula diversas métricas em três níveis: mancha (patch), classe (class) e paisagem (landscape). Em qualquer um desses níveis, essas métricas quantificam a composição e/ou a configuração da paisagem, que afetam de forma significativa os processos ecológicos, tanto independente quanto simultaneamente.

As métricas de composição podem ser mais facilmente quantificadas e se referem às características associadas com a variedade e abundância dos tipos de manchas na paisagem, sem considerar as características espaciais, como a sua localização na paisagem.

Já a configuração espacial é mais difícil de ser quantificada e se refere às características espaciais, de arranjo, posição e orientação das manchas na classe ou na paisagem (McGarigal et al., 2002).

As métricas geradas pela ferramenta Patch Analysy foram as seguintes: número de fragmentos, área total ocupada pelos fragmentos, tamanho médio dos fragmentos, total de bordas dos fragmentos, tamanho médio das bordas dos fragmentos, dimensão fractal média dos fragmentos, área de interior dos fragmentos (core), número de áreas de interior (n0 core) e tamanho médio das áreas de interior.

3. Resultados e Discussão

Foram identificados seis tipos de uso e ocupação da terra para a bacia hidrográfica do rio Apeú: agro-silvicultura, solo exposto, água, pastagem, área de mineração e vegetação arbórea (Figura 2). O uso predominante da terra é com pastagem, seguido de vegetação natural (Tabela 1). Estudos realizados em várias regiões do Estado do Pará constataram que a maior ocupação das terras é com pastagens (Watrin et al. 2009). Na Amazônia estima-se que pelo menos 80% das áreas desflorestadas estão ocupadas com pastagens cultivadas ou constituem vegetação secundária oriunda de áreas de pastagens degradadas e/ou abandonadas, principalmente sob tutela de grandes proprietários de terra (Fearnside, 2001). Watrin, Maciel e Thalês (2007) estudando a paisagem de uma bacia hidrográfica no município de Paragominas, também localizada no Nordeste paraense, encontrou uma área de 37% ocupada por vegetação natural, valores estes muito próximos ao encontrado neste trabalho.

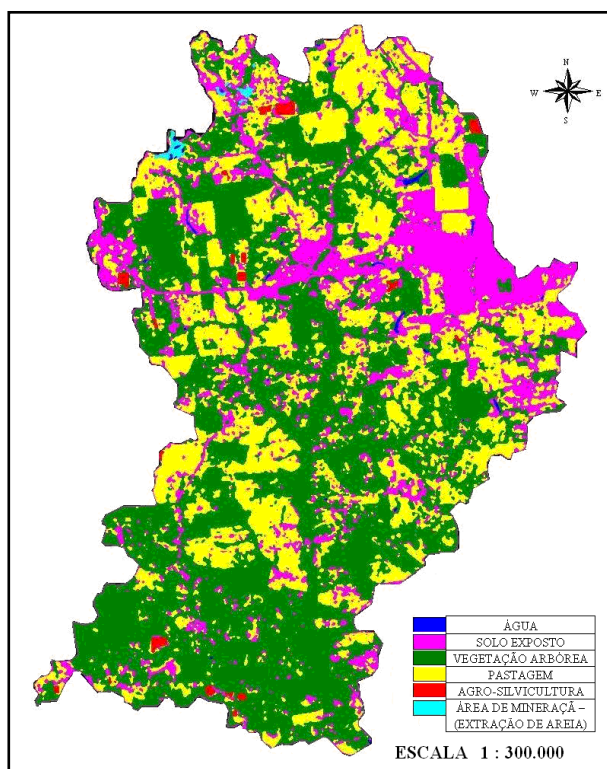


Figura 2 - Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Apeú no ano de 2009.

Tabela 1- Área (em ha e %) ocupada por cada classe de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Apeú no ano 2009.

Classes	ha	%
Água	106,38	0,33
Solo exposto	8.587,25	27,38
Vegetação arbórea	10.811,45	34,45
Pastagem	11.572,60	36,9
Agro-silvicultura	221,58	0,7
Área de mineração	75,69	0,24
Total	31.374,95	100

A área de solo exposto representa 27,28% da área. Vale ressaltar que nesta classe foram consideradas as regiões urbanas, bem como áreas desmatadas por implantação de atividades agropecuárias ou exploração florestal.

Ocupando áreas pouco expressivas, estão as classes agro-silvicultura e área de mineração, que representam somente 0,7% e 0,24% do total da área, respectivamente.

Os resultados calculados a partir do módulo Patch Analyst dentro do software ArcGis (Tabela 2), mostraram que do universo da bacia hidrográfica do rio Apeú, 10.811,45 ha constituem a vegetação arbórea, compreendendo assim um percentual de 34,45%.

