



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS PPG-CIFA**

**ESTUDO DA PAISAGEM DO SETOR SUL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO TARUMÃ-AÇU, MANAUS, UTILIZANDO
IMAGENS MULTIPOLARIZADAS DO RADAR ALOS/PALSAR.**

MÔNICA ALVES DE VASCONCELOS

Manaus

2012



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS PPG-CIFA**

**ESTUDO DA PAISAGEM DO SETOR SUL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO TARUMÃ-AÇU, MANAUS, UTILIZANDO
IMAGENS MULTIPOLARIZADAS DO RADAR ALOS/PALSAR.**

MÔNICA ALVES DE VASCONCELOS

Projeto de Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas – UFAM como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais. Área de Concentração: Conservação da Natureza.

Orientador: Lizit Alencar da Costa

Manaus

2012

Ficha Catalográfica

(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Vasconcelos, Mônica Alves de

V331e Estudo da paisagem do setor sul da bacia hidrográfica do Tarumã-Açu, Manaus, utilizando imagens multipolarizadas do radar ALOS/PALSAR / Mônica Alves de Vasconcelos. - Manaus: UFAM, 2012.

75 f.; il. color.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) — Universidade Federal do Amazonas, 2012.

Orientador: Lizit Alencar da Costa

1. Sensoriamento remoto 2. Ecologia de paisagem 3. Tarumã-Açu – Bacia hidrográfica 4. Processamento digital de imagens I. Costa, Lizit Alencar da (Orient.) II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

CDU (2007): 528.93(811.3)(043.3)

MÔNICA ALVES DE VASCONCELOS

**ESTUDO DA PAISAGEM DO SETOR SUL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO TARUMÃ-AÇU, MANAUS, UTILIZANDO
IMAGENS MULTIPOLARIZADAS DO RADAR ALOS/PALSAR**

Projeto de Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas – UFAM como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais. Área de Concentração: Conservação da Natureza.

Aprovado em 30 de novembro de 2012.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Lizit Alencar da Costa - Presidente da banca
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Pesquisador Dr. Paulo Maurício Lima Alencastro Graça - Primeiro examinador
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA

Prof. Dr. Julio César Rodríguez Tello - Segundo examinador
Universidade Federal do Amazonas - UFAM



Poder Executivo
Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais e Ambientais - PPGCIFA



PARECER
Defesa nº 125

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, da Faculdade de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Amazonas, após arguir da mestranda **MÔNICA ALVES DE VASCONCELOS**, em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado “**ESTUDO DA PAISAGEM DO SETOR SUL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TARUMÃ-AÇU, MANAUS, UTILIZANDO IMAGENS MULTIPOLARIZADAS DO RADAR ALOS/PALSAR**”, é de parecer favorável à APROVAÇÃO da mestranda a habilitando-a ao título de Mestre “*Magister Scientiae*” em Ciências Florestais e Ambientais, na área de concentração em **CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS (CIFA)**.

Dr. Lizit Alencar da Costa
Professor da Faculdade de Ciências Agrária da Universidade Federal do Amazonas
Presidente da banca examinadora

Dr. Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça
Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Primeiro examinador

Dr. Julio César Rodríguez Tello
Professor da Faculdade de Ciências Agrária da Universidade Federal do Amazonas
Segundo examinador

Manaus, 30 de novembro de 2012.

Prof. Dr. Nabor da Silveira Pio
Coordenador, em exercício, do Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais – PPG-CIFA



Oração de São Francisco de Assis

Senhor, fazei-me instrumento de vossa paz.
Onde houver ódio, que eu leve o amor;
Onde houver ofensa, que eu leve o perdão;
Onde houver discórdia, que eu leve a união;
Onde houver dúvida, que eu leve a fé;
Onde houver erro, que eu leve a verdade;
Onde houver desespero, que eu leve a esperança;
Onde houver tristeza, que eu leve a alegria;
Onde houver trevas, que eu leve a luz.
Ó Mestre, Fazei que eu procure mais
Consolar, que ser consolado;
Compreender, que ser compreendido;
Amar, que ser amado.
Pois, é dando que se recebe,
É perdoando que se é perdoado,
E é morrendo que se vive para a vida eterna.

*Em memória aos meus pais, **Carlos Rodrigues de Vasconcelos e Adiléia Alves de Vasconcelos**, pelo carinho, respeito, dedicação, pela fé e pela esperança, pelo ensino ao temor a Deus, eternamente o meu amor!*

Dedico

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial à minha avó linda, minhas tias e meu avô, pela atenção, paciência, puxões de orelha e enorme amor.

À Universidade Federal do Amazonas pela oportunidade da graduação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais pela oportunidade de meu desenvolvimento profissional e acadêmico-científico durante o curso de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo financiamento da pesquisa de mestrado.

Ao Sistema de Proteção da Amazônia pela disponibilidade das imagens e à Divisão de Sensoriamento Remoto pelo aprendizado durante o trabalho.

Ao meu orientador Dr. Lizit Alencar da Costa, pela oportunidade, paciência e amizade nessa caminhada do curso de mestrado. Pelas conversas, conselhos e atenção dada nas horas difíceis.

Aos amigos do curso, *in memoriam* ao amigo Telêmaco Jason, pela inspiração e orgulho em ter conhecido alguém tão especial.

Aos amigos da vida, Maria Antônia, Laisa Caramelli, Maurício Sayão, Roberta Monique, Luciana Batalha, pelas alegrias, tristezas, angústias e agora conquistas compartilhadas.

Ao meu chefe do SIPAM, e atual amigo Jorge Alberto da Costa pelo conhecimento compartilhado e multiplicado, dou a minha eterna gratidão.

Aos meus amores: *Neto, Preta, Pingo, Boneca, Barão e Peteca*, pelo amor incondicional.

E ao Criador e maior responsável por todas as vitórias em minha vida, Deus.

RESUMO

A importância regional da Bacia do Rio Tarumã-Açu, sua localização e extensão, a qual representa cerca de 12% do município de Manaus, e sua atual situação de ameaça devido a problemas de ocupação desordenada, conversão de floresta em outros tipos de uso e cobertura do solo, motivaram o estudo da análise da estrutura paisagem dessa área. Para essa análise foi produzido o mapa de uso e cobertura do solo da bacia e foram utilizados índices de ecologia da paisagem. O mapa de uso e cobertura do solo foi produzido pela classificação digital supervisionada (algoritmo de máxima verossimilhança) de imagens orbitais digitais do sensor ativo ALOS/PALSAR do ano de 2007, com exatidão global de 77,47%. Os elementos da paisagem estudados neste trabalho foram os de mancha e matriz, sendo os índices de ecologia da paisagem utilizados, os que fazem a caracterização em nível de fragmentos e em nível de classes de uso e cobertura do solo. A maior classe de cobertura do solo encontrada na classificação foi a de floresta ombrófila, 64,98%, representando 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 foi representada pela área urbana por 18,02%, totalizando 12.759,53 hectares, mostrando que já na época, há 5 anos, a bacia já se encontrava em avançado processo de ocupação e impactos antrópicos, isto pode ainda ser justificado pelo fato da bacia está parcialmente localizada dentro da área urbana do município de Manaus. 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, 47,07% da área total de estudo. Destes, 18,02% formados por área urbana, seguidos por agricultura e solo exposto, floresta secundária e água. Os 95,94% dos fragmentos 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. A maioria dos fragmentos com área menor que 1,0 ha pertencem à classe área urbana, apresentando 48.467 fragmentos, e na classe de área maior que 10 ha esta classe de cobertura apresentou 59 manchas. Em relação aos valores de média, mediana e moda da forma dos fragmentos os resultados foram semelhantes para todas as classes estudadas, em torno de 2. Os resultados mostraram-se satisfatórios para o referido estudo na região, visto que tornam-se necessários a utilização de técnicas de sensoriamento remoto devido as características climáticas e extensão territorial da Amazônia.

Palavras-chave: Ecologia de paisagem, Bacia do Tarumã-Açu, radar ALOS/PALSAR, Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The regional importance of the Tarumã-Açu River basin, its location and extent, which represents about 12 percent in the city of Manaus, and its current situation of threat due to disorderly occupation problems, forest conversion to other types of use and soil cover, motivated the study of landscape structure analysis of this area. For this analysis a map of use and soil of the basin and cover, and indexes of landscape ecology were produced. Creating the map was based on digital supervised classification (maximum likelihood algorithm) of orbital images active sensor digital ALOSPALSAR of the year 2007, with global accuracy of 77.47. The elements of the landscape studied in this work were those of smearing and array, and the rates of landscape ecology used, that make the fragments-level characterization and use class-level and soil cover. The largest class of land cover found in the rain forest was 64.98 ha, representing 46,001 ha and demonstrating that the studied area had great natural vegetation cover in 2007. The second largest class of soil coverage was represented by the urban area by 18.02, totaling 12,759.53 acres, showing that already at the time (5 years by now), the basin was already in advanced process of occupation and man-made impacts. This can still be justified by the fact the bowl is partially located within the urban area of the city of Manaus. The porosity of the matrix of the basin was represented by 64,282 fragments. This high value is justified by the size of the study area bounded and the spatial resolution of the image ALOSPALSAR with 12.5 meters, which results in a zoom of the study area, highlighting areas usually omitted for images of lower spatial resolution. This high value is justified by the size of the study area bounded and the spatial resolution of the image ALOSPALSAR with 12.5 meters, which results in a zoom of the study area, highlighting areas usually omitted for images of lower spatial resolution. These fragments totaled 24,796.35 ha, total study area 47.07. Of these, 18.02% fragments formed by the urban area, followed by agriculture and secondary by forest, soil and water. The fragment had 95.94 % area class less than 1.0 ha, 3.78% has area between 1.0 and 10 hectares, and only 0.27% has area greater than 10 ha, totaling 174 large fragments. Most of the fragments of size less than 1.0 ha belong to the urban area, showing 48,467 fragments, and in the area greater than 10 ha this kind of coverage presented 59 spots. In relation to the average values and sets, the shape of fragments results were similar for all classes studied - around 2. The results were satisfactory for the studied region, since become required the use of remote sensing techniques due to the climatic characteristics and territorial extension of the Amazon.

Keywords: landscape ecology, basin of the Tarumã-Açu, ALOSPALSAR radar, remote sensing.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1. Escalas em diferentes visões de espécies	21
Figura 2. Tipos de Mecanismos de retroespalhamento em ambientes florestais.....	31
Figura 3. Modos de imageamento de radar polarimétrico.....	33
Figura 4. Relação ente os ângulos de incidência.	34
Figura 5. Modelos de padrões de espalhamento em sistema de radar.....	35
Figura 6. Esquema ALOS.....	36
Figura 7. Localização da área de estudo: Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu.....	41
Figura 8. Fluxograma da metodologia adotada na pesquisa.....	44
Figura 9. A - Recorte de imagem Landsat 231/062 (04/08/2007); B – Cena ALOS/PALSAR 8256/7120 (13/08/2007) e limite da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu; C – Cena ALOS/PALSAR com novo limite vetorizado; D – Recorte da área de estudo imagem ALOS/PALSAR em RGB (HH, HV, HH).	45
Figura 10. Pontos de controle distribuídos na área de estudo, Imagem ALOS/PALSAR RGB.	46
Figura 11. A - Imagem sem filtro e B - Imagem com filtro Gamma 3x3.....	47
Figura 12. Escolha das áreas de treino e validação: A - imagem ALOS/PALSAR polarização HH; B - imagem ALOS/PALSAR composição RGB (HH, HV, HH).	49
Figura 13. Classes temáticas definidas em campo 1 (A,B,C,D,E), identificadas nas imagens ALOS/PALSAR 2 (A,B,C,D,E) e no software Google Earth 3 (A,B,C,D,E).....	51
Figura 14. Classificação temática pelo método MAXVER da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu através do conjunto de imagens HH, HV e HH.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Bandas de sensores de radares imageadores.....	32
Tabela 2. Características gerais do modo de imageamento do PALSAR do ALOS.....	37
Tabela 3. Quantidade de regiões de interesse de cada classe temática.....	49
Tabela 4. Valores do Índice de concordância de Kappa.....	53
Tabela 5. Área de cada classe de cobertura na bacia.....	60
Tabela 6. Matriz de confusão derivada da classificação MAXVER.....	61
Tabela 7. Número de fragmentos em cada classe de área da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu.	64
Tabela 8. Índice de forma dos fragmentos da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu.....	66
Tabela 9. Índice de forma dos fragmentos da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu.....	67

ÍNDICE

1. CAPITULO I - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	12
1.1. INTRODUÇÃO.....	12
1.2. OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Geral	16
1.2.2 Específicos.....	16
2. CAPITULO II - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1. BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO	17
2.2. ECOLOGIA DE PAISAGEM.....	17
2.2.1. As duas principais abordagens de paisagem: Geográfica e Ecológica.....	18
2.2.2. Estrutura, composição e configuração da paisagem no âmbito da ecologia da paisagem.....	21
2.3. SISTEMAS SENSORES ATIVOS DE MICROONDAS	29
2.3.1. Propriedades Geométricas	30
2.3.2. Parâmetros do Sistema (RADAR).....	32
2.3.3. Comportamento dos alvos	35
2.4. SATÉLITE AVANÇADO DE OBSERVAÇÃO DA TERRA ALOS/PALSAR	35
2.4.1. Uso e aplicação de dados ALOS/PALSAR.....	37
3. CAPITULO III - MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.1. ÁREA DE ESTUDO	40
3.2. MATERIAIS	42
3.2.1. Imagens ALOS/PALSAR.....	42
3.2.2. Dados auxiliares	42
3.2.3. Aplicativos e equipamentos.....	42
3.3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	44
3.3.1. Pré-processamento.....	44

3.3.2. Seleção da área de estudo e recorte	45
3.3.3. Registro da imagem	45
3.3.4. Filtragem de ruído <i>Speckle</i>	46
3.3.5. Classificação digital da imagem de radar	47
3.3.6. Trabalho de campo	50
3.3.7. Definição de legenda temática.....	50
3.3.8. Avaliação e acurácia temática	52
3.3.9. Pós-Classificação.....	53
3.3.10. Vetorização da imagem	54
3.3.11. Mapeamento de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu	56
3.3.12. Análise da estrutura da paisagem da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu.....	57
4. CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1. MAPEAMENTO DE USO E COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TARUMÃ-AÇU	59
4.1.1. Matriz de confusão da classificação	61
4.2. ANÁLISE DA ESTRUTURA DA PAISAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TARUMÃ-AÇU	63
5. CAPÍTULO V - CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

1. CAPITULO I - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1. INTRODUÇÃO

Sendo constituída de extensas coberturas vegetais, a Amazônia tem registrado em sua história problemas característicos de ocupação tais como desequilíbrios dos recursos naturais e problemas sociais (SOUZA, 2010). Estudos realizados mostram que grande parte das modificações na cobertura da terra na região Amazônica é causada pelo processo de desflorestamento, o qual está fortemente atrelado às questões econômicas e políticas de desenvolvimento aplicados na região amazônica (ALENCAR et al, 2004; FEARNSSIDE, 2003; LAURANCE et al., 2004), os quais já contribuíram para a perda de 17,9% da cobertura florestal primária na região da Amazônia Legal (INPE, 2008).

Segundo Souza (2010), a evolução induzida inicialmente por projetos integrados de colonização e posteriormente transferidos para o sistema de incentivos fiscais desenfreou problemas que convergiram na releitura dos fatores que levaram as interferências impactantes do homem no espaço.

A formação de pastagens, agricultura e exploração madeireira (WATRIN et al. , 1996) foram algumas das atividades propulsoras de desestabilização ambiental de áreas significativas ecologicamente. Principalmente quando expressa mudanças diferenciadas no espaço que agridem o efeito natural da retroalimentação de ecossistemas. O desconhecimento e uso de estratégias inadequadas de manejo de solo, das águas e das florestas foram e ainda são os maiores responsáveis pela degradação dos recursos naturais (BOLZAN e LOCH, 2006).

A Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu, localizada na Zona Oeste da cidade de Manaus, vem sendo ameaçada por dois grandes vetores de degradação ambiental: na margem esquerda, por meio do esgotamento sanitário, e na margem direita, por causa do assoreamento dos corpos d'água, causado pelos desmatamentos ilegais na área do Assentamento do Tarumã-

Mirim, que foi criado pelo INCRA através da Resolução 184/92, em domínio de terras da União (COSTA & BORDALO, 2010).

O estudo dos problemas ambientais torna clara a compreensão de que eles não podem ser entendidos ou tratados de forma isolada. Isto decorre do fato de serem problemas sistêmicos, isto é, estão interligados e são interdependentes (CAPRA, 2001; RAMOS et al., 2004).

