**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA**

WILLER HERMETO ALMEIDA PINTO

**Uso das Imagens SAR R99B para Mapeamento Geomorfológico do furo do
Ariaú no município de Iranduba-AM**

(VERSÃO CORRIGIDA)

**São Paulo
2013**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA**

Willer Hermeto Almeida Pinto

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Geografia Física.

Orientação do **Prof. Dr. Ailton Luchiari.**

(VERSÃO CORRIGIDA)

**São Paulo
2013**

DEDICATÓRIA

Às três mulheres especiais da minha vida:
À minha mãe, que, através da sua simplicidade,
pôde me ensinar as coisas valiosas da vida.

À Sídia, minha esposa, companheira e amiga,
incentivadora nos momentos mais difíceis.

À Sofia, minha filha, fonte de inspiração.

Agradecimentos

Em primeiro lugar a Deus, que me acompanha em todos os lugares;

Ao meu orientador, professor Ailton Luchiari, pela ajuda e ensinamentos durante esse período;

Aos professores do Departamento de Geografia que ministraram aulas no programa Dinter/Minter USP-SP/UEA-AM, Jorge Raffo (in memorian), Alfredo Pereira Filho, Lígia Barrozo, Luis Venturi e que, através dos ensinamentos, contribuíram para a elaboração do pensamento geográfico desta tese;

Ao Sistema de Proteção da Amazônia, pelos dados de sensoriamento remoto fornecidos para esta pesquisa;

À EMBRAPA, pela análise de solo e ajuda nos trabalhos de campo.

Aos amigos e companheiros que ajudaram na realização dos trabalhos de campo: Gilvan Coimbra, Sidney Glória e Jorge Catique;

À minha sobrinha Mônica Cortez, pela ajuda no trabalho de campo e vetorização dos dados;

Ao amigo Carlos Benedito, que sempre está disposto a estender a mão para ajudar na hora em que mais precisamos;

Ao pesquisador, Doutor Wenceslau Gerardes Teixeira, pela ajuda nos trabalhos de campo e análise dos dados de solo. Um verdadeiro incentivador da pesquisa na Amazônia;

Aos colegas do curso Dinter/Minter da USP-SP/UEA-AM pelos momentos alegres e tristes que tivemos nessa caminhada, em especial ao Camilo, João D'anúzio, Sérgio, Paulo, Alberto, Dayson, Edilene e Raimunda Nonata;

À Fundação de Amparo e Pesquisa do Amazonas (FAPEAM), pela bolsa de estudo;

À Dra. Adoréa Rebello pelas sugestões e contribuições para o mapeamento geomorfológico;

Ao amigo Francisco Girão pela ajuda na interpretação da drenagem;

A Maria do Socorro de O. Auzier Domingues pelas correções de português;

Ao Marcelo Raseira pela ajuda na tradução do texto.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho minha gratidão.

“A canoa desempenha para o varziano da Amazônia, o papel do cavalo ou do jegue, para o sertanejo de outras terras”.

(Sternberg, 1998)

Resumo

O estudo das formas do relevo terrestre teve um avanço expressivo com a utilização das modernas ferramentas de sensoriamento remoto. Na região Amazônica, devido à vasta cobertura de nuvens, bruma e fumaça, quase que o ano inteiro, de certa forma, ocasiona dificuldade para levantamento com sensores ópticos. As melhores imagens para a região, portanto, são as imagens provenientes de radar, pois esse sistema tem a vantagem de adquirir imagens, independente, da presença de nuvens ou fumaça. Desta forma, este trabalho teve por objetivo principal o uso das imagens do Radar de Abertura Sintética (SAR) R99B para o mapeamento geomorfológico ao longo do furo do Ariaú no município de Iranduba. A escolha desta área se justifica por apresentar características naturais e socioeconômicas bem peculiares. Na questão natural, Iranduba está encravado entre os dois maiores caudal da região: rio Negro e Solimões/Amazonas e composto de um ambiente de terra firme e várzea. Na questão socioeconômica, é nesse município que se encontra, também, o maior polo oleiro do estado do Amazonas. A metodologia empregada neste trabalho foi baseada na adaptação dos métodos propostos por Lima (1995), composta de três fases: identificação, análise e interpretação. O método proposto permitiu a interpretação das feições geomorfológicas baseadas na textura das imagens SAR/R99B com múltiplas polarizações para as terras baixas com altitude não ultrapassando 100 m. A fim de buscar entender a dinâmica fluvial da área do Ariaú foi realizado trabalho de campo e levantamento pedológico. Como resultado desta pesquisa, obteve-se mapa da drenagem, mapa geomorfológico das feições fluviais e os principais nutrientes do solo na calha do Ariaú. As imagens do SAR mostraram-se eficientes para as diferentes feições geomorfológicas para o mapeamento de média escala, no entanto, a falta de imagens nos diversos períodos hidrológicos, seca, enchente, cheia e vazante, de certa forma, compromete um melhor entendimento do ambiente. Este trabalho, portanto, coloca-se como uma perspectiva para novas interpretações geomorfológicas dos ambientes fluviais nas áreas baixas da Amazônia.

Palavras-Chave: Iranduba, imagens SAR, geomorfologia fluvial, Furo do Ariaú, mapeamento.

Abstract

The study of the forms of terrestrial landscape had a significant progress with the use of modern remote sensing tools. In the Amazon region, due to extensive cloud cover, haze and smoke, almost the entire year, somehow, causes difficulty imaging with optical sensors. The best images for the region, are the pictures from Radar because this system has the advantage of acquiring images, independent of the presence of clouds or smoke. Thus, this work aimed to use pictures of the Synthetic Aperture Radar (SAR) R99B for geomorphological mapping along the “Furo do Ariaú” in the municipality of Iranduba. The choice of this area is justified due to its peculiar natural and socioeconomic characteristics. In the natural matter, Iranduba is wedged between the two major flow region: Rio Negro and Solimões /Amazonas and composed of an environment of upland and floodplain. In the socioeconomic issue, it is in this city that lays the largest polo potter in the state of Amazonas. The methodology used in this study was based on the adaptation of the methods proposed by Lima (1995), composed of three phases: identification, analysis and interpretation. The proposed method allowed the interpretation of geomorphological features based on texture of SAR/R99B images with multiple polarizations to the lowlands to an altitude not exceeding 100m. In order to try to understand the dynamics of the Ariaú river area fieldwork and soil survey were conducted. As a result of this research a map was obtained, including the drainage map, geomorphological map of the river and the main nutrients in the soil trough Ariaú. The SAR images were effective for different geomorphological mapping to medium scale, however, the lack of pictures in different hydrological periods, drought, flooding and receding somewhat, compromises a better understanding of the environment. This work, therefore, arises as a prospect for new interpretations of fluvial geomorphic low-lying areas of the Amazon.

Keywords: Iranduba, SAR images, fluvial geomorphology, Furo Ariaú, mapping.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Os 25 maiores rios da região tropical do mundo.....	40
Tabela 2: Características do imageamento SAR R99B sobre a área de estudo.....	49
Tabela 3: Características hidráulicas, hidroquímicas e sedimentológicas dos rios Solimões/Amazonas e Negro na área do encontro das águas.....	66
Tabela 4- Resultado das análises granulométricas ao longo da calha do rio Ariaú.....	92
Tabela 5- Resultado das análises granulométricas na área do Jacareubal.....	100
Tabela 6- - Resultado das análises químicas na calha do furo do Ariaú.....	104
Tabela 7- - Resultado das análises químicas na área do Jacareubal.....	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de Padrões de Drenagem.....	20
Figura 2 : Classificação hierárquica do sistema de drenagem.....	22
Figura 3: Padrões de canais com exemplos na região Amazônica.....	26
Figura 4: Mapa de Altitude da área a oeste do rio Purus e mostrando Lago Aiapuá.....	30
Figura 5: Perfil transversal entre os municípios de Manacapuru, Iranduba e Manaus	32
Figura 6: Tipos de rios da Amazônia conforme a classificação de Sioli.....	34
Figura 7: Paraná do Careiro no rio Solimões-Amazonas.....	35
Figura 8: Ambiente amazônico com rio principal, paraná, igarapé, lagos e furos.....	36
Figura 9: Principais tipos de lagos da região Amazônica.....	38
Figura 10: Localização da área de estudo.....	48
Figura 11: Fluxograma metodológico.....	51
Figura 12: Aplicação da correção do padrão de antena	53
Figura 13: Área de localização da missão Amazonas-Rondônia.....	54
Figura 14: Segmentos 40 e 41 Banda Lhh na área do Ariaú.....	54
Figura 15: Seguimento 40 e 41 da Banda Lhh mostrando o deslocamento norte-sul entre as cenas.....	55
Figura 16: Imagens SAR segmento 40 Banda Lhh georreferenciada junto a uma cena do sensor TM/Landsat-5 Bandas 5, 4 e 3 RGB ano de 2010.....	55
Figura 17: Mosaico dos Seguintos 40 e 41 Banda Lhh com corte e seleção da área do Ariaú.....	56
Figura 18: Resultado da aplicação do filtro Lee nas imagens SAR R99B.....	57
Figura 19: Resultado da aplicação do filtro Frost nas imagens SAR R99B.....	58
Figura 20: Resultado da aplicação do filtro Gamma-MAP nas imagens SAR R99B.....	59

Figura 21: Composição colorida do mosaico das imagens SAR R99B banda L RGB (hh,hv e vh).....	60
Figura 22: Chave de interpretação das diferentes formas de relevo e uso da área do Ariaú.....	61
Figura 23: Mapa dos locais do levantamento e coleta das amostras de solo.....	63
Figura 24: Imagem SAR com a drenagem vetorial da área de estudo (a); recorte do leque fluvial (b); recorte em destaque dos cursos que desaguam e recebem sedimentos do rio Solimões (c)....	65
Figura 25: Em a) área de estudo imagem SAR composição colorida falsa cor Rhh, Ghv e Bvh.; em b) recorte da imagem da barra de sedimentos na margem do rio Negro (delta fluvial); em c) fotografia panorâmica da área do delta fluvial.....	68
Figura 26: Recorte de uma área próximo ao rio Solimões em a) Banda L hh com os corpos d'água apresentando o tom de cinza escuro e b)L vv aparecendo variação de cinza médio e escuro na água devido o espalhamento do sinal do radar.....	69
Figura 27: Hidrografia da área do Ariaú: em a) mosaico das cartas topográficas utilizadas como base; em b) mosaico da imagem SAR composição colorida falsa cor Rhh, Ghv e Bvh; em c) hidrografia vetorial gerada com base na interpretação do SAR.....	70
Figura 28: Mapa da Densidade de drenagem obtido a partir do mapa drenagem final em km/km ²	71
Figura 29: Bacia do lago do Limão configurando a diferença entre assimetria dos afluentes da margem direita e esquerda.....	73
Figura 30: Recorte na imagem dos padrões de drenagem: em a) dendrítico; em b) sub-dendrítico; em c) complexo e em d) hierarquia fluvial de uma sub-bacia de drenagem igarapé do Paricatuba.....	74
Figura 31: Domínios Morfoestruturais e Unidades Geomorfológicas da área de estudo.....	75
Figura 32: Mosaico da imagem SAR Banda Lvv da área de estudo. a) Platô de topo tabular na parte nordeste da área; b) área com Espodossolo e vegetação de campinara, sítio arqueológico Dona Stella.....	76
Figura 33: Local de ocorrência do Platô com topo convexo. Área do lago do Limão ao fundo mostrando colina com topo convexo.....	77

Figura 34: Subunidade Baixo Platô na parte oeste da área de estudo próximo ao lago do Bin.....	78
Figura 35: Praia do Açutuba na subunidade da Planície Fluvial do rio Negro margem direita.....	79
Figura 36: Área de várzea com cultivo de banana no período da cheia do Solimões/Amazonas..	80
Figura 37- Terraço fluvial na margem do furo do Ariaú.....	81
Figura 38: Mapa da drenagem dos igarapés e furos da área de estudo.....	82
Figura 39: Lago dendrítico do Bim na parte oeste do município de Iranduba.....	83
Figura 40: Recorte na imagem da área e em destaque o Lago do Limão que apresenta vale afogado.....	84
Figura 41: Entrada de um lago de várzea no período de cheia onde a influência do rio Solimões/Amazonas se faz notar nas suas águas.....	84
Figura 42: Pequena ilha fluvial na margem direita do rio Negro próximo a praia de Açutuba em Iranduba.....	85
Figura 43: Mapa de solos da área de estudo.....	87
Figura 44: Detalhe de um perfil de Latossolo Amarelo na área de estudo no município de Iranduba.....	88
Figura 45: Detalhe de um perfil com presença de horizonte plântico na subsuperfície.....	89
Figura 46: Perfil de Gleissolo, predominante nas margens do rio Solimões/Amazonas na região estudada. Observa-se as cores acinzentadas típicas de ambientes hidromórficos.....	90
Figura 47: Perfil de Neossolo Flúvico Ta Eutrófico (Iranduba – AM).....	91
Figura 48: Local do levantamento de solo da amostra A1 em a) igarapé Preto na confluência com o Solimões/Amazonas e em b) local onde foi realizada a coleta do solo.....	93
Figura 49: Local da coleta da amostra A2 mostrando a disposição dos sedimentos depositados em camadas.....	94
Figura 50: Local da amostra A3 – terraço fluvial na margem do furo do Ariaú.....	95
Figura 51: Local da coleta da amostra A4 na planície de inundação do Ariaú.....	96

Figura 52: Local da amostra A5 no terraço fluvial. Em a) período de seca e em b) período de cheia.....	97
Figura 53: Local da amostra A6 no furo do Ariaú mostrando a barra de deposição lateral.....	98
Figura 54: Local da coleta das amostras A7 e A8. Em a) mostra os dois níveis da barra de sedimento no período de seca e em b) a barra de sedimentos totalmente encoberta pela água do rio Negro no período de cheia.....	99
Figura 55: Recorte da área do Jacareubal com os locais do ponto das amostras de solo e em destaque a floresta ombrófila aberta fluvial na área.....	99
Figura 56: Local da amostra J7 no fundo do vale, com vegetação típica de paliteiro.....	101

SUMÁRIO

Lista de tabela	07
Lista de figuras	08
1 Introdução	13
2 Hipótese	15
3 Objetivo.....	16
4 Justificativa.....	16
5 Bases Teóricas.....	18
5.1 Geomorfologia Fluvial.....	18
5.2 Bacia Hidrográfica, padrões de drenagem e hierarquia fluvial.....	19
5.3 Tipos de canais fluviais.....	24
5.4 Planície de Inundação.....	29
5.5 Terraços fluviais.....	31
5.6 Transporte de sedimentos.....	32
5.7 Ambientes fluviais da Amazônia.....	33
5.8 Grandes Sistemas Fluviais Tropicais.....	39
5.9 Mapeamento Geomorfológico.....	43
5.10 Sensoriamento remoto aplicado a geomorfologia.....	45
6 Área da pesquisa.....	48
6.1 Materiais e Procedimentos.....	49
7. Análise e Interpretação dos resultados.....	64
8. Considerações Finais.....	108
9. Referências.....	111
Anexos.....	129

1 - Introdução

Na bacia amazônica, a forte amplitude de variação do nível d'água do curso hidrológico gera inundações regulares de vastas zonas, denominadas localmente de várzeas. Essas planícies fluviais, ao longo dos grandes rios, induzem à geração de um complexo sistema de canais, lagos, ilhas e diques marginais (SIOLI, 1951; SIOLI, 1984; LATRUBESSE, 2007). Utilizando dados do projeto RADAMBRASIL, Junk (1997), estimou a área inundada na porção central da bacia amazônica a um milhão de km², sendo que essas áreas se encontram, principalmente, nas margens dos grandes rios dessa região.

Conforme Teixeira *et al.*, (2007), os principais afluentes da margem direita do rio Solimões e o rio Japurá, na margem esquerda, transportam uma elevada carga de sedimentos em suspensão na água. A colmatção desses sedimentos nas planícies de inundação dá origem a solos com estratificação horizontal e vertical (Neossolos Flúvicos) e com características acentuadas de hidromorfismo (Gleissolos). Por sua natureza sedimentar recente, esses solos guardam estreita relação com o material de origem, ou seja, sedimentos provenientes das regiões andinas e subandina, que são transportados pelos rios que drenam a região e depositados na planície aluvial (IRION, 1984) e também sedimentos das formações geológicas de terra firme (HORBE *et al.*, 2007).

Para Latrubesse (2007), grandes partes dos estudos sobre a bacia Amazônica são muito valiosas,

porém, nota-se uma falta de estudos e mapeamentos detalhados, e o estabelecimento de relações mais claras e precisas entre hidrogeomorfologia e vegetação por exemplo, assim como, percebe-se o uso da hidrologia sem ter em conta a dinâmica e a natureza do ambiente físico, isto dificulta um melhor entendimento do comportamento hidrogeomorfológico e ecológico das planícies aluviais e das áreas inundáveis em geral, incluindo os sistemas lacustres. Muitos resultados que existem são extremamente gerais, apesar de valiosos (LATRUBESSE, 2007, p. 37).

Um desses pequenos sistemas da Amazônia é o furo do Ariaú, onde o mesmo, apesar de aparecer nas cartas topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico - DSG ou mesmo em diversos documentos como sendo um rio ou até mesmo como sendo um paraná, caracteriza-se

muito mais como um furo fluvial, pois somente faz a ligação entre dois grandes sistemas fluviais, isto é, o rio Solimões/Amazonas e o rio Negro.

Durante os estudos de Soares *et al.* (2007) na caracterização do uso da terra na Área de Proteção Ambiental (APA) Encontro das Águas, localizada no município de Iranduba - AM, uma área localizada na margem direita do rio Negro, próxima à barra de sedimentos no furo do Ariaú chamou a atenção pela forma que apresenta e, também, pelo padrão de vegetação visto nas imagens do sensor TM/Landsat-5 e de radar SAR/ R99B– do Sistema de Proteção da Amazônia-SIPAM.

As informações pedológicas disponíveis desse local indicam que o solo é uma associação de Glei pouco húmico e Solos Hidromórficos. Entretanto, pela natureza de reconhecimento do trabalho de Silva *et al.*, (1970), grande parte da classificação das áreas eram feitas por correlação, sem a possibilidade de abertura e coleta de amostras em todas as áreas. O padrão de vegetação se assemelha à vegetação existente nas margens férteis do rio Solimões, ao sul dessa área. O rio Negro drena áreas arenosas ao norte do estado do Amazonas e, praticamente, todo o estado de Roraima por um dos seus afluentes, o rio Branco. As águas do rio Negro são caracterizadas pela baixa concentração de sedimentos e coloração escura com elevada acidez (pH ao redor de 4,0), apresentando basicamente substâncias orgânicas dissolvidas. Não há relatos da existência de solos formados pela colmatação de sedimentos férteis nas margens de rios de água preta. Essas áreas denominadas localmente de várzeas, são típicas apenas de rios de água barrenta, tal como o rio Solimões, com elevada carga de sedimentos ricos em bases.

Ao longo das últimas décadas, junto com o avanço computacional, o sensoriamento remoto passou a ter uma importância significativa para os estudos ambientais, principalmente nas questões envolvendo a geomorfologia, pois a identificação, o entendimento e a avaliação quanto à natureza das formas de relevo em imagens de sensores remoto é um dos grandes benefícios trazidos pelo uso dessa ferramenta (JENSEN, 1949). Esses avanços têm sido de grande importância para estudos como mapeamentos geomorfológicos, sistemas lacustres e ecologia da paisagem, Almeida Filho e Miranda (2007); Florenzano (2008); Hess *et al.* (2003); Melack e Hess (2010); Novo *et al.* (2005); Souza Filho *et al.* (2006); Teixeira e Sano (2007); entre outros.