Tabela 2. Valores de métricas da classe vegetação da bacia do rio Apeú.

Área total da vegetação arbórea (ha)	Número total de fragmentos	Comprimento total de bordas (m)	Dimensão fractal Média	Área total de interior (ha)	Número de áreas de interior
10.811,45	507	1.281.999,00	1,36	3.289,77	268

A paisagem da bacia hidrográfica do rio Apeú é bastante fragmentada, formada por 507 fragmentos de vegetação natural. As bordas dos fragmentos compreendem 1.281.999,00m e a dimensão fractal média encontrada para os fragmentos foi de 1,36, demonstrando assim, que em geral, os fragmentos apresentam-se com pouca complexidade de suas bordas, tendendo à formas regulares, o que evidencia a forte presença humana na paisagem da bacia.

A área de interior é de 3.289,77 ha, o que mostra que 70% da área dos fragmentos de vegetação natural que compõem a bacia hidrográfica do rio Apeú é constituída por ambiente de borda, o que evidencia a presença de fragmentos pequenos e/ou alongados, tornando a paisagem da bacia prejudicada quanto à qualidade do hábitat, que fica mais exposto aos efeitos de borda.

Os 507 fragmentos de vegetação natural que compõem a bacia do rio Apeú foram dispostos por classes de tamanhos a fim de atender a grande diversidade de tamanhos encontrados na paisagem (Tabela 3).

Tabela 3- Métricas dos fragmentos de vegetação da bacia hidrográfica do rio Apeú, distribuídos por classe de tamanho.

	< 50	50 – 100	100 – 200	200 – 350	350 – 500	500 – 1000	1000 – 3000	> 3000
Nº de fragmentos	490	6	4	2	1	2	1	1
Tamanho médio de fragmentos (ha)	2,72	75,80	149,03	297,51	386,70	551,91	2.553,18	3.985,80
Total de borda (m)	371.435,55	56.087,74	65.843	86.441,49	31.725	104.697,85	235.068,45	330.699,61
Tamanho médio de borda (m)	758,03	9347,95	16.460	43.220,74	31.725	52.348,92	235.068,45	330.699,61
Dimensão Fractal média	1,36	1,35	1,35	1,42	1,36	1,39	1,45	1,45
Área total (ha)	1.335,93	454,80	596,15	595,03	386,70	1.103,84	2.353,18	3.985,82
Área total de interior (ha)	46,67	100,71	177,09	90,96	143,26	387,69	754,40	1.588,99
Nº de áreas de interior	51	17	13	19	5	26	55	82
Tamanho médio das áreas de interior	0,92	5,92	13,62	4,79	28,65	14,91	13,72	19,38

-Fragmentos menores que 50 hectares: Para esta classe de fragmentos, obteve-se 490 fragmentos, ou seja, 97% dos fragmentos que constituem a bacia apresentam área menor que 50 ha. A média de tamanho destes fragmentos é de 2,72 hectares, tamanho de borda de 371.435,55 metros, média de bordas de 758,03 metros, dimensão fractal média de 1,36 e área interior de 46,67ha, conforme se verifica na Tabela 3 acima.

Valores semelhantes aos encontrados neste trabalho foram observados por Watrin, Gerhard e Maciel (2009) que estudando a configuração da paisagem em duas microbacias bem próximas à área de estudo, no município de Igarapé-Açu, verificou também a predominância de pequenos fragmentos de vegetação nativa. O autor constatou que 96,6% dos fragmentos de vegetação dessas microbacias tinham área inferior a 50 ha com dimensão fractal de 1,35.

A dimensão fractal encontrada neste trabalho (1,36) informa que os fragmentos possuem uma forma próximo da regular. É importante ressaltar que quanto mais distante o fragmento estiver da forma básica, mais recortado ele se torna, sendo mais suscetível ao efeito de borda.

Verifica-se que, embora a área total ocupada pelos fragmentos que compõem esta classe ser de 1.335,93 ha, apenas 46,67 ha (3,5%) são considerados áreas de interior, ou seja, 96,5% da área é composta exclusivamente por ambientes de bordas.

-Fragmentos maiores que 50 hectares e menores que 100 hectares: Conforme apresentado na Tabela 3, esta classe de fragmentos é constituída de 6 fragmentos, com média de tamanho de 75,80 hectares, tamanho de borda de 56.087,74 metros, tamanho médio de bordas de 9.347,95 metros, dimensão fractal média de 1,35.