Dentro desse contexto, a bacia hidrográfica é vista como um instrumento aferidor das implicações produzidas no uso dos recursos naturais dentro e fora dos seus limites de estabelecimento natural. Já que os rios são coletores naturais das paisagens, refletindo o uso e ocupação do solo de sua respectiva bacia de drenagem (GOULART e CALLISTO, 2003). Entre as peculiaridades tem-se a vegetação, a qual influencia diretamente no processo de erosão, na qualidade da água, na dinâmica de nutrientes, na proteção de mananciais e na produção de água (LINHARES et al., 2005).

Os mapeamentos de uso e cobertura da terra inclusive em áreas de bacias hidrográficas indicam a distribuição geográfica da tipologia de uso as quais são identificadas através técnicas de reconhecimento de padrões homogêneos da cobertura terrestre visando a sua classificação e espacialização através de mapas (IBGE, 2006).

Os estudos de identificação e monitoramento da cobertura da terra com dados de sensoriamento remoto pressupõem que as alterações provocadas na superfície terrestre, sejam elas causadas de forma antrópica ou natural, serão identificadas nas imagens produzidas através de sensores. Sendo uma ferramenta amplamente utilizada pela comunidade científica, esses sensores sejam eles orbitais ou aerotransportados, têm sido empregados com sucesso nas mais variadas áreas do conhecimento, em áreas de grandes extensões territoriais, especialmente na área ambiental, e os mesmos sendo cada vez mais promissores (HYPPA et al. 2000; KERR, 2003).

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).

Segundo Costa (2011), o sensoriamento remoto é a principal fonte de obtenção de informações para estudos de mapeamento e monitoramento de uso e cobertura do solo na região amazônica. Entretanto, 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).

Várias pesquisas foram realizadas utilizando dados de radar, as quais demonstraram o potencial desses dados no monitoramento da cobertura vegetal na região Amazônica (SHIMABUKURO et al., 1998; SAATCHI et al., 2000; FREITAS et al., 2008). Entretanto, a identificação das classes de uso e cobertura através do uso de imagens de radar de abertura sintética (SAR) está condicionada a parâmetros do sensor, como: polarização, banda de imageamento e ângulo de incidência (LECKIE et al., 1998).

Neste contexto, esta pesquisa buscará contribuir realizando o estudo da paisagem do setor sul da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu utilizando imagens do sensor ativo ALOS/PALSAR por meio do mapeamento de uso e cobertura do solo.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Analisar espacialmente a paisagem da bacia hidrográfica do Rio Tarumã-Açu, a partir do uso integrado de produtos e técnicas de sensoriamento remoto, imagens do radar ALOS/PALSAR e geoprocessamento, visando oferecer subsídios ao planejamento de sua ocupação territorial.

1.2.2 Específicos

- Mapear, quantificar e caracterizar a área das classes de cobertura da terra no ano de 2007, utilizando imagens ALOS/PALSAR em multipolarização e banda L;
- Avaliar a paisagem baseado em métricas da paisagem (mancha e matriz) no ano de 2007 da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu.

2. CAPITULO II - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO

Autores possuem diferentes definições para uma bacia hidrográfica, estando estas definições relacionadas aos processos ecológicos aos quais estão envolvidos nesta unidade de paisagem.

Segundo Lima (2008), de uma forma genérica, uma bacia hidrográfica trata-se de toda a área de captação natural da água da chuva que proporciona escoamento superficial para o canal principal e seus tributários.

Já em outra vertente de caracterização de forma mais detalhada, Dill (2007), diz que bacia hidrográfica pode ser entendida como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, aonde sua formação inclui naturalmente a presença de cabeceiras ou nascentes, divisores de águas, cursos d'água principais, afluentes e sub-afluentes.

Os termos bacia e sub-bacias hidrográficas são relativos e tem na sua envergadura o embasamento da lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997.

Assim, Dias (2003), considera a Bacia Hidrográfica, como uma unidade natural de planejamento dos recursos naturais, designando fatores extrapoláveis do funcionamento ambiental. Condicionada por um conjunto de elementos intrinsecamente ligados às condições dos locais inseridos, remete a um sistema aberto de contorno definido, mas que não está em equilíbrio (LIMA, 2008).

Deste modo, torna-se necessário o estudo mais detalhado e adequado na caracterização dos serviços proporcionados por uma bacia hidrográfica, e de seus serviços à sociedade e à própria natureza, buscando sua utilização de maneira sustentável.

2.2. ECOLOGIA DE PAISAGEM

Segundo Metzger (2001), a ecologia de paisagem ainda é considerada como uma nova área de conhecimento dentro da ecologia, marcada pela existência de duas principais

vertentes: uma geográfica, que privilegia o estudo da influência do homem sobre a paisagem e a gestão do território; e outra ecológica, que enfatiza a importância do contexto espacial sobre os processos ecológicos, e a importância dessas relações em termos de conservação biológica (SOUZA, 2010). Estas abordagens apresentam conceitos e definições distintas e por vezes conflitantes, que dificultam a concepção de arcabouço teórico comum (METZGER, 2001).

Por isso, nos próximos tópicos serão apresentados conceitos de autores a respeito das duas principais abordagens da ecologia de paisagens e de como a mesma encontra-se estruturada, composta e configurada.

2.2.1. As duas principais abordagens de paisagem: Geográfica e Ecológica

Devido ao seu duplo nascimento, a ecologia de paisagens caracteriza-se por possuir duas visões distintas da paisagem.

O primeiro surgimento da ecologia de paisagens foi impulsionado por Carl Troll e por pesquisadores, essencialmente geógrafos, da Europa Oriental e da Alemanha. Neste sentido, a paisagem é definida por Troll (1971) como "a entidade visual e espacial total do espaço vivido pelo homem". Ficando clara a preocupação com o estudo das inter-relações do homem com o seu espaço de vida e com as aplicações práticas na solução de problemas ambientais (BARRETT e BOHLEN, 1991; NAVEH e LIEBERMAN, 1994). A paisagem neste contexto visa à compreensão global da paisagem e o ordenamento territorial.

Na década de 1980, biogeógrafos e ecólogos americanos procuravam adaptar a teoria da biogeografia de ilhas para o planejamento de reservas naturais em ambientes continentais, o que possivelmente impulsionou o segundo surgimento da ecologia de paisagens. Essa abordagem ecológica, contrariamente à primeira, dá maior ênfase às paisagens naturais ou a unidades naturais da paisagem, à aplicação de conceitos de ecologia de paisagens para a conservação da diversidade biológica e ao manejo de recursos naturais, e não enfatiza obrigatoriamente macro-escalas (METZGER, 2001).

Devido a esses dois surgimentos distintos, as definições de ecologia de paisagens variam em função da abordagem (geográfica ou ecológica) e dos autores. A ecologia de paisagens é entendida como: o estudo da estrutura, função e dinâmica de áreas heterogêneas compostas por ecossistemas interativos (FORMAN e GODRON, 1986); uma área de conhecimento que dá ênfase às escalas espaciais amplas e aos efeitos ecológicos do padrão de distribuição espacial dos ecossistemas (TURNER, 1989); uma ciência interdisciplinar que lida com as interações entre a sociedade humana e seu espaço de vida, natural e construído (NAVEH e LIEBERMAN, 1994).

Em uma conceituação mais abrangente, em relação às definições anteriores, Metzger (2001), propõe que a paisagem seja definida como "um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo esta heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador e numa determinada escala de observação".

Dentro da abordagem "geográfica" de ecologia de paisagens, o mosaico heterogêneo estará sendo visto através dos olhos do homem, de suas necessidades, anseios e planos de ocupação territorial. Como o homem age em amplas extensões de seu território, neste caso a ecologia de paisagens lida obrigatoriamente com escalas espaciais (e, por conseguinte, temporais) amplas, podendo ter vários quilômetros quadrados (FORMAN, 1995). Segundo Metzger (2001), o conjunto interativo da paisagem é então composto por "ecossistemas" ou por unidades de "cobertura" ou de "uso e ocupação do território", sendo que a escolha de uma dessas três formas de representar as unidades da paisagem é feita (arbitrariamente) pelo observador.

Cada conjunto interativo, caracterizado por uma composição em unidades e um padrão espacial, forma uma paisagem (METZGER, 2001).

Segundo Metzger (2001), na abordagem "ecológica", o mosaico é considerado como um conjunto de habitats que apresentam condições mais ou menos favoráveis para a espécie

ou a comunidade estudada. Desta forma, o olhar sobre a paisagem é feito através destas espécies, de suas características biológicas, em particular de seus requerimentos em termos de área de vida, alimentação, abrigo e reprodução. Dentro desta perspectiva a escala espaço-temporal de análise não é obrigatoriamente ampla, como na primeira abordagem, pois ela depende da escala de ação/percepção da espécie/comunidade em estudo. Assim, Metzger (2001), diz: para um gafanhoto pode existir um mosaico de manchas interativas numa área de apenas 4 km² de extensão, sendo esse mosaico formado por manchas mais ou menos densas de herbáceas. Por outro lado, se considerarmos o mosaico de habitats para uma onça-parda (*Puma concolor*), este pode ser definido em escalas espaciais semelhantes às usadas para a ocupação humana (METZGER, 2001).

A definição das unidades e da extensão do mosaico depende das espécies: um mesmo espaço geográfico pode ser percebido como paisagens (mosaicos interativos) totalmente diferentes em função das características destas espécies. O ponto central da análise em ecologia de paisagens é o reconhecimento da existência de uma dependência espacial entre as unidades da paisagem: o funcionamento de uma unidade depende das interações que ela mantém com as unidades vizinhas. De acordo com Metzger (2001), a ecologia de paisagens seria assim, uma combinação de uma análise espacial da geografia com um estudo funcional da ecologia, podendo ser entendida como uma ecologia de interações espaciais entre unidades da paisagem.

O principal interesse da ecologia de paisagens está relacionado com a heterogeneidade. No entanto, o reconhecimento da homogeneidade ou heterogeneidade de um objeto está diretamente ligado à questão da escala: praticamente qualquer porção da terra é homogênea em uma escala mais abrangente e heterogênea quando vista numa escala mais detalhada (Figura 1).

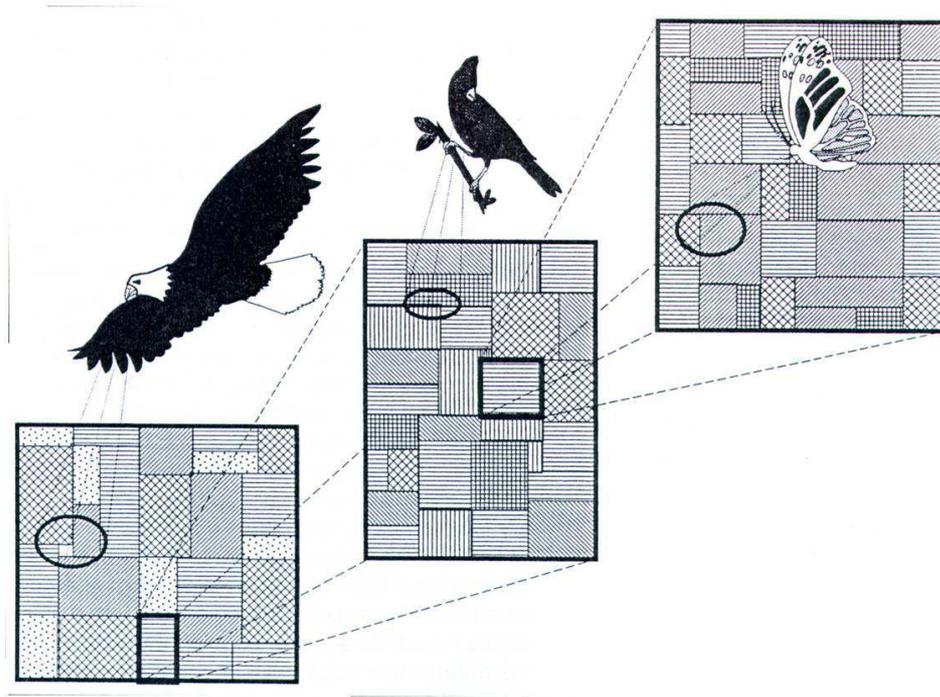


Figura 1. Escalas em diferentes visões de espécies

Fonte: Metzger, 2007.

A palavra escala é utilizada para se referir a diferentes noções: a escala espacial inclui um aspecto de extensão no espaço; a escala temporal inclui também um aspecto de duração e resolução; a escala geográfica indica as dimensões de representação de um objeto no solo; a escala de percepção das espécies refere-se à escala espacial e temporal na qual a espécie em estudo percebe ou interage com a paisagem (METZGER, 2001)

2.2.2. Estrutura, composição e configuração da paisagem no âmbito da ecologia da paisagem

Segundo a ecologia de paisagem, a estrutura de uma paisagem é composta por três tipos distintos de elementos: Manchas (áreas, polígonos), Corredores e Matriz. Estes elementos base são a raiz cognitiva que permite a comparação entre paisagens distintas, permitindo desenvolver princípios gerais. A linguagem espacial torna-se evidente quando se considera como as manchas, corredores e matriz se combinam para formar a variedade de mosaicos de terra (DRAMSTAD et al., 1996).

Casimiro (2008) realizou em seus estudos a apresentação dos conceitos e princípios que permitem a quantificação da paisagem, tanto na sua composição como configuração, segundo os paradigmas da ecologia de paisagem. Algumas definições no que diz respeito a este tema foram elaboradas pelo referido autor e outras apenas citadas pelo mesmo, como segue nos próximos parágrafos deste tópico.

Segundo Casimiro (2008) as **manchas** podem ser definidas como uma superfície não linear, diferindo em aparência da sua vizinhança. As manchas variam largamente em termos de tamanho, forma, tipo, heterogeneidade e características de fronteira. Além disso, as manchas estão por vezes embebidas numa matriz, área circundante que possui uma diferente estrutura de espécie ou composição. Normalmente, as manchas na paisagem são comunidades de plantas ou animais, isto é, conjuntos de espécies. Contudo, algumas manchas podem não ter vida, ou conterem somente microrganismos, sendo então caracterizadas mais proeminentemente pela presença, por exemplo, de rocha, solo, pavimento ou edifícios (FORMAN e GODRON, 1986).

As origens das manchas, segundo Casimiro (2008), podem ser várias, em função de mecanismos causais ou origem. Entre elas estão:

- **Manchas de perturbação** - originadas de deslizamentos, temporais, sobrepastoreio, exploração florestal, fogos e queimadas, minas a céu aberto, entre outras.
- **Manchas remanescentes** - perturbação generalizada em torno de uma pequena área, que escapa a essa perturbação, o "negativo" do mecanismo das manchas de perturbação. Reminiscência da comunidade anterior (à perturbação) de plantas e animais, encaixada na matriz que foi perturbada.
- **Manchas de regeneração** - um setor integrado numa área de perturbação crônica liberta-se dessa perturbação, permitindo a recuperação.

- **Manchas de recurso ambiental** - ao invés das manchas de perturbação, são manchas estáveis e não relacionadas com perturbação, que constituem áreas colonizadoras e de manutenção de espécies.
- **Manchas introduzidas** - introdução humana de organismos (plantas, animais, pessoas, usos). Subdividem-se em: plantadas (nomeadamente atividades agrícolas, florestais ou jardins), casas e habitações (perturbação que envolve a eliminação parcial ou total do ecossistema natural nesse ponto).
- **Manchas efêmeras** - concentrações sazonais e/ou momentâneas de espécies vegetais / animais (migrações, floração, abate de árvores).

Ainda segundo Casimiro (2008), as manchas podem ser influenciadas por alguns aspectos:

- **Tamanho** - a dimensão de cada mancha influencia em nível de energia e nutrientes disponíveis e o número, tipo e fluxo de espécies.
- **Forma** - o significado mais importante da forma prende-se com o efeito da margem: quanto mais irregular a forma, maior será a proporção de áreas de margem que têm características próprias de grande diversidade e dinâmica, mas diferentes das comunidades do interior de manchas. Uma mancha circular tem potencialmente maior diversidade de espécies, menos barreiras no seu interior e apresenta uma maior eficácia em termos de alimentação para os animais no seu interior.

