

Estudo da paisagem da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açú, Manaus, Amazonas, utilizando imagens de radar.

Mônica Alves de Vasconcelos¹
Lizit Alencar da Costa¹
Maria Antônia Falcão de Oliveira²

¹ Universidade Federal do Amazonas
Av. Gen. Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 3000
, 69.077-000 – Manaus, AM, Brasil
monica.engbio@gmail.com; lcosta@ufam.edu.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
marian@dpi.inpe.br

Abstract. This study aimed to analyze the landscape of the Tarumã-Açu River basin using images ALOSPALSAR. For this analysis was produced the map of land cover and use of basin, using the digital supervised classification (maximum likelihood algorithm) of orbital images active sensor digital ALOS/PALSAR of the year 2007, with global accuracy of 77.47%. Landscape metrics were used for the analysis. The elements of the landscape studied in this work were: patch and matrix. The landscape ecology used were the fragments-level characterization and use classes level and coverage. The largest class of land coverage obtained was the rain forest with 64.98%. The second largest class of land coverage was represented by the urban area with 18.02%, followed by agriculture and exposed soil with 9.99%. The land cover classes with smaller percentages were secondary forest with 4.22%, and water with 2.79% of the total area. The porosity of the matrix of the basin was represented by 64,282 fragments. In relation to values of mean, median and mode of the fragments the results were similar for all classes studied, around 2. The results indicated the potential of radar to discriminate vegetation types and altered areas in the region, because of the need for specific sensors to the characteristics of the Amazon.

Palavras-chave: remote sensing, digital processing, forest mapping, Amazon, sensoriamento remoto, processamento digital, mapeamento florestal, Amazônia.

1. Introdução

Na região Amazônica, o monitoramento das alterações da cobertura da terra permite identificar a dinâmica dos fenômenos ocorridos na paisagem, possibilitando o acompanhamento sistemático e auxiliando no entendimento das causas geradoras dos processos antrópicos (COSTA, 2011).

No entanto, a ocorrência de constante cobertura de nuvens em regiões de florestas tropicais dificulta o monitoramento desses ambientes, quando se utiliza dados coletados por sensores ópticos. Segundo Asner (2001), a probabilidade anual de obtenção de uma imagem de sensor óptico livre de cobertura de nuvens na região amazônica chega a ser inferior a 10%.

Nas regiões tropicais os dados de radar de abertura sintética SAR (*Synthetic Aperture Radar*) se tornam especialmente úteis, em face das restrições impostas ao imageamento óptico pela constante presença de nuvens e neblina, e por acrescentar informações além das já fornecidas pelos dados oriundos de sensores ópticos, sendo mais um ponto a favor no processo de detecção de mudança do uso e cobertura do solo, possibilitando a quantificação e qualificação do dossel de florestas (ROSENQVIST et al. 2003).

A ecologia da paisagem, visando à investigação dos mais variados tipos de processos naturais, requer a descrição quantitativa dos padrões e da estrutura das paisagens, para que dessa maneira possam ser entendidos e realizadas as predições sobre o fenômeno avaliado (HARGIS et al. 1998).

Na área florestal, o enfoque tem sido dado ao processo de fragmentação. Saunders et al. (1991) enfatizaram que, a redução na fragmentação das paisagens deve ser uma prioridade, visto que esse processo é uma ameaça à estabilidade da estrutura das paisagens, ou seja, à biodiversidade. Nesses trabalhos, dados oriundos de sensoriamento remoto tem grande importância, devido suas grandes áreas de cobertura, repetitividade e viabilidade.

Este trabalho teve como objetivo realizar o estudo da ecologia da paisagem sul da bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu, utilizando imagens ALOS/PALSAR.

2. Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

A cidade de Manaus, capital do Estado do Amazonas está situada à margem esquerda do rio Negro, a 18 km a montante de sua confluência com o rio (BÜHRING et al. 2006).

A Bacia hidrográfica do Tarumã-Açu está localizada na zona Oeste de Manaus, como observado na Figura 1. Para este estudo a imagem do sensor ALOS/PALSAR correspondeu apenas ao setor sul da Bacia.