A área total ocupada pelos fragmentos que compõem esta classe é de 453,80 ha, das quais 78% da área é composta por ambientes de borda, ou seja, 22% são consideradas áreas de interior. Os resultados indicam que a área total de interior é de 100,71 ha com formação de 17 áreas, o que representa que cada área de interior tem em torno 6 ha. O estabelecimento de uma estrutura interna está, portanto, relacionado a uma área mínima, capaz de manter as espécies típicas do tipo de formação florestal a que o fragmento pertence. Para fragmentos de floresta, Metzger (1997) coloca que essa área é de aproximadamente 25 ha.

-Fragmentos maiores que 100 hectares e menores que 200 hectares: Como é possível observar na Tabela 3, citada anteriormente, para esta classe, obteve-se 4 fragmentos com média de tamanho de 149,03 hectares, tamanho total de borda de 65.843,90 metros, tamanho médio de bordas de 16.460,97 metros, dimensão fractal média de 1,35 e área interior de 177,09 ha.

A área total ocupada pelos fragmentos que compõem esta classe é de 596,15 ha, sendo que 70% (419,06 ha) desta área é constituída por ambiente de borda, ou seja 30% (177,09 ha) refere-se a ambientes de interior.

-Fragmentos maiores que 200 hectares e menores que 350 hectares: Para esta classe de fragmentos, obteve-se dois fragmentos, com média de tamanho de 297,51 hectares, tamanho total de borda de 86.441,49 metros, média de bordas de 43.220,74 metros, dimensão fractal média de 1,42 e área interior de 90,96 ha (Tabela 3). Os fragmentos desta classe apresentam bordas mais complexas, ficando assim mais expostos ao efeito de borda.

As áreas de interior destes fragmentos são bastante reduzidas, somente 90,96 ha, o que representa 15% da área total, ficando os 85% restantes da área representados por ambiente de margem.

-Fragmentos maiores que 350 hectares e menores que 500 hectares: Como demonstra a Tabela 3 para esta classe, obteve-se apenas um fragmento, com tamanho de 386,70 hectares, tamanho de borda de 31.725,00 metros e dimensão fractal de 1,36.

Da área total ocupada pelo fragmento que compõe esta classe, 37% é considerada área de interior, o restante dos 63% da área do fragmento é composta por ambientes de borda.

Considerando-se o proposto por Carmo (2000), que áreas maiores que 300 ha tem um alto valor para a conservação, a área do fragmento desta classe atende a esse padrão. Outro fator importante a ser avaliado é que embora este fragmento apresente uma grande área de borda, ele comportou cinco áreas de interior (cores) com média de 28,6 ha, área esta superior a mínima estabelecida por Metzger (1997), o que indica que sua forma é pouco alongada.

-Fragmentos maiores que 500 hectares e menores que 1000 hectares: Para esta classe de fragmentos, obtiveram-se dois fragmentos, com média de tamanho de 551,91 hectares, tamanho de borda de 104.697,85 metros, média de bordas de 52.348,92 metros e dimensão fractal média de 1,39, conforme Tabela 3.

A área total ocupada pelos fragmentos que compõem esta classe é de 1.103,84 ha, sendo que 65% desta área (716,15ha) é constituída por ambiente de borda.

A área de interior média dos fragmentos desta classe é de 14,9 ha, indicando que trata-se de formas alongadas, onde o efeito de borda é potencializado e consequentemente a qualidade ambiental comprometida.

-Fragmentos maiores que 1000 hectares e menores que 3000 hectares: Para esta classe de fragmentos, obteve-se um fragmento, com tamanho de 2553,18 hectares, tamanho de borda de 235.068,45 metros e dimensão fractal de 1,45 (Tabela 3)

De forma semelhante ao que foi verificado na classe anterior, os fragmentos desta classe apresentem-se com tamanhos suficientemente grandes, porém com reduzida área de interior, em média 13,7 ha, bem abaixo do mínimo requerido. Estes resultados demonstram o formato alongamento dos fragmentos, e o comprometimento da qualidade ambiental nestes habitats.

-Fragmentos maiores que 3000 hectares: Para esta classe de fragmentos, obteve-se apenas um fragmento, com tamanho de 3.985,80 hectares, tamanho de borda de 330.699,61 metros, e dimensão fractal de 1,45, conforme mostra a Tabela 3.

Observa-se que 1.588,99 ha (39%) do fragmento que compõe esta classe é constituído por área de interior, ficando os 61% restantes da área representados por borda.