Jensen (1949) questiona sobre qual a imagem ideal para estudar e classificar a forma do relevo terrestre. Seria difícil apontar apenas um tipo de dado, pois as regiões são muito heterogêneas, isto é, em áreas onde há pouca cobertura de nuvem, as fotografias aéreas e as imagens ópticas são mais adequadas. Já no local onde a incidência de nuvem é maior o ideal são as imagens de radar, pelo fato desse sistema operar na faixa das microondas o que possibilita esse sistema a vantagem de adquirir imagens, independente, da presença de nuvens ou fumaça.

Segundo Paradella *et al.* (2005), na região Amazônica a presença de nuvens, brumas e fumaças impõe restrições ao uso de sensores ópticos. Dessa forma, os dados de radar passam a ter uma importância fundamental, pois, têm a capacidade de prover imagens de elevada resolução espacial, de modo independente de condições atmosféricas e fonte solar. Tudo isso tem uma contribuição significativa para a descrição da forma do relevo desse ambiente.

Os trabalhos desenvolvidos, utilizando dados de sensoriamento remoto para mapeamento geomorfológico em escala de detalhes, na Amazônia, em relação às terras baixas, são poucos. Apesar do Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM) disponibilizar imagens do *Synthetic Aperture Radar* (SAR) R99B para a comunidade acadêmica, poucos trabalhos relacionados à geomorfologia têm sido desenvolvidos utilizando esses dados. Segundo Cunha *et al.* (2003), a cartografia geomorfológica é um dos mais importantes veículos de comunicação e análise dos resultados obtidos sobre as formas do relevo e dos processos que atuam em determinado local. Um estudo mais detalhado da área, ao longo da planície fluvial do Ariáú, utilizando as técnicas de sensoriamento remoto para o mapeamento geomorfológico dessa área, é de suma importância para um melhor entendimento desse ambiente, assim como o uso e ocupação para um planejamento territorial do município de Iranduba.

2 - Hipótese de trabalho:

O presente trabalho testou a seguinte hipótese: é possível por meio das imagens SAR/R99B do SIPAM mapear as diferentes formas de relevo nas terras baixas da Amazônia.

3 - Objetivos

Geral:

Esta pesquisa teve como objetivo a identificação das formas de relevo existentes na área do furo do Ariaú, utilizando as imagens do SAR/R99B para o mapeamento geomorfológico.

Específico:

- Criar chaves de interpretação para as formas de relevo da área de estudo;
- Identificar e caracterizar as diferentes geoformas na área de pesquisa;
- Mapear as formas fluviais e o relevo no entorno do canal do Ariaú.

4 – Justificativas

O principal estudo sobre o relevo da Amazônia se deu na década de 1970 com o projeto RADAMBRASIL. No entanto, apesar da grande contribuição desse projeto, o mapeamento foi realizado em pequena escala, ocasionando uma lacuna para o entendimento do relevo local, onde a pouca cobertura cartográfica sistemática, em escala de detalhamento, ocasiona dificuldade no entendimento das formas predominantes de relevo. Outra dificuldade para o mapeamento na região Amazônica é que há uma grande quantidade de bruma, nuvem e fumaça o ano inteiro o que, de certa forma, dificulta o levantamento realizado com sensores ópticos sendo, dessa forma, os radares são os mais indicados para mapeamento, como foi o caso do projeto RADAMBRASIL que utilizou um radar acoplado em aeronave, com banda X e resolução espacial de 16 metros.

Dessa forma, a utilização dos dados do SAR/R99B, pode ser usada em relação a dados ópticos, considerando-se a sua melhor penetrabilidade na cobertura vegetal e uma resolução espacial considerada boa, variando de 3, 6 e 18 metros.

Os dados de sensor ativo têm evoluído muito como ferramenta a serviço dos diferentes campos científicos, sendo que a utilização dos dados multipolarizados contém grande quantidade de informação do terreno imageado, Xaud e Goltz (2011). Para Correia (1998), as intensificações de estudos na área de Sensoriamento Remoto voltado para os radares imageadores de abertura sintética, têm proporcionado, cada vez mais, o melhor entendimento dos mecanismos de dispersão dos alvos terrestres na faixa de microondas, como é o caso das imagens de radar do SAR/R99B. No entanto, o que se verifica na literatura é que, grande parte dos estudos realizados com imagens de radar na Amazônia, têm sua aplicação na geologia, Cunha (1988); Lima (1988); Lima *et al.* (1990); Paradella (1993); Paradella *et al.* (1997); Carvalho (1997), entre outros. Assim também, na aplicação nas questões de uso e cobertura vegetal e áreas inundadas, Hess *et al.* (2003); Miranda *et al.* (2007); Dutra *et al.* (2009) . Os trabalhos realizados e os seus resultados são bastante valiosos para o entendimento da Amazônia. Não obstante, há uma carência de estudos mais detalhados relativos à geomorfologia utilizando os dados SAR/R99B.

A justificativa para a escolha da área do Ariaú, situada no município de Iranduba, está relacionada diretamente às características naturais e socioeconômicas dessa região, pelo fato do mesmo se encontrar encravado entre dois grandes sistemas fluviais: os rios Negro e Solimões/Amazonas, em um ambiente composto por terra firme e várzea. É nesse município que se encontra também o maior polo oleiro do estado, sendo um dos maiores fornecedores de produtos cerâmicos para a indústria da construção civil de Manaus. Outra característica peculiar desse local de estudo é o fato de possuir uma grande concentração de sítios arqueológicos, onde se concentrou um grande adensamento populacional na Amazônia pré-colonial (NEVES, 2003).

Em termos de justificativa do estudo, também se faz necessário destacar que o município de Iranduba apresenta uma maior facilidade para o apoio logístico, pelo fato de estar próximo da cidade de Manaus e com acesso, tanto por via fluvial como terrestre. Depois da construção da ponte sobre o rio Negro, em outubro de 2011, em detrimento aos outros municípios mais distantes do estado do Amazonas, onde são exigidos maiores recursos, tanto financeiros quanto de logística para pesquisa.

Dessa forma, a motivação desta pesquisa reside na perspectiva de se aplicar o uso das imagens do SAR/ R99B do SIPAM, para o mapeamento geomorfológico de áreas baixas, em

uma escala de maior detalhamento no município de Iranduba e seu potencial para outras áreas da Amazônia.

5 - Bases Teóricas.

O estudo da aplicação das imagens do SAR R99B para o mapeamento do relevo na região do furo do Ariaú está direcionado em uma abordagem geomorfológica, sendo que, pelo fato de estar inserido em uma região entre os dois maiores rios da Amazônia, o rio Negro e o Solimões/Amazonas, faz-se necessário, portanto, uma descrição teórica mais detalhada dos ambientes dessa área de pesquisa.

5.1 Geomorfologia Fluvial

O estudo dos rios envolve muitas áreas ambientais como a engenharia hidráulica, a engenharia civil, a engenharia agrônômica, a geografia, a geologia, dentre outras. No entanto, os geomorfólogos compartilham o interesse em rios, mas tendem a vê-los apenas como um dos elementos envolvidos no processo de mudança da paisagem seja qual for a escala de tempo, sendo que os profissionais da geomorfologia incluem uma análise temporal de médio a longo prazo. Isso permite que os geomorfologistas desenvolvam uma compreensão dos rios que é um pouco diferente dos demais profissionais que atuam nesse sistema (COOKE e DOORNKAMP, 1974, p. 41).

Englobando o estudo dos cursos fluviais e das bacias hidrográficas, a geomorfologia fluvial coloca-se, na atualidade, entre os setores mais dinâmicos desse campo científico e interessa-se pelo estudo dos processos e das formas relacionadas ao escoamento fluvial. Os cursos fluviais constituem os agentes mais importantes no transporte dos materiais intemperizados, das áreas elevadas para as mais baixas e dos continentes para o mar. Sua contribuição insere-se no contexto da análise das formas de relevo e dos processos que lhe são inerentes, procurando compreender a dinâmica do modelado terrestre (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 65).

Dessa forma, faz-se necessária a apresentação de alguns dos principais conceitos na área da geomorfologia fluvial. Assim, foi realizada uma revisão bibliográfica de alguns temas considerados pertinentes a essa temática, bem como foi utilizada a literatura clássica em geomorfologia fluvial, além dos temas mais atuais nessa linha de pesquisa. O enfoque será dado nas seguintes temáticas: 5.2 Bacias Hidrográficas, Padrões de Drenagem e Hierarquia Fluvial; 5.3 Os tipos de Canais Fluviais; 5.4 Planície de Inundação; 5.5 Terraços Fluviais; 5.6 Transporte de Sedimentos; 5.7 Ambiente Fluvial Amazônico; 5.8 Grandes Sistemas Fluviais Tropicais; 5.9 Mapeamento Geomorfológico e 5.10 Sensoriamento Remoto Aplicado à Geomorfologia.

5.2 Bacia Hidrográfica, Padrões de Drenagem e Hierarquia Fluvial

A rede de drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados, que formam a bacia de drenagem sendo, dessa forma, definida como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 102). Em outras palavras, é uma área sobre a terra, na qual o escoamento superficial, em qualquer ponto, converge para um único ponto fixo, chamado exutório (KOBİYAMA *et al.*, 2008, p. 44). A bacia hidrográfica está composta por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem, formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 1997). Dessa forma, a bacia hidrográfica pode ser então considerada um ente sistêmico, onde se realizam os balanços de entrada provenientes da chuva e saída de água através do exutório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos (PORTO, 2008).

De acordo com Suguio e Bigarella (1990), as bacias hidrográficas exibem várias peculiaridades, conhecidas como padrões de drenagem. Os tipos fundamentais dos padrões de drenagem, considerando o critério geométrico da disposição espacial dos rios, são os seguintes: dendrítico ou arborescente, em treliça, retangular, paralelo, radial, anelar e irregular (VERSTAPPEN, 1983, p. 72). Segundo o padrão de escoamento podem ser reconhecidos os seguintes tipos de bacias de drenagem: exorreica, endorreica, arreica e criptorreica (CHRISTOFOLETTI, 1980; SUGUIO e BIGARELLA, 1990). No entanto, os padrões de drenagem variam, consideravelmente, entre bacias. O desenvolvimento e evolução das redes

de drenagem, no decorrer da história da bacia de drenagem, são influenciados por uma série de fatores, incluindo a geologia, clima e relevo (Figura 1).

Figura 1- Tipos de Padrões de Drenagem: a) Segundo Howard (1967); b) Verstappen (1972); c) Ab'Saber (1975)

Para Ab'Saber (1975), os padrões de drenagem são, de tal maneira particulares, capazes de indicar casos especiais de estrutura geológica e determinados tipos de evolução de redes locais de rios. Conforme a Figura 1, as características principais dos padrões de drenagens e algumas de suas ocorrências, segundo Howard (1967), Verstappen (1972) e Ab'Saber (1975), são as seguintes:

- Drenagem paralela: caracteriza-se pelos rios paralelos ou subparalelos, muito pouco ramificados e guardam um espaçamento relativamente regular entre si. Ocorre em planícies costeiras recentemente soerguidas ou em planaltos com sedimentares extremamente permeáveis. Casos típicos de drenagens paralelas ocorrem na zona de cabeceira dos rios do Planalto Ocidental Baiano, em pleno domínio do cerrado e em alguns setores dos tabuleiros costeiros do Nordeste brasileiro;
- Drenagem dendrítica: é considerado um dos mais comuns padrões de drenagem, por ser semelhante ao de uma árvore, com ramos que se distribuem em todas as

direções sobre a superfície e se unem formando ângulos agudos de graduações variadas. Subtipos mais importantes: drenagens pinadas e drenagens subparalelas dendríticas. Esse tipo de drenagem ocorre em numerosas áreas sedimentares e em regiões cristalinas intemperizadas do Brasil;

- c) Drenagem retangular: drenagem em que a rede local de rios está adaptada a condições estruturais e tectônicas, suficientes para criar um reticulado em que as confluências se fazem em ângulo quase reto e constituem uma variedade do padrão treliça. No Brasil ocorrem drenagens retangulares no Quadrilátero Ferrífero;
- d) Drenagem em baioneta: caso particular de drenagem retangular em que o rio principal forma uma linha totalmente quebrada em determinado ponto do eixo central de seu vale. Após correr por certo espaço seguindo uma direção rígida, executa uma mudança brusca de traçado, em ângulo reto, para, depois, seguir no rumo antigo, em outra posição no terreno, por mais um trecho considerável. Diz-se que o rio fez um desvio em forma de baioneta. O rio Paraíba do Sul faz numerosas e sucessivas baionetas, a partir da cidade de Cachoeira Paulista, na direção do Estado do Rio de Janeiro;
- e) Drenagem angular: nome genérico para qualquer padrão de drenagem em que a rede local se guia pela própria padronagem das fraturas tectônicas. Existem drenagens angulares regulares ou irregulares;
- f) Drenagem radial: apresenta-se composta de canais dispostos como raios em relação a um ponto central. Esse tipo de drenagem desenvolve-se em regiões com vulcões, chaminés, diatremas ou outros corpos intrusivos, que desenvolvem fraturas radiais ao deformar as encaixantes, elevando-as em estruturas dômicas;
- g) Drenagem anular: as drenagens anulares, também designadas anelares, são quase sempre drenagens radiais evoluídas em estruturas particulares, concêntricas ou em abóbada. As torrentes de cones vulcânicos estratificados (estratovulcões), após sua dissecação, podem dar origem a drenagens anulares. O Manicouagan Crater, na província de Quebec no Canadá é um exemplo desse tipo de drenagem.

Além desses principais tipos de padrões de drenagens já citados, outros tipos ainda ocorrem como os dicotômicos, os traçados de retícula, entre outros. Muitas modificações e variações de padrões de drenagem envolvem aspectos característicos de padrões básicos e tais

possibilidades são proporcionais à diversidade de ambientes e compartimentos que uma área possa ter.

Hierarquia fluvial

A ordem dos rios é uma classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma determinada bacia (VILLELA e MATTOS, 1936, p. 15). Esse ordenamento do rio é a propriedade básica da rede de drenagem, porque diz respeito às descargas relativas de um canal (HUGGETT, 2007 p. 229). Dessa forma, a hierarquia fluvial contribui para um melhor entendimento do conjunto total da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica (Figura 2).

Figura 2- Classificação hierárquica do sistema de drenagem.

Fonte: Modificado de Cooke e Doornkamp (1990).

A hierarquia fluvial expressa a relação entre o número de rios de cada ordem e a ordem ramificada, em termos de uma série inversa, na qual a razão de ramificação é a base. Consiste no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso de água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra. Robert E. Horton, em 1945, foi um dos primeiros a propor, de modo mais preciso, os critérios para a ordenação dos cursos d'água. Para esse autor, os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários; os canais de segunda ordem somente recebem afluentes de primeira ordem. Os de terceira ordem podem receber um ou mais tributários de segunda ordem mas, também, podem receber afluentes de primeira ordem. Os canais de quarta ordem recebem tributários de terceira ordem e também, os de ordem inferior e assim por diante (CHRISTOFOLETTI, 1980 p. 106; HUGGETT, 2007 p. 230). Porém, na ordenação proposta por Horton, o rio principal é consignado pelo mesmo número de ordem desde a sua nascente. Para se determinar qual é o afluente e qual o canal principal a partir da última bifurcação, podem ser usadas as seguintes regras:

- a) Partindo da jusante da confluência, estender a linha do curso de água para montante, para além da bifurcação, seguindo a mesma direção, o canal confluyente que apresentar maior ângulo é o de ordem menor;
- b) Se ambos os cursos possuem o mesmo ângulo, o rio de menor extensão é, geralmente, designado como de ordem mais baixa.

Segundo Christofolletti (1980), muitos pesquisadores seguiram esse critério na determinação da ordem dos canais. Outros pesquisadores, considerando a necessidade inerente de decisões subjetivas no sistema de Horton, adotaram sistemas diferentes. Arthur N. Strahler, em 1952, considerou os menores canais, sem tributários, como sendo os de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até à confluência; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens; os canais de quarta ordem surgem da confluência de dois canais de terceira ordem, podendo receber tributários das ordens inferiores. E assim sucessivamente. Essa hierarquia proposta por Strahler elimina o conceito de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda a sua extensão e a necessidade de se refazer a numeração a cada confluência. Adrian E. Scheidegger, em 1965, propôs outro sistema de ordenação fluvial, denominando-o “método de ordenação dos canais

uniformes”. A definição de ordem uniforme relaciona-se às conexões ou ligações fluviais, que são os trechos de canais ao longo dos quais não ocorre nenhuma junção pois, toda confluência que se surge em um segmento, altera a numeração. O número de ordem tem seu início em 2 e a cada confluência se processa o somatório dos valores atribuídos. Dessa maneira, ao ser dividido o número de ordem por 2, era obtida a quantidade de canais fontes ou de primeira ordem, que contribuíram para a referida conexão.

Outro método de classificação da hierarquia fluvial foi proposto por Shreve (1966) que estabelece a magnitude de determinado ligamento ou de determinada bacia hidrográfica. A magnitude de um ligamento de uma rede de canais é definida da seguinte maneira:

- a) Cada ligamento exterior tem magnitude 1, entendendo-se como ligamento exterior o canal que vai desde a nascente até uma confluência;
- b) Se ligamentos de magnitudes “u1” e “u2” se juntam, o ligamento resultante à jusante terá magnitude “u1” mais “u2”. A magnitude de um ligamento é igual ao número total de nascentes que lhe são tributárias. Esse procedimento visa considerar que, a entrada de um tributário de ordem inferior, altera a ordem do rio principal pois, ele reflete a quantidade de canais de primeira ordem que contribui para a sua alimentação.

De acordo com Christofletti (1980), a proposição introduzida por Strahler é a mais utilizada, em virtude do caráter descritivo e do relacionamento com as leis de composição de drenagem. Por outro lado, as proposições de Scheidegger e de Shreve são mais lógicas sob o aspecto hidrológico. Contudo, os diversos métodos de ordenação são úteis porque propiciam maneira fácil e rápida de, quantitativamente, designar qualquer rio ou segmento fluvial em qualquer parte do mundo.

5.3 Tipos de Canais Fluviais

Os tipos de canais fluviais correspondem ao modo de se padronizar o arranjo espacial que o leito apresenta ao longo do rio, sendo que a forma de um determinado rio é um resultado do ajustamento do canal à sua seção transversal (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 87). Uma vez estabelecidos os canais fluviais, eles se rendem a uma hidrodinâmica de escoamento, que dão origem aos processos fluviais. Na perspectiva geomorfológica pesam a ação da água sobre o leito ou canal fluvial, o transporte de sedimentos ou carga detrítica, os mecanismos

deposicionais e a esculturação da batimetria pois, esses processos são alguns dos principais responsáveis pela interferência permanente no modelado terrestre, fundamentalmente no tocante à morfodinâmica fluvial (SANTANA, 2008, p. 139).