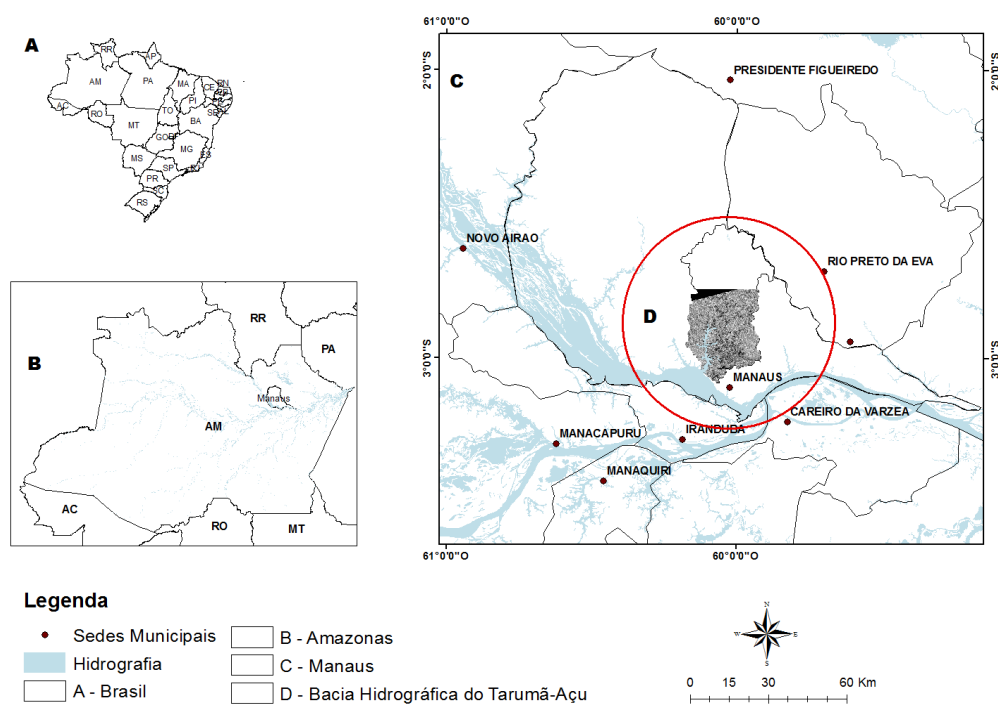


Figura 1. Localização da área – Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu

2.3 Mapeamento de uso e cobertura

Para o mapeamento foram utilizadas imagens ALOS/PALSAR, cena órbita 8256, ponto 7120. As imagens foram cedidas pelo Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM) por meio da Divisão de Sensoriamento Remoto do Centro Regional de Manaus. As imagens são do formato Amplitude, banda L, multipolarizadas (HH e HV), imageadas em 13 de agosto de 2007, e possuem resolução espacial de 12,5 metros. A cena não contempla a área inteira da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu logo, para a delimitação da área de estudo foi elaborado um vetor no formato *shape file* utilizando como base o limite da bacia.

Para minimizar o ruído (*speckle*) característico apresentado em imagens de radar, conhecido como *speckle*, foi aplicado um filtro adaptativo Gamma com janela de 3x3 pixels nas imagens ALOS/PALSAR.

O processo de classificação foi realizado pelo algoritmo de Máxima-verossimilhança (Maxver), que por ser ligado ao método supervisionado, necessita de uma noção prévia por parte do analista das feições ocorrentes na área de estudo.

Para a classificação e legenda do mapa, foram definidas 4 classes: área urbana, agricultura e solo exposto, floresta ombrófila e floresta secundária. Embora a classe água esteja presente na área de estudo por tratar-se de uma bacia hidrográfica, optou-se pelo uso de uma máscara dessa classe para evitar maiores confusões entre as classes, algo comum em imagens de radar.

2.4 Avaliação da Classificação

Após o processo de classificação foi realizado o processo de validação. As classificações foram avaliadas pelos índices de concordância *Kappa* (CONGALTON e GREEN, 1999), gerados a partir da construção da matriz de confusão. Posteriormente, os índices *Kappa* foram comparados a limiares que avaliam a qualidade dessa classificação (LANDIS e KOCH, 1977).