Os **corredores** para efeitos de transporte, proteção, recursos e efeitos estéticos penetra quase todas as paisagens de uma forma ou outra (FORMAN e GODRON, 1986). Os corredores desempenham cinco tipos de funções: habitat, conduta, filtro, sumidouro e fonte. As conexões propiciadas entre os fragmentos de habitat pelos corredores ecológicos são de grande importância para as dinâmicas das populações silvestres, pois do fluxo gênico entre subpopulações depende a manutenção da variabilidade genética da população regional

(Forman 1995). Segundo Metzger (2001), o corredor pode ser definido como: área homogênea e linear da paisagem que se distingue das unidades vizinhas. Funções presumíveis dos corredores:

- **facilitar fluxos** hídricos e biológicos na paisagem;
- **reduzir os riscos de extinção** local e **favorecer as recolonizações** (ou o efeito de resgate), aumentando assim a sobrevivência das metapopulações;
- **suplemento de habitat** na paisagem;
- **refúgio** para a fauna quando ocorrem perturbações;
- **facilitar a propagação de algumas perturbações**, tais como o fogo ou certas doenças.

Além das funções designadas aos corredores, estes também podem apresentar formas distintas como: a) corredores em linha, formado exclusivamente por habitat de borda, portanto ocupado apenas por espécies típicas de borda; b) corredores em faixa, podendo conter habitats e espécies tanto de borda como de interior dependendo de sua largura e c) corredores de mata ciliar, o qual possui um ecossistema peculiar de espécies ribeirinhas, mas que também permite o fluxo de espécies de interior e borda (FORMAN, 1983).

Outro fator importante em um corredor ecológico é a sua qualidade, que irá depender do tamanho, da largura e do grau de cobertura que possui. Henein e Merriam (1990) avaliaram a importância da qualidade de corredores através de modelagem de populações e revisão da literatura. Desta avaliação verificou-se que um corredor com alta qualidade (bastante largo e com cobertura vegetal em fases sucessionais adiantadas) é ideal para a propagação do fluxo de espécies. Os autores também concluíram que a existência de um corredor de baixa qualidade (estreito ou com cobertura vegetal perturbada) é melhor que a ausência de conexão entre os fragmentos.

A qualidade do corredor pode impedir ou facilitar o movimento de algumas espécies, como acontece, por exemplo, com corredores de eucaliptos, pelo qual, muitas espécies de aves florestais não se movimentam de um fragmento de floresta natural a outro, tornando-se uma barreira potencial para estas espécies. Porém, o mesmo corredor permite o fluxo de algumas outras espécies, que em geral estão mais adaptadas aos processos antrópicos (DÁRIO, 1999).

Apesar das muitas utilidades dos corredores, não existe respaldo científico para afirmar que os corredores podem evitar a extinção ou até mesmo preveni-la, embora alguns trabalhos já tenham conseguido demonstrar que em muitos casos os corredores são utilizados como canal de fluxo para algumas espécies (TISCHENDORF et al., 1998; MACHTANS et al., 1996). Wike et al. (2000) comprovaram a eficácia de corredores de vegetação ribeirinha como promotores de fluxo de pequena escala de indivíduos de populações de pequenos mamíferos.

Segundo Maia Santos (2002), o que existe de concreto a respeito de corredores é a discussão a respeito das vantagens e desvantagens que eles apresentam. Existe também, um grande questionamento a respeito da eficiência dos corredores e se os mesmos representam a melhor forma de fluxo entre fragmentos (SIMBERLOFF e COX, 1987). Noss (1987) listou as potenciais vantagens e desvantagens de corredores.

Vantagens:

- Aumento da taxa de imigração, que pode levar a um aumento ou manutenção da riqueza de espécies e diversidade;
- Aumento no tamanho das populações e espécies diminuindo a probabilidade de extinções locais e prevenindo a depressão endogâmica, o que garante a manutenção da variabilidade genética na espécies;

- Aumento da área de forrageamento das espécies, fornecendo uma gama extensiva de recursos;
- Aumento da área de cobertura para manter a relação predador-presa estável, permitindo o movimento por vários fragmentos;
- Proporcionamento de uma mistura de habitats que permite uma melhor organização successional nas diversas fases da vida de várias espécies;
- Proporcionamento de refúgios alternativos durante grandes perturbações e/ou catástrofes, como fogo ou pragas e,
- Diminuição da poluição provinda dos grandes centros urbanos.

Desvantagens:

- Aumento da taxa de imigração pode facilitar a expansão de epidemias, pestes de insetos e espécies exóticas, ervas daninhas, espécies invasoras, entre outras que sejam indesejáveis;
- Diminuir o nível de variação genética entre as populações e subpopulações ou romper adaptações locais;
- Facilitar a expansão de fogo e de outras perturbações bióticas e abióticas como catástrofes ou doenças e;
- Aumentar a exposição da vida selvagem a caçadores e/ou outros predadores.

Segundo Casimiro (2008), a **matriz** constitui, embora não de forma aparente, o elemento mais importante para a análise e compreensão efetiva da estrutura da paisagem. Por definição, a matriz é o tipo de paisagem mais extenso e mais conectado, que, portanto desempenha um papel dominante no funcionamento da paisagem. A sua definição não é fácil, sendo subjetiva e deve obedecer aos seguintes critérios:

- **Área relativa** - quando um tipo de elemento da paisagem é consideravelmente mais extenso que os outros, parece lógico considerá-lo a matriz;

- **Conectividade** - a matriz é o elemento mais conectado com os restantes tipos de manchas;
- **Controle da dinâmica** - a matriz exerce um maior controle na dinâmica da paisagem, dando origem à paisagem futura.

A composição da paisagem descreve a qualidade e quantidade de elementos (manchas) que compõem. Em outras palavras, a composição da paisagem engloba a variedade e abundância dos tipos de manchas na paisagem, mas não a posição e localização dessas mesmas manchas no mosaico, sendo por isso descrita numericamente e não espacialmente, portanto não é espacialmente explícita. Existem múltiplas formas de quantificar a composição: proporção de paisagem por tipo de manchas, riqueza de manchas, equidade de distribuição de manchas, diversidade de manchas entre outras (CASIMIRO, 2008).

A configuração da paisagem, segundo Casimiro (2008), descreve a distribuição física das manchas da paisagem. Algumas variáveis consideradas são isolamento das manchas, dimensão e forma de área interna das manchas, justaposição e distância entre manchas do mesmo tipo ou complexidade da fronteira, que descrevem o caráter espacial das manchas. Alguns índices são espacialmente explícitos somente porque representam, ao nível da paisagem, a localização relativa individual das manchas, reconhecendo que os processos ecológicos e organismos são afetados pela inter-dispersão e justaposição de tipos de manchas numa paisagem (CASIMIRO, 2008).

Em termos de métricas da paisagem existem quatro grandes tipos de índices, espacialmente explícitos ou não. Entre estas métricas estão:

- **Forma** - dimensão das manchas
 - Área total por tipo de mancha;
 - Proporção ocupada pela maior mancha;
 - Número de manchas e dimensão média das manchas.

- **Complexidade** - irregularidades

Índice de forma da paisagem;

Índice de forma ponderado pela área.

- **Arranjo** - organização espacial

Distância média à mancha mais próxima;

Índice médio de proximidade.

- **Diversidade**

Índice de diversidade de Shannon;

Índice de equidade de distribuição de Shannon.

A composição e a estrutura da paisagem mudam continuamente no espaço e no tempo. Essas mudanças podem ser atribuídas às complexas interações entre o ambiente natural, diversos organismos e as atividades humanas, resultando na quebra da estabilidade dos elementos individuais no sistema da paisagem e, conseqüentemente, na sua estrutura espacial (LU et al., 2003).

Para Pivello e Metzger (2007), devido o seu caráter recente, a ecologia de paisagem ainda se encontra em fase de organização e solidificação dos seus conceitos, o que levou a evoluir também na direção de um estudo integrado dos padrões texturais da paisagem e dos processos de que resultaram (BUNCE e JONGMAN, 1993), conferindo à Ecologia de Paisagem grande importância no estudo da estrutura, da função e das mudanças da paisagem (FORMAN e GODRON, 1986; NAVEH e LIEBERMAN, 1989).

Tomando como embasamento a ideia de Forman e Godron (1986), que aproxima a ecologia de paisagem a uma representatividade metodológica de unidades de usos e de cobertura de solo e de McGarigal e Marks (1995) que vincula paisagem, num padrão espacial de manchas, onde pode variar de tamanho, dependendo do ponto de vista do organismo para o qual ele está centrado e dos processos que o geraram, dependendo das escalas temporais e

espaciais que estão atuando, faz-se uso do geoprocessamento como instrumento de estudo destes elementos (SOARES FILHO, 1998).

Atualmente, a utilização de ferramentas eficazes das geotecnologias, como o sensoriamento remoto e o geoprocessamento, viabilizam a análise da qualidade dos elementos de uma determinada paisagem (LIMA et al., 2004). Segundo Soares Filho (1998), isso é possível através do mapeamento dos padrões de fragmentos pelo sensoriamento remoto e pelo geoprocessamento, bem como da análise de suas relações espaciais, podendo não só caracterizar distintas paisagens, mas também inferir sobre os processos que a resultaram, dando sentido ao monitoramento dos processos dinâmicos da paisagem que leve a uma melhor compreensão do uso e distribuição dos recursos naturais.

Nesta pesquisa foram utilizados os elementos da paisagem de matriz e manchas. Nas métricas de forma, que trabalham as dimensões das manchas, foram utilizados os valores de área total das manchas, número de manchas e dimensão média das manchas. Nas métricas de complexidade foi utilizado o índice da área das manchas. Nesta pesquisa não foi trabalhado o elemento corredor da paisagem.

2.3. SISTEMAS SENSORES ATIVOS DE MICROONDAS

Os radares (*Radio Detection and Ranging* - Radar) são definidos como sistemas sensores ativos para a detecção e localização de alvos que geram sua própria radiação na faixa das microondas e realizam detecção em faixas de rádio e medição de distância, cujos comprimentos de onda variam de 1 cm a 1,5 m (0.3 a 300 GHz) (SABINS, 1996).

O princípio de funcionamento dos radares baseia-se na medição do tempo de propagação que uma radiação eletromagnética emitida pelo próprio radar, leva para atingir um alvo e retornar. Van der Sanden (1997), explica que são denominados sensores ativos, pois emitem radiação eletromagnética e captam a porção dessa radiação que é espalhada pelos alvos na direção do sensor.

Segundo Oliver e Quegan (1998), quando se pretende extrair informações de uma imagem de radar é necessário considerar que a mesma possui dois tipos de propriedades.

A primeira relaciona-se com as características do alvo, onde os parâmetros que influenciam no sinal de retorno estão diretamente relacionados com as propriedades geométricas e dielétricas dos objetos, como umidade do solo, rugosidade da superfície, relevo, estrutura da vegetação e quantidade de água presente nas folhas verdes (PARADELLA et al., 2000; ULABY et al., 1982).

A segunda propriedade é referente às características instrumentais do sistema, a qual dependendo da configuração, a capacidade de discriminação de um determinado alvo na imagem pode ser melhor ou pior.

Deste modo, os atributos do sinal retroespalhado são:

1. Comprimento de onda - correspondendo à distância que a onda trafega no tempo requerido para gerar um ciclo;
2. Amplitude - a qual se refere ao máximo desvio em altura da onda e é um indicador da intensidade do sinal;
3. Fase - parâmetro que descreve a posição de um ponto de vibração no senóide e direção de movimento em relação a um Datum ou posição de referência, variando de 0 a 2π (VAN DER SANDEN, 1997).

Um radar executa três funções básicas: transmite um pulso de microondas na direção do alvo; recebe a porção refletida do pulso transmitido após este ter interagido com o alvo; registra a potência, a variação temporal e o tempo de retorno do pulso retroespalhado (NOVO, 2008).

2.3.1. Propriedades Geométricas

A plataforma que transporta o sensor radar move-se de acordo com a sua órbita (radar orbital) ou direção de voo (radar aerotransportado). A largura do pulso de microondas

transmitido possui relação direta com o tamanho da antena utilizada pelo sistema de radar, assim como, a resolução na direção do voo (COSTA, 2011).

Segundo Leckie e Ranson (1998), a interação do sinal emitido por radar em ambiente florestal pode ocorrer de forma variada, dependendo da combinação das respostas geradas pelos diferentes mecanismos de espalhamento ocasionados pela interação do solo, troncos, copa das árvores (Figura 2).

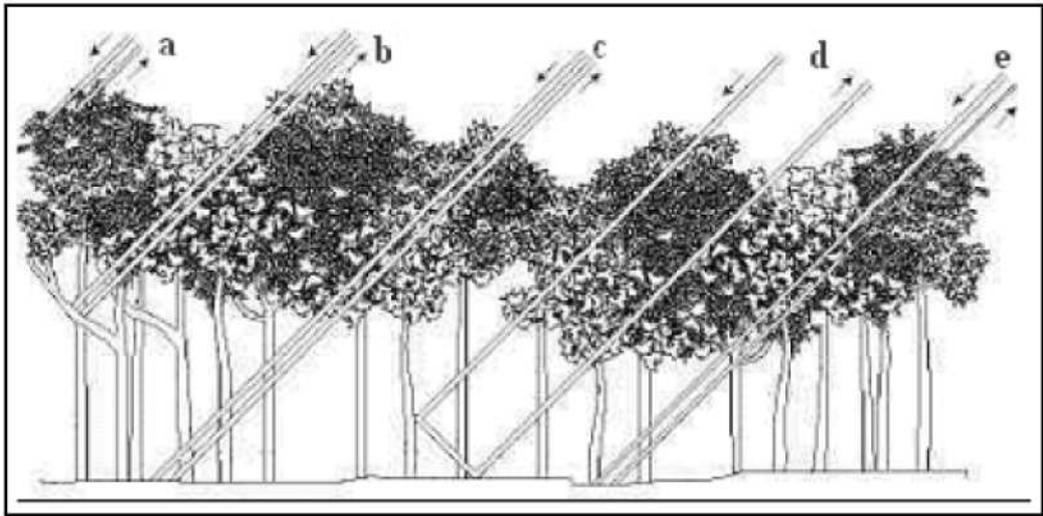


Figura 2. Tipos de Mecanismos de retroespalhamento em ambientes florestais.

Fonte: Ulaby et al. (1984) e Kuplich (2003).

O retroespalhamento total de alvos florestais pode incluir os mais variados mecanismos de espalhamento. De acordo com Henderson e Lewis (1998), estes mecanismos compreendem:

- (a) o retroespalhamento direto da copa, incluindo o espalhamento múltiplo dentro da copa (espalhamento volumétrico);
- (b) o retroespalhamento direto do tronco (geralmente pequeno);
- (c) o retroespalhamento direto do solo;
- (d) o retroespalhamento da interação copa-solo;
- (e) o retroespalhamento da interação tronco-solo (*double bounce*).

Segundo estes autores, a magnitude de cada componente de retroespalhamento irá depender do comprimento de onda do radar, da polarização, do ângulo de incidência e de uma grande diversidade de parâmetros do terreno e da vegetação.

2.3.2. Parâmetros do Sistema (RADAR)

Sistemas radares possuem parâmetros próprios, os quais irão influenciar na aquisição da imagem.

a. Comprimento de onda (λ)

A magnitude do coeficiente de retroespalhamento dos alvos está diretamente relacionada ao comprimento de onda, devido esta definir a ordem de grandeza dos efeitos oriundos da rugosidade superficial e constante dielétrica dos alvos (ULABY et al., 1986; LEWIS et al., 1998).

O nível de penetração do sinal de microondas em dossel florestal dependerá do comprimento de onda utilizado e das condições dielétricas do alvo (LE TOAN et al., 1992; KUPPLICH, 2003). Os sinais com frequências baixas possuem o maior poder de penetração, e sofrem interferências da constante dielétrica do meio, devido à umidade. Na Tabela 1 estão relacionados os nomes das bandas de radar com seus respectivos comprimentos de ondas e frequências.

Tabela 1. Bandas de sensores de radares imageadores.

Bandas	Λ (cm)	Frequência (GHZ)
X	2,4 a 3,8	8 a 12,5
C	3,8 a 7,5	4 a 8
S	7,5 a 15	2 a 4
L	15 a 30	1 a 2
P	75 a 133	0,2 a 0,4

Fonte: Jensen (2000).

b. Polarização

A polarização é definida pelo vetor campo elétrico (E), frequentemente linear e dependendo da orientação da onda de radar, transmitida e recebida, pode gerar diferentes tipos

de imagens. Isto permite trabalhar com dados polarizados horizontalmente (H), verticalmente (V) ou com polarização cruzada (HV). Em sistemas de radar as polarizações são descritas nas seguintes formas:

HH: transmissão na horizontal e recepção na horizontal;

VV: transmissão na vertical e recepção na vertical;

HV: transmissão na horizontal e recepção na vertical;

VH: transmissão na vertical e recepção na horizontal.