As principais configurações dos canais de drenagem, bastante utilizadas e descritas na literatura geomorfológica, foram apresentadas por Leopold e Wolman (1957, p. 36-83), no qual separou os rios em três tipos básicos de canais: retilíneo, meandrante e anastomosado. Existem outras classificações para os tipos de canais fluviais, como o apresentado por Cooke e Doornkamp (1990), que considera os seguintes tipos: tortuosos, irregular, regular, de transição e retilíneo. Para Novo (2008, p. 230), os canais mais comuns são os meandantes, ramificados, anastomosados e os distributários. Guerra (2003), classifica os canais em: meandrante, ramificado, anastomosado, reto, deltaico, reticulado e irregular. Assim, verifica-se que não há um consenso sobre uma classificação para os tipos de canais, isso se deve pela variação dos diversos fatores internos e externos, ao longo do tempo, em determinada bacia de drenagem. Deve-se salientar, no entanto, que nem todos os rios se encaixam perfeitamente em uma dessas classes descritas, há vários rios que apresentam mais de uma classificação (Figura 3).

Padrões de Canais	Canais na Amazônia
<p>Retilíneo</p>	<p>Canal Retilíneo do Rio Aripuã - AM</p>
<p>Meandrante</p>	<p>Canal Meandrante do Rio Juruá - AM</p>
<p>Entrelaçado</p>	<p>Canal Entrelaçado do Rio Negro - AM</p>
<p>Anastomosado</p>	<p>Canal Anastomosado do Rio Japurá - AM</p>

Figura 3- Padrões de canais com exemplos na região Amazônica.

Fonte: Modificado de Morisawa (1985) e imagem Jers-1 ano de 1995

Segundo Latrubesse (2007), outro fator importante da não padronização dos tipos de canais fluviais é a diversidade e dimensões dos rios da bacia Amazônica, onde os cientistas que trabalham na Amazônia têm que mudar sua concepção de “uniformizar” critérios sobre o funcionamento e manutenção hidro-geomorfológica das várzeas, pois, os rios tropicais dessa região têm uma grande variedade de formas de canal. Em muitos casos e, particularmente, na

grande bacia Amazônica, os rios exibem uma transição de um para outro padrão, o que dificulta ou mesmo inviabiliza, a aplicação da terminologia tradicional canais retos, meandantes e entrelaçados. Pode ser mais apropriado, ainda que em trechos regionais selecionados, a aplicação da terminologia de sistema de canais simples e múltiplos (FRIEND e SINHA, 1993).

Canais retilíneos

Embora haja muitos exemplos de córregos e rios que foram artificialmente modificados por obra de engenharia para determinados fins, canais retilíneos naturalmente são raros, comparados com os outros padrões de drenagem. Esses canais, normalmente, compõem modelados do relevo que exibem controle estrutural ou mesmo aqueles, sujeitos a algum tipo de movimentação tectônica, seja de acomodação ou de reativação (IBGE, 2009).

Os canais retos geralmente existem, principalmente, quando o rio está controlado por linhas tectônicas de falhas, sendo que a presença desse tipo de canal fluvial exige um embasamento rochoso homogêneo pois, em caso contrário, o rio fatalmente se desviaria de sua trajetória (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 88). Os exemplos de canais naturais retos são pouco frequentes, representando trechos ou segmentos de canais curtos, como é o caso de um pequeno trecho do canal do Ariaú, próximo às margens do rio Negro.

Canal fluvial meândrico

Esse tipo de canal é caracterizado por curvas sinuosas em forma aproximada de “S”, ao longo do seu percurso. Essa denominação, meandro, é decorrência do rio Meandro na Anatólia, Ásia Menor pois, o mesmo possui essa forma (STERNBERG, 1957, p. 99; SUGUIO e BIGARELLA, 1990, p. 23). Esse tipo de canal fluvial se caracteriza por ser estreito e também, por ser bastante profundo e abrupto na margem côncava, ascendendo suavemente na margem convexa. Cabe ressaltar a distinção entre os rios tortuosos, cujo leito foi esculpido pela erosão, e aqueles outros de morfologia vinculada ao aluvionamento, isto é, os rios autenticamente meândricos (STERNBERG, 1957, p.100). Esse tipo de canal possui elevada sinuosidade, relação entre o comprimento do canal e a distância do eixo do vale, é

igual ou mesmo superior a 1,5. À medida que deixa depósitos sedimentares sucessivos na margem convexa, vai o rio escavando a margem côncava.

Segundo Monteiro (1964), o meandro se dá quando o rio tem baixa declividade para o seu escoamento necessário, acaba entrando em uma velocidade moderada, mas não tanto que não movimente os remoinhos e escave o bordo côncavo de uma seção da margem, enquanto aluviona a seção contrária, ou bordo convexo. Esse processo acaba no estrangulamento do istmo construído pela meandragem. Esse processo migratório das curvas meândricas ocasiona lagos em formas de ferraduras ou na terminologia regional chamado de sacado (STERNBERG, 1957; MONTEIRO, 1964).

Canal Entrelaçado

Segundo o IBGE (2009), esses tipos de canais são muitos comuns em ambientes glaciais, associados a leques aluviais ou relevos sujeitos a movimentos tectônicos. É um padrão característico de ambiente que apresenta elevada carga sedimentar, assim como alta capacidade de transporte, erosão e deposição. Existem, ainda, pontos controvertidos na diferenciação entre esse padrão e o anastomosado.

O entrelaçado, contudo, pode ser diferenciado basicamente pelo número elevado de barras de canal que migram em função da variação da descarga e do fluxo do rio e pela presença de inúmeras ilhas recobertas de vegetação dispostas longitudinalmente ao longo do canal.

Canal Fluvial Anastomosado

Canais anastomosados são caracterizados por profundidade relativamente rasas, canais em que o fluxo se divide e se une em torno de barras de sedimentos e ilhas. O aparecimento desse tipo de canal varia de acordo com mudanças nas condições do fluxo. Durante o período da cheia do rio, muitos das barras se tornam parcial ou totalmente submersas, dando a aparência de um único canal no rio. Com a descida das águas no período da vazante, são expostas extensas áreas das barras de sedimentos na superfície do canal, ocasionando, com isso, sucessivas ramificações. Segundo (SUGUIO e BIGARELLA, op. cit. 1990), as barras em si podem ser formadas de areia, cascalho ou pedregulhos. Canais anastomosados são

altamente dinâmicos, com frequentes mudanças na posição do canal. Modificações como a dissecação e retrabalho de barras e da formação e crescimentos de novas barras, ocorrem durante períodos relativamente curtos de tempo, variando de dias ou mesmo de anos (CHARLTON, 2008).

5.4 Planícies de Inundação

Para Christofolletti (1980), a planície de inundação é a faixa do vale fluvial composta por sedimentos deposicionais aluviais, bordejando o curso de água e, geralmente inundam o leito menor periodicamente e, excepcionalmente, inundando pelas grandes cheias o leito maior do rio. Para o autor, embora essa definição seja razoável, a planície de inundação pode ser definida e delimitada por critérios diversos, conforme a perspectiva e os objetivos dos pesquisadores. Os processos fluviais das várzeas podem ser indicadores diretos ou indiretos de mudanças ambientais. Há também ajustes autogênicos que podem ser parte do equilíbrio dinâmico do sistema e que podem ocorrer sem qualquer mudança ambiental (BROWN e QUINE, 1999, p. 12).

As planícies sedimentares na Amazônia são denominadas de várzea, na qual compreendem as áreas fluviais inundadas de deposição holocênica e pleistocênica (TEIXEIRA *et al.*, 2007). Os solos de várzea desenvolvem-se sobre sedimentos recentes que, associados ao nível elevado do lençol freático e às inundações periódicas, condicionam um processo incipiente de pedogênese. Esses solos, por sua natureza sedimentar recente, guardam estreita relação com o material de origem, ou seja, sedimentos provenientes das regiões andinas e subandinas, que são transportados pelos rios que drenam a região e depositados na planície de inundação (IRION, 1984).

Várzeas são formadas por uma complexa interação de processos fluviais, mas seu caráter e evolução é essencialmente o produto do poder e do caráter de fluxo de sedimentos. A relação entre a capacidade de entrada de um fluxo de sedimentos e o transporte e da resistência à erosão da planície de inundação é o que forma a borda do canal e fornece a base para uma classificação genética das planícies aluviais, essas planícies de inundação são aquelas formadas pelo transbordamento das águas fluviais durante os períodos de cheias ou de inundação dos rios (NANSON e CROKE, 1992, p.459; AB'SABER, 1975).

Segundo Irion *et al.* (2010), grande parte dessa planície de inundação foi formada durante o Holoceno, quando a maior parte dos vales da Amazônia ficou submerso devido ao efeito do aumento do nível do mar. Por conseguinte, no Pleistoceno, devem ter havido várzeas extensas durante cada mudança do nível do mar, que foram maiores ou semelhantes aos seus precursores. Essas várzeas são chamadas de paleo-várzeas. A área total continua a ser difícil de estimar, mas deve ter sido muito maior que 50.000 km² (Figura 4).

Figura 4- Mapa de Altitude da área a oeste do rio Purus e mostrando Lago Aiapuaá (Dados do SRTM-NASA). Três gerações diferentes de várzea podem ser identificadas. No sul e oeste apresenta várzea recente 20-40 m acima do nível do mar, menor paleo-várzea, provavelmente de idade Sangamonian, 40-60 m acima do nível do mar, e uma antiga paleo-várzea > 60 m acima do nível do mar. As grandes diferenças relativas em alturas podem ser explicadas pelo lento movimento tectonicamente ascendente.

Fonte: Modificado de Irion *et al.* (2010).

5.5 Terraços Fluviais

O termo "terraço fluvial" e a especulação sobre sua origem começaram a aparecer nas geociências na última parte do século XIX (GILBERT, 1877; LESLEY, 1878; DANA, 1881; NELSON, 1893).

Um terraço fluvial é um ligeiro degrau, situado em posições no fundo ou nos flancos de vales (Figura 5). Esses terraços são remanescentes de várzeas antigas e indicam o nível anterior dos vales. Cada terraço fluvial pode ser tomado como o testemunho de um nível em que o rio já trabalhou através da construção de uma antiga planície de inundação que foi abandonada. Esses terraços são originados da erosão fluvial e do encaixamento do talvegue (THORNBURY, 1960, p. 166; CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 84; SUGUIO e BIGARELLA, 1990; AB'SABER, 1975). Segundo Leopold, Wolman e Miller (1963), consideram que o terraço foi uma antiga planície de inundação abandonada devido ao processo de erosão do canal fluvial.

Os terraços são frequentemente utilizados como chaves na interpretação da história geológica de uma dada região, devido ao fato de que, em geral, mudanças ambientais, tectônica ou a oscilação climática ou mesmo ambas atuarem concomitantemente, levaram os rios a erodirem os seus próprios depósitos previamente formados (SUGUIO e BIGARELLA, 1990).

Essas antigas planícies formam um registro das mudanças passadas no ambiente fluvial, onde esses registros são preservados nos sedimentos armazenados nos terraços fluviais. A análise cuidadosa desses depósitos pode fornecer-nos uma visão do comportamento do canal e das mudanças ocorridas ao longo do tempo. O registro é complexo e incompleto, porque os sedimentos são reformulados pela migração lateral. Parte do registro é, também, destruída durante as fases de erosão da várzea.

Figura 5- Perfil transversal entre os municípios de Manacapuru, Iranduba e Manaus mostrando o Terraço Fluvial ao longo do furo do Ariaú.

Fonte: Modificado de Silva *et. al.* (2007).

5.6 Transporte de Sedimentos

Os rios são poderosos agentes fluviais capazes de erodir, transportar e de depositar sedimentos. Cada um desses processos está associado com as condições geomorfológicas específicas e a compreensão dos princípios físicos envolvidos, em cada caso é importante quando se trata de tomar decisões em relação às questões ambientais, seja em termos de planejamento, gestão ou de engenharia (NOVO, 2008; COOKE e DORNKAMP, 1974).

Segundo Suguio e Bigarella (1990), a erosão fluvial de um canal é realizado por meio de três diferentes processos: corrosão, corrasão ou abrasão e cavitação. O processo de corrosão compreende todo e qualquer intemperismo químico que se verifica entre a água e as rochas presentes no canal fluvial. O segundo processo, a corrasão ou abrasão, é realizada pela ação mecânica da água que, ao se mover pelo leito e dentro do canal, remove as camadas já intemperizadas. O último processo, a cavitação, ocorre em canais cuja velocidade da água é muito elevada, quando as variações de pressão sobre as paredes do canal fluvial facilitam a fragmentação das rochas. Esse processo se dá pela ação de ondas produzidas por bolhas formadas pelas mudanças de pressão no volume da água.

5.7 Ambiente Fluvial Amazônico

A bacia do rio Amazonas, a maior bacia hidrográfica do mundo, abrange uma superfície de aproximadamente 6.112.000 de km² e recebe uma precipitação média da ordem de 2.460 mm/ano (SALATI *et al.*, 2002). Segundo Filizola *et al.* (2002), essa bacia se estende desde 79° de longitude Oeste no rio Chamaya, Peru até 48° de longitude Oeste no rio Pará, Brasil, e de 5° de latitude Norte no rio Cotingo, Brasil a 20° de latitude Sul no rio Parapeti, Bolívia. De acordo com Latrubesse (2007), a bacia Amazônica possui também a maior diversidade morfológica de planícies aluviais ou “várzeas” do planeta.

A grande variedade de padrões de canais e a existência de planícies aluviais complexas, em tempo e espaço, induzem à geração de um mosaico ambiental de áreas inundáveis e lagos de diversas origens, formas e funcionamento (LATRUBESSE, op. cit.). Além da formação desses ambientes na área de várzea, existem ainda os outros ambientes na área de terra firme. Os principais ambientes fluviais nesses dois ambientes distintos são: os rios; os paranás; os igarapés; os furos e os lagos.

5.7.1 Os Rios - Os rios e afluentes do sistema amazônico têm diferenças significativas devido à exposição a variações nos tipos e nas ofertas de sedimentos, na vegetação, e na atividade geológica das bacias de drenagem. De acordo com Ab'Saber (1975), existe uma nomenclatura bastante ampla para classificar os tipos de rios. Nesse setor, porém, como em muitos outros da geografia física, os critérios são variáveis. Na Amazônia o próprio homem habitante classificou os rios pela sua cor: rios brancos, rios negros, rios verdes. Os cientistas aproveitam a classificação popular e procuram explicar o significado de cada coloração tomada pelas águas de diferentes rios.

Foi nesse contexto que Wallace (1853) forneceu uma classificação útil e amplamente aceita dos rios dessa bacia de drenagem, posteriormente popularizado por Sioli (1950), baseado em propriedades ópticas. Segundo Cunha (2003 p. 238), com base na quantidade de sedimentos em suspensão, no grau de acidez e volume de matéria orgânica dissolvida, as águas dos rios que drenam a bacia Amazônica pertencem à categoria de águas brancas, pretas e claras (Figura 6).

Os rios de águas brancas, que são leves, coloridos e com água muito turva, devido às altas concentrações de sedimentos em suspensão; os de águas pretas, desenvolvem-se em floresta inundada ou em solos com baixa concentração de cálcio. Esses rios têm poucos sedimentos em suspensão, mas têm uma concentração significativa de compostos húmicos e os de águas claras, geralmente formados no escudo brasileiro, que tem pouco material em suspensão e ou compostos húmicos (ARCHER, 2005).

Figura 6 – Tipos de rios da Amazônia conforme a classificação de Sioli (1950): a) água preta do rio Negro no porto da cidade de Manaus; b) água branca do rio Amazonas na orla da cidade de Parintins; c) água clara do rio Tapajós na cidade de Santarém.

Fonte: Mosaico de Imagens Jers-1 ano de 1995

5.7.2 O Paraná – Le Cointe (1903) foi um dos primeiros a usar o vocábulo amazônico paraná, com o significado de braço de rio. Guerra (2003) ampliou mais a definição desse autor, afirmando que é uma terminologia amazônica de origem indígena, tendo como significado o braço de um grande rio, formando uma grande ilha, sendo que em rios menores é chamado de paraná-mirim. Uma conceituação mais detalhada foi sugerida por Nascimento, Mauro e Garcia (1976), onde o termo paraná corresponde a todo canal de drenagem que liga um rio a ele mesmo, em áreas da planície aluvial ou com pelo menos uma margem ligada à planície aluvial. A Figura 7 mostra um exemplo de um Paraná.

Para Igreja *et al.* (1999), os paranás são mais proeminentes nos rios de águas brancas, principalmente no Solimões-Amazonas e Madeira, onde alguns trechos desses rios apresentam-se anastomosados. Esse mesmo autor ressalta que

os paranás amazônicos apresentam estágios juvenil, maduro, senil e terminal, possuindo distintas características morfológicas, hidrodinâmicas, sedimentológicas e geoambientais, sobressaindo-se os aspectos morfogenéticos, visto que a dinâmica fluvial associada às manifestações neotectônicas, produzem situações diferenciadas no contexto da interrelação dos Sistemas Fluviais e Neotectônico amazônico (IGREJA *et al.* 1999 p. 48).

Figura 7 Paraná do Careiro no rio Solimões-Amazonas, a sudeste da cidade de Manaus.

Fonte: Imagem Jers-1 ano de 1995

5.7.3 Os Igarapés – Usando a terminologia regional, Le Cointe (1903) considera igarapé como um pequeno rio. Segundo Guerra (2003), é um termo indígena que significa “caminho de canoa”. Sendo aplicado aos pequenos rios que nascem na floresta Amazônica. Para Walker (1995), os igarapés são pequenos riachos que cruzam as florestas de terra firme, regiões nunca submetidas ao pulso de inundação. Todas essas definições sobre igarapé

apontam para o significado de pequeno curso d'água, rio ou mesmo riacho. No entanto, apesar dessa conceituação, nem sempre os igarapés são de pequeno porte, como é o caso do igarapé do Tarumã-Açu, que possui cerca de, aproximadamente, 57 km de comprimento e com uma largura média de 500m, sendo que em sua foz com o rio Negro chega à largura de 1 km.

5.7.4 Os Furos - Segundo Le Cointe (1903), o furo é um canal natural estreito, fazendo comunicar dois lagos ou dois rios. Para Andrade (1956), o termo furo indica a possibilidade de varar, estabelecer uma conexão entre os rios, lagos, paranás e igarapés. No entanto, Mertes *et al.* (1996) conceitua o furo como sendo um canal que tem, em ordem de magnitude, menor descarga que o canal principal e é, tipicamente, não ativo durante os períodos de águas baixas. Nascimento, Mauro e Garcia (1976), estabeleceram uma classificação dos tipos de furo para a folha SA21- Santarém do projeto RADAMBRASIL, sendo os principais tipos: Furo em captura; Furo em colmatagem; Furo em vale morto; Furo em contato litológico; Furo adaptado à tectônica; Furo ligando lagos. A maioria desses furos apresentados nessa classificação é encontrada em toda a Região Amazônica (Figura 8).

Figura 8- Ambiente amazônico com rio principal, paraná, igarapé, lagos e furos.

Fonte: Imagem SRTM

5.7.5 Os Lagos – Os lagos da região Amazônica são bastante diversificados, onde a maioria deles é influenciada pela oscilação do nível do rio (JUNK, 1980, p. 782,). A conexão entre o rio e o lago pode ser temporária ou permanente, isso depende da morfologia do lago, da sua posição ou do seu tamanho. No período de águas baixas, pequenos lagos podem secar completamente enquanto que, no período de águas altas, a sua área não pode ser determinada devido ao contato com outros lagos. Segundo Junk (1989), essas drásticas mudanças no sistema áquatico das áreas inundáveis complica a aplicação da terminologia clássica desenvolvida para lagos. Para Tundisi (2008), o conhecimento da forma do lago é fundamental, pois há uma relação direta da forma com a circulação de águas e com os mecanismos limnológicos de funcionamento desse ambiente. As principais classificações da tipologia de lagos da Amazônia foram propostas por Nascimento, Mauro e Garcia (1976), Melack (1984), Dumont (1993), Mertes *et al.* (1996), Latrubesse e Franzinelli (2002) e Costa *et al.* (2007) (Figura 9).