Trata-se de um fragmento bastante grande, com 82 áreas de interior (82), o que expressa sua forma pouco alongada. As áreas de interior apresentam em média 19,4 ha, ou seja, estão próximas à proposta por Metzger (1997) que é de 25 ha. Estas áreas de interior são indícios importantes, pois permitem a manutenção de espécies especializadas.

Assim sendo, este é um fragmento de enorme importância para a manutenção da qualidade ambiental, sob o ponto de vista da conservação da biodiversidade da fauna e da flora na paisagem da bacia do rio Apeú.

4. Conclusões

A paisagem da bacia é fortemente marcada pela atividade da pecuária, visto que 37% da área de estudo são destinados a esse fim. A vegetação natural abrange 34,5% da área da bacia;

A paisagem da bacia hidrográfica do rio Apeú, encontra-se prejudicada em relação à qualidade do hábitat, pois 70% da vegetação natural é constituída de ambiente de borda, o que compromete a sustentabilidade do ecossistema.

A maior parte dos fragmentos está localizada junto aos recursos hídricos, e por isso apresentam formas mais alongadas, formando corredores ecológicos caracterizados pela mata ciliar.

A existência de alguns fragmentos mais conservados dentro dos limites da bacia apresenta-se como um fator positivo para a conservação da biodiversidade. Desta forma, a elaboração de planos de manejo ecológico eficientes constitui uma das formas de contribuir para a conservação e manejo dos fragmentos remanescentes, e recuperação das áreas degradadas da região.

Agradecimentos: Os autores gostariam de agradecer à Universidade Federal Rural da Amazônia e ao seu renomado Instituto Ciberespacial - ICIBE pela oportunidade de desenvolver os estudos, assim como ao Laboratório de Geoprocessamento, Análise Espacial e Monitoramento por Satélite – LAGAM e seus Profissionais pelo apoio logístico, técnico e científico.

Referências Bibliográficas

Araújo, R. T. de; et al. Caracterização e análise dos fragmentos de vegetação natural da microbacia hidrográfica da cachoeirinha, Santa Cruz da Conceição, Estado de São Paulo. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Vol. XII, Núm. 1, 2008, pp. 91-111

Becker, F.G. **Aplicações de Sistemas de Informação Geográfica em Ecologia e Manejo de Bacias Hidrográficas**. In: Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações. Bahia: Editus, p. 91-111, 2002.

Carmo, A. P. C. Evaluación de um paisaje fragmentada para la conservación y recuperación de biodiversidad. Costa Rica, **Tese (Magister Scientiae)** - Centro Agronômico Tropical de Investigación y Enseñanza. p.133, 2000.

Fearnside, P.M. Land-tenure issues as factors in environmental destruction in Brazilian Amazonia: the case of southern Pará. **World Development**, v. 29, n. 8, p. 1361-1372, 2001.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Perfil dos Municípios Brasileiros. Disponível em: <[http:// www.ibge.gov.br/](http://www.ibge.gov.br/)> Acesso em: 02 fev. 2009

Jesus, A. A. S de. Geoprocessamento Aplicado a Estimativa de Perda de Solos por Erosão Laminar na Bacia Hidrográfica do Rio Apeú (Nordeste Do Pará) - Amazônia Oriental. **Dissertação** (Mestre em Agronomia). Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA, Belém, p.102, 2009

Mcgarigal, K. et al. **Fragstats: spatial pattern analysis program for categorical maps**. Computer Software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst, 2002.

Metzger, J.P. **Relationships between landscape structure and tree species diversity in tropical forests of South-East Brazil**. Landscape & Urban Planning 37: p. 29-35, 1997

Pires, J.S.R. Análise Ambiental voltada ao Planejamento e Gerenciamento do Ambiente Rural: Abordagem Metodológica aplicada ao Município de Luiz Antônio – SP. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, 1995. 166p.

Santos, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. Oficina de textos, São Paulo, 2004. 184p.

Santos, O.C.O. Análise do Uso do Solo e dos Recursos Hídricos na Bacia do Igarapé Apeú, Nordeste do Estado do Pará. **Tese** (Doutorado em Geografia)- Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, p.256, 2006.

Watrín, O.S. et al. Dinâmica de Uso da terra e Configuração da Paisagem em Antigas áreas de Colonização de Base Econômica Familiar, no nordeste do Estado do Pará. **Geografia. Rio Claro**, 21p. 2009.

Watrín, O.S. et al. Análise espaço-temporal do uso da terra em microbacias hidrográficas no município de Paragominas, Estado do Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 13., 21-26 abr. 2007, Florianópolis. **Anais**. São José dos Campos, SP: INPE. CD-ROM. ISBN 978-85-17-00031-7, p.7019-7026, 2007.