Segundo Costa (2011), as imagens de radar podem ser geradas por uma única polarização (modo univariado), duas polarizações (modo dual) ou ainda com quatro polarizações (modo quad-pol). A polarização univariada ocorre quando o sistema de radar é programado para emitir e receber apenas um tipo de sinal, como por exemplo, a polarização HH. Já uma polarização dual (bivariada) acontece quando duas combinações de sinais transmitidos e recebidos, por exemplo, a polarização HH, HV. Quando ocorre o imageamento com modo de aquisição programado com quatro combinações de sinais transmitidos e recebidos, neste caso, os dados são do tipo multipolarizados (quad-pol) com polarizações HH, HV, VH, VV (Figura 3). Durante o processo de interpretação de imagens de radar o número de polarizações disponíveis contribuirá significativamente para o resultado, pois facilitará a identificação de padrões dos alvos na superfície imageada (COSTA, 2011).

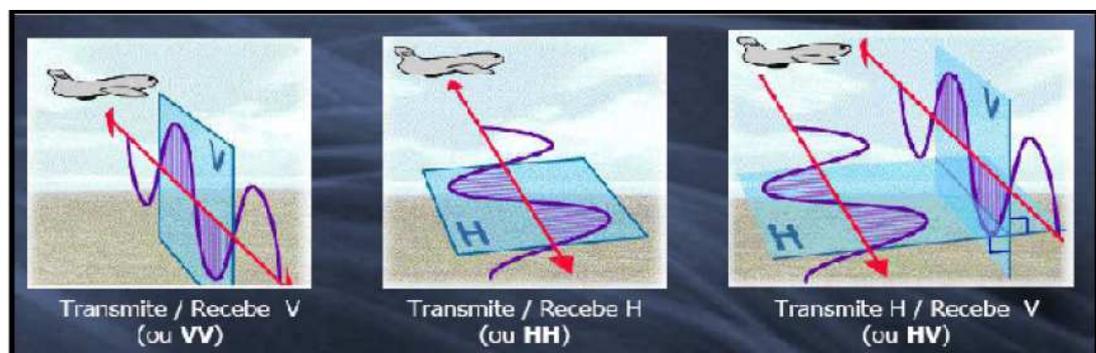


Figura 3. Modos de imageamento de radar polarimétrico.

Fonte: CCRS (2009).

Os primeiros radares imageadores possuíam a capacidade de operar com um único canal e com uma única antena fixa com a finalidade de emitir e receber os sinais de microondas, tal configuração permite registrar somente os dados em sinal de amplitude recebido pela antena (ex.: componentes V e/ou H) (PARADELLA et al., 2005).

Segundo Costa (2011), radares que operam em único canal, não possuem a capacidade de medir as propriedades dos alvos em sua plenitude, que são descritas pelas assinaturas polarimétricas. Tais informações podem ser adquiridas somente utilizando radares multipolarizados, pois transmitem comprimentos de ondas em ambas as polarizações H e V, além de registrar as informações de amplitude e de fase do sinal recebido. Dentre os sensores de radares orbitais polarimétricos podem ser citados: o RADARSAT-2 e ALOS/PALSAR, e como exemplo de radar aerotransportado o SAR/R99.

c. Ângulo de incidência (θ_i)

O ângulo de incidência é formado pela direção perpendicular à superfície terrestre e o feixe que incide do sinal de onda transmitida. A variação ocorre de acordo com o tipo de terreno imageado, a altitude da plataforma (orbital ou aerotransportada) que o sistema está acoplado gera forte efeito sobre a geometria de imageamento (Figura 4). Os sistemas orbitais normalmente operam em altitudes entre 600-800 km, enquanto os aerotransportados entre 3-12 km (COSTA, 2011).

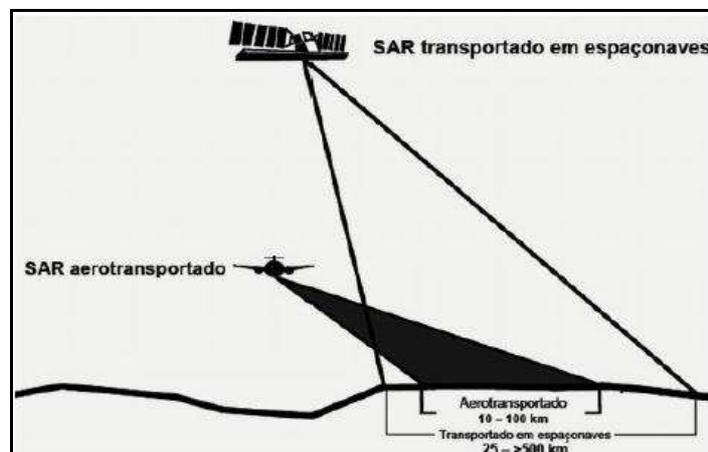


Figura 4. Relação entre os ângulos de incidência.
Fonte: Costa (2011).

2.3.3. Comportamento dos alvos

Ulaby et al. (1982), classifica as superfícies imageadas de acordo com o padrão do retroespalhamento nas seguintes categorias:

- (i) Lisa: quando a superfície reflete a energia incidente de forma especular, com ângulo de reflexão na direção oposta ao ângulo de incidência;
- (ii) Intermediária: energia refletida de forma difusa pela superfície;
- (iii) Rugosa: a energia incidente é retroespalhada em várias direções de forma homogênea.

Os tipos de retroespalhamento encontram-se ilustrados na Figura 5.



Figura 5. Modelos de padrões de espalhamento em sistema de radar.

Fonte: Ulaby et al. (1972).

2.4. SATÉLITE AVANÇADO DE OBSERVAÇÃO DA TERRA ALOS/PALSAR

No último dia 12 de Maio de 2011, após três semanas de intensas tentativas por parte da JAXA para se comunicar com o satélite ALOS, seguindo os problemas ocorridos nos sistemas de geração de energia do satélite em 22 de abril de 2011, foi finalmente decidido o envio de um comando para o satélite para desligar o seu transmissor de bordo e o sistema de baterias. Assim, o satélite ALOS encerra a sua vida útil, pois ficou impossível restabelecer a comunicação com o mesmo (ENGESAT, 2011).

Lançado em 24 de Janeiro de 2006 pela Agência Espacial Japonesa (JAXA), o satélite para observação da Terra ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), foi desenvolvido para contribuir com pesquisas relacionadas ao sensoriamento remoto, uso e cobertura do solo, monitoramento de desastres e análise de recursos naturais, podendo ser empregado como busca no incremento de informações sobre as tecnologias de observação da Terra adquiridas no desenvolvimento e utilização de seus antecessores JERS-1 (*Japanese Earth Resources Satellite*) e ADEOS (*Advanced Earth Observation Satellite*) (SHIMADA, 2007).

O ALOS descreve uma órbita circular heliossíncrona a 692 km de altitude, com um período de revisita a um mesmo ponto do planeta de 46 dias. Conforme esquemático na figura 9, o ALOS é caracterizado por possuir três sensores (Figura 6) o PRISM (*Panchromatic Remotesensing Instrument for Stereo Mapping*), com 2,5 metros de resolução espacial com a finalidade de calcular com precisão a elevação da Terra por meio de três sistemas ópticos, o AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer*), com resolução espacial de 10 metros e funcionalidade de observar a cobertura da superfície terrestre e o PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*), o qual é um radar imageador de abertura sintética que opera em banda L (23,6 cm) e possibilita a observação da Terra independente do horário e condição climática (IBGE, 2007).

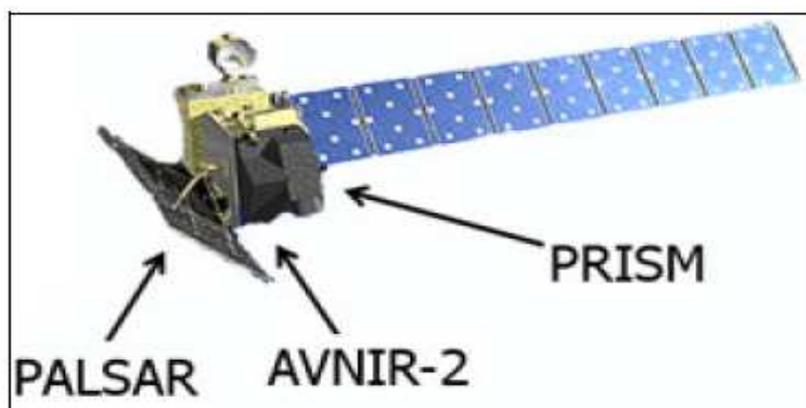


Figura 6. Esquema ALOS.

Fonte: JAXA (2008).

Neste estudo, foram utilizadas imagens do PALSAR do ALOS, cujas características gerais do sensor encontram-se descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Características gerais do modo de imageamento do PALSAR do ALOS.

Modo	Fino		ScanSar	Polarimétrico
Frequência	1270 MHz (Banda L)			
Largura da banda	28 MHz	14 MHz	14 MHz, 28 MHz	14 MHz
Polarização	HH ou VV (FBS)	HH + HV ou VV + VH (FBD)	HH ou VV	HH + HV + VH + VV (PLR)
Ângulo de incidência	8° ~ 60° (34.3°)	8° ~ 60° (34.3°)	18° ~43°	8° ~ 60° (21.5°)
Resolução em alcance (range)	7m ~ 44m (10m)	14m ~ 88m (20m)	100 m (multilook)	24m ~ 89m (30m)
Largura da faixa	40km~ 70km (65 km)	40km ~ 70km (65 km)	250km ~ 350km (350 km)	20km ~ 65km (25 km)
Taxa de transmissão de dados	240 Mbps	240 Mbps	120 Mbps ou 240 Mbps	240 Mbps

Fonte: IBGE, 2007.

O PALSAR possui resolução espacial que varia de 10 a 100 metros e capacidade de operação em cinco modos de operações diferentes: o modo de polarização Fino com feixe único - FBS (*Fine Beam Single polarization*), modo de polarização Fino com feixe duplo - FBD (*Fine Beam Dual polarization*), modo Polarimétrico – PLR (*Polarimetric mode*), modo ScanSar (*ScanSar mode*) e modo de transmissão direta – DT (*Direct Transmission*). O uso de um arranjo de antenas permite também que a fase relativa do sinal que chega à antena seja registrada e transformada em informação sobre a superfície (ROSENQVIST et al., 2007). Neste trabalho a resolução espacial do sensor é de 12,5 metros.

2.4.1. Uso e aplicação de dados ALOS/PALSAR

Neste tópico do trabalho será realizada a revisão de alguns trabalhos realizados utilizando dados provenientes do ALOS/PALSAR.

Uma quantidade considerável de pesquisas foi realizada com o objetivo de investigar o potencial dos dados de radar para discriminar classes de uso e cobertura do solo e detectar

mudança de cobertura. Em geral, os trabalhos empregaram dados SAR e PolSAR adquiridos nas bandas X, L, C e P e diferentes técnicas de classificação automática para distinguir tipos florestais, identificar estágios de sucessão florestal, delinear áreas desflorestadas, áreas afetadas por fogo, florestas degradadas, entre outros.

Estudos de ecossistemas tem sido o principal tema de investigação relacionado às aplicações florestais. Devido à capacidade de penetração das microondas no dossel e à sensibilidade do retroespalhamento ao conteúdo de água da vegetação o radar tem sido bastante utilizado em aplicações florestais (SUN E RANSON, 2002).

Comparações entre imagens ópticas e de radar sugerem que imagens SAR banda L podem ser uma fonte complementar de informações para mapear mudanças de cobertura da terra na Amazônia, especialmente no monitoramento de áreas cobertura de nuvens freqüente (SHIMABUKURO et al., 2007). Investigações preliminares com imagens ALOS/PALSAR mostraram que a resposta nestas imagens é sensível tanto ao corte raso, quanto à degradação florestal na Amazônia (VALERIANO et al, 2008).

Aboud Neta et al. (2009) trabalhando com dados do ALOS/PALSAR constatou que com a utilização de polarização dual, foi possível obter uma melhoria na classificação de uso e cobertura da terra em comparação com polarização HH do sensor JERS-1. As regiões de interesse foram melhores classificadas devido à combinação de dois canais formando as polarizações HH+HV e HV+VV, tal combinação contribuiu na diminuição do erro de classificação.

Prado (2009) analisou dados ALOS/PALSAR na identificação dos tipos de cobertura da Terra na região norte do estado do Mato Grosso, utilizou alguns classificadores, entre os quais o algoritmo Maxver e ICM cujo melhor resultado encontrado foi obtido pela combinação de polarização HH e HV, que foram validadas com o auxílio por interpretação visual de imagem Landsat 5/TM. O referido autor pode concluir que os resultados obtidos

através da análise exploratória e classificações demonstraram uma clara identificação da classe agricultura, mas grande confusão da diferenciação das classes de floresta, principalmente entre a classe floresta secundária e floresta degradada, independentemente dos dados ou algoritmo empregado, o que confere uma limitação aos dados ALOS/PALSAR para a identificação das classes de cobertura da terra definidas.

Devido aos resultados encontrados nas pesquisas citadas e demais disponíveis nas literaturas atuais, espera-se com este trabalho contribuir no desenvolvimento das aplicações do sensor ALOS/PALSAR em especial no estudo da ecologia de paisagens na região Amazônica.

3. CAPITULO III - MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Manaus, capital do Estado do Amazonas está situada à margem esquerda do rio Negro, a 18 km à montante de sua confluência com o rio Solimões. Está localizada a 3° 8' 7" de latitude Sul e a 60° 18' 34" de longitude a Oeste de GREENWICH. A sua altitude é de 21m acima do nível do mar.

Os limites da cidade de Manaus são com os municípios de Itacoatiara, Iranduba, Careiro, Rio Preto da Eva, Presidente Figueiredo e Novo Airão. Possui uma superfície de 11.401 km², destes 377 km² representam a área urbana, o que corresponde a 3,3% do território municipal (BÜHRING et al, 2006). A população do município no ano de 2007 era de 1.646.602 habitantes o que representa uma densidade demográfica de 144,42 habitantes por quilômetro quadrado SEPLAN (2007).

O clima é caracterizado como tropical chuvoso, com temperatura média de 26°C e amplitude térmica entre o mês mais quente e o mês mais frio não ultrapassando 5°C (COSTA, 2001). A precipitação média anual é de 2.000 mm por mês e a umidade relativa do ar de 80% (INMET, 1997). A área do município possui superfície aparentemente plana, onde predomina o tipo de solo latossolo amarelo, nas áreas de declive ocorre a formação de Podzol Vermelho Amarelo e na beira de igarapés, o tipo Solos Hidromérficos (COSTA, 2001).

A vegetação predominante na região é do tipo Floresta Ombrófila Densa, conforme o sistema de classificação do IBGE (2006), este tipo de floresta é denominado como sendo floresta de *terra firme* e se caracteriza pela sua exuberância, com predomínio de árvores de grande porte. Encontra-se em platôs ou encostas com solos argilosos, segundo (NELSON e OLIVEIRA, 1999) apresentam alta diversidade e baixa similaridade florística entre parcelas próximas.

No município de Manaus, além da floresta primária conservada em muitas áreas, existem dois tipos distintos de florestas secundárias. A primeira apresenta espécies dos gêneros *Visma*, *Miconia* e *Bellucia*, enquanto *Cecropia* e *Paraumi* representam as espécies no segundo tipo de floresta.

A cidade encontra-se assentada num complexo sistema hídrico formado por quatro grandes bacias hidrográficas, sendo: São Raimundo, Puraquequara, Educandos e Tarumã além de um conjunto de sub-bacias que, condicionadas pela situação climática, conferem particularidades ao quadro urbano: as cheias do Rio Negro determinam frequentes situações de alerta aos habitantes com inundações e desmoronamentos (BÜHRING et al, 2006).

A área de estudo da pesquisa foi denominada de bacia hidrográfica do Tarumã- Açú está localizada na zona Norte e Oeste de Manaus, como observado na Figura 7.