FORMA	NOME	DESCRIÇÃO
Lago de várzea ou de inundação (Lago oval, circular, arredondado)	Áreas alimentadas pelo transbordamento do rio principal com decantação dos sedimentos.
Lago de contato litológico	Áreas alimentadas por afluentes e/ou pelas chuvas onde ocorre contato entre litologias.
Lago de meandro ou de ferradura.	Áreas de recuperação fluvial, isoladas do rio principal por abandono e colmatagem.
Lago de dique	Áreas onde ocorrem os processos de colmatagem de tipo slikke e schorre, mantendo um lago entre os diques aluviais.
Lago de restinga	Antigas baías fluviais isoladas do rio principal por processos de colmatagem do tipo restinga fluvial.
Lago adaptado a tectônica	Áreas alimentadas por afluentes e/ou pelas chuvas onde ocorre subsidência localizada controlada por alinhamentos estruturais.
Lago de barragem e/ou dendrítico.	Áreas onde a foz foi barrada e/ou afogada assumindo a jusante grandes proporções em alargamento.
Lago desenvolvido sobre crosta laterítica	Pequenos e rasos foram e continuam sendo acumuladores de água pluvial e coletores de água também fluviais, devido a crosta laterítica.

Figura 9 – Principais tipos de lagos da região Amazônica.

Fonte: Nascimento *et al.*, 1976; Melack, 1984; Dumont, 1993; Mertes *et al.*, 1996; Latrubesse e Franzinelli, 2002 e Costa *et al.*, 2007.

5.8 Grandes Sistemas Fluviais da Região Tropical

As regiões tropicais da superfície terrestre definem-se, geograficamente, entre os trópicos de Câncer ($23^{\circ} 27' \text{N}$) e o de Capricórnio ($23^{\circ} 27' \text{S}$). A grande quantidade de energia solar nessas áreas gera um clima com temperaturas elevadas praticamente o ano inteiro. A incidência solar se faz em ângulos altos, com pequena variação na extensão dos dias entre 12/13 horas. A temperatura média é, aproximadamente, constante, apresentando a mesma variação do dia para a noite e do inverno para o verão. Algumas áreas secas mostram temperaturas mais altas pelo efeito de intensa radiação superficial.

De acordo com Filizola e Guyot (2007), as grandes bacias fluviais tropicais representam 25% das terras emersas dos continentes e 57% da água doce disponível na superfície do planeta e são responsáveis por 50% dos aportes sólidos (materiais em suspensão) e 38% dos aportes em solução.

Dentre os 34 maiores rios tropicais do mundo, 18 formam parte da bacia fluvial Amazônica ou mesmo estão relacionados com a Floresta Amazônica (LATRUBESSE, 2007). A Tabela 1 mostra os 25 maiores rios tropicais do mundo, (os rios drenando os trópicos secos não foram incluídos nessa classificação).

Segundo Baker (1999), embora existam diversos trabalhos publicados sobre geomorfologia fluvial (LEOPOLD e WOLMAN, 1957; LEOPOLD *et al*, 1963; COOKE e DOORNKAMP, 1974; RICHARDS, 1982; MORISAWA, 1985 entre outros), a tônica da maioria deles está nos pequenos processos. Dessa forma, faz-se necessário uma exemplificação de três principais mega sistemas de drenagem tropical do mundo: o rio Amazonas; o rio Congo e o rio Mecong.

Tabela 1 – Os 25 maiores rios da região tropical do mundo

	Rio	País da foz	Descarga media anual (m ³ /s)	Área de Drenagem (10 ³ km ²)	Qs anual (106ton/ano)	Suprimento sedimentar (ton/km ² /ano)
1	Amazonas1	Brasil	209000a	6000	1000b	167
2	Congo2	Zaire	40900	3700	32.8c	9
3	Orinoco3	Venezuela	35000b	950	150 b	157.8
4	Madeira1	Brasil	32000a	1360	450h	330
5	Negro1	Brasil	28400 a	696	8 a	11.5
6	Brahmaputra	Bangladesh	20000	610	520	852.4
7	Paraná	Argentina	18000k	2600	112k	43
8	Mekong	Vietnam	14900	810	160c	197.5
9	Irrawady	Myanmar	13600	410	260c	634
10	Tapajós1	Brasil	13500 a	490	6 a	12.2
11	Ganges	Índia	11600	980	524	534.7
12	Tocantins4	Brasil	11800	757	58	76.6
13	Kasai2	Zaire	11500	861.8	-	-
14	Purus1	Brasil	11000 a	370	30 a	81
15	Marañón	Peru	10876 e	407	102.4 e	251.6
16	Oubangui2	Congo	9900j	550.7	-	-
17	Xingu1	Brasil	9700 a	504	9 a	17.8
18	Ucayali1	Peru	9544e	406	124,6 e	306.9
19	Salween	Myanmar	9510	325	100c	307.7
20	Madre de Dios/Beni 1	Brasil/Bolivia	8920	282.5	165	584
21	Mamoré1	Brasil/Bolívia	8255 a	589.5	80 a	135.7
22	Magdalena	Colômbia	7200g	257	144g	544.7
23	Zambezi	Mozambique	6980	1400	48	34.3
24	Araguaia4	Brasil	6100	377	18	
25	Uruguay	Argentina/Uruguai	4660	365	6	16.4

Filizola, 1999 ^a; Meade *et al.*, 1983 ^b; Meade, 1996 ^c; Gibbs, 1967 ^e; Restrepo and Kjerfve, 2000 ^g; Martinelli *et al.*, 1993 ^h; Milliman *et al.*, 1999 ^j; Amsler *et al.*, 2000 ^k. Rios da bacia do Amazonas 1; Rios da bacia do Congo 2, Rios da Bacia do Orinoco 3, Bacia do Tocantins/Araguaia 4.

Fonte: Modificado de Latrubesse (2005)

O rio Amazonas é o maior em comprimento e em volume de água da superfície da Terra, onze vezes o volume do rio Mississipi e cinco vezes maior que o rio Congo e drena uma área equivalente ao tamanho dos Estados Unidos (ACHER, 2005, p.18). Esse rio carrega, sozinho, cerca de 15 por cento de toda a água descarregada anualmente por rios do mundo. Segundo estimativas de diversos autores, o rio Amazonas tem uma descarga anual de sedimentos em suspensão para o oceano de 500 milhões/toneladas ano⁻¹ (GIBBS, 1967), 800 a 900 milhões ton.ano⁻¹ (MEADE *et al.*, 1979), 1100 a 1300 milhões de ton.ano⁻¹ (MEADE, 1988), 600 a 800 milhões de ton.ano⁻¹ (FILIZOLA, 2003). Baseado em dados de sensoriamento remoto Martin *et al.* (2008), comprovaram que o rio Amazonas mede 6.992, 15

quilômetros, isso indica que ele é 140,09 quilômetros mais extenso do que o rio Nilo, comprovando, dessa forma que ele realmente é o maior rio do mundo em extensão e em volume d'água.

O sistema fluvial Amazonas está dentro da bacia sedimentar Amazônica situada entre dois antigos maciços cristalinos: o Escudo da Guiana para o norte e o Escudo Brasileiro ao sul, com a margem ocidental delineada pela Cordilheira dos Andes. A bacia é alongada e é de aproximadamente 3000 km de comprimento na direção leste-oeste, cerca de 300 km largura na parte oriental e 600 a 800 km de largura na parte ocidental. Essa bacia contém uma espessa sequência de rochas do período Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico (JUNK e FURCH, 1985). É a maior bacia sedimentar no mundo e é formada em cima de um platô terciário que consiste de uma área moderada de colinas e morros e que são, quase sempre, inferiores a 60 m acima do nível do mar (IRION, 1984). A elevação da maior parte da bacia encontra-se abaixo de 100 m.

O rio Amazonas drena uma área que começa do cinturão orogênico dos Andes, das bacias interiores e áreas de planície do Chaco. Esse sistema é considerado na categoria de terrenos mistos. Assim, mais de 90% da carga total de sedimentos do sistema do Amazonas provém de seus tributários andinos (LATRUBESSE *et al.*, 2005).

Outro grande sistema do mundo é o rio Congo na África. Esse rio se estende entre os paralelos 9° N e 14° S e meridianos 11° E e 34° E. Ele drena uma área de, aproximadamente, 4.700 km de comprimento e sua bacia é de 3.700 km² na África Central. Esse rio ocupa o segundo lugar no mundo em termos de descarga líquida, perdendo apenas para o Amazonas. A bacia do Congo é uma grande bacia, quase completamente cercada por relevos periféricos de baixas altitudes, onde a altitude não excede os 400 metros (BRICQUET, 1993, p. 27).

De acordo com Latrubesse *et al.* (2005), uma das características dos rios que drenam áreas de cráton ou plataforma, tanto em clima tropical úmido como de savana, são caracterizados por uma baixa carga de sedimentos. Os imensos sistemas fluviais de áreas de florestas pluviais como o rio Congo, Negro e Tapajós, transportam quantidades quase insignificantes de sedimento suspenso, quando comparados com suas imensas áreas de drenagem e a magnitude de suas descargas líquidas. O rio Congo é o segundo maior rio do

mundo em termos de descarga líquida, com 40.000 m³ por segundo e, no entanto, carrega somente 40 milhões de toneladas de sedimentos por ano (MEADE, 1996).

O rio Mecong é o oitavo maior rio do mundo em termos de descarga para o mar (475 bilhões de metros cúbicos). Com um comprimento de aproximadamente 4.800 km, ele é o maior rio do Sudeste Asiático o décimo segundo mais longo do mundo. Nasce no planalto do Tibete e deságua no mar da China Meridional, no delta do Vietnã. A inundação tem seu pico entre julho e outubro, dependendo da localização. A bacia do Rio Mecong abrange 795,000 km² e inclui outros rios importantes, como o rio Se San e o rio Mun (Mekong River Commission –MRC, 1997). A bacia do rio Mecong drena seis países do Sudeste Asiático: China, Mianmar, Tailândia, Laos, Camboja e Vietnã.

Latrubesse *et al.* (2005, p. 5) destaca que, em geral, os rios que drenam florestas pluviais tropicais como o rio Negro, Purus e Mecong, têm comportamento aproximadamente semelhante àqueles de savana tropical úmida-seca e como os monçônicos. Isso porque, todos exibem alto pico de descarga variável todavia, durante a estação chuvosa, e baixa vazão quando a precipitação diminui.

Outra característica da bacia do rio Mecong é que, pelo fato de possuir uma cobertura sedimentar aluvial relativamente delgada, tem seu canal afetado pelo substrato rochoso. O complexo das Quatro Mil Ilhas do rio Mecong é um exemplo de controle do embasamento sobre o padrão de canal.

A bacia do rio Mecong possui uma característica incomum na região do Sudeste Asiático que é o lago Tonle Sap, no Camboja, o maior lago dessa região, onde o mesmo tem uma extensão de 2.590 km² e que chega a 24.605 km² durante a estação chuvosa. O lago Tonle Sap é conhecido pela sua rica biodiversidade e pelo regime hídrico extraordinário, com enorme sazonal mudança no nível d'água e do volume (KESKINEN *et al.*, 2005).

Segundo Keskinen *et al.* (2005), essas excepcionais inundações são causadas pelo rio Mekong onde durante a monção de sudoeste, o nível da água sobe tão rápido que parte das enchentes corre para o rio Tonle Sap. Isso faz com que o rio Tonle Sap reverta seu fluxo de volta para o lago Tonle Sap. Assim, o lago perde a sua única saída e, como resultado, a

profundidade da água no lago sobe a partir de 1 metro até 10 metros e expande a superfície da sua área.

5.9 Mapeamento Geomorfológico

As geociências, ciências ligadas à terra, dependem intensamente do recurso cartográfico para representar suas peculiaridades (SILVA e RODRIGUES, 2009). O mapa foi, e ainda é, um dos principais documentos para demonstrar o ambiente que nos rodeia. O homem tem utilizado essa representação da superfície terrestre para diversos fins. Porém, a principal utilização tem sido para se localizar, para fins bélicos e para fins de planejamento. Os primeiros mapas não foram construídos com o intuito de estudar a natureza. Porém, as informações que continham sobre relevo, de certa forma, facilitava a orientação e a navegação (GUSTAVSSON, 2005).

Segundo Casseti (2006), a cartografia geomorfológica é um dos principais instrumentos na espacialização dos fatos geomorfológicos, permitindo representar a gênese das formas do relevo e suas relações com a estrutura e processos. De acordo com Cooke e Doornkamp (1974), o objetivo do mapeamento geomorfológico é registrar informações sobre a forma de superfície, os materiais solo e rocha, os processos de superfície e, em alguns casos, a idade do relevo.

Florenzano (2008) resalta que não existe um método unificado internacional de mapeamento geomorfológico. Isso se deve à complexidade e variedade dos objetos estudados pela geomorfologia. Vários autores, no entanto, tentaram estabelecer uma metodologia para classificação do relevo. Dentre os principais sistemas de classificação estão: o Sistema Francês de Tricart (1972); o Sistema ITC- International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (VERSTAPPEN e VAN ZUIDAM, 1975) e o Sistema IGU- International Geographical Union (DEMEK, 1972).

Para Cooke e Doornkamp (1974), diferentes estilos de mapeamento e diferentes ênfases em conteúdos de informação surgiram a partir de um país para outro. Gilewska (1967) forneceu uma comparação interessante e perceptiva das abordagens utilizadas na Hungria, França, Rússia e Polônia, demonstrando como as tendências nacionais no pensamento geomorfológico são evidentes no estilo de mapeamento.

No Brasil merece destaque o sistema do Projeto RADAMBRASIL da década de 1970. No entanto, algumas instituições merecem ser citadas como é o caso do IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1981), o CEPLAB - Centro de Planejamento da Bahia (1980). Também merecem destaque o trabalho relevante dos seguintes autores: Ross e Moroz (1997). Para Florezano (2008), a maioria dos trabalhos realizados no Brasil, em termos de mapeamento geomorfológico, é, na verdade, de detalhamento, de reduzida dimensão espacial e não sistematizados.

Segundo Ross (1992), um dos fatores fundamentais para o mapeamento geomorfológico é que a cartografia geomorfológica deve identificar concretamente o que se vê e não o que se deduz da análise geomorfológica. Em primeiro plano, deve-se representar as formas de diferentes tamanhos e em planos secundários, a representação da morfogênese e morfocronologia, que têm vínculo direto com a tipologia das formas.

Para Luz (2010), o mapa geomorfológico tem se tornado um dos principais instrumentos de análise da pesquisa geomorfológica de detalhamento fornecendo, com isso, uma descrição quase que completa dos elementos do relevo. Guerra e Marçal (2006) ressaltam as inúmeras possibilidades de aplicações dos mapeamentos geomorfológicos em diversos projetos ambientais ou, até mesmo, para fins de gestão do território, em uma concepção mais integradora da paisagem.

Dessa forma, apesar do mapeamento geomorfológico não apresentar uma padronização universal, como os mapas geológicos e pedológicos, ele ainda é um dos principais instrumentos para a representação do relevo em diferentes escala de trabalho. O mapeamento geomorfológico aliado às geotecnologias, Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global e o Sistema de Informações Geográficas, passa a constituir fonte de informação indispensável para os diversos campos da ciência. No dizer de Orellana (1982, p. 224),

as nossas ideias e estudos devem ser levadas ao grande público e aos outros especialistas. Os mapas geomorfológicos devem ser feitos para serem diretamente aplicados aos problemas dos engenheiros civis, agrônomos, pedólogos, ecólogos e planejadores urbanos, etc, usando, de preferência, legendas simplificadas (ORELLANA, M. P. 1982 p. 224).

5.10 Sensoriamento Remoto Aplicado à Geomorfologia

O uso de dados de sensores remotos para a geomorfologia remete-se, primeiramente, às fotografias aéreas, pois, a partir dessa técnica, foi possível obter uma visão mais detalhada sobre o relevo possibilitando, com isso, uma base cartográfica de apoio aos trabalhos de campo mais confiáveis, dados sobre a cobertura vegetal, hidrografia, geologia, dentre outros. Anteriormente, era impossível de se ter com precisão, pelo fato de não possuir dados estereoscópicos (FLORENZANO, 2008, p. 32).

Segundo Vestappen (1983, p. 271), as fotografias aéreas sempre tiveram um papel essencial para o levantamento geomorfológico e, com o uso de modernas técnicas de sensores remotos, imagens de satélite, radar, lidar, entre outros, o uso dessas técnicas tem sido bastante difundido para fins geomorfológicos.

Dentre as infinitudes de usos práticos que oferecem os sensores remotos à geomorfologia aplicada, sem dúvida a contribuição maior parece que está no estudo de problemas ambientais urbanos, de bacias hidrográficas, planícies fluviais, estudo de fenômenos naturais catastróficos, avaliação de suas repercussões (ORELLANA, 1982, p. 225).

Para Venturi (2008) a geomorfologia dispõe de recursos metodológicos, técnicos e instrumentos adequados de apoio ao planejamento territorial pois, por meio de dados de sensoriamento remoto e de cartas topográficas, constroem-se mapas geomorfológicos capazes de reunir dados morfométricos, morfológicos, morfogenéticos, cronológicos e morfodinâmicos, que se constituem em importantes instrumentos para subsidiar a elaboração de outros produtos intermediários, como os mapas de fragilidade ambiental e os mapas clinográficos.

Luchiari *et al.* (2005) ressalta que o sensoriamento remoto se apresenta como uma técnica muito eficiente e cada vez mais utilizada nas geociências, pois, por meio da interpretação dos dados dos diferentes tipos de sensores, pode subsidiar mapeamentos geomorfológicos, mapas de uso da terra e cobertura vegetal, dentre outros.

Segundo o IBGE (2009), a superfície terrestre pode ser classificada, mapeada ou mesmo monitorada de diversas formas, pelos diferentes tipos de sensores e está condicionada ao fim analítico da pesquisa. Dessa forma, diversos trabalhos estão sendo desenvolvidos com o uso dos dados de sensoriamento remoto para fins geomorfológicos.

Silva *et al.* (2012), utilizando dados do sensor SPOT 5 realizou um mapeamento das unidades de relevo da bacia do rio Pequeno, localizado no município de Antonina, no estado do Paraná. Mendes (2008), utilizando modelo digital de elevação, definiu as principais unidades geomorfológicas do Parque Estadual do Jalapão, em Tocantins, fazendo uso das imagens do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Outro trabalho que utilizou dados do SRTM para o mapeamento geomorfológico do estado de Goiás, foi realizado por Carvalho (2007), onde esse autor ressalta que os dados derivados do Modelo Digital do Terreno têm uma importância para mapeamento geomorfológico em pequena e média escala. Também utilizando dados do SRTM Silva e Santos (2007), demonstraram a possibilidade de utilização desses dados altimétricos para o mapeamento geomorfológico do território nacional. Ainda nesse contexto, Camargo *et al.* (2009), apresentaram uma metodologia semiautomatizada para mapeamento de unidades de relevo derivadas do modelo digital de elevação do sensor ASTER/Terra para o município de São José dos Campos no estado de São Paulo. Kux e Pinheiro (2003) realizaram um trabalho de aplicação das imagens do SAR interferométrico AES-3, para mapear a geomorfologia e uso do solo, numa seção da Floresta Nacional do Tapajós.