Segundo Landis e Koch (1977) a avaliação a partir do coeficiente de *Kappa* pode ser realizada com base nos valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Conceitos do Coeficiente de concordância *Kappa*.

Coeficiente <i>Kappa</i>	Exatidão
< 0	Péssima
0 – 0,2	Ruim
0,21 – 0,4	Razoável
0,41 – 0,6	Moderada/Boa
0,61 – 0,8	Muito boa
0,81 – 1,0	Excelente

A matriz de confusão define os erros de inclusão (erros de comissão) e os erros de exclusão (erros de omissão) existentes na classificação (CONGALTON e GREEN, 2008; TREITZ e ROGAN, 2004). A matriz de confusão ainda possibilita o cálculo da precisão por classe temática, além da exatidão global obtida pela classificação.

2.5 Pós-Classificação

Segundo Crosta (1993), o resultado de uma classificação é uma imagem com muito ruído, causado por pixels isolados ou poucos pixels atribuídos a diversas classes, que ocorrem próximos a áreas homogeneamente classificadas. Assim, visando reduzir a quantidade de pontos isolados observados nas imagens classificadas e, conseqüentemente, promover uma maior uniformidade nas classes definidas, aplicou-se um filtro de mediana, através de uma máscara de convolução de dimensão 3 x 3. Neste tipo de filtro, o pixel central é substituído pelo valor mediano dos seus vizinhos.

2.6 Análise da estrutura da paisagem da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu

Foram definidas classes de área de cobertura baseada nos resultados dos cálculos de área dos vetores da classificação. As classes variam de fragmentos menores que 1,0 ha a fragmentos maiores que 100 ha, utilizando as seguintes escalas: menor que 1,0 ha; de 1,0 a 10 ha; maior que 100 ha.

Foram realizadas as definições de classes de perímetro seguindo a metodologia de Forman e Godron (1986) dado por:

$$D = L/2\sqrt{A} \quad (1)$$

Onde: D – índice de forma; L – perímetro; A – área

Seguindo a metodologia de Grise e Biondi (2012), as classes de perímetro foram definidas após os cálculos e tabulação do índice de forma de todos os polígonos. As classes variaram de fragmentos menores que 1,0 hectares a fragmentos maiores que 10 hectares.

Também foram calculadas a Média, a Moda e a Mediana do índice de forma dos fragmentos. Esses dados foram analisados seguindo uma escala do grau de pressão que os fragmentos exercem sobre a matriz, seguindo a metodologia de Grise (2008). A autora se baseou em Forman & Godron (1986) e Forman (1995). Onde:

Grau de pressão 1: índice de forma menor que 1,5;

Grau de pressão 2: índice de forma entre 1,5 e 2,0;

Grau de pressão 3: índice de forma maior que 2.

Os autores expõem a formula de cálculo de índice de forma e apresentam a interpretação dos valores obtidos. Valores próximos a 1,0 representam formas mais circulares (1 representa um círculo perfeito), enquanto valores como 3 e 4 representam formas bastante irregulares, considerando que quanto mais irregular a forma de um fragmento maior será a sua área afetada pela borda e, conseqüentemente, menor será a sua área interior.

Após a classificação e vetorização das classes de uso e cobertura do solo esses valores foram analisados e relacionados uns com os outros. A quantidade de polígono de cada classe de uso e cobertura do solo, em relação às classes de área de cobertura e às classes do perímetro.

A matriz foi definida segundo o método da área relativa proposto por Forman & Godron (1986). A classe de cobertura com maior área foi definida como a matriz da paisagem, sendo o restante dos polígonos definidos como fragmentos. Embora a classe água não tenha sido classificada, sendo a mesma gerada por uma máscara, para efeito de cálculo e análise a mesma foi adicionada aos resultados, exceto para os cálculos de média, moda e mediana por tratar-se de um único vetor.

3. Resultados e Discussão

3.1 Mapeamento de uso e cobertura

O resultado do processamento da classificação Maxver foi o mapa de uso e cobertura da terra da Bacia hidrográfica do Tarumã-Açu. Após a classificação da imagem de radar, foram gerados o cálculo da área de estudo e o percentual de cada classe. Os valores encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Área de cada classe de cobertura na bacia.