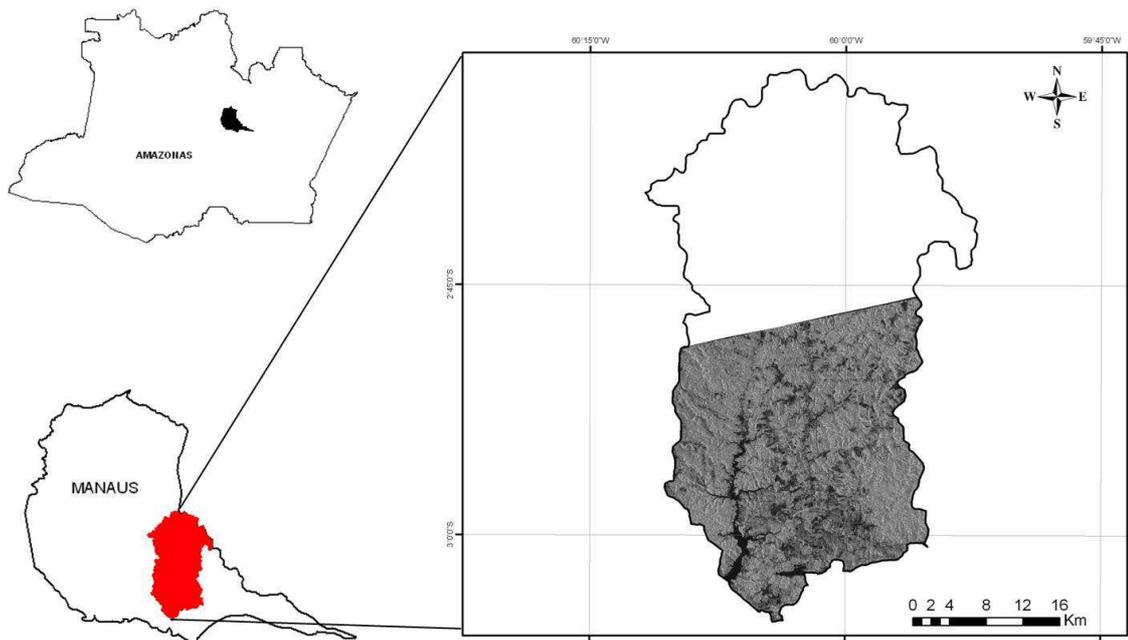


Figura 7. Localização da área de estudo: Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu.

Esta área abrange o rio Tarumã Açú e seus afluentes e possui uma área total de 133.756,40 hectares, o que corresponde a 11,73% da área territorial do município de Manaus. Esta bacia hidrográfica tem a peculiaridade de estar localizada totalmente dentro do território do município de Manaus.

3.2. MATERIAIS

Neste tópico serão listados os materiais e softwares utilizados no desenvolvimento desta pesquisa.

3.2.1. Imagens ALOS/PALSAR

As imagens ALOS/PALSAR utilizadas foram cedidas pelo Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM) através 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, com resolução espacial de 12,5 metros. Segundo a base de dados do INMET no dia da aquisição da imagem não houve chuva, no entanto no dia 11 do referido mês choveu, podendo possivelmente ter influenciado no sinal de retorno do sistema, visto que o sistema de radar é fortemente influenciado pela umidade.

3.2.2. Dados auxiliares

Foram utilizados dados auxiliares nesta pesquisa, entre:

Vetores de limite da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu cedidos pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade - SEMMAS.

Vetores da hidrografia de Manaus, cedidos pela SEMMAS.

Imagens Landsat/TM 5 disponibilizadas no site do INPE, utilizadas como auxílio na localização da área de estudo devido a cena da imagem ALOS não contemplar toda a área da Bacia.

3.2.3. Aplicativos e equipamentos

Os aplicativos e equipamentos utilizados nesta pesquisa foram:

GPS MAP 76CSX para tomadas de pontos de controle e validação.

Aplicativos utilizados: Envi 4.6.1, Google Earth, ArcGis 9.3, Excel 2010.

O ENVI foi utilizado no processamento das imagens, como classificação no Maxver e pós-classificação.

O Google Earth foi utilizado no auxílio da tomada de regiões de interesse da imagem para posterior classificação.

O ArcGis foi utilizado para registro da imagem, vetorização, cálculo de área e perímetro, além de montagem dos mapas.

O Excel 2010 foi utilizado nos cálculos estatísticos de média, mediana e moda.

Todos os processamentos foram realizados em um microcomputador com processador Intel Core3, com velocidade de processamento de 2.3 GHz, memória RAM de 4 GBytes, com capacidade de armazenamento de 500 GB e sistema operacional Windows Vista Home Premium.

3.3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Os procedimentos utilizados no trabalho encontram-se na Figura 8.



Figura 8. Fluxograma da metodologia adotada na pesquisa.

3.3.1. Pré-processamento

Os procedimentos de pré-processamento das imagens ALOS/PALSAR consistiram na seleção da área de estudo, registro da imagem e correção de ruído por meio de filtragem.

3.3.2. Seleção da área de estudo e recorte

Inicialmente fez-se a composição RGB com as polarizações R(HH), G(HV) e B (HH). A cena órbita 8256, ponto 7120, não contempla a área inteira da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu (Figura 9. A e B), logo, para a delimitação da área de estudo foi elaborado um vetor no formato *shape file* utilizando como base o limite da bacia (Figura 9. B e C), que foi disponibilizado pela SEMMAS. Após o recorte a imagem que possuía inicialmente as dimensões de 5.800 linhas por 6.500 colunas, foi redimensionada para 2.880 linhas por 2.303 colunas (Figura 9. A a D).

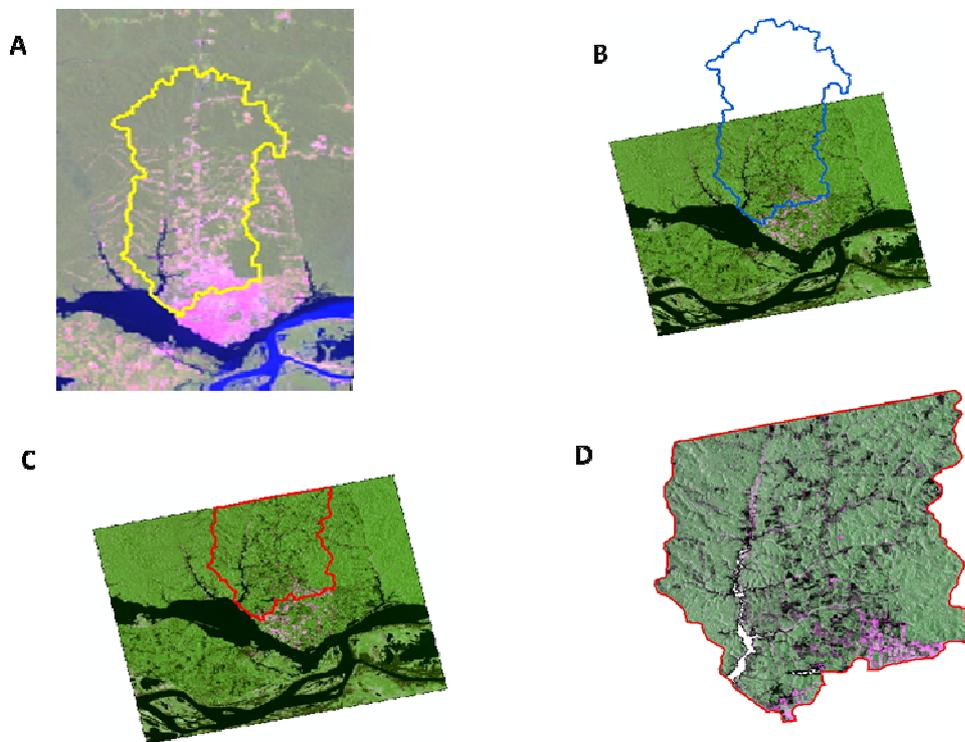


Figura 9. A - Recorte de imagem Landsat 231/062 (04/08/2007); B – Cena ALOS/PALSAR 8256/7120 (13/08/2007) e limite da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu; C – Cena ALOS/PALSAR com novo limite vetorizado; D – Recorte da área de estudo imagem ALOS/PALSAR em RGB (HH, HV, HH).

3.3.3. Registro da imagem

Com o objetivo de realizar o registro das imagens ALOS/PALSAR que possuem 12,5 metros de resolução espacial foram tomados pontos de controle em campo com o auxílio de GPS. Foram coletados 24 pontos de controle distribuídos na área de estudo como pode ser

visualizado na Figura 10. A imagem foi projetada para o sistema de coordenadas Geográficas UTM com Datum WGS 84.

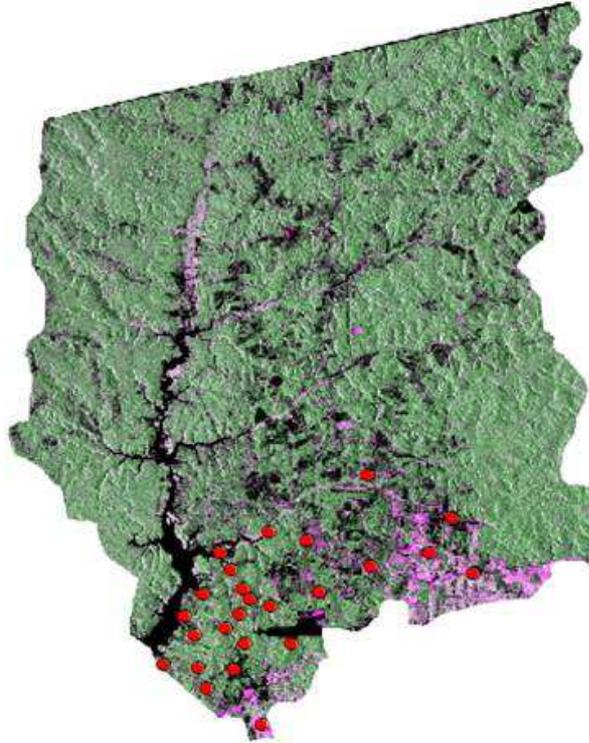


Figura 10. Pontos de controle distribuídos na área de estudo, Imagem ALOS/PALSAR RGB.

Segundo Crosta (1992), dados de sensoriamento remoto estão sujeitos a uma série de distorções geométricas e variação de resolução espacial, não possuindo precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfície ou fenômenos nelas representados. O referido autor afirma ainda que as etapas de correção geométrica são a determinação de ajuste polinomial entre o sistema e coordenadas de referência e da imagem a ser corrigida, interpolação ou reamostragem de novos valores organizados em linhas e aplicação do ajuste polinomial para criar a nova imagem.

3.3.4. Filtragem de ruído *Speckle*

Imagens de radar apresentam ruído característico conhecido como *speckle*. O *speckle* é usualmente considerado com um ruído multiplicativo, sendo mais intenso onde o sinal de retorno do retroespalhamento for maior. Com isso gera uma aparência granular na imagem dificultando o processamento digital efetuado através de técnicas de segmentação e

classificação automática, bem como a interpretação visual e a extração de informações pelo interprete (SABINS, 1997; SANT'ANNA, 1995).

Nas imagens ALOS/PALSAR foi aplicado um filtro adaptativo Gamma com janela de 3x3 pixels (Figura 11. A e B).

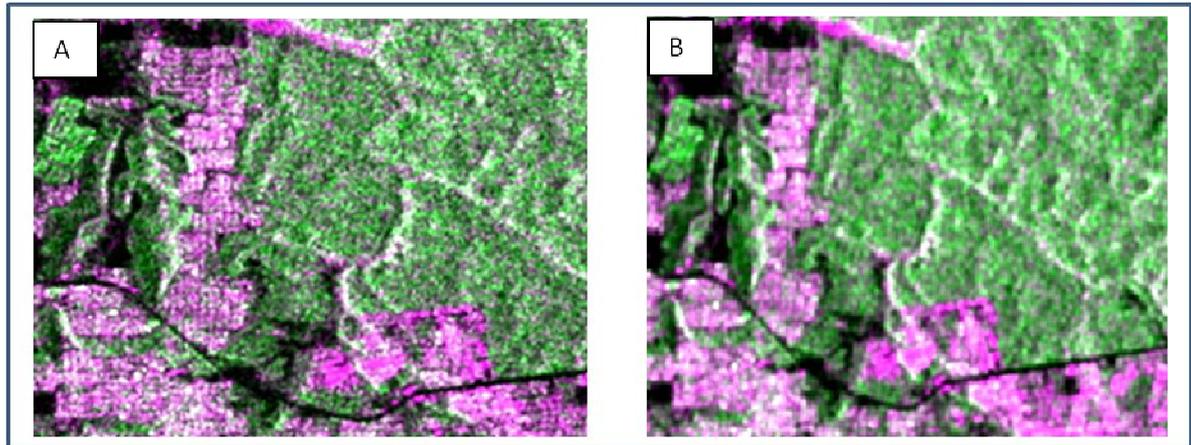


Figura 11. A - Imagem sem filtro e B - Imagem com filtro Gamma 3x3

3.3.5. Classificação digital da imagem de radar

A classificação de imagens digitais refere-se à identificação dos alvos, fenômenos ou feições que apresentam padrões espectrais similares, de modo a permitir atribuí-los a uma determinada classe (LORENA, 2001).

De acordo com Crosta (1992), alguns pontos básicos devem ser executados no procedimento de classificação de imagens. Primeiro, um conjunto de classes é previamente determinado antes de se iniciar a classificação, classes essas cujas propriedades devem ser bem conhecidas. Segundo, supõe que qualquer *pixel* na imagem pertence necessariamente a uma dessas classes. Terceiro, que as classes podem ser definidas usando algumas propriedades observáveis da cena e não apenas valores de reflectância.

Existem essencialmente dois tipos de classificação: a **classificação supervisionada**, a qual requer uma seleção de amostras por parte do analista, sendo necessário algum tipo de conhecimento prévio da área para que possa haver a definição de classes. Nesse tipo de classificação, as amostras de identidade conhecida são utilizadas como base para classificar

pixels de identidade desconhecida (MATHER, 1999). A classificação é dita **não-supervisionada** quando não se tem conhecimento prévio das classes de interesse. Neste caso, o classificador decide, com base em regras determinadas, quais as classes presentes e a que classe pertence cada pixel da imagem (JENSEN, 2005).

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

O classificador MAXVER considera a ponderação das distâncias entre médias e a dependência espacial dos níveis digitais entre as classes, utilizando parâmetros estatísticos na classificação (VIEIRA, 1996).

Trabalhos empregando o classificador MAXVER com dados SAR foram realizados por: Rignot et al. (1997), ao discriminarem desflorestamentos e estágios de regeneração em floresta tropical; Saatchi et al. (1997) ao mapearem a cobertura do solo no Estado de Rondônia; Van Der Sanden e Hoekman (1999), no mapeamento de áreas florestais, de corte seletivo e de desflorestamento na Guiana e na Colômbia; Lee et al. (2001) ao discutirem a capacidade do classificador de Máxima Verossimilhança na discriminação do uso e cobertura da terra, utilizando dados polarimétricos *full*, *dual* e *single*, comparando-o ao classificador de Wishart.

O conhecimento prévio exigido ao analista baseia-se no nível de informação concebida das classes que constituem a imagem através dos pixels representativos destas classes. Nesse sentido, conduz-se à formação de amostras de treinamento (padronização de pixels) que servem também como teste para o sistema no processo de classificação do restante da imagem, onde se efetua a identificação das demais regiões pertencentes a cada classe a partir de regras estatísticas pré-estabelecidas.

Foram selecionadas áreas de interesse na imagem como pode ser observado na Figura 12, as quais serviram de treinamento da imagem.

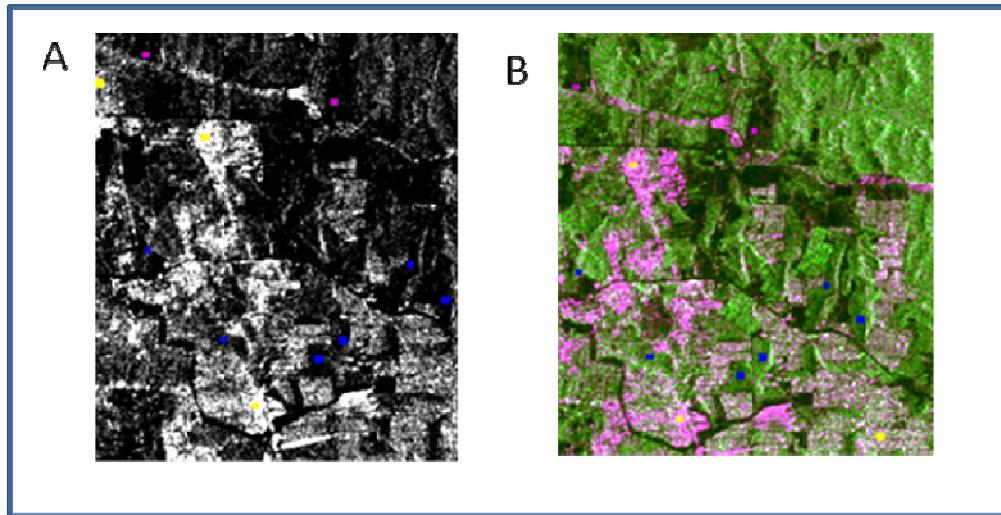


Figura 12. Escolha das áreas de treino e validação: A - imagem ALOS/PALSAR polarização HH; B - imagem ALOS/PALSAR composição RGB (HH, HV, HH).