Florenzano (1996), demonstrou a importância dos multisensores para o mapeamento geomorfológico em regiões da Amazônia. Costa e Silva (2009) realizaram um levantamento das principais imagens de satélite utilizadas para o mapeamento geomorfológico das últimas décadas, levando em consideração a resolução espectral, custo e disponibilidade das mesmas. Nesse trabalho essas autoras afirmam que não existe um tipo ideal de imagem ou dado de sensoriamento remoto para realizar o mapeamento geomorfológico, tanto em escala regional ou de detalhe pois, sempre é necessário o auxílio de uma série de outros elementos, como o sistema global de navegação por satélite, cartas topográficas, dentre outros.

Tudo isso demonstra a importância do sensoriamento remoto para a geomorfologia, desde o uso das primeiras fotografias aéreas até aos sensores mais sofisticados. Isso demonstra que os dados de sensoriamento remoto evoluíram no sentido de tornar-se uma importante fonte de informação da superfície terrestre.

Os dados de sensoriamento remoto, imagens de satélite, radar, modelo digital de elevação entre outros, atualmente, fazem parte de nosso dia a dia, pois, eles aparecem em diversos meios de comunicação, na internet, nos aparelhos celulares, etc., fazendo com que essa ampla difusão treine o leitor a ver a paisagem de uma maneira diferente, isto é, na vertical, do alto, aumentando seu campo de visão (PANIZZA e FONSECA, 2011).

Dessa forma, nesta pesquisa é de fundamental importância o uso de produtos de sensoriamento remoto, para subsidiar a elaboração do mapeamento geomorfológico das formas fluviais na região do Ariaú.

6 - Área da Pesquisa

A área de estudo situa-se na região da Bacia do Amazonas, entre os municípios de Iranduba e Manacapuru nos seguintes paralelos 3° 00' 00" S e 3° 20' 00" S e meridianos 60° 20' 00" W e 60° 30' 00" W. Essa área recobre parte das folhas SA-20-Z-D-III-1 Lago do Limão e SA-20-Z-D-III-3 Colônia Boa Vista (Figura 10).

O furo do Ariáú liga dois dos maiores sistemas fluviais do mundo, o rio Solimões/Amazonas e o rio Negro. Essa área apresenta dois ambientes bem distintos: a várzea e a terra firme. Isso propicia a existência de um diversificado ecossistema, com uma variada tipologia vegetal e pedológica. Também nessa área está concentrado um grande número de sítios arqueológicos das populações pré-colombianas que habitavam essa região (NEVES, 2003). O acesso à área de estudo é feito por via fluvial ou pela rodovia AM 070 sendo que, a partir de outubro de 2011, após a inauguração da ponte sobre o rio Negro, ligando Manaus a Iranduba, não foi mais preciso a travessia de balsa no trecho entre esses dois municípios.

Figura 10 - Localização da área de estudo.

6.1 - Materiais e Procedimentos

6.1.1 – Materiais:

Os dados desta pesquisa são compostos de: imagens do sensor aerotransportado SAR R99B, adquirido no modo de mapeamento Quad L + X, com combinações polarimétricas na banda L (HH, HV, VH e VV) e uma na Banda X (HH), com resolução espacial de 6 metros. Essas imagens foram adquiridas em 15 de dezembro de 2005 (Tabela 2).

Tabela 2 - Características do imageamento SAR R99B sobre a área de estudo.

<i>Parâmetros</i>	<i>Especificações</i>
Data da coleta	15/12/2005
Modo de Imageamento	Quad L + X
Polarizações	HH, HV, VV, VH
Tipo de dado	Unsigned 8 bits
Número de Looks	8
Resolução da imagem	6 metros
Tamanho do pixel	5 metros
Sistema de Coordenadas	Geográfico (Lat/Long)
Datum (Sistema Geodésico)	WGS-84
Distância de Início de Imageamento (Slant Range)	25 km
Ângulo de Incidência	36° - 83°
Altitude de vôo	35.000 pés
Sentido de vôo	N – S, S – N

Segundo Andrade (2012), o Sistema de Proteção da Amazônia tem três aeronaves de Sensoriamento Remoto à sua disposição, sendo que cada aeronave é equipada com um subsistema RADAR de Abertura Sintética (SAR), um subsistema de Varredura Multiespectral (MSS) e um subsistema Óptico e Infravermelho (OIS).

A base cartográfica empregada foram as seguintes: Carta Topográfica na escala de 1:50.000 Folhas SA-20-Z-D-III-1 Lago do Limão e SA-20-Z-D-III-3 Colônia Boa Vista, DSG, 1984, assim como os arquivos vetoriais digitais da base de dado do IBGE/SIPAM, contendo dados de drenagem, geologia, geomorfologia, vegetação e pedologia na escala de 1:250.000.

A análise e o tratamento das imagens foram realizados com uso do *software* ENVI 4.7, ERDAS 9.1 e o acabamento, impressão e elaboração dos mapas no *software* ArcGis 10.

A análise pedogeomorfológica foi efetuada ao longo da calha principal do Ariaú, tanto no fundo do vale, quanto no topo das unidades, buscando correlacionar os dados obtidos com as características geomorfológicas da área.

Para a amostragem de solos foram utilizados um trado tipo holandês, GPS para aferir os pontos de amostras e câmera fotográfica. As amostras foram coletadas em diferentes tipologias de solo ao longo da calha do rio Ariaú e em terra firme, entre a parte sul e norte da área de estudo. As amostras de solos, 15 no total, foram retiradas na camada 0–20 cm e 20-40 cm, com auxílio de trado tipo holandês (material inoxidável), sendo realizadas duas tradagens por ponto de coleta. Todos os pontos foram georreferenciados. Após a coleta, as amostras foram empacotadas e identificadas e, em seguida, enviadas ao laboratório de solos da Embrapa da Amazônia Ocidental, onde foram secas e passadas conforme os procedimentos metodológicos descritos em Embrapa (1997).

6.1.2- Procedimentos:

Os métodos e procedimentos adotados nesta pesquisa foram divididos nas seguintes fases: 1- Levantamento dos dados disponíveis e pré-processamento; 2- Processamento dos dados; 3- Análise e interpretação dos resultados. O fluxograma a seguir mostra as fases e as atividades relacionadas para atender aos objetivos propostos nesta pesquisa (Figura 11).

Figura 11 - Fluxograma metodológico

Na fase 1 foram realizados os levantamentos bibliográfico, cartográfico e de sensoriamento remoto, bem como o primeiro levantamento de campo para reconhecimento da área de estudo. Nessa fase, foram determinados os melhores locais para coleta das amostras de solo. Ainda, realizou-se o pré-processamento das imagens SAR R99B, com a correção

geométrica e correção do padrão da antena. Em seguida, realizou-se o corte e seleção da área de interesse nas imagens de radar e, por último, o mosaico das cenas e filtragem.

6.1.3 Pré-processamento das imagens SAR R99B

Nessa etapa são descritos as diversas fases do pré-processamento das imagens SAR R99B. Dessa forma, são apresentados os processos de correção radiométrica, correção geométrica, corte e seleção, mosaico e aplicações de filtros.

6.1.3.1 Correção do padrão da antena.

Segundo Costa *et al.* (2007), as imagens brutas adquiridas pelo SAR R99B passam por procedimentos operacionais antes de ir para os usuários finais. Essas tarefas são realizadas em estações de trabalho no Centro Operacional em Manaus. Maiores informações sobre esses tratamentos e os produtos gerados podem ser obtidos em Andrade e Rosa (2007); Andrade (2012).

Soler (2000) considera que o efeito de padrão da antena ocorre devido às variações de baixa frequência no brilho das imagens na direção de range e, estas, são causadas pela perda da potência com a geometria de visada lateral, que decai com $1/R^3$ no caso das imagens SAR, onde R é a distância entre a antena e um dado ponto na imagem. No entanto, esse efeito é praticamente desprezível no caso de imagens orbitais e, por outro lado, essa distorção é bastante significativa para imagens aerotransportadas SAR. Apesar desta perda de potência ser corrigida no instante da aquisição de cada pulso, através do STC (Sensitivity Time Control). No entanto, devido a algumas imperfeições no sistema STC ou outras perturbações da eletrônica o radar, mecânica ou elétrica, a correção não é perfeita, permanecendo alguma variação residual.

Para as imagens da área de estudo foi utilizado o modelo multiplicativo, por meio de uma função de ajuste obtida a partir de áreas homogêneas dos segmentos que se estendiam do alcance próximo ao alcance distante. Essas correções foram realizadas utilizando o software Envi 4.7. Em todos os segmentos foram utilizados polinômios de 5º grau para ajuste da curva aos dados. Ainda foi realizado um recorte em cada faixa dos segmentos nas polarizações da Banda L e X (Figura 12).

Figura 12 - Aplicação da correção do padrão de antena no segmento 40 da Imagem SAR R99B Banda LVV, a) imagem sem correção do padrão de antena b) imagem com correção do padrão de antena e com corte das bordas escuras.

6.1.3.2 Registro de imagens

As imagens do SAR R99B foram obtidas da missão Amazonas-Rondônia, realizada no período de 10 a 23 de dezembro de 2005 e de 07 a 24 de março de 2006, com direção de voo norte-sul, sendo gerado um total de 237 segmentos (Figura 13). A seleção dos segmentos 40 e 41 correspondem à área do Ariáú, no município de Iranduba (Figura 14). Devido à verificação de um erro na Banda XHH, no segmento 41, essas imagens foram descartadas do processo.

Figura 13 - Área de localização da missão Amazonas-Rondônia com os segmentos gerados no modo Quad L + X com resolução espacial de 6 metros.

Figura 14 - Segmentos 40 e 41 Banda LHH na área do Ariaú no município de Iranduba.

Apesar das imagens adquiridas pelo SIPAM terem vindo, previamente, em um sistema de coordenadas geográficas (Latitude e Longitude) e com Datum WGS84, verificamos ao realizar a análise, um deslocamento entre as cenas e aos outros dados vetoriais disponíveis da área de estudo, o que nos fez realizar um novo registro dos segmentos para obtermos uma melhor precisão cartográfica (Figura 15).

Figura 15 - Segmento 40 e 41 da Banda LHH mostrando o deslocamento norte-sul entre as cenas.

O método adotado para corrigir as distorções geométricas do SAR foi o de Borges *et al.* (2007), e como referência a imagem SAR R99B da missão Manaus-Balbina Dual L (HH,VV)+X HH, com sistema de coordenadas Geográficas Lat/Long e Datum WGS 84. Segundo Borges *et al.* (2007), o erro estimado para o SAR aerotransportado do SIPAM é da ordem de 75 metros. No entanto, com o registro tomado de forma automática utilizando o aplicativo ERDAS 9.1 com a ferramenta IMAGE AutoSync, o erro médio quadrático (RMS) foi de cerca de 0,8 pixel dos 301 pontos obtidos automaticamente pelo algoritmo. O objetivo dessa nova correção geométrica foi de conseguir uma maior precisão geográfica para as bases de referência, tanto para os vetores quanto para outros raster da área de estudo (Figura 16).

Figura 16 - Imagens SAR segmento 40 Banda LHH georreferenciada junto a uma cena do sensor TM/Landsat-5 Bandas 5, 4 e 3 RGB ano de 2010.

6.1.3.3 Mosaico, corte, seleção e aplicação dos filtros nas imagens SAR R99B.

A partir do resultado do novo registro das imagens SAR R99B, foi realizado o mosaico dos segmentos e a realização do corte e seleção na área de interesse (Figura 17).

Figura 17 - Mosaico dos Segmentos 40 e 41 Banda LHH com corte e seleção da área do Ariaú.

6.1.3.4 Aplicação de filtros

Segundo Almeida (2007), o efeito do ruído Speckle é mais intenso em imagens com alta resolução espacial. Esse ruído ocasiona um padrão granulado nas imagens de Radar. Como proposto por Gonçalves e Garcia (1996), antes de qualquer outra operação, as imagens de Radar devem passar por uma redução desse ruído, sendo que quanto a essas operações não existem procedimentos convencionais descritos, pois todos os filtros aplicados provocam alterações nas imagens e possíveis perdas de informação e degradação da resolução. Isso se deve ao fato do speckle ser um ruído multiplicativo. Dessa forma, para amenizar esse ruído nas imagens do SAR R99B, foram testados os filtros Lee, Frost e Gamma com janela 3x3, 5x5 e 7x7, pois são os filtros mais utilizados para redução do ruído speckle, conforme Frery e Sant'Anna (1993), Sant'Anna e Mascarenhas (1996), Gonçalves e Garcia (1996), Rosot (2001), Dutra *et al.* (2003) e Almeida *et al.* (2007). Os resultados da aplicação do filtro Lee mostram uma diferença nas polarizações e nas Bandas (Figura 18).

	Imagem R99B LHH	Imagem R99B LHV	Imagem R99B LVH	Imagem R99B LVV
Dados Originais
Filtro Lee 3x3
Filtro Lee 5x5
Filtro Lee 7x7

Figura 18 - Resultado da aplicação do filtro Lee nas imagens SAR R99B.

O filtro Lee com janela 3x3 apresentou melhor resultado na Banda L polarização hh e hv, pois preservou mais a resolução nominal e a textura e eliminou, satisfatoriamente, o ruído speckle. No entanto, nas polarizações LVH e LVV não houve uma redução do ruído completamente, principalmente nos corpos d'água. Na janela 5x5 do filtro Lee as polarizações da Banda LHH, LHV, LVH apresentaram uma melhora na redução do ruído. Porém, perderam muito na resolução da textura das imagens e a polarização LVV apresentou ainda ruído e perda de qualidade da textura. Na janela 7x7 desse filtro, houve uma redução do speckle em todas as polarizações da Banda L. Entretanto, houve uma maior perda na característica da textura das imagens.

O melhor resultado da aplicação do filtro Frost foi na janela 3x3 nas polarizações LHH, LHV, LVH, pois se conseguiu a retirada satisfatória do ruído e, ao mesmo tempo, não ocorreu uma degradação da resolução da cena. No entanto, nessa janela 3x3, a aplicação desse filtro na Banda LVV apresentou uma concentração muito grande, ainda do ruído speckle. Já

nas 5x5 e 7x7, apesar de ter tido uma redução do ruído speckle, as imagens perderam muita resolução (Figura 19).

	Imagem R99B LHH	Imagem R99B LHV	Imagem R99B LVH	Imagem R99B LVV
Dados Originais
Filtro Frost 3x3
Filtro Frost 5x5
Filtro Frost 7x7

Figura 19 - Resultado da aplicação do filtro Frost nas imagens SAR R99B.

O filtro Gamma-MAP que apresentou os melhores resultados visuais foi o da janela 3x3 em todas as polarizações, pois conseguiu a retirada satisfatória do ruído e, ao mesmo tempo, manteve as resoluções das cenas, possibilitando, dessa forma, a visualização dos principais elementos da rede de drenagem e dos elementos do relevo (Figura 20).

	Imagem R99B LHH	Imagem R99B LHV	Imagem R99B LVH	Imagem R99B LVV
Dados Originais
Filtro Gamma- MAP 3x3
Filtro Gamma- MAP 5x5
Filtro Gamma- MAP 7x7

Figura 20- Resultado da aplicação do filtro Gamma-MAP nas imagens SAR R99B.

O melhor resultado da aplicação dos filtros espaciais foi na janela 3x3, com os filtros Frost e Gamma-MAP, sendo que o Frost na Banda LVV não apresentou um resultado satisfatório para eliminação dos ruídos. Nas demais polarizações, o resultado foi bastante semelhante à aplicação do Gamma-MAP. Quanto ao filtro Lee, não apresentou bons resultados em nenhuma janela, tanto para redução dos ruídos quanto na qualidade da resolução das cenas. Após a análise dos filtros, conforme o resultado apresentado foi adotado o filtro Gamma-MAP nesta pesquisa.

Na segunda fase, a qual corresponde ao processamento dos dados, foram feitas as interpretações dos dados de sensoriamento remoto como subsídios para o mapeamento geomorfológico, através da chave de interpretação e, com o auxílio do trabalho de campo, pôde-se definir as principais formas do relevo na área de pesquisa. A análise dos dados de sensoriamento remoto, para interpretação da imagem de radar, foi adaptada do método de Lima (1995), composta de três fases: identificação dos elementos, análise e interpretação.

Antes da criação da chave de interpretação foi realizada, ainda, a composição colorida das polarizações, como subsídio para uma análise visual melhor das formas da área de estudo, isso devido ao olho humano discriminar mais alvos na forma colorida, do que tons de cinza (Figura 21). Dessa forma, foi adotado a composição RGB nas polarizações HH, HV e VH da Banda L.

Figura 21 - Composição colorida do mosaico das imagens SAR R99B banda L RGB (HH, HV e VH).

Para a interpretação visual das feições do relevo, optou-se pela utilização dos elementos chaves de interpretação, tais como os definidos por Jensen (2000); Florenzano (2008). Dessa forma, foi criada a chave de interpretação, possibilitando uma maior descrição das diversas formas encontradas na área de estudo (Figura 22).

Objeto	Chave de Interpretação
Planícies de inundação Área de inundação com presença de vegetação aquática típica de igapó (chavascal e aningal) Textura lisa. Cor cinza médio e claro.
Platô Áreas mais elevadas, variando de 50 a 80 metros, com presença de vegetação ombrófila densa e algumas áreas de agricultura. Textura rugosa. Cor cinza claro.
Terraço fluvial Áreas de 20 a 35m localizadas entre a planície de inundação e os platôs. Textura áspera. Cor cinza médio.
Planície de Inundação Zona de Praia Áreas baixas sujeitas à inundação sazonais nas margens do rio Negro. Textura lisa. Cor cinza claro.
Rede de Drenagem Área no fundo de vale Textura média Cor cinza escuro e médio (optou-se por utilizar a composição colorida que diferenciava mais)
Uso e ocupação Área urbana Textura média Cor cinza claro e médio (cor vermelha na composição colorida)

Figura 22 - Chave de interpretação das diferentes formas de relevo e uso da área do Ariáú.

Na fase 3, correspondente à análise e interpretação dos resultados, foi feita, primeiramente, a extração da rede de drenagem, tendo como base as imagens do SAR R99 e usando como auxílio às cartas topográficas da DSG. O processo de vetorização foi realizado no software ArcGis 10. A análise da rede de drenagem foi feita conforme descrito em Lima

(1995): grau de integração; densidade; tropia; grau de controle; sinuosidade; ângulo de junção e assimetria. A densidade da drenagem foi gerada através da função Kernel, descrita por Silverman (1988), utilizando o Software ArcGis 10. Foram definidos quatro grupos de densidade (baixa, média, alta e muito alta). Ainda foi realizado o levantamento da hierarquia fluvial, tendo como base os parâmetros estabelecidos por Strahler da ordem dos canais.