Classes	Área (ha)	Área (%)
Água	1.973,81	2,79
Agricultura e solo exposto	7.071,12	9,99
Área urbana	12.759,53	18,02
Floresta Ombrófila	46.001,20	64,98
Floresta Secundária	2.986,78	4,22
Total	70.792,4	100

A classe predominante na paisagem da bacia é a floresta ombrófila. Tal resultado pode ser justificado pela localização da bacia, ainda na zona rural do município de Manaus. A imagem não contempla a área inteira da bacia, representando 52,93% da área total com 70.797,55 hectares. Deste total 64,98% é representado pela classe floresta ombrófila, ou seja, 46.001 hectares, demonstrando que a área de estudo para o ano de 2007 apresentava grande cobertura vegetal natural possivelmente primária.

A segunda maior classe de cobertura do solo é representada pela área urbana por 18,02%, totalizando 12.759,53 hectares. Em estudo temporal realizado por Souza e Pinheiro (2010), naquela região, os autores constataram que no período de 1988 a 1992 havia pequenas alterações

na cobertura com 1.354,48 ha desflorestados, mas que no ano de 2001 houve um aumento de 5,5% de área desflorestada.

A expansão de atividades ligadas à pecuária, onde utilizam geralmente grandes áreas desmatadas para criação de animais são fortes fatores o que justificam o resultado da terceira classe de cobertura encontrada na área da bacia, agricultura e solo exposto com 7.071,14 hectares de área representando 9,99% da área de estudo. Por meio das imagens na análise visual, pode-se observar a partir das características geométricas de plantios que a atividade encontra-se bem distribuída ao longo da bacia.

As menores representatividades de classe na área ficaram com a floresta secundária, visto que ainda há certo grau de conservação da bacia, ficando com 2.986,78 hectares (4,22%) e água que é em sua maioria representada pelo rio Tarumã-Açu com uma área de 1.973,81 hectares, ou seja, 2,79% da área.

Com o objetivo de avaliar a classificação e confusão entre as classes temáticas, utilizou-se a matriz de confusão e valores do índice de *kappa* (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**4).

Tabela 4. Matriz de confusão derivada da classificação MAXVER

Classes	Agricultura e solo exposto	Floresta secundária	Área urbana	Floresta ombrófila
Agricultura e solo exposto	229	9	2	0
Floresta secundária	24	271	0	87
Área urbana	2	5	431	5
Floresta ombrófila	0	138	8	420
Exatidão Global =	77,47%	Kappa =	0,7295	

A classe com menor confusão e conseqüentemente maior valor de acerto foi a classe área urbana, com um acerto global de 97,29%, seguida pela classe agricultura e solo exposto com um acerto de 93,09%.

As classes de floresta ombrófila e secundária como era o esperado, apresentaram os maiores valores de erro, devido à confusão entre as mesmas no processo de classificação. A classe floresta ombrófila apresentou o valor de 74,20% de acerto, enquanto que a classe floresta secundária apresentou 70,94% do acerto global. Essa confusão entre as classes pode ser justificada pela similaridade das características textural e geométrica das mesmas na imagem de radar. A classe de floresta secundária também apresentou média confusão com a classe de agricultura e solo exposto.

A classificação pelo método de máxima verossimilhança obteve uma boa concordância, segundo a categorização de Landis e Koch (1977), indicada pelo valor do índice *Kappa* encontrado de 0,7295 indicando um bom nível de desempenho desse classificador estatístico pontual. Dobson et al. (1992) ressaltaram que os dados SAR geralmente produzem classificações com acurácia próxima a 40%. A acurácia encontrada neste estudo foi de 77, 44%.

3.2 Análise da paisagem

A grande maioria da cobertura ficou com a classe floresta ombrófila sendo a mesma definida como a matriz da paisagem da bacia, seguida pela classe de uso área urbana. A matriz é o pano de fundo da paisagem que abrange uma extensa área de grande conectividade.

A floresta ombrófila, matriz, tem o maior controle da paisagem e da dinâmica regional (FORMAN, 1995) e é um complemento essencial para assegurar a proteção da diversidade biológica. Assim, a matriz da bacia, provavelmente assegura a conservação de suas espécies e ecossistemas.