Para auxiliar as seleções de amostras de treino e validação na imagem ALOS/PALSAR utilizou-se o software *Google Earth* por meio da ferramenta *SPEAR* do ENVI 4.6.1. O número de regiões de interesse (ROIS) de cada classe de uso e cobertura do solo encontra-se apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Quantidade de regiões de interesse de cada classe temática.

Classes	ROI treino	ROI validação
Área urbana	453	421
Agricultura e solo exposto	488	406
Floresta ombrófila	423	404
Floresta secundária	512	601

Como pode ser observado, tentou-se tomar quantidades semelhantes de áreas de treino e validação em cada classe temática. Devido à confusão de pixel entre a classe água e as demais, a classe água não foi treinada e sim utilizada um vetor da mesma, como uma máscara na classificação visando diminuir erro de classificação.

3.3.6. Trabalho de campo

O levantamento de campo teve como objetivo identificar as principais classes de uso e cobertura da terra na área de estudo e apoiar o processo de seleção das amostras de treinamento e de teste para a validação temática e geométrica. Foram ainda tiradas fotografias para registro das classes de uso e cobertura do solo da área de estudo.

Nesta fase da pesquisa as informações de campo são fundamentais, pois servem tanto para sugerir um número de classes quanto rejeitar o total de classes obtidas através de processos de interpretação das imagens.

Nesta etapa foram tomados por meio de GPS os pontos de controle e validação, sendo os de controle utilizados no registro da imagem e os de validação na validação da classificação digital.

3.3.7. Definição de legenda temática

Segundo o IBGE (2006), a nomenclatura das classes de cobertura da terra precisa estar adequada de modo a abranger a diversidade da área investigada, e compatível com a escala de análise, tamanho das áreas e com a fonte de dados disponíveis. A definição das classes temáticas deve ainda buscar o atendimento as necessidades daqueles que porventura utilizarão este tipo de informação. Como forma de validar posteriormente as classes e melhor desenvolvimento do trabalho, todas as cinco classes definidas no trabalho de campo foram fotografadas, identificadas na imagem ALOS/PALSAR no ENVI, e no Google Earth, como pode ser visualizado na Figura 13.

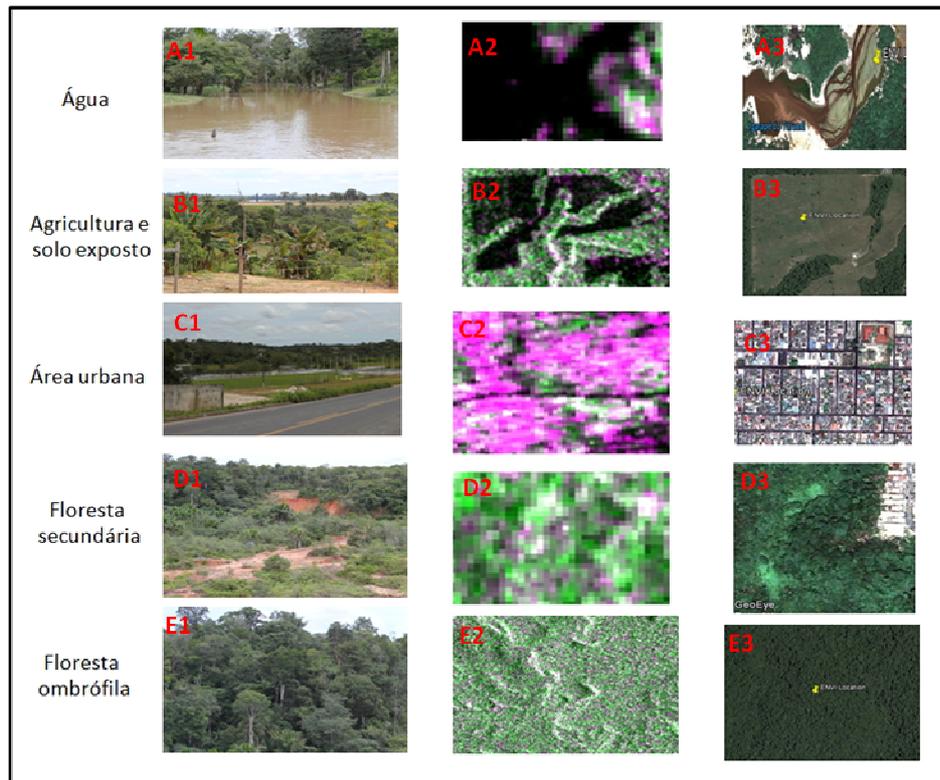


Figura 13. Classes temáticas definidas em campo 1 (A,B,C,D,E), identificadas nas imagens ALOS/PALSAR 2 (A,B,C,D,E) e no software Google Earth 3 (A,B,C,D,E).

A definição da classe água na tomada de regiões de interesse na imagem não foi possível devido à confusão de sua resposta espectral com as classes de agricultura e solo exposto, por apresentarem características espectrais semelhantes, ou seja, áreas escuras na cena, por isso para esta classe foi elaborada uma máscara a partir dos vetores de delimitação da hidrografia da área, disponibilizado pela SEMMAS.

Na classe floresta ombrófila incluiu-se formações de florestas primárias da Amazônia oriental, onde é característica, a presença de árvores de porte elevado que chegam a atingir 40m de altura. As distinções dos estratos superior, intermediário e inferior conferem a idade avançada deste ecossistema.

Considerou-se para a classe floresta secundária as áreas que sofreram uma supressão total de sua vegetação original, e está em processo de regeneração do tipo arbóreo-arbustiva (INPE, 2009). Também são reconhecidas como aquelas vegetações que apresentam um estágio de desenvolvimento correspondendo a segunda, terceira e quarta fase do sistema

secundário do IBGE. Em imagem de satélite são comumente confundidas com culturas lenhosas, resguardando assim inúmeras observações de campo. Segundo Lamprecht (1990), as florestas secundárias em povoamentos mais jovens, constituem-se de estrutura mais simples e, consideravelmente, mais pobres em espécies comparado as florestas primárias condicionadas por uma mesma situação de sitio que ainda são mais homogêneos em idade e em dimensões.

Para a classe de agricultura e solo exposto foi atribuída toda área produtiva formada pelo homem, oriunda de monoculturas de espécies tanto agrônomico (agroecossistemas) como florestal para fins de comercialização ou para subsistência. Na Amazônia, o plantio agrícola caracteriza-se como uma agricultura itinerante (produção migratória com a rotação da área cultivada) que se faz presente principalmente para o sistema de agricultura familiar, onde é desenvolvido o sistema de corte-queima (SCHMITZ, 2007).

A área foi considerada como áreas antropizadas, são vinculadas às regiões residenciais e vicinais não pavimentadas em que o nível de edificação é expressivo sobre a superfície. O dinamismo humano representativo nos ecossistemas urbanos é evidenciado por Dias (1994) como uma complexa relação entre o homem e a natureza condicionada para satisfazer as necessidades do ser humano, onde, ainda, dentro de uma abordagem ecológica, o assentamento humano seria um sistema integrante de entrada e saída de energia e matéria, constante no ambiente.

Enquadram-se na classe água, toda e qualquer região que apresente exposição de corpos d'água possíveis de serem observadas (rios, lagos, represas, igarapés) dentro da área de abrangência da bacia do Tarumã-Açu.

3.3.8. Avaliação e acurácia temática

Após o processo de classificação foi realizado o processo de validação das imagens utilizando-se os pontos de GPS tomados na campanha de campo das classes e de outras

regiões de interesse tomados na imagem com o auxílio do *Google Earth* antes da classificação digital.

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).

O principal objetivo da elaboração da matriz de confusão foi estimar a concordância entre a imagem classificada e a verdade terrestre, representada pelo conjunto de amostras de teste tomadas em campo. Para estimar a acurácia das amostras de treinamento foi realizada a avaliação através da matriz de confusão no cruzamento das amostras de validação tomadas em campo.

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. Esses critérios relacionam os valores obtidos pelos intervalos do coeficiente Kappa com a qualidade das classificações (LANDIS e KOCH, 1977). (Tabela 4).

Tabela 4. Valores do Índice de concordância de Kappa.

Índice de concordância Kappa	Qualificação
$k \leq 0,0$	Péssimo
$0,0 < k \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < k \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < k \leq 0,6$	Bom
$0,6 < k \leq 0,8$	Muito bom
$0,8 < k \leq 1,0$	Excelente

3.3.9. 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. Um dos passos mais comuns, para homogeneizar o resultado da classificação, é a aplicação de um filtro da mediana ou de moda. 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.

3.3.10. Vetorização da imagem

Neste processo a imagem já classificada foi convertida para o formato vetorial ainda no ENVI 4.6.1. e salva para o formato *shape file*. No ArcGis, a imagem foi categorizada e por meio de sua tabela de atributos foi calculada a área de cada vetor e seu perímetro. Posteriormente, as classes foram agrupadas e então calculadas a área total de cada classe temática. A edição da imagem vetorial foi realizada no ArcGis, a qual atribuindo-se aos polígonos os atributos de classes de cobertura e uso do solo incluindo a máscara com a classe água e os seus respectivos atributos de área e perímetro.

Então, foram definidas classes de área de cobertura baseada nos resultados dos cálculos anteriores de área. 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) seguindo a fórmula:

$$D = L/2\sqrt{A}$$

Onde: D – índice de forma

L – perímetro

A – área

Segundo os autores, o menor valor possível para o índice de forma, representado pela letra D é 1 (um) que representa a forma mais circular que um polígono pode apresentar.

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 e Godron (1986) e Forman (1995). Onde:

1. Grau de pressão 1: índice de forma menor que 1,5;
2. Grau de pressão 2: índice de forma entre 1,5 e 2,0;
3. 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 e Godron (1986). A classe de cobertura com maior área foi definida como a matriz da paisagem, sendo o restante dos polígonos definidos como fragmentos. Neste trabalho não foram abordados os corredores.

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.

3.3.11. Mapeamento de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu

Segundo Costa (2011), o estudo sobre a transformação da superfície da terra pode ser dividido em dois componentes inter-relacionados: uso da terra e cobertura da terra.

De acordo com Turner e Meyer (1994) o uso da terra é um termo utilizado na área de ciências sociais que denota a utilização da terra pelo homem para fins de atividades como: cultivos agrícolas, pastagens, recreação e etc. Mudança de uso e cobertura da terra em uma determinada localidade pode ocorrer de duas formas, uma troca de um tipo de uso para outro ou intensificação de uso corrente, ressaltando que cada tipo de uso corresponde a uma cobertura.

O termo cobertura da terra denota o estado físico da terra, à cobertura biofísica observadas na superfície terrestre, ou seja, os corpos d'água, rochas, a quantidade e tipo de vegetação. As transformações da cobertura podem ser de uma classe para outra ou estar ligada à condição de um tipo de cobertura, como a degradação de uma floresta em diferentes níveis (ESCADA, 2003).

Segundo Green et al (1994), as implicações das mudanças no uso e cobertura da terra ocorrem em função do contexto social, econômico, político e ecológico da região em que se encontram. Estas implicações promovem uma série de impactos em diversas escalas.

Dentre os impactos causados podem-se relacionar os referentes à perda da biodiversidade e os de danos sociais, provocados por ação antrópica ou pela natureza com potencial de mudança da paisagem em um determinado espaço de tempo, (WALKER et al, 2004).

No Brasil, os primeiros registros de pesquisas sobre uso e cobertura da terra são das décadas de 30 e 40. Segundo IBGE (2006), os primeiros trabalhos tinham como objetivo realizar o levantamento e reconhecimento de áreas pouco conhecidas e estudar o processo de colonização que estava ocorrendo naquele momento.

Nas duas décadas seguintes os trabalhos focaram em atividades de identificação de padrões espaciais de cobertura, com objetivo de caracterizar distribuições de propriedades e frentes pioneiras visando abordar questões regionalizadas sobre uso e cobertura. Tais esforços possibilitaram avanços significativos sobre a classificação e entendimento sobre a dinâmica de uso da terra a partir da criação de uma terminologia padronizada (COSTA, 2011).

Para esta pesquisa, o mapa de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Tarumã-Açu foi elaborado no software Arcgis 9.3, cumprindo-se assim o primeiro objetivo desta pesquisa.

3.3.12. Análise da estrutura da paisagem da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu

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). Com esta finalidade, tem sido desenvolvido uma variedade de índices da paisagem (FORMAN & GODRON, 1986; O'NEIL et al., 1998; TURNER, 1990; TURNER & GARDNER, 1990; GUSTAFSON & PARKER, 1992; LI & REYNOLDS, 1993; MC GARIGAL & MARKS, 1995).

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.

Neste contexto, pode-se afirmar que a caracterização das paisagens fragmentadas e a quantificação de suas estruturas possibilitam contextualizar a distribuição espacial de seus elementos e determinar as alterações resultantes desse processo que, por sua vez, permitem o melhor direcionamento das ações de conservação e preservação dos recursos florestais.

A análise da estrutura da paisagem da bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu foi realizada por meio dos dados gerados na classificação Maxver e do mapa temático, valores de área encontrada no Arcgis utilizando os vetores do mapeamento, perímetro, índice de forma e valores estatísticos de média, moda e mediana, calculados no Excel 2010.

Esses valores representam o quanto a área de estudo encontra-se impactada e nível de pressão existente sobre a matriz da paisagem neste caso, sendo a floresta ombrófila. E este é o resultado representa o segundo objetivo do trabalho.

4. CAPITULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. MAPEAMENTO DE USO E COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TARUMÃ-AÇU

O primeiro objetivo desta pesquisa trata-se do mapeamento de uso e cobertura do solo da bacia, estando apresentado na Figura 14, a distribuição espacial das classes temáticas da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu.

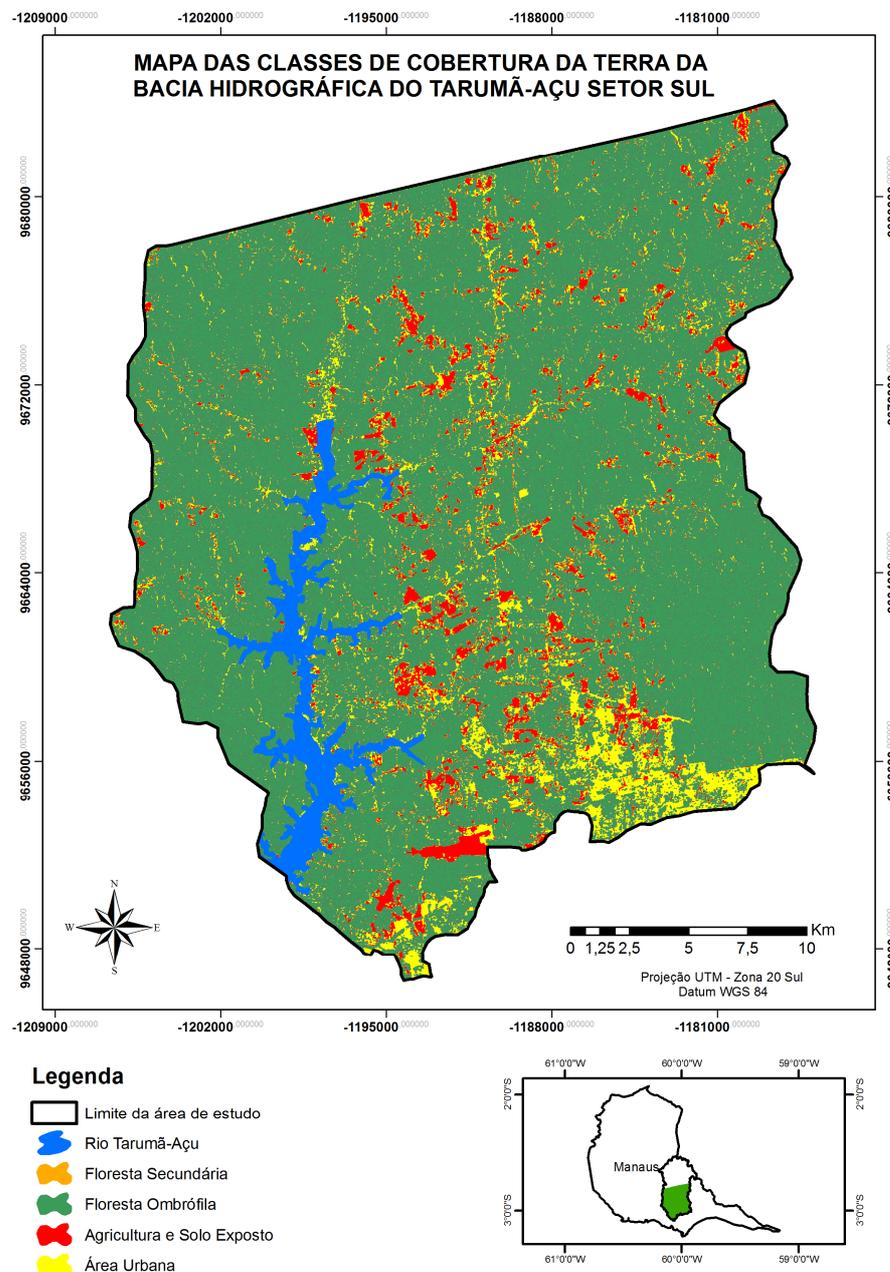


Figura 14. Classificação temática pelo método MAXVER da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu através do conjunto de imagens HH, HV e HH.