Quanto à análise do solo: as amostras foram coletadas ao longo de toda a calha do rio Ariaú e foram feitas amostragens de solos em diferentes camadas até 60 cm (Figura 23). As amostras foram secas ao ar, em secador solar (Terra fina Seca ao Ar – TFSA), foram então peneiradas em peneira de malha de 2 mm e a fração que passou pela peneira foi analisada no Laboratório de Solos e Plantas da Embrapa Amazônia Ocidental, em Manaus – AM. Os parâmetros analisados foram quanto às características químicas do solo: - pH em água (relação solo: água 1-2.5); teores trocáveis de Ca, Mg, K, Al e acidez potencial (H + Al), carbono orgânico (método Walkley – Black), P disponível (extrator Melich 1). Os procedimentos metodológicos utilizados estão descritos em Embrapa (1997). Os parâmetros soma de bases (S), saturação por alumínio (m) e capacidade de troca de cations (CTC), foram calculados em função dos valores determinados dos cations trocáveis e disponíveis. Foram feitas também, análises granulométricas para separação, por tamanho, das frações minerais do solo. O método utilizado foi o de dispersão em agitador de alta rotação, com a utilização de dispersante químico (NaOH 1N) e peneiramento para separação das frações areia, sendo considerada como fração areia grossa a fração retida na peneira de malha de 1,00 mm e como fração areia fina, a fração retida na peneira de malha 0,052 mm. A fração argila foi determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1999) e a fração silte foi estimada por diferença. Foram feitas análises de argila em água (ADA) e calculado o grau de flocculação (GF). Os procedimentos e cálculos para esses parâmetros são também apresentados em Embrapa (1997).

A análise dos dados de Radar: por meio da chave de interpretação foi possível determinar as principais formas de relevo da área de pesquisa (planície de inundação, terraço, barra de sedimentos, dentre outros) para a elaboração do mapa geomorfológico. Ressalta-se, ainda, que o trabalho de campo realizou-se em diferentes etapas do ciclo hidrológico: enchente, cheia, vazante e seca.

Figura 23 - Mapa dos locais do levantamento e coleta das amostras de solo.

O resultado final desta pesquisa tentará demonstrar a eficácia da aplicação dos dados do SAR R99B para o mapeamento geomorfológico, assim como a influência do rio Solimões/Amazonas para a dispersão de nutrientes no canal principal do furo do Ariaú.

7- Análise e Interpretação dos resultados

A partir das imagens do SAR R99B, foi realizado o mapeamento das feições geomorfológicas fluviais existentes na área de pesquisa. No entanto, para se chegar aos objetivos propostos, os resultados foram divididos em: a) característica do furo do Ariaú; b) extração da drenagem vetorial e análise dos dados; c) mapeamento das feições fluviais; d) identificação das unidades geomorfológicas e e) análise pedogeomorfológica.

Característica do furo do Ariaú

Para Ab'Sáber (1993), o nome popular para diferentes cursos de água na Amazônia é muito rica, ao mesmo tempo que possui alta significância científica. Dessa forma, o furo do Ariaú vem do tupi que significa Aria “rio” u “batata” rio de batata. O nome dado deve-se, provavelmente, ao fato de não se tratar de um verdadeiro rio e sim de um furo fluvial.

O furo do Ariaú tem sua extensão de, aproximadamente, 37,17 km no seu canal principal. Próximo ao rio Negro, seu curso é pouco sinuoso sendo, em alguns locais, até mesmo retilíneo. Sua navegabilidade é realizada em quase todo o seu canal, por embarcações de pequeno porte. À medida que o seu trecho se aproxima em direção ao rio Solimões/Amazonas, a sua sinuosidade aumenta e o seu curso se divide em vários canais, formando um leque aluvial meandrante (Figura 24). O canal do Ariaú no período da vazante e da seca, principalmente no trecho próximo ao rio Solimões/Amazonas, não é navegável, pois a vegetação aquática dificulta o deslocamento. Nota-se pela figura 24 que a direção do canal principal, partindo do Solimões/Amazonas ao rio Negro, é S-NW, observações feitas em campo mostram que o fluxo da água em seu canal preferencialmente é desaguada no rio Negro. No entanto, no mês de março, período da enchente, observou-se seu fluxo de água invertido, isto é, desaguando no rio Solimões/Amazonas.

Figura 24- Imagem SAR com a drenagem vetorizada da área de estudo (a); recorte do leque fluvial (b) e recorte em destaque dos cursos que desaguam e recebem sedimentos do rio Solimões (c).

A principal dinâmica fluvial do furo do Ariaú é influenciada pelos dois maiores caudais da região, o rio Solimões/Amazonas e o rio Negro pois, conforme a dinâmica hidrológica, enchente, cheia, vazante e seca desses dois grandes rios, o furo recebe aporte de água tanto de um quanto de outro, sendo que os sedimentos depositados ao longo do furo e nas barras de sedimentos têm sido provenientes do rio de água branca, pois este carrega maior carga de sedimentos em suspensão que o rio Negro. Segundo Carneiro (1995), os rios de águas-brancas são rios de águas turvas, com coloração em várias matizes de ocre, ricos em material particulado em suspensão, com quantidade relativamente alta de eletrólitos, pH variando de 6,2 a 7,2, tendo sua origem predominantemente nos Andes. E os rios de águas pretas são rios de cor marrom-oliva até marrom-café, devido a substâncias húmicas dissolvidas. São bastante ácidos pH de 3,8 a 4,9 e empobrecido em eletrólitos. A tabela 3 mostra uma comparação entre os dois grandes sistemas da área de estudo, o rio Solimões/Amazonas e o rio Negro.

Tabela 3- Características hidráulicas, hidroquímicas e sedimentológicas dos rios Solimões/Amazonas e Negro na área do encontro das águas.

Variáveis	Rio Solimões/Amazonas	Rio Negro
Área das bacias	2.200.000 km ²	600.000 km ²
Amplitude média	2-5 km	3-20 km (máxima no baixo Rio Negro)
Profundidade média	20-35 m	20-30 m (90 máxima próximo ao encontro das águas)
Descarga líquida média	100.000 m ³ /s	30.000 m ³ /s
pH	6,2 - 7,2	3,8 - 4,9
Descarga sólida	700 x 106 mt/ano	6 x 106 mt/ano
Carga dissolvida	205 x 106 t/ano	5,7 x 106 t/ano
Sedimentos de fundo	Areia grossa, média e fina	argila solta de cor creme
Velocidade da corrente	0,5-1 m/s (2-2,5 m/s na vazante)	1 cm/s
Temperatura	29° ± 1° C	30° ± 1° C

Fonte: Modificado de Franzinelli, E., 2011.

Segundo Filizola *et al.* (2002), as cotas registradas no rio Negro pela estação de Manaus são fortemente influenciadas pelos níveis do rio Solimões, não correspondendo à vazão do rio Negro. Isso se deve, principalmente, pela velocidade maior do rio Solimões/Amazonas, o que provoca um efeito de barramento do rio Negro (Gráfico 1 e 2). Para Franzinelli (2011), esse represamento d'água do curso inferior do Rio Negro e a diminuição da sua velocidade, ocasionam um aspecto de grande lago a esse trecho do rio.

Gráfico 1- Cotagrama do rio Negro no período de 1973 a 2011 na estação de Manaus.

Fonte: ANA

Gráfico 2- Cotograma do rio Solimões no período de 1973 a 2010 na estação de Manacapuru.

Fonte: ANA

Uma das características do furo do Ariaú é sua barra de sedimento que se forma junto à margem direita do rio Negro. Segundo Silva (2005) e Soares (2007), os sedimentos depositados pelo rio Solimões/Amazonas no período das enchentes ocasionam essa barra em forma de delta fluvial, na margem direita do rio Negro (Figura 25).

O estudo realizado por Silva (2005) acrescenta, ainda, que esse furo ocasiona uma estreita planície aluvionar, variando de 3 a 5 m ao longo de suas margens frequentemente inundadas no período das cheias. A pesquisa realizada por Silva (2005) baseada em dados de sondagem na região do furo do Ariaú demonstrou que esse canal já foi o antigo vale do rio Negro. No entanto, estudos realizados por Soares (2007) demonstraram que o vale do Ariaú é pouco profundo com cerca de 20 m de profundidade, o que não pode ser considerado como um paleocanal do rio Negro, que apresenta profundidade de 100 m na região de Manaus, sendo que esse canal sempre foi um furo fluvial e não um antigo vale do rio Negro.

Figura 25- Em a) área de estudo imagem SAR composição colorida falsa cor RHH, GHV e BVH; em b) recorte da imagem da barra de sedimentos na margem do rio Negro (delta fluvial) e em c) fotografia panorâmica da área do delta fluvial. Foto: Leonide Príncipe

Extração da rede de drenagem vetorizada e análise dos dados

Um dos elementos que contribuem para o entendimento da geomorfologia de uma determinada região é, sem dúvida alguma, a rede hidrográfica. Segundo Christofolletti (1980), as drenagens fluviais sempre tiveram uma importância relevante na geomorfologia pois, por meio da análise da rede hidrográfica podem levar à compreensão e a elucidação de várias questões geomorfológicas.

Para Ab'Sáber (1959), o estudo da rede de drenagem labiríntica, além de facilitar a compreensão da drenagem aluvial, constitui importante contribuição para o estudo do baixo relevo e microformas das planícies em formação.

Nessa etapa foram vetorizados os corpos d'água da área de estudo, sendo que os rios de maior volume de água, paranás e os lagos aparecem com uma melhor definição nas imagens de radar, devido à reflexão especular das microondas na direção oposta da antena, não tendo, portanto, nenhum sinal registrado no sensor, aparecendo uma imagem com tons de cinza escuro (preto). Optou-se por não utilizar a polarização L VV para o mapeamento dos

corpos d'água devido espalhamento muito forte nesta polarização, ocasionando dificuldade na interpretação (Figura 26).

Figura 26 - Recorte de uma área próximo ao rio Solimões em a) Banda L HH com os corpos d'água apresentando o tom de cinza escuro e b) L VV aparecendo variação de cinza médio e escuro na água devido o espalhamento do sinal do radar.

Os menores cursos d' água da área de estudo foram vetorizados tomando como base o mapa de drenagem do DSG do Exército Brasileiro e, também, utilização da composição colorida do SAR, isso devido às imagens em tons de cinza do radar confundir com o uso e ocupação do solo (Figura 27).

O resultado da extração manual da rede de drenagem através das imagens do SAR, possibilitou visualização dos cursos d'água de menor porte, onde a maioria desses cursos não é vista nas cartas topográficas e nem nas imagens dos sensores ópticos, isso porque o tipo de comprimento da onda interfere diretamente no sinal de retorno para o sistema radar. Segundo

Florenzano (2008), quanto maior o comprimento de onda do radar, maior também é a sua capacidade de penetração. Assim, o comprimento de onda menor interage com as camadas superficiais da vegetação, como é o caso da Banda X que tem um comprimento de 3 cm. Já a Banda L, que tem comprimentos de ondas mais longos, 23 cm, acaba penetrando nas camadas inferiores da floresta.

Figura 27- Hidrografia da área do Ariáú: em a) mosaico das cartas topográficas utilizadas como base; em b) mosaico da imagem SAR composição colorizada RHH, GHV e BVH; em c) hidrografia vetorial gerada com base na interpretação do SAR.

Segundo Lueder (1959 apud Lima, 1995), os principais parâmetros a serem estudados nos padrões de drenagem são: grau de integração, densidade, tropia, grau de controle, sinuosidade, ângulo de junção e assimetria.

Em relação ao grau de integração, a drenagem é mais alta na parte NE e SE, com traçado visível na área próxima ao lago do Ubim. Por ser uma região com relevo mais baixo e com a vegetação mais densa, o grau de integração da drenagem é de médio a baixo.

Conforme Christofolletti (1980), a densidade de drenagem é uma das variáveis mais importantes para a análise morfométrica das bacias de drenagem, representando o grau de dissecação topográfica. A densidade de drenagem varia, em geral, de muito baixa a muito alta, de acordo com a quantidade de drenagens e comprimento dos vetores por unidade de área (km^2). Os resultados alcançados com a densidade de drenagem extraída da área de estudo, demonstram que a rede de drenagem é mais densa próximo do furo do Ariaú e ao longo dos lagos, na região NW da área de pesquisa. Em contrapartida, na parte NE e SE da área de estudo, a densidade varia de média a baixa. Esse resultado evidencia um tipo diferenciado de solo e mesmo de relevo, pois nas áreas de alta densidade o solo pode ser extremamente impermeável (Figura 28).

Figura 28- Mapa da Densidade de drenagem obtido a partir do mapa drenagem final em km/km^2 .

Um dos trabalhos pioneiros a vincular a causa imediata da padronização da drenagem ao movimento tectônico, foi desenvolvido por Sternberg (1950): Vales tectônicos na planície Amazônica? Esse autor ressalta que muitos rios e lagos de vales afogados da Amazônia tem sua origem nos movimentos tectônicos que ocorreram na região.

Ainda na área de estudo, na região do baixo rio Negro, vários autores descreveram falhas normais seccionando o substrato cretáceo e o perfil laterítico superimposto (SOARES, 2007). Franzinelli e Igreja (1990), utilizando dados de sensoriamento remoto concluíram que a margem direita do rio Negro apresenta uma direção geral N45W, entre outros critérios. A sua retilinidade reflete uma falha normal com mergulho para nordeste, concordante às demais falhas normais da margem esquerda. Latrubesse & Franzinelli (2002) consideram que a posição atual do canal do Solimões/Amazonas, bem como a morfologia e tamanho da planície aluvial, estão relacionados diretamente com o lineamento neotectônico.

Dessa forma, no que se refere à tropia do sistema de drenagem da área de estudo, pode-se classifica-la como unidirecional em relação aos grandes sistemas, rio Negro e Solimões, multidirecional nos pequenos cursos e tropia desordenada nos cursos que interligam com o furo do Ariaú. Com o resultado da tropia da rede de drenagem, podemos inferir que o grau de controle dos grandes caudais é forte e dos pequenos cursos o controle é fraco.

Em relação à sinuosidade e a angulosidade do sistema de drenagem da área, pela análise da rede, podemos caracterizar que não foi encontrada nem um curso que fuja ao padrão normal, com exceção do rio Negro, que apresenta uma modificação no seu padrão de drenagem de anastomosado para retilíneo e mudança brusca de direção próxima a área do Jacareubal. Já em relação à assimetria, a drenagem da área é bem fraca. Porém, a drenagem do lago do Limão apresenta uma assimetria de média à forte, onde os afluentes da margem direita são maiores que os da esquerda (Figura 29).

Figura 29 – Bacia do lago do Limão configurando a diferença entre assimetria dos afluentes da margem direita e esquerda.

Segundo Silva (2005), o sistema de drenagem na área do Ariaú é fracamente desenvolvido, pois situa-se em uma superfície rebaixada. Porém, existe uma complexidade de formas e padrões devido aos diferentes tipos de depósitos fluviais (terraços, barras de migração e recente do furo do Ariaú), que formam canais afogados com padrão retangular.

Em relação aos padrões de drenagem reconhecidos na área de estudo, podem ser classificados como dendrítico, sub-dendrítico e complexo. Em relação à rede dendrítica, podemos citar os seguintes igarapés: do Testa; do Chico Preto e o da Montanha Russa, todos na parte nordeste da área de estudo. Já o sistema sub-dendrítico, na área, é o igarapé da Cachoeira, na parte central. O padrão de drenagem tido como complexo, é encontrado relacionado diretamente ao curso do furo do Ariaú, onde se verifica um emaranhado de canais que se interligam e que têm contato direto com o curso principal do Ariaú. Em relação à hierarquia fluvial, foram encontrados padrões de canal até a quarta ordem, conforme a classificação de Strahler (Figura 30).

Figura 30- Recorte na imagem dos padrões de drenagem: em a) dendrítico; em b) sub-dendrítico; em c) complexo e em d) hierarquia fluvial de uma sub-bacia de drenagem igarapé do Paricatuba.

Mapeamento das principais feições fluviais.

A área de estudo encontra-se inserida nas unidades geomorfológicas da Planície Amazônica e do Planalto Dissecado Rio Trombetas-Rio Negro (IBGE, 1978) (Figura 31). O domínio da Planície Amazônica é caracterizado por planícies de inundação e terraços fluviais muito amplos. Normalmente são recobertas por vegetação de igapó e matas de várzea adaptadas a ambientes inundáveis. São ambientes aplanados, aptos ao acúmulo da sedimentação fluvial, configurando áreas sazonalmente inundáveis que formam as planícies aluvionares ou várzeas. Nessa área são característicos os diques marginais, canais anastomosados, lagos, paranás, igarapés, igapós e ilhas. O Planalto Dissecado Rio Trombetas-Rio Negro, também denominado de Baixos Platôs da Amazônia Oriental, está representado por colinas pequenas e médias dissecadas, vales fechados e drenagens dendríticas e subdendríticas (SILVA, 2005; DANTAS & MAIA, 2010).

Figura31- Domínios Morfoestruturais e Unidades Geomorfológicas da área de estudo.

Essa fase consiste no estudo da disposição e ordenamento dos elementos identificados na imagem para o mapeamento geomorfológico das feições fluviais. Conforme a metodologia proposta por Lima (1995), o menor elemento de imagem, identificável e passível de repetição, é denominado de elemento textural. A textura de uma imagem de radar é dada, portanto, pelo arranjo dos elementos texturais.

Na área de estudo foram identificadas as seguintes unidades morfológicas: 1- Platô, 2- Planície Fluvial e 3-Terraço Fluvial. (Anexo I- Mapa geomorfológico do Ariaú)

1- Platô- Pela interpretação das imagens SAR R99B pode-se dividir em três subunidades correspondentes à área do Ariaú: os de topos tabulares, os de topos convexos e o baixo-platô.

As subunidades dos platôs de topos tabulares estão situadas na parte central e nordeste da área de estudo. Essa subunidade é a que contém as cotas mais elevadas da área de pesquisa, variando de 80 a 100 m, inserida na formação Alter do Chão e representada, normalmente, por rochas sedimentares intemperizadas e laterizadas. O solo predominante nesta subunidade é o Latossolo Amarelo. No entanto, o Espodossolo aparece no fundo de alguns vales, geralmente encontrado em pequenas manchas nas proximidades de igarapés e, embora menos comum, no terço médio de algumas vertentes, essa classe de solo não aparece no mapa de solos devido a sua pequena extensão, bem como as manchas de solo de Terra Preta bastante comuns na área de pesquisa. Tanto o Espodossolo quanto a Terra Preta, são cobertos por uma vegetação típica de campinas e campinaranas (SOARES, 2007). Segundo o IBGE (2002), a vegetação predominante nesses platôs é de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas. No entanto, devido à ação antrópica intensa nessa área, grande parte da vegetação original já foi retirada para o uso e ocupação do solo para agricultura. Nas imagens SAR R99B, essa unidade aparece com uma textura grossa com tons de cinza claro e médio (Figura 32).

Figura 32- Mosaico da imagem SAR Banda LVV da área de estudo. a) Platô de topo tabular na parte nordeste da área; b) área com Espodossolo e vegetação de campinara, sítio arqueológico Dona Stella.

Platôs de topos convexos estão situados na parte sul-sudeste da área de estudo, e são uma área de contato com a planície fluvial do rio Solimões/Amazonas. A drenagem é do tipo dendrítica, apresentando igarapés com vales afogados. O solo é do tipo Latossolo Amarelo com vegetação de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas. Também apresenta vegetação

secundária, capoeira, além de apresentar uma intensa modificação na paisagem pelo uso e ocupação do solo. É nessa área que se encontra a sede do município de Iranduba (Figura 33). Segundo Maia (2007), nessa área reúne formas de relevo caracterizadas por superfícies colinosas de topo convexo tabular, separada por vales de declive moderado. Essa subunidade aparece com uma textura muito grossa na imagem de radar do R99B, com tons de cinza variando de claro a médio.