A porosidade da matriz da bacia foi representada por 64.282 fragmentos. Este valor elevado justifica-se pelo tamanho da área de estudo delimitada e da resolução espacial da imagem

ALOS/PALSAR com 12,5 metros, que resulta em um "zoom" da área de estudo, destacando áreas geralmente omitidas por imagens de menor resolução espacial. Esses fragmentos totalizaram 24.796,35 hectares, cerca de 47,07% da área total de estudo. Destes, 18,02% formados por área urbana, seguidos por agricultura e solo exposto, floresta secundária e água.

Como pode ser visualizado na Tabela 5, dos fragmentos 95,94% apresentaram classe de área menor que 1,0 ha, 3,78% possuem área entre 1,0 e 10 hectares e apenas 0,27% possui área maior que 10 ha, totalizando 174 grandes fragmentos.

Tabela 5. Número de fragmentos em cada classe de área da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu.

Classes de área (ha)	Área urbana	Agricultura e solo exposto	Floresta secundária	Total	Total (%)
< 1,0 ha	48467	8424	4783	61674	95,94437
1,0 a 10 ha	1014	771	648	2433	3,784944
> 10 ha	59	66	49	174	0,270687
Total	49540	9261	5480	64281	100
Total (%)	77,07	14,41	8,525	100	

A maioria dos fragmentos com área menor que 1,0 ha pertencem à classe área urbana, apresentando 48.467 fragmentos nesta classe. Na classe de área maior que 10 ha esta classe de cobertura apresentou 59 manchas. Essa classe é que representa maior impacto sobre a matriz da vegetação nativa.

Os fragmentos que interrompem a matriz são na maioria formados pela classe de floresta secundária, sendo esta em algumas áreas de origem natural. Inclusive devido à área urbana da cidade ainda encontrar-se concentrada no setor sul da bacia, como pode ser visualizado na imagem ALOS/PALSAR e posteriormente na classificação supervisionada.

Grise (2008) ressalta que quando o estudo da paisagem é realizado em uma área de Unidade de Conservação, que é o caso da Bacia do Tarumã-Açu, por abrigar dentro de seus limites a APA do Tarumã, está se trabalhando em uma paisagem cuja matriz de vegetação natural é interrompida pela presença de fragmentos antropizados. A referida autora cita que se trata do efeito de borda inverso, onde são os fragmentos que pressionam a matriz. Assim, são os fragmentos de origem antrópica, considerados estáveis e persistentes, que pressionam a matriz de vegetação nativa e interferem em sua estabilidade, dinâmica e área, sendo as classes: área urbana e agricultura e solo exposto tais responsáveis por tal pressão.

Em relação às classes de perímetro, 72,76% possuem índice de forma menor que 2,5 de grau de pressão 2. O índice de forma acima de 1 indica que os fragmentos têm forma menos arredondada, aumentando a borda/área (PRIMACK e RODRIGUES, 2001), assim possuem mais áreas de borda que e em pouco prazo afetará a matriz da bacia, composta por vegetação nativa. Os valores de índice de forma de cada classe encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6. Índice de forma dos fragmentos da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu.

Classes de perímetro (índice de forma)	Agricultura e solo exposto	Área urbana	Floresta secundária	Total	Total (%)
< 2,5	5953	31492	3282	40727	72,76
2,5 a 3,0	1752	7417	2473	11642	20,80
> 4,0	498	1993	1112	3603	6,44
Total	8203	40902	6867	55972	100,00
Total (%)	14,66	73,08	12,269	100	

Em relação aos valores de média, mediana e moda da forma dos fragmentos de cada classe pode-se observar que os valores foram semelhantes para todas as classes estudadas, tendo como

média 2,59 para agricultura e solo exposto e área urbana e 2,03 para a classe floresta secundária (Tabela 7). A mediana também foi a mesma para as classes de área urbana e agricultura solo exposto com 2,31, ficando a classe floresta secundária com o valor de 2,2. A moda foi a mesma para as três classes analisadas, com o valor de 2.

Tabela 7. Índice de forma dos fragmentos da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu.