Como previamente estabelecido, a classificação gerou um mapa com cinco classes de uso e cobertura do solo. Após a classificação da imagem de radar foi realizado o cálculo da área de estudo e o quantitativo e porcentagem de cada classe, os valores encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5. Área de cada classe de cobertura na bacia.

Classes	Área (ha)	Área (%)
Água	1973,81	2,79
Agricultura e solo exposto	7071,12	9,99
Área urbana	12759,53	18,02
Floresta Ombrófila	46001,20	64,98
Floresta Secundária	2986,78	4,22
Total	70.792,4	100

Dentro de uma visão horizontal, a bacia do rio Tarumã-Açu, apresenta como característica predominante na paisagem a classe: floresta ombrófila. Tal comportamento pode ser justificado pela localização da mesma, no que diz respeito ao centro urbano da cidade, o qual se encontra, ainda nos dias atuais, consideravelmente distante da área. Além da imagem utilizada para esse estudo tratar-se do ano de 2007.

Como citado na metodologia desta pesquisa, a imagem não contempla a área toda da Bacia em estudo, 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, mostrando que já na época, há 5 anos, a bacia já se encontrava em avançado processo de ocupação e impactos antrópicos, isto pode ainda ser justificado pelo fato da bacia está parcialmente localizada dentro da área urbana do município de Manaus.

Segundo Costa (2010), a bacia hidrográfica do Rio Tarumã-Açu vem sendo ameaçada por dois grandes vetores de degradação ambiental: na margem esquerda, por meio do

esgotamento sanitário, e na margem direita, por causa do assoreamento dos corpos d'água, causado pelos desmatamentos ilegais na área do Assentamento do Tarumã Mirim, que foi criado pelo INCRA através da Resolução 184/92, em domínio de terras da União.

A ocupação expressiva da classe agricultura e solo exposto tem relação com a sustentabilidade do sistema de agricultura tradicional praticado na região, que depende principalmente de períodos de pousios suficientemente longos para restabelecer os estoques de nutrientes e matéria orgânica utilizados e/ou perdidos no período agrícola.

Isso justifica o fato da classe com terceira maior área de cobertura sejam Agricultura e solo exposto com 7.071,14 hectares de área representando 9,99% da área de estudo. Por meio das imagens já na análise visual, pode-se observar por meio 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.

4.1.1. Matriz de confusão da classificação

Com o objetivo de avaliar a classificação e confusão entre as classes temáticas da área de estudo utilizou-se a matriz de confusão e valores do índice de kappa como podem ser observados na Tabela 6. 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.

Tabela 6. 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.

Para esta classificação valor de kappa encontrado foi de 0.7295 e acurácia de 77.47%, sendo considerado segundo Landis e Koch, (1977) muito bom, pois valores de kappa entre 0.6 e 0.8 são assim descritos por eles. Logo, a classificação foi considerada aceitável do ponto de vista do Índice Kappa sendo este índice uma técnica empregada para avaliar a exatidão do mapeamento através da elaboração de uma matriz de confusão, também conhecida como matriz de erro.

A validação da classificação das imagens é conhecida como pós-classificação ou verdade de campo e é considerada como parte fundamental dos trabalhos que envolvem classificações de imagens digitais. A pós-classificação torna-se necessária devido ao uso de informações com acurácia desconhecida que podem gerar interpretações e correlações de baixa fidelidade (FOODY, 2002).

De acordo com Bugden et al., (2004), uma acurácia de 85% é suficiente para a maioria das aplicações que envolvem estudos de uso e cobertura da terra, com valores para as classes

individuais não inferiores que 50% de acurácia. Dobson et al. (1992) ressaltaram que os dados SAR geralmente produzem classificações com acurácia próxima a 40%.

Os resultados obtidos por esse estudo de mapeamento de uso e cobertura da terra com imagens de radar na banda L e múltipla polarização indicam boas possibilidades de discriminar fitofisionomias e áreas alteradas na região, visto a necessidade de sensores específicos devido às características ambientais da Amazônia.

4.2. ANÁLISE DA ESTRUTURA DA PAISAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TARUMÃ-AÇU

Pela sua importância estratégica, a conservação e recuperação da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu é vital para manutenção da qualidade de seus recursos hídricos. Em função de sua localização estratégica, é alto o risco de comprometimento da qualidade do grande manancial de superfície usado no abastecimento da população da cidade de Manaus. Como no Rio Negro existem dois pontos de tomada de água superficial: Ponta do Ismael e Mauazinho, ambas localizadas abaixo (à jusante) da micro bacia do Tarumã, o potencial de contaminação da água captada nestes locais poderá se elevar, sobretudo no período de vazão mínima (COSTA & BORDALO, 2010).

É consenso entre os pesquisadores que a bacia hidrográfica é o espaço de planejamento e gestão das águas, onde se procura compatibilizar as diversidades demográficas, sociais, culturais e econômicas das regiões, e a bacia hidrográfica do rio Tarumã-Açu, afluente do rio negro, localizada no Estado do Amazonas, retrata bem essa complexidade (COSTA & BORDALO, 2010). A delimitação da área realizada para este estudo totalizou 70.797,55 ha. Foram definidas cinco classes de uso e cobertura do solo sendo, floresta ombrófila, floresta secundária, área urbana, agricultura e solo exposto e a classe água.

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, e tem o controle da dinâmica da paisagem cercando e afetando os fragmentos e corredores existentes na bacia.

A floresta ombrófila tem grande importância no controle da dinâmica da paisagem, servindo ainda de fonte de informações para diversas funções ecológicas de plantas e animais. A 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, sendo representada pela classe de cobertura floresta ombrófila, 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 7, 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 7. 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. Na área representada por esta classe, encontra-se localizada a área urbana da cidade e aos 14 bairros pertencentes à área da Bacia, sendo eles: Tarumã-Açu, Lagoa Azul, Santa Etelvina, Ponta Negra, Nova cidade, Monte das Oliveiras, Colônia Terra Nova, Cidade de Deus, Jorge Teixeira, e parcialmente dos bairros: Planalto, Lírio do Vale, Redenção, Colônia Santo Antônio e Cidade Nova, segundo a SEMMAS. 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, podendo ser considerada em alguns casos 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 que é 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.

Segundo Nascimento e Silva (2010) em estudo temporal realizado na APA do Tarumã/Ponta Negra setor Sul, localizada na bacia do Tarumã-Açu, para os anos de 2001 a 2006, as taxas de desflorestamento, apresentou evolução, teve um alto pico com uma taxa de desflorestamento de 59,24% em relação a área total da APA e incremento 16,92% no período

de 2001 a 2006, com índice de evolução no desflorestamento de 66,14%, resultando em um percentual de redução da cobertura vegetal de 22,62%. No período de 2006 a 2008, a taxa de desflorestamento em relação a área total da APA foi de 63,26%. Porém, em relação ao período analisado, houve uma redução, com incremento de apenas 6,36% e índice de evolução de 59,78%. Apesar da redução no incremento, o desflorestamento é considerado grande em relação ao período anterior, tendo em vista que o período analisado teve um intervalo de tempo de apenas dois anos, com um percentual de redução de cobertura vegetal 11,53%.

Com a análise dos dados de desflorestamento na área Urbana da APA, foi possível verificar uma redução de 53,26% na Cobertura Vegetal no período compreendido de 2001 a 2008. Na análise da evolução do desflorestamento na Área Urbana da APA, constatou-se que os principais vetores de desflorestamento foram: exploração de produtos minerais para emprego imediato na construção civil, culturas agrícolas, atividades supressão vegetal para instalações industriais, bem como invasões de áreas, além dos loteamentos (NASCIMENTO e SILVA, 2010).

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 8.

Tabela 8. 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 9).

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.

Vale ressaltar que a classe água não foi analisada neste sentido por ter sido classificada por meio de máscara do limite do rio Tarumã-Açu, logo não sendo possível realizar cálculos estatísticos por tratar-se de um único polígono.

Tabela 9. 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

Segundo Aboud Neta, et al (2010), a assimilação de dados ALOS/PALSAR trará complementaridade às atividades do Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real - DETER realizadas com dados ópticos, permitindo a melhor detecção de degradação florestal e, principalmente, cobrindo áreas com constante cobertura de nuvens, como é o caso da parte setentrional da Amazônia brasileira, onde o DETER tem capacidade limitada de monitoramento no período chuvoso.

Os resultados encontrados e apresentados nesta pesquisa são considerados de boa qualidade para a aplicação de estudos nesta área que busca a conservação e melhoria de qualidade vida ambiental e social das comunidades da região amazônica.

5. CAPÍTULO V - CONCLUSÕES

As imagens do ALOS PALSAR, obtidas na banda L e com múltipla polarização, mostraram-se eficientes para a identificação de classes de uso e cobertura da terra representativas da bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu, apresentando confusão maior entre as classes de floresta ombrófila e secundária, sendo já esperado.

As imagens de radar mostraram-se muito eficientes na classificação da área de estudo em questão e posterior análise da paisagem da bacia, visto que a mesma necessita de proteção devido ao crescimento da cidade para aquela região, principalmente por ser uma ótima alternativa na aquisição de dados em regiões com adversidades ambientais como, por exemplo, chuva e nebulosidade.

Existe uma grande pressão antrópica sobre a cobertura vegetal da bacia do rio Tarumã-Açu, associada principalmente à expansão urbana e a ocupação desordenada inclusive de áreas de Áreas de Preservação Permanente - APPS, cujo tal estudo não abordou, sendo principalmente essa ocupação realizada por pessoas vindas de outras regiões do país.

A minimização dos impactos ambientais na bacia hidrográfica do Tarumã-Açu está condicionada a critérios de planejamento e gestão ambiental. Desta forma, a elaboração de planos de manejo ecológico eficientes constitui uma das formas de contribuir para a conservação ambiental e recuperação das áreas degradadas da bacia em questão.

Uma observação que deve ser frisada ao se trabalhar com imagem de radar é o custo computacional de tais imagens, o que limita o operador a determinadas atividades, deve-se adquirir um bom computador para a realização de um bom trabalho com as mesmas.

Devido às vantagens observadas e já citadas no uso de imagens de sensores ativos, sugere-se que novas pesquisas sejam desenvolvidas na região utilizando seus dados, devido às dificuldades de obtenção de imagens de sensores óticos principalmente em períodos de chuvas na região. Entre os trabalhos a serem sugeridos, citam-se o estudo multitemporal, estudos de queimas e incêndios florestais, estudos de paisagem, visto que ainda há uma escassez de trabalhos neste sentido utilizando dados de radar no Amazonas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOUD NETA, S. R.; DUTRA, L. V.; SCOFIELD, G. B.; NEGRI, R. G.; FREITAS, C. C.; SILVA, D. L. A. Comparação entre classificação contextual e classificação por regiões para mapeamento de uso e cobertura da terra na região da Floresta Nacional de Tapajós - PA (FLONA): utilizando imagens polarimétricas em banda L. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7749-7756. DVD, On-line. ISBN 978-85-17- 00044-7. (INPE-15793-PRE/10405).
- ABOUD NETA, S. R.; FREITAS, C. C.; DUTRA, L. V. Uso de imagens ALOS/PALSAR multipolarizadas para detecção de incremento de desflorestamento na Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº 62, 2010. (ISSN 0560-4613).
- ALENCAR, A.; NEPSTAD, N; MCGRATH, D; MOUTINHO, P; PACHECO, P; DIAZ, M. D. C. V e FILHO, B. S. **Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica**. Manaus, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam), 2004, 89 p.
- AMAZONAS. LEI Nº 3.167, DE 27 DE AGOSTO DE 2007. **Estabelece as normas disciplinadoras da Política Estadual de Recursos Hídricos e do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Diário Oficial do Estado. Estado do Amazonas, AM – Brasil, 2007.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Legislação básica**. Brasília, 2001
- 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.
- BARRET, G. W.; BOHLEN, P. J. 1991. Landscape ecology. In: Hudson, W. E. **Landscape linkages and biodiversity**. Island Press, Washington, DC. pp 149-161.
- BOLZAN, N. ; LOCH R. E. N. Análise temporal da Estrutura da Paisagem das microbacias do Arroio Lagoão e Arroio Tamboretã região Centro-Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial**, 12., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: COBRAC, 2006. p.1-10.
- 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.
- BUGDEN, J. L.; ANDREY, J.; HOWARTH, P. J. **A SAR process model for land-cover mapping**. Canadian Journal of Remote Sensing, n. 30, n. 2, p. 195-204, 2004.
- BÜHRING, R.; COSTA, L. A. da; BARBOSA, E.B. Cadastramento quali-quantitativo 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**. Curitiba, Paraná, p. 210 – 218, 2006.
- BUNCE, R. G. H. ; JONGMAN, R. H. G. An Introduction to Landscape Ecology. In: BUNCE, R. G. H. ; PAOLETTI, R. M. G. **Landscape ecology and Agroecosystems**. London: Boca Raton, Lewis Publishers, 1993. Cap.1. p.3-10.
- CANADA CENTRE FOR REMOTE SENSING (CCRS) Tutorial: **Fundamentals of remote sensing**. 2009. 258 p. [on line].
- CAPRA, F. **A Teia da Vida**: Uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo: Editora Cultrix, 2001. p.1-8.
- CASIMIRO, P. C. (2008). **Estrutura, composição e configuração da paisagem conceitos e princípios para a sua quantificação no âmbito da ecologia da paisagem**. Universidade de Lisboa, 2008.
- 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, F. E. V.; BORDALO, C. A. L. Uma experiência amazônica de gestão dos recursos hídricos: a criação do comitê de microbacia hidrográfica do rio Tarumã-Açu, Manaus – AM – Brasil. **Anais do XVI Encontro Nacional de Geógrafos**. Realizado de 25 a 31 de julho, Porto Alegre - RS, 2010. ISBN 978-85-99907-02-3
- 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.
- COSTA, L.A. 2001. **Proposta de Zoneamento de Áreas Rurais utilizando Sistema de Informações Geográficas**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 158pp.
- CROSTA, A. P. 1993. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 3ª Edição. Campinas – SP, Unicamp.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas-SP, Unicamp, p. 170. 1992.
- DÁRIO, F. R. **Influência de corredor florestal entre fragmentos da Mata Atlântica utilizando-se a avifauna como indicador ecológico**. Piracicaba. 156p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1999.
- DIAS, B.F.S. (coord.) 1994. **Primeiro relatório nacional para a convenção sobre diversidade biológica (Brasil)**. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Brasília.
- DIAS, C. F. L. H. (Org.). **Águas e Florestas da Mata Atlântica: Por uma Gestão Integrada**. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e Fundação SOS Mata Atlântica. São Paulo. 2003. 34p
- DILL, P. R. J. **Gestão Ambiental em Bacias Hidrográficas**. 2007. 160f. Tese (Doutorado em Engenharia de Água e Solo) - Universidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2007.
- DOBSON, A.P., BRADSHAW, A.D. & BAKER, A.J.M. 1997. Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology. **Science** 277:515-22.
- DRAMSTAD, W.E.; OLSON, J.D.; AND FORMAN, R.T.T. **Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning**. Island Press (Washington, DC). 1996.
- ENGESAT, 2011. Disponível em: <http://engesat.com.br/?system=news&action=read&id=765&eid=358>. Acesso em: 5 de julho de 2011.
- ESCADA, M. I. S. **Evolução de padrões da terra na região centro-norte de Rondônia**. 2003. 264f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisa Espacial - INPE, São José dos Campos. 2003.
- FEARNSIDE, P. M. 2003. Desmatamento na Amazônia. *In*. **3º Simpósio Brasileiro de Pós-Graduação em Engenharia Florestal e 1º Encontro Amazônico de Ciências Florestais**, Manaus - AM. 2p.
- FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 185– 201, 2002.
- FORMAN R.T.T., 1983. - Corridors in a landscape: their ecological structure and function. **Ecology (CSSR)**, 2, 375-387.
- 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.
- GOULART, M. D. C. ; CALLISTO, M. Bioindicadores de Qualidade de água como Ferramenta em Estudo de Impacto Ambiental. **Revista da FAPAM**, Minas Gerais, ano 2, n.1, p.153-164, 2003.