Figura 33- Local de ocorrência do Platô com topo convexo. Área do lago do Caldeirão ao fundo mostrando colina com topo convexo.

Baixo-platô- essa subunidade apresenta nível abaixo de 50 metros e está na parte oeste da área de estudo, em contato com os terraços fluviais e com a planície de inundação. Apresenta vegetação de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas com Dossel Emergente (IBGE, 2002). Segundo Maia (2007), essa unidade caracteriza-se por apresentar uma superfície plana levemente ondulada, com entalhamento dos vales muito fraco (<20 metros) e com um relevo de amplitude inferior a 50 metros, sendo a rede de drenagem influenciada, principalmente pelo Lago do Ubim. Conforme Silva (2005), nessa área ocorrem depósitos argilosos e siltosos com níveis arenosos intercalados, de coloração cinza. Esses depósitos são

bastante utilizados pela indústria oleira para fabricação de telhas de barro e tijolos. Nos trabalhos de Silva (2005) e Soares (2007), esses depósitos estão sendo considerados como pertencente ao Quaternário, diferente do mapeamento geológico realizado pelo RADAMBRASIL, que considerou essa área como sendo da Formação Solimões. No mapa geológico do IBGE (2002) está configurado como pertencente à Formação Içá (Figura 34). O baixo platô aparece com uma textura fina na imagem de radar e com tons de cinza claro.

Figura 34- Subunidade Baixo Platô na parte oeste da área de estudo próximo ao lago do Ubim.

2- Planície Fluvial- essa subunidade foi dividida em duas: Planície Fluvial do rio Negro e Planície Fluvial do rio Solimões/Amazonas. De acordo com Barbosa *et al.* (1978), pelo fato do rio Solimões/Amazonas ter sua nascente na cordilheira dos Andes e drenar uma área composta de sedimentos tenros e recentes, tem um potencial de deposição bastante elevado na sua planície fluvial. Por outro lado, o rio Negro, que tem suas nascentes no Complexo Guianense, região bastante erodida, utiliza sua potência nos processos de encaixamento do seu leito. Por isso, a diferenciação no tocante à construção de suas planícies pois, enquanto o Solimões/Amazonas carrega uma carga de sedimentos alta, o rio Negro, ao contrário, transporta pouco material em suspensão.

A planície fluvial do rio Negro é pobre em nutrientes. Isso devido à elevada acidez de suas águas de coloração escura, com variação de pH entre 3,8 a 4,9, apresentando uma grande quantidade de substâncias orgânicas dissolvidas, provenientes de solos arenosos cobertos por vegetação de campinarana (CARNEIRO, 1995; TEIXEIRA *et al.*, 2009). Essa subunidade situa-se na confluência do furo do Ariaú com o rio Negro, juntamente com o lago do Ubim na parte noroeste da área de estudo, e ainda, na região do Jacareubal na porção norte. É nessa subunidade que, durante o período de vazante e de seca do rio Negro encontramos zonas de praia. Segundo Albuquerque *et al.* (2012), a composição mineralógica é definida por sedimentos formados no Quaternário, cuja composição é predominantemente de areia quartzosa (Figura 35). Na imagem do SAR R99B essa subunidade aparece com uma textura lisa e tons de cinza claro.

Figura 35- Praia do Açutuba na subunidade da Planície Fluvial do rio Negro margem direita.

A Planície Fluvial do rio Solimões/Amazonas é denominada localmente de várzea. Esse rio carrega uma elevada carga de sedimentos em suspensão e, associados ao nível elevado do lençol freático e às inundações periódicas, condicionam um processo incipiente de pedogênese (IRION, 1984). Essas áreas denominadas várzeas, estão sujeitas a inundações sazonais, compondo uma planície aluvial que pode alcançar uma grande extensão, com um sistema complexo de canais, lagos, ilhas e diques marginais (SIOLI, 1951).

Essa subunidade está localizada em toda a parte sul da área de estudo e apresenta os seguintes tipos de formação vegetal: Floresta Ombrófila Densa Aluvial com Dossel Emergente, Formação Pioneira Herbácea sem Palmeira e áreas de cultura cíclicas (IBGE, 2002). Nessa área predominam os solos aluviais (Gleissolos e os Neossolos Flúvicos), devido à dinâmica fluvial muito intensa: cheia, enchente, vazante e seca. A paisagem é bastante transformada, surgimento de inúmeras ilhas, diques marginais e cordões arenosos alongados no interior do canal. De acordo com Teixeira *et al.* (2007), os solos de várzea têm elevada fertilidade natural e desempenham um papel de suma importância na produção agrícola da região, pois são intensamente utilizados pelos pequenos agricultores ribeirinhos da região. Para Neves (2005), os pequenos agricultores ribeirinhos se configuram mais como policultores (agricultores, pescadores e extratores de recursos florestais), sendo que a maioria se dedica a cultivos de ciclo curto, isso devido ao efeito da alagação do grande rio (Figura 36). Essa subunidade também aparece com textura lisa na imagem do SAR R99B.

Figura 36- Área de várzea com cultivo de banana no período da cheia do Solimões/Amazonas.

3-Terraço Fluvial- essa subunidade está localizada principalmente nas margens do furo do Ariaú. No entanto, também verifica-se a ocorrência de pequenos terraços na margem do

Solimões/Amazonas, na parte sul da área de estudo. Os terraços mais recentes, holocênicos, são representados, principalmente, por depósitos de acreção lateral e de transbordamento, sujeitos à dinâmica atual dos rios. A densidade da drenagem, neste local, é de muito alta a alta nos terraços nas margens do furo do Ariaú. Segundo Maia (2007), de maneira geral os terraços são superfícies planas e levemente inclinadas e pouco dissecadas nessa área e grande parte caracterizadas com argila. De acordo com Silva (2005), no terraço do furo do Ariaú ocorrem sedimentos quaternários, material essencialmente argiloso, onde essas argilas já são localmente exploradas e constituem a fonte de matéria-prima para a indústria oleira de Iranduba (MAIA, 2007). Nas imagens do SAR essa subunidade aparece com uma textura média com tons de cinza claro (Figura 37).

Figura 37- Terraço fluvial na margem do furo do Ariaú.

Mapeamento das feições fluviais

As feições fluviais definidas para o mapeamento foram: igarapés, furos, lagos, rios, ilhas fluviais e barras de sedimentos. (Anexo II- Mapa de Ambientes Fluviais do Ariaú)

Os igarapés se configuram em toda a área da pesquisa e são os ambientes predominantes em toda a região, soblevam os cursos de primeira e segunda ordem,

conforme a classificação de Strahler. Os igarapés, nessa área, são feições com bacias bem definidas de pouca extensão e de largura reduzida (Soares, 1997). A feição dos furos predomina na parte oeste da área de pesquisa em toda a extensão do canal principal do furo do Ariaú, sendo que, na parte leste, não foi encontrada nenhuma dessa feição fluvial (Figura 38).

Figura 38- Mapa da drenagem dos igarapés e furos da área de estudo

Em relação às feições lagos, foram mapeadas as seguintes tipologias: lago dendrítico, lago de restinga, lago de vale afogado e lago de várzea. Os caracterizados como sendo lagos dendríticos estão concentrados na parte oeste da área de estudos. Esse tipo de lago é bastante ramificado, sendo que o de maior extensão na área de pesquisa é o lago do Ubim na região noroeste. Uma rede complexa de igarapés e furos faz ligações com esses tipos de lagos (Figura 39).

Figura 39 - Lago dendrítico do Ubim na parte oeste do município de Iranduba

Os lagos de restingas denominados por Nascimento *et al.* (1976), são os que se encontram na margem do rio Negro, na região noroeste da área de estudo. No entanto, apesar da denominação lago de restinga, esses lagos ainda têm contato direto com os rios. Apesar do processo de colmatagem, que gerou vários furos e canais de ligação direta, pode-se aventar que o processo de colmatagem que vem ocorrendo nessa área tem sido originado pelos sedimentos vindo do furo do Ariaú.

Os lagos de vales afogados, também chamados de rias fluviais (BARBOSA *et al.*, 1978) ou mesmo de rias de água doce (GUERRA, 1962), estão representados na parte nordeste, sul e central da área de pesquisa. Na parte nordeste e central os lagos não apresentam o que Sternberg (1950) chamou de dilatação lacustre, ocasionada na boca dos vales provocada pelos sedimentos depositados ocasionando joelho de fratura. Há de se destacar que na parte central, o único lago encontrado com essa feição de vale afogado foi o lago do Limão. Esse lago, também no período da cheia, tem contato com o rio Solimões/Amazonas por meio do lago Grande (NEVES, 2000). Os de vales afogados, que se concentram na da parte sul, são mais retilíneos e neles se verifica a presença da colmatção de sedimentos, ocasionando um barramento do canal (Figura 40).

Figura 40- Recorte na imagem da área e em destaque o Lago do Limão que apresenta vale afogado.

Os lagos de várzea são os mais presentes na área de estudo e estão concentrados todos na parte sul. Esses tipos de lagos estão diretamente, ou parcialmente, relacionados com a dinâmica fluvial do rio Solimões/Amazonas: ora são alimentados pelo transbordamento do rio principal; ora através dos canais de ligação (furos). Segundo Ayres (1995), esses tipos de lagos são bastante cobertos por vegetação arbustiva, pantanosa e são quase intransponíveis no período da seca (Figura 41).

Figura 41- Entrada de um lago de várzea no período de cheia próximo do rio Solimões/Amazonas.

Em relação ao mapeamento dos rios na área de pesquisa, isto é, os dois caudais, rio Negro e Solimões/Amazonas já foi bastante discutido ao longo deste trabalho. Desta forma, só apresentaremos as outras feições a eles que integram a geomorfologia fluvial.

As feições de ilhas são encontradas tanto no canal do rio Negro quanto no do Solimões/Amazonas. Porém, as ilhas do rio Negro em menor proporção, sendo que algumas só aparecem no período da seca na região (Figura 42). Quanto às do Solimões/Amazonas, devido à dinâmica maior do rio e de sua velocidade, as ilhas nesse canal estão em processo muito grande de colmatção e apresentam, geralmente, lagos em seu interior. Segundo Latrubesse (2002), essas ilhas são planícies de inundação caracterizadas por barras em crescente. Essas barras são truncadas pelo canal principal do rio como pelo seu braço lateral (paraná).

Figura 42- Pequena ilha fluvial na margem direita do rio Negro próximo a praia de Açutuba em Iranduba.

Análise pedogeomorfológica

Conforme Salgado (2005), com a crescente necessidade de interdisciplinaridade para os diversos tipos de estudos, principalmente relacionados à questão ambiental, o conhecimento das relações relevo-solo, através da pedogeomorfologia, pode configurar-se como um importante subsídio para o entendimento do ambiente. Partindo desse pressuposto, este estudo enfocou o levantamento das amostras pedológicas em diversos pontos da calha do furo do Ariaú.

Neste trabalho, foram consideradas às áreas de planície fluvial do rio Solimões/Amazonas como área de várzea, sendo que as várzeas são as paisagens geomorfológicas das planícies de inundação e terraços fluviais são áreas formadas por colmatação de sedimentos fluviais e ainda sujeitas à inundação, cuja periodicidade e tempo de submersão, dependem de sua posição, altura e forma na paisagem, sendo ambientes típicos dos chamados rios de água branca. Esses ambientes, normalmente, apresentam drenagem reduzida, condicionada principalmente pela posição próxima às redes de drenagem. Podem apresentar processos de deposição de novos sedimentos pelas inundações periódicas e processos de gleização pela redução e remoção de minerais de ferro do solo.

De acordo com Teixeira *et al.* (2008) e com as informações cartográficas disponíveis da área de estudo, as principais classes de solos desse local são os Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos nas áreas de várzea, os Latossolos Amarelos, principalmente nas áreas de terra firme e Plintossolos Háplicos e Petroplínticos, nas áreas de influência do lençol freático (Figura 43).

Figura 43: Mapa de solos da área de estudo.

Fonte: IBGE/SIPAM

Segundo Shinzato *et al.* (2005) e Teixeira *et al.* (2010), os Latossolos Amarelos na Amazônia Central são encontrados, predominantemente, em área de baixo platô na área de estudo. Apresentam baixa fertilidade natural, com teores muito reduzidos de bases trocáveis e fósforo. São solos de baixa fertilidade e com acidez elevada (Figura 44). No estado do Amazonas apresentam, predominantemente, caráter distrófico ou álico. De acordo com Ferreira *et al.* (2006), o Latossolo Amarelo encontrado sob floresta primária de terra firme, devido à sua pobreza em nutrientes, bem como a sua baixa capacidade de troca catiônica, atua apenas promovendo uma resistência a lixiviação dos nutrientes, suficiente para que os mesmos sejam eficientemente assimilados pela vegetação. Conforme o mapa de solo da área de estudo, há uma predominância na terra firme do Latossolo Amarelo álico.

Figura 44 – Detalhe de um perfil de Latossolo Amarelo na área de estudo no município de Iranduba.

No mapa de solo da área (Figura 43), verifica-se que nas proximidades do furo do Ariaú o que se encontra são Plintossolos. De acordo com Shinzato *et al.* (2005), a principal característica da classe dos Plintossolos é a presença de manchas ou mosqueados avermelhados (plintita), geralmente compondo um mosqueado de cores bem contrastantes (amarelo e vermelho) com a matriz (geralmente esbranquiçada) (Figura 45). Essas classes de solos, normalmente, são encontradas em áreas deprimidas, planícies aluvionais e terraços inferiores de encostas. Conforme o mapa de solo, a predominância do Plintossolo álico está próxima à calha do furo do Ariaú. Segundo Soares (2007), essa classe de solo não tem aptidão agrícola pelas dificuldades de mecanização, pela baixa retenção de água e reduzida fertilidade. Na área de estudo esses solos são fonte de piçarra, utilizada para pavimentação das estradas vicinais.

Figura 45 – Detalhe de um perfil com presença de horizonte plântico na subsuperfície.

A classe dos Gleissolos se concentra tanto na porção norte, na margem direita do rio Negro, em uma área denominada Jacareubal, quanto na parte sul, próximo da calha do rio Solimões/Amazonas, esse solo na área de estudo está diretamente associado à planície de inundação. São solos hidromórficos constituídos por material mineral que apresentam horizonte glei dentro dos primeiros 50 cm de profundidade. Segundo Teixeira *et al.* (2010), esses solos apresentam encharcamento durante longos períodos do ano, o que resulta em condições anaeróbicas e consequente redução do íon férrico para o íon ferroso. Em geral, apresentam textura fina e não se incluem nas classes texturais areia ou areia franca (Figura 46). Na área de várzea, os Gleissolos são eutróficos e em algumas áreas apresentam caráter distróficos, sendo que os eutróficos apresentam boa disponibilidade de nutrientes, enquanto os distróficos são fortemente ácidos, geralmente de textura argilosa e com elevada saturação por alumínio (TEIXEIRA *et al.*, 2007).

Figura 46- Perfil de Gleissolo, predominante nas margens do rio Solimões/Amazonas na região estudada. Observa-se as cores acinzentadas típicas de ambientes hidromórficos.

Os Neossolos Flúvicos apresentam pequena expressão dos processos pedogenéticos. Nessa área de várzea do Solimões/Amazonas, os solos normalmente apresentam teores elevados de silte e de areia fina e que por serem solos mais novos, também são menos estruturados, sendo, por isso, mais susceptíveis a perdas por erosão (LIMA *et al.*, 2006). Segundo Teixeira *et al.* (2010), essas classes de solos estão associadas, principalmente, aos diques aluviais e às partes mais elevadas do interior da várzea (Figura 47).

Figura 47 - Perfil de Neossolo Flúvico Ta Eutrófico (Iranduba – AM)

Análises Granulométricas

Segundo Fearnside & Niwton (2002), uma das características mais importantes do solo é a sua textura, definida principalmente pela proporção das frações de areia, silte e argila. Solos muito arenosos podem ser prejudiciais ao crescimento das plantas, devido a sua baixa capacidade de retenção de cátions. Nos solos de várzea, predominam as frações mais finas, silte e argila. A fração areia é composta principalmente de areia fina. Em geral, a areia grossa quando presente ocorre em percentuais muito baixos. Os percentuais de silte podem representar mais de 50% da composição granulométrica de um solo, refletindo o baixo grau de pedogênese deste ambiente (LIMA *et al.*, 2007).

Os rios de águas pretas não formam várzeas e sim praias por não possuírem sedimentos finos em suspensão e a cor escura é devido a substâncias coloridas como matéria orgânica, material húmico (SANTOS & RIBEIRO, 1988).

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos das análises granulométricas de oito amostras de solos, coletadas ao longo da área da calha do rio Ariaú, na profundidade de 0 a 20 cm e 20-40 cm. Essas amostras são classificadas conforme os locais e a direção do furo do Ariaú, partindo do Solimões/Amazonas em direção ao rio Negro.

Tabela 4- Resultado das análises granulométricas ao longo da calha do rio Ariaú

Profundidade	Identificação	AREIA GROSSA	AREIA FINA	AREIA TOTAL	SILTE	ARGILA	Classificação textural do solo
		2.00-0.20 mm	0.20-0.05 mm	2.00-0.05 mm (g/kg)	0.05-0.002 mm	>0.002 mm	
0-20	A1-Igarapé Preto	3,87	253,61	257,48	625,02	117,50	Franco Siltosa
20-40	A1-Igarapé Preto	4,43	338,28	342,71	554,30	103,00	Franco Siltosa
0-20	A2- planície fluvial-gasoduto	22,70	144,00	166,71	331,30	502,00	Argila
20-40	A2- planície fluvial-gasoduto	45,79	123,63	169,42	345,09	485,50	Argila
0-20	A3- margem direita- terraço fluvial	1,28	94,38	95,66	296,84	607,50	Argila
20-40	A3- margem direita- terraço fluvial	0,58	142,15	142,74	350,27	507,00	Argila
0-20	A4- planície fluvial do furo	16,29	203,41	219,69	426,31	354,00	Franco Argilosa
20-40	A4- planície fluvial do furo	4,21	178,91	183,12	539,88	277,00	Franco Argilo Siltoso
0-20	A5- terraço fluvial	5,11	120,28	125,40	418,61	456,00	Argila Siltosa
20-40	A5- terraço fluvial	0,84	78,26	79,09	486,41	434,50	Argila Siltosa
0-20	A6- barra de sedimento lateral	880,73	52,19	932,92	42,59	24,50	Areia
20-40	A6- barra de sedimento lateral	808,33	81,60	889,93	71,07	39,00	Areia
0-20	A7-barra do delta nível 2	5,08	463,45	468,53	459,48	72,00	Franco Arenosa
20-40	A7-barra do delta nível 2	1,03	572,93	573,96	362,54	63,50	Franco Arenosa
0-20	A8- barra do delta nível1	14,92	105,51	120,43	672,07	207,50	Franco Siltosa
20-40	A8- barra do delta nível1	18,89	124,80	143,69	664,81	191,50	Franco Siltosa

A amostra A1 corresponde à entrada principal do furo do Ariaú confluência com o rio Solimões e tem a denominação dada pelos moradores locais de igarapé Preto. A área apresenta vegetação secundária, sem palmeiras. Caracterizada, principalmente, por culturas cíclicas é uma área bastante alterada pela ação humana e se configura como planície fluvial bastante ativa do rio Solimões/Amazonas. A classificação do solo, nessa amostra, foi de Franco Siltosa, tanto na profundidade 0-20 cm quanto na de 20-40 cm, sendo que a maior concentração de material encontrado nessas amostras foi de silte de 625,02g/kg e 554,30g/kg, respectivamente, nas profundidades analisadas. Em contrapartida, a menor concentração foi na fração argila de 103 g/kg na profundidade 20-40 cm. Os valores de maior concentração de silte, nessas amostras, podem estar relacionados com uma maior influência do rio Solimões/Amazonas no local da coleta, já que é uma área da planície fluvial bastante ativa do rio Solimões/Amazonas, na confluência com o igarapé Preto (Figura 48). Segundo Ferreira *et al.* (1999), os solos nas margens do rio Amazonas são normalmente siltosos e conforme se afastam para o interior, na direção dos lagos ou dos igarapés, vão se tornando mais argilosos, o que é normal tendo em vista o diâmetro das partículas e a distância de que são transportadas no processo de colmatagem.