Classes de cobertura do solo	Média	Mediana	Moda
Agricultura e solo exposto	2,59	2,31	2
Área urbana	2,59	2,31	2
Floresta secundária	2,03	2,2	2

4. Conclusões

Os resultados obtidos pelo estudo de mapeamento de uso e cobertura da terra e estudos da paisagem (fragmentação) com imagens do radar ALOS/PALSAR indicaram boas possibilidades de discriminar fitofisionomias e áreas alteradas na região. E a associação de dados provenientes de sensores ópticos com sensores ativos tornam-se promissores no monitoramento das dinâmicas ambientais.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Geotecnologias da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas - LabGeo/FCA/UFAM. Ao Sistema de Proteção da Amazônia, Centro Regional de Manaus, por disponibilizar as imagens ALOS/PALSAR por meio da Divisão de Sensoriamento Remoto - DIVISER.

Referências

- Asner, G. P. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 18, p. 3855-3862, 2001.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria Nacional dos Recursos Hídricos. **Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Brasília, DF, 1997.
- Bühning, R.; Costa, L. A. da; Barbosa, E.B. Cadastramento qualiquantitativo georreferenciado das árvores localizadas nas ruas do centro da cidade de Manaus – AM. In. VII Seminário em Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal. **Anais...** Curitiba, Paraná, p. 210 – 218, 2006.
- Congalton, R. G.; Green, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. 2nd ed. Taylor & Francis Group, 2008. 201p.
- Congalton, R.G.; Green, K. G. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Boca Raton, FL, 1999. 137 p.
- Costa, J. A. L. da. **Avaliação de dados de radar do sensor SAR-R99B no mapeamento do uso e cobertura da terra na Amazônia Central, município de Manaus**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, 2011.
- Crósta, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Ed. IG/UNICAMP. Campinas, SP. 1993.170 p.
- Dobson, M. C., Ulaby, F. T., Le Toan, T., Beaudoin, A., Kasischke, E. S., & Christensen, N. L. Dependence of radar backscatter on conifer forest biomass. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. 1992. 30, 412–415
- Forman, R. T. T. ; Godron, M. **Landscape ecology**. New York, John Wiley & Sons, 1986. 619p.
- Forman, R.T.T. 1995. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. Cambridge University Press, Cambridge.

Freitas, C. C.; Soler, L. S.; Sant'anna, S. J.S.; Dutra, L. V.; Santos, J. R.; Mura, J. C.; Correia, A. H. Land use and land cover mapping in the Brazilian Amazon using airborne P-band SAR data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 46, n. 10, 2008.

Grise, M. M. **A estrutura da paisagem do mosaico de unidades de conservação do litoral norte do Paraná**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 2008.

Grise, M. M.; Bionde, D. Análise da estrutura da paisagem do Parque Nacional do Superagui - PN e sua zona de amortecimento. **Revista Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, 2012, pp. 23-33, Universidade Federal de Santa Maria.

Hargis, C.D., Bissonette, J.A. & David, J.L. 1998. The behavior of metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. **Landscape Ecology** 13: 167-186.

Landis, J. R.; Koch, G. G. The measurements of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977.

Primack, R. B.; Rodrigues, E. **Biologia da conservação**. Londrina: Planta, 2001. 327p.

Rosenqvist, A.; Milne, A.; Lucas, R.; Imhoff, M.; Dobson, C. A review of remote sensing technology in support of the Kyoto Protocol. **Environmental Science & Policy**, v. 6, n.5, p. 441-455, 2003.

Saunders, D.A., Hobbs, R.J. & Margules, C.R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology** 5: 18-32.

Souza, A. L.; Pinheiro, E. S. O desflorestamento na APA do Rio Negro setor Tarumã-Açú / Tarumã-Mirim - AM (1988 - 2008). In: I° Seminário Internacional de Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia. **Anais...** Manaus, AM, 15 – 18 de julho de 2010. Disponível em <<http://seminariodoambiente.ufam.edu.br/2010/anais/rn45.pdf>> Acesso em agosto de 2014.

Treitz, P.; Rogan, J. Remote sensing for mapping and monitoring land-cover and land-use change - an introduction. **Progress in Planning**, v. 61, p. 269-279, 2004.