- GREEN, K.; KEMPKA, D.; LACKEY, L. Using remote sensing to detect and monitor landcover and land-use change. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.60, n.3, p.331-337, Mar. 1999.
- 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**, vol. 22, núm. 1, 2012, pp. 23-33, Universidade Federal de Santa Maria.
- GUSTAFSON E.J. & PARKER G.R., 1992. - Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. **Landscape Ecology**, 7, 101-110.
- 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.
- HENDERSON & A.J. LEWIS, 1998. **Principles & applications of imaging radar, manual of remote sensing**, v.2, New York, AM. Soc. Phot. and Rem. Sens., 1998. P.733-768.
- HENEIN K. & MERRIAM G., 1990. - The elements of connectivity where corridor quality is variable. **Landscape Ecology**, 4, 157-170.
- HYYPPIA, J., HYYPPIA, H., INKINEN, M., ENGDAHL, M., LINKO, S., ZHU, Y. Accuracy comparison of various remote sensing data sources in the retrieval of forest stand attributes. **Forest Ecology and Management**, v. 128, n. 1-2, p. 109-120, 2000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.hpg.gov.br>>.
- _____. **Manual Técnico de uso da terra**. Manual Técnico em Geociências número 7. 2. ed. Divisão de Geociências. Rio de Janeiro, 2006. 91 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA. 1999. **Informações do Projeto de Assentamento Tarumã Mirim**. Manaus. 67p.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Boletim Agrometeorológico da região de Manaus**. MARA/INMET. Manaus, AM, 1997.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites. Sistemas PRODES, DETER, DEGRAD e QUEIMADAS 2007-2008**. São José dos Campos-SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2008, 47 p.
- _____. **Metodologia para mapeamento de vegetação secundária na Amazônia Legal**. São José dos Campos - SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 2009, 32 p. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2009/11.23.17.06>>.
- JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY (JAXA). Earth Observation Research Center. **ALOS user handbook**. NDX-070015. 2008.
- JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. 3. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2005. 526 p.
- KERR, J.T.; OSTROVSKY, M. From space to species: ecological applications for remote sensing. **Trends in Ecology and Evolution**. v. 18, n. 6, p. 299-305, 2003.
- KUPLICH, T. M. Estudos florestais com imagens de radar. **Espaço & Geografia**, v. 6, n.1, p. 65-90, 2003. ISSN: 1516-9375
- LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**: - Ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas: possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Eschborn: 1990.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurements of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977.

- LAURENCE, 2004, W., ALBERNAZ, A.K.M., FEARNSIDE, P.M., VASCONCELOS, H.L.; FERREIRA, L.V. Deforestation in Amazonia. **Science**, vol. 304, 2004.
- LE TOAN, T.; BEAUDOIN, A.; GUYON, D. Relating forest biomass to SAR data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 30, n.2, p. 403-411, 1992.
- LECKIE, D. G., RANSON, K. J. **Forestry applications using imaging radar. In: Principles and Applications of Imaging Radar.** (F. M. Henderson, and A. J. Lewis, Eds.). New York: John Wiley, p. 435-509, 1998.
- LEE, J. S.; GRUNES, M. R.; POTTIER, E. Quantitative comparison of classification capability: fully polarimetric versus dual and single-polarization SAR. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 39, n.11, p. 2343-2351, 2001.
- LEWIS, A. J., HENDERSON, P.M., HOLCOMB, D.W. 1998. **Radar fundamentals: the geoscience perspective.** In: LEWIS, A.J.; HENDERSON, F.M. Manual of remote sensing: principles and applications of imaging radar. 3 ed. New York: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1998. 866p.
- LI, H.; REYNOLDS, J.F. 1993. A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes. **Landscape Ecology** 8: 155-162.
- LIMA, E. C. ; SAQUETTA, C. R. ; KIRCHNER, F. F. ; FERRETI, E. R. Qualidade da Paisagem: estudo de caso na floresta ombrófila mista. **Revista Floresta**, Curitiba, v.34, n.1, p. 45-56, Jan./Abr. 2004.
- LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas.** Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Departamento de Ciências Florestais. Piracicaba. 2008. 245p.
- LINHARES, C. A.; SOARES, J. V.; BATISTA, G. T. A Influência do Desmatamento na Dinâmica da Resposta Hidrológica na Bacia do Ji-Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p.3097-3105.
- LORENA, R. B. **Evolução do uso da terra em porção da Amazônia Ocidental (Acre), com uso de técnicas de detecção de mudanças.** 2001. 116f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, São José dos Campos. 2001.
- LU, L. ; LI, X. ; CHENG, G. Landscape Evolution in the middle Heihe River Basin of north west China during the last decade. **Journal of Arid Environments**, v.53, n.3, p.395-408, 2003. MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **Fragstats:** Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen.Tech. Report PNW- GTR- 351. Portland, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 122p, 1995.
- MACHTANS, C.S., VILLARD, M.-A. & HANNON, S.J. 1996. Use of riparian buffer strips as movement corridors by forest birds. **Conservation Biology** 10: 1366-1379.
- MAIA SANTOS, J. S. **Análise da paisagem de um corredor ecológico na Serra da Mantiqueira.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE, 2002. 174. (INPE-9553-TDI/829).
- MATHER, P. M. **Computer processing of remotely sensed images: an introduction.** 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1999. 292p. ISBN (0-471-98550-3).
- MCGARIGAL, K. & MARKS, B.J. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. U.S. Forest Service General Technical Report PNW 351.
- METZGER, J. P. **O que é Ecologia de Paisagens?** *Biota Neotropica*, 2001. (1 e 2): 1-9. <http://www.biotaneotropica.org.br/v1n12/pt>.
- METZGER, J. P.; PIVELLO, V.; JOLY, C. A. Landscape ecology approach in the preservation and rehabilitation of riparian forest areas in S.E. Brazil. In: CHAVÉZ, E. S.; MIDDLETON, J. (Ed.). **Landscape ecology as a tool for sustainable development in Latin America**, 1998.
- METZGER, J.P. 2006. **Como lidar com regras pouco óbvias para conservação da biodiversidade em paisagens fragmentadas.** *Natureza & Conservação* 4 (2):11-23 METZGER, J.P. Relationships between

- landscape structure and tree species diversity in tropical forests of South-East Brazil. **Landscape & Urban Planning**, 1997. 37: 29-35.
- NASCIMENTO, W. H. S. do; SILVA, N. M. da. Impactos Ambientais provocados pela Implantação de Loteamentos Urbanos na Área de Proteção Ambiental Tarumã/Ponta Negra no município de Manaus-AM. **Anais do I Seminário Internacional de Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia**. Manaus-AM, 2010.
- NAVEH, Z. ; LIEBERMAN, A. S. **Landscape Ecology: Theory and Application**. New York, Spring Verlag. **Série Environment Management**. 1989. 356p.
- NELSON, B.W.; OLIVEIRA A. A. de. **Avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade da Amazônia Brasileira**. Programa Nacional de Diversidade Biológica. Macapá, 1999. 67 p.
- NOSS, R.F. 1987. Corridors in real landscapes: a reply to Simberloff and Cox. **Conservation Biology** 1: 159-164.
- NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 3.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. 363 p.
- OLIVER, C.; QUEGAN, S. **Understanding synthetic aperture radar images**. Norwood, MA: Artech House, p- 479, 1998.
- O'NEILL, R.V., KRUMMEL, J.R., GARDNER, R.H., SUGIHARA, G., JACKSON, B., DEANGELIS, D.L., MILNE, B.T., TURNER, M.G., ZIGMUNT, B., CHRISTENSEN, S.W., DALE, V.H. & GRAHAM, R.L. 1988. Indices of landscape pattern. **Landscape Ecology** 1: 153-162.
- PARADELLA, W. R.; SANTOS, A. R. ; VENEZIANI, P. ; CUNHA, E. S. P. Radares imageadores nas geociências: estado da arte e perspectivas. **Revista Brasileira de Cartografia** n. 57/01, 2005, p. 56-62.
- PARADELLA, W. R.; SANTOS, A. R.; VENEZIANI, P.; MORAIS, M. C. Synthetic aperture radar for geological applications in the moist tropics: experiences from the brasilian Amazon region. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 3, p. 538-542, 2000.
- PIVELLO, V. R.; METZGER, J. P. Diagnóstico da Pesquisa em Ecologia de Paisagens no Brasil (2000-2005). **Biota Neotropica**. Campinas, v.7, n.3, p.21-29, 2007.
- PRADO, B. R. **Análise dos dados ALOS/PALSAR (modo de imageamento FBD) para identificação dos tipos de cobertura da terra na região norte do estado do Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. 175 p.; (INPE-16619-TDI/1595).
- PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação**. 3 ed. Londrina: Editora Vida, 2002.
- PROJETOS E ATIVIDADES. (Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite - PRODES; Detecção de desmatamento em tempo real - DETER).
- RAMOS P. R.; RAMOS, L. A.; LOCH, C. Sensoriamento Remoto como Ferramenta para a Gestão Ambiental e o Desenvolvimento Local. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 7., 2004, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis: UFSC, 2004, p.1-7.
- REGIMENTO INTERNO DO COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TARUMÃ-AÇU. Decreto nº 28.678/2009 de 16 de junho de 2009 – Estado do Amazonas – Brasil.
- RIGNOT, E.; SALAS, W. A.; SKOLE, D. L. Mapping deforestation and secondary growth in Rondônia, Brazil, using imaging radar and thematic mapper data. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n.2, p. 167-179, 1997.
- 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.

- ROSENQVIST, A.; SHIMADA, M.; ITO, N.; WATANABE, M. ALOS PALSAR: A Pathfinder Mission for Global-Scale Monitoring of the Environment. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 45, n. 11, p. 3307-3316, 2007
- SAATCHI, S. S.; NELSON, B.; PODEST, E.; HOLT, J. Mapping land cover types in the Amazon Basin using 1 km JERS-1 mosaic. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n.6, p. 1201 - 1234, 2000.
- SAATCHI, S. S.; SOARES, J. V.; ALVES, D. S.. Mapping deforestation and land use in Amazon rainforest by using SIR-C imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n.2, p. 191-202, 1997.
- SABINS JR, F. F. **Remote sensing: principles and interpretation**. 3. ed. New York: W.H. Freeman and Company, 1996. 494p.
- SABINS, F. F. **Remote sensing: principles and interpretation**. 3rd ed. New York, NY: W.H. Freeman, 1997.
- SANT'ANNA, S. J. S. **Avaliação do desempenho de filtros redutores de "speckle" em imagens de radar de abertura sintética**. 1995. 209 p. (INPE-6125-TDI/586). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1995.
- SAUNDERS, D.A., HOBBS, R.J. & MARGULES, C.R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology** 5: 18-32.
- SCHMITZ, H. A transição da Agricultura Itinerante na Amazônia para Novos Sistemas. **Revista Brasileira de Agroecologia**. Rio Grande do Sul, v.2, n.1, p.46-49, fev. 2007.
- SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO – SEPLAN. 2007. Perfil da Região Metropolitana de Manaus. Manaus, AM. 119p.
- SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V.; MOREIRA, M. A.; ARAI, E.; RUDORFF, B. F. T.; ANDERSON, L. O.; FREITAS, R. M.; LIMA, A.; ARAGÃO, J. R. L. **Deteção de áreas desflorestadas em tempo real (PROJETO DETER) para os anos de 2005 e 2006**. São José dos Campos: INPE, 2007.
- SHIMABUKURO, Y. E; AMARAL, S; AHERN, F. J.; PIETSCH, R. W. **Land cover classification from Radardat data of the Tapajós National Forest, Brazil**. Canadian Journal of Remote Sensing, v. 24, n. 4, 1998.
- SHIMADA, M. **Alos handbook**. In: [s.n.], 2007. p. 146. Disponível em:<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/doc/alos_userhb_en.pdf>
- SIMBERLOFF D. & COX J., 1987. - Consequences and costs of conservation corridors. **Conservation Biology**, 1, 63-71.
- SOARES FILHO, B. S. **Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. 1998. 299f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.
- SOUZA, S. R. de, **Dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do Rio Apeú, Nordeste do Pará, Brasil**. - Belém, 2010
- SUN, G.; RANSON, K. J. (2002). Modeling lidar and radar returns of forest canopies for data fusion. In: **International Geoscience and Remote Sensing Symposium**, 2002, Toronto, Canada. Proceedings... Toronto: IEEE, p. 1387-1389
- TISCHENDORF L, IRMLER U, HINGST R. 1998. A simulation experiment on the potential of hedgerows as movement corridors for forest carabids. **Ecol. Model.** 106:107–18
- 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.
- TROLL, C. 1971. Landscape ecology (geo-ecology) and biogeocenology: a terminological study. **Geoforum** 8: 43-46.

- TURNER M.G. & GARDNER R.H., 1990. - Quantitative methods in Landscape Ecology : an introduction. In : TURNER M.G. & GARDNER R.H., eds., **Quantitative methods in landscape ecology - The analysis and interpretation of landscape heterogeneity**, Springer-Verlag, New York, 3-14.
- TURNER M.G., 1990. Landscape ecology : the effect of pattern on process. Ann. **Review of Ecology and Systematics.**, 20, 171-197.
- TURNER, B.L.; MEYER, W.B. 1994. Global Land-Use and Land-Cover Change: An Overview. In: Meyer W.B. and Turner B.L. (eds), **Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective**. Cambridge University Press, Great Britain, pp. 1-9.
- TURNER, M. G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. In: **Annual Review of Ecology and Systematics**. v.20, p.171-197, 1989.
- ULABY, F.T.; ALLEN, C.T.; EGER, G.; KANEMASU, E. Relating the microwave backscattering coefficient to leaf area index. **Remote Sensing Environment.**, v.14, n.1-3, p. 113-133, Jan. 1984.
- ULABY, F.T.; MOORE, R.K.; FUNG, A.K. **Microwave remote sensing active and passive**. Washington: Addison-Wesley., v.2, 1982.
- ULABY, F.T.; MOORE, R.K.; FUNK, A.K. **Microwave remote sensing: active and passive**. Reading, Addison-Wesley, 1986. v.2. 360p.
- VALERIANO, D. M.; PARADELLA, W. R.; OLIVEIRA, C. G.; ALMEIDA, C. A.; AMARAL, S. ALOS PALSAR data assimilation in INPE's Brazilian Amazon Deforestation Monitoring Program (PRODES and DETER). In: **ALOS K&C 10th Science Team Meetings, RESTEC/Tokyo**, 2008.
- VAN DER SANDEN, J. J. **Radar remote sensing to support tropical forest management**. Doctoral Thesis, Tropenbos-Guyana Series, 330 p.,1997.
- VAN DER SANDEN, J. J.; HOEKMAN, D. H. Potential of airborne radar to support the assessment of land cover in a tropical rain forest environment. **Remote Sensing of Environment**, v. 68, n.1, p. 26-40, 1999.
- VIEIRA, P. R, **Desenvolvimento de classificadores de máxima verossimilhança e ICM para imagens SAR**. São José dos Campos, INPE, 1996.
- WALKER, B.; HOLLING, C.S.; CARPENTER, S.R.; KINZIG, A. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. **Ecology and Society**, 9, 5. 2004. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>
- WATRIN, O. S GERHARD, P. ; MACIEL, M. N. M. **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, v.3, n.3, p.455-472, set-dez. 2009.
- WATRIN, O. S; SANTOS, J. R. ; VALÉRIO FILHO, M. Análise da Dinâmica na Paisagem do Nordeste Paraense Através de Técnicas de Geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996, p.427- 433. CD-Rom.
- WIKE, L. D.; MARTIN, D.; HANLIN, H. G.; PADDOCK, L. S. Small mammal population in a restored stream corridor. **Ecological Engineering**, v. 15, supplement 1, p. S121-S129, Sept. 2000.