Figura 48- Local do levantamento de solo da amostra A1 em a) igarapé Preto na confluência com o Solimões/Amazonas e em b) local onde foi realizada a coleta do solo.

A amostra A2 é caracterizada como uma planície fluvial do furo do Ariaú. O local está próximo ao trecho do gasoduto Coari-Manaus e é uma área bastante estreita variando de 3 a 5 metros, caracterizada com vegetação ombrófila densa aluvial pouco modificada e que sofre influência direta no período da cheia e enchente do rio Solimões/Amazonas, pois concentra uma grande deposição em camadas dos sedimentos, além de ser uma área bastante preservada e de difícil acesso no período da vazante e da seca. Nessa área verificamos muitos troncos de árvores que estão sendo soterrados pela deposição dos sedimentos, apresentando a formação de primeiro estágio do carvão mineral, a turfa, apresentando uma grande concentração de matéria orgânica. A classificação das amostras do solo nesse local, foi tida como argila. A

fração argila na primeira profundidade foi 502 g/kg e na segunda 20-40 cm de 485,50 g/kg, respondendo por 50% das amostras. No entanto, a fração de areia total somente representou 166,71 g/kg e 169,42 g/kg nas duas profundidades analisadas (Figura 49).

Figura 49- Local da coleta da amostra A2 mostrando a disposição dos sedimentos depositados em camadas.

A coleta da amostra A3 foi realizada em uma área de terraço fluvial na margem direita do furo do Ariaú. Sua altitude mede em torno de 3 m a 5 m e são áreas relativamente mais altas que a área da planície fluvial do furo do Ariaú. Em termo vegetacional é caracterizada, segundo o IBGE (2002), como sendo floresta ombrófila densa aluvial uniforme. No entanto, devido ação antrópica, aparece também vegetação pioneira. Nesse local, a classificação da textura dos solos nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm foi igual ao da amostra anterior A2, isto é, argila. Porém, com uma concentração maior na fração argila de 607,50 e 507 g/kg nas duas profundidades, respectivamente. Em relação à fração areia total essa foi muito baixa. Na primeira profundidade foi somente de 95,66 g/kg e de 142,74 g/kg na segunda profundidade. (Figura 50).

Figura 50- Local da amostra A3 – terraço fluvial na margem do furo do Ariaú.

Em relação à amostra A4, esta foi realizada na planície fluvial do furo do Ariaú, na margem esquerda, com uma distância aproximada de 1 km em relação à ponte do Ariaú. A vegetação da área é caracterizada ombrófila densa aluvial com dossel uniforme, por vegetação secundária e pioneira (Figura 51). Na profundidade 0-20 cm a classificação da textura do solo foi de Franco Argiloso, sendo que o maior valor encontrado nessa amostra foi na fração de silte, com 426,31 g/kg, representando 43% da amostra analisada. E na profundidade 20-40 cm a classificação foi de Argilo Siltoso, com uma concentração na fração silte de 539,88 g/kg, o que representa 54% da amostra.

Figura 51- Local da coleta da amostra A4 na planície de inundação do Ariaú.

A amostra A5 foi realizada no terraço fluvial depois da ponte, e corresponde a uma área próxima ao platô na margem direita do furo do Ariaú. A vegetação nesse local foi bastante modificada pela ação antrópica e se configura, segundo os dados do IBGE (2002), como sendo uma área agricultura com culturas cíclicas (Figura 52). Nessa área, a classificação da textura do solo nas duas profundidades foi como sendo Argila Siltosa. Conforme os dados da tabela 4, a fração de maior concentração na primeira profundidade foi de argila, com 456g/kg respondendo por 46% do total da amostra e, na profundidade de 0-20 cm, houve uma maior concentração na fração de silte, com 486,41 g/kg, sendo que a menor concentração de fração foi verificada na areia total na segunda profundidade, com valor de 79,09 g/kg.

Figura 52- Local da amostra A5 no terraço fluvial. Em a) período de seca e em b) período de cheia.

A coleta da amostra A6 foi realizada na barra de deposição lateral na margem direita do furo do Ariaú. É o único local, em toda a extensão do canal, onde foi encontrado esse tipo de depósito de areia na margem direita do furo e que só pode ser visto no período da seca. Apresenta vegetação secundária e formação pioneira (Figura 53). A classificação da textura do solo é Areia. Os valores correspondentes à fração areia são muito altos, sendo que na profundidade 0-20 cm é de 932 g/kg, o que representa 93% dessa amostra, e de 889 g/kg na profundidade 20-40cm

Figura 53- Local da amostra A6 no furo do Ariaú mostrando a barra de deposição lateral.

As amostras A7 e A8 foram coletadas na barra de deposição em formato de delta na desembocadura do furo do Ariaú com o rio Negro. Esse local apresenta um tipo de vegetação característica de floresta inundada por águas mistas. Segundo Prince (1980), a floresta inundada por águas mistas está sob influência pelos dois tipos de águas, haja vista que os rios se encapulam em tempos ligeiramente diferentes. Essa barra apresenta dois níveis de altitude, sendo que a amostra A7 corresponde ao nível mais elevado caracterizado por floresta inundada e a amostra A8 ao nível mais baixo, apresentando somente vegetação pioneira sem árvore de médio e grande porte (Figura 54). Na amostra A7 a textura do solo foi classificada como sendo Franco Arenoso nas duas profundidades. Sendo que a fração argila na primeira profundidade foi de apenas 72 g/kg. Isso representa um nível muito pequeno do total da amostra, somente 7%. No entanto, a maior concentração ficou na fração areia total, com 468,53 g/kg. Na profundidade de 20-40 cm da amostra A7 a maior concentração foi de areia total de 573,96 g/kg e a menor de argila com 63,50 g/kg. Em relação à amostra A8, no nível mais baixo da barra de sedimento, a textura foi considerada como Franco Siltosa. O nível de concentração na fração silte na primeira profundidade foi de 672,07 g/kg o que representa 67% da amostra analisada e na profundidade 20-40 cm a concentração de silte foi de 664,81 g/kg e de argila 191,50 g/kg. Isto demonstra a diferenciação do material depositado nas duas posições analisadas na barra de sedimento.

Figura 54- Local da coleta das amostras A7 e A8. Em a) mostra os dois níveis da barra de sedimento no período de seca e em b) a barra de sedimentos totalmente encoberta pela água do rio Negro no período de cheia.

Além das amostras de solo realizadas na calha do furo do Ariaú foram levantados ainda sete amostras na parte nordeste da área de pesquisa, próximo à margem direita do rio Negro em uma área de planície de inundação denominada Jacareubal. Esse local é caracterizado, segundo dados do IBGE (2002), como floresta ombrófila aberta aluvial. Também apresenta afloramento de rochas da formação Alter do Chão (Figura 55). A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos das análises granulométricas das amostras de solos.

Figura 55- Recorte da área do Jacareubal com os locais do ponto das amostras de solo e em destaque a floresta ombrófila aberta fluvial na área.

Tabela 5- Resultado das análises granulométricas na área do Jacareubal

Identificação das amostras	AREIA GROSSA 2.00-0.20 mm	AREIA FINA 0.20-0.05 mm	AREIA TOTAL 2.00-0.05 mm	SILTE 0.05-0.002 mm	ARGILA >0.002 mm	Classificação textural do solo
			(g/kg)			
J1- 0-20	63,08	251,89	314,97	286,54	398,50	Argila / Franco Argilosa
J1- 20-40	8,66	152,72	161,38	341,12	497,50	Argila
J2- 0-20	1,10	509,23	510,32	308,68	181,00	Franca
J2- 20-40	0,89	175,92	176,81	419,69	403,50	franco Argilo Siltosa
J3- 0-20	3,17	875,92	879,09	82,92	38,00	Areia
J3- 20-40	0,56	544,77	545,33	292,67	162,00	Franco Arenosa
J4- 0-20	0,24	439,26	439,51	449,00	111,50	Franca
J4- 20-40	0,07	465,67	465,74	361,27	173,00	Franca
J5- 0-20	9,26	679,35	688,62	183,39	128,00	Franco Arenosa
J5- 20-40	3,65	205,29	208,94	403,56	387,50	franco Argilosa
J6- 0-20	75,53	50,17	125,69	534,31	340,00	franco Argilo Siltosa
J6- 20-40	168,57	111,19	279,76	225,75	494,50	Argila
J7- 0-20	656,82	152,78	809,60	38,41	152,00	Franco Arenosa
J7- 20-40	629,01	197,07	826,08	38,92	135,00	Franco Arenosa

Na profundidade de 0 a 20 cm, o menor valor encontrado da fração areia total foi na amostra J6, com 125,69 g/kg. Essa amostra foi retirada próximo de um afloramento da formação Alter do Chão, na parte central da área. Já a maior concentração da fração areia total, nessa mesma profundidade, foi verificada na amostra J3, com valor de 879,09 g/kg, em uma correspondente a parte norte Jacareubal, na margem direita do rio Negro. Na fração silte os menores valores encontrados na profundidade 0-20 cm foi na amostra J7 com valor de 38,41. Essa amostra J7 está localizada em um fundo de vale denominado furo do Meio, que liga o rio Negro ao furo do Ariaú. Devido à construção da estrada vicinal da praia do Açutuba, houve um barramento desse canal, o que ocasionou a modificação da vegetação original (Figura 56). Na amostra J6 foi encontrado o maior valor da fração silte, 534,31 g/kg. Em relação à fração argila, o menor valor encontrado foi na amostra J3, com 38 g/kg na primeira profundidade e o maior valor encontrado foi de 398,50 g/kg na amostra J1, essa amostra está localizada na parte noroeste do Jacareubal, na margem do rio Negro.

Figura 56- Local da amostra J7 no fundo do vale, com vegetação típica de paliteiro.

As amostras realizadas na profundidade 20-40 cm mostraram que, na fração areia total, a menor concentração na área analisada foi de 161,38 g/kg, localizada na amostra J1. Já a maior concentração da areia total, nessa mesma profundidade, está na amostra J7 com 826,08 g/kg. A fração silte apresenta a menor concentração na amostra J7, com 38,92 g/kg e a maior concentração na amostra J2 de 419,69 g/kg em uma área na parte NW da área do Jacareubal. Na fração argila, a menor concentração foi encontrada na amostra do fundo do vale J7, com valor de 135 g/kg e o maior valor de 497,50 g/kg na amostra J1.

Análises de parâmetros químicos das amostras

Segundo Lima *et al.* (2007), os solos quanto a riqueza em nutrientes podem ser classificados como eutróficos e distróficos, sendo os primeiros mais ricos em nutrientes. A maioria dos solos de várzea, especialmente aqueles cultivados, apresenta caráter eutrófico. Nesses solos, os teores de nutrientes são mais elevados, notadamente cálcio, magnésio e fósforo, enquanto os teores de alumínio trocável tendem a ser relativamente baixos. Os rios de água branca, como é o caso do Solimões/Amazonas, têm níveis mais elevados de todos os nutrientes em comparação com outros rios amazônicos, principalmente nos seguintes elementos Ca, P e Mg (QUESADA *et al.*, 2011).

De acordo com Quesada *et al.* (2011), o rio Negro apresenta baixa concentração de nutrientes em suas águas, isto devido ao desgaste por vários ciclos de erosão e sedimentação dos solos dessa bacia. Conforme Teixeira *et al.* (2007), os solos dominantes nas margens do rio Negro predominam nas áreas próximas a sua foz, no Rio Solimões/Amazonas, próximo a Manaus, os Neossolos Flúvicos e Neossolos Quartzarênicos, praias do rio Negro, que no período de cheia ficam submersas, a variação do nível da água próximo à cidade de Manaus pode chegar a 16 metros (registrada no porto de Manaus). É importante ressaltar que o nível das águas no Rio Negro, nas proximidades de Manaus é de difícil previsibilidade, tomando em conta o fluxo a montante da régua em Manaus, devido ao remanso provocado nas águas do Rio Negro pelo nível do Rio Solimões/Amazonas. No período das cheias as margens (barrancos) são os terraços mais altos onde aparecem os Argissolos, Latossolos e Plintossolos, a partir do município de Novo Airão há grande ocorrência de Gleissolos Háplicos e nas margens aparecem mais frequentemente os Espodossolos, todas estas classes de solo nesta região apresentam severas limitações de aptidão agrícola pela reduzida fertilidade e risco de inundação.

A fim de caracterizar a composição dos sedimentos depositados ao longo da calha do furo do Ariaú, determinou-se a concentração de Matéria Orgânica, do pH e dos seguintes elementos: Ca, P e Mg.

A análise química das amostras ao longo da calha do furo do Ariaú demonstrou que o valor mais elevado de matéria orgânica (MO) foi encontrado na amostra A2, correspondente à área de planície fluvial, tanto na profundidade de 0 a 20 cm, quanto de 20 a 40 cm. Nas demais amostras há uma diminuição à medida que se desloca em direção à parte norte da calha principal, chegando próximo ao rio Negro. Em geral, a MO diminui com a profundidade do solo. No entanto, na amostra A2, o valor na profundidade de 0 a 20 cm foi de 54,73g/kg e na profundidade de 20 a 40 cm de 93,54 g/kg. Dessa forma, verifica-se que houve um aumento significativo na segunda profundidade desta amostra, como mostra o gráfico 3. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos das análises químicas das amostras de solos no furo do Ariaú.

Gráfico 3- Matéria orgânica analisada nas amostras de solo ao longo da calha do furo do Ariaú.

Nas amostras analisadas do furo do Ariaú, em relação ao pH do solo nas profundidades de 0-20 cm e de 20-40 cm situaram-se nos teores considerados de baixo a médio, variando de 4,4 a 6,5. Conforme a análise, esses valores de pH aumentam com a profundidade do solo. O gráfico 4 mostra a distribuição do pH do solo ao longo da calha do Ariaú.

Gráfico 4- Resultados do pH das amostras de solo ao longo da calha do Ariaú.

Tabela 6- Resultado das análises químicas na calha do furo do Ariaú

Profundidade	Identificação	pH	C	M.O.	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	Fe	Zn	Mn	Cu
		H ₂ O	g/kg			mg/dm ³					cmol _c /dm ³				%			mg/dm ³		
0-20	A1	6,31	4,31	7,41	134	90	15	8,76	2,44	0,00	0,08	11,50	11,50	11,58	99,29	0,00	352	6,94	102,41	4,86
20-40	A1	6,55	3,83	6,59	124	71	21	7,96	2,40	0,00	0,03	10,63	10,63	10,67	99,69	0,00	313	6,27	79,54	4,71
0-20	A2	4,43	31,82	54,73	12	81	25	10,06	3,22	2,85	9,50	13,596	16,45	23,10	58,86	17,3296	640	14,66	40,49	20,52
20-40	A2	4,61	54,38	93,54	15	46	26	10,59	2,82	1,50	16,22	13,641	15,14	29,86	45,68	9,90708	950	32,73	48,67	28,67
0-20	A3	4,70	12,75	21,93	9	101	39	10,30	2,36	5,92	9,60	13,088	19,01	22,69	57,68	31,145	347	6,92	20,98	16,20
20-40	A3	4,98	8,78	15,10	5	105	49	9,81	1,92	4,88	6,85	12,212	17,09	19,06	64,07	28,5521	244	4,29	10,81	9,78
0-20	A4	5,00	4,95	8,51	11	119	54	9,48	5,16	1,66	3,18	15,179	16,84	18,36	82,66	9,86	417	4,24	84,09	7,82
20-40	A4	5,68	3,49	6,00	21	103	80	9,36	6,57	0,58	2,41	16,541	17,12	18,95	87,29	3,39	200	4,80	83,09	5,31
0-20	A5	4,64	14,46	24,88	5	77	32	7,18	1,70	5,29	8,70	9,22	14,51	17,91	51,45	36,4675	347	1,83	10,50	6,99
20-40	A5	4,95	7,48	12,87	2	62	42	6,56	1,72	5,55	5,35	8,62	14,17	13,97	61,72	39,164	190	1,20	4,02	5,50
0-20	A6	4,71	0,78	1,34	12	15	2	0,44	0,15	0,65	0,78	0,64	1,29	1,41	45,10	50,50	311	1,23	10,10	0,91
20-40	A6	4,78	2,05	3,53	14	7	6	0,37	0,22	0,50	1,19	0,63	1,13	1,82	34,80	44,0921	164	1,59	3,21	2,51
0-20	A7	4,70	4,60	7,91	39	73	10	2,20	1,45	2,30	2,94	3,88	6,18	6,82	56,92	37,22	790	5,26	53,36	2,41
20-40	A7	5,71	1,32	2,26	79	25	20	4,50	3,62	0,00	0,53	8,27	8,27	8,80	94,00	0,00	207	7,30	37,33	3,02
0-20	A8	5,06	5,04	8,66	1	20	25	0,36	2,62	6,72	6,91	3,14	9,86	10,05	31,23	68,16	288	2,16	16,01	1,65
20-40	A8	5,34	3,62	6,23	1	23	41	1,64	4,86	2,76	4,24	6,74	9,50	10,98	61,37	29,06	130	2,56	22,96	1,40

Na área de estudo do furo do Ariaú, todas as amostras de solo analisadas (P, Ca, Mg), relativos aos nutrientes, apresentaram teores mais elevado próximo à calha do Solimões/Amazonas, como mostra a tabela 6, tanto na profundidade 0 a 20 cm, quanto na de 20-40 cm. Os teores de fósforo variaram de baixos a elevados (1 a 134 mg/dm³). Os menores valores foram obtidos na amostra A8, correspondente a área de planície de inundação da barra de sedimento do Ariaú, na margem direita do rio Negro e a maior concentração na amostra A1. Nas demais amostras apresenta uma média de 10 mg/dm³, no entanto, na Amostra A7 há uma concentração maior do teor de fósforo com valor de 79 mg/dm³, na profundidade 20-40 cm. O gráfico 5 mostra os teores de fósforo encontrados nas amostras ao longo da calha do furo do Ariaú.

Gráfico 5- Resultados dos teores de P das amostras de solo ao longo da calha do Ariaú.

Em relação ao elemento Ca, apresentam teores acima do nível considerado alto, nas amostras de A1 a A5 com valores de 6,56 a 10,59 cmol_c/dm³. No entanto, nas amostras A6, A7 e A8 os valores são considerados baixos variando de 0,36 a 4,50 cmol_c/dm³ (Gráfico 6).

Gráfico 6- Resultados dos teores de Ca das amostras de solo ao longo da calha do Ariaú.

Nas amostras analisadas ao longo da calha, os maiores valores de Mg, ao contrário do P e Ca, foram obtidos na parte central do furo do Ariaú, sendo a amostra A4, na profundidade 20 a 40 cm, a que apresentou maior valor com 6,57 cmol_c/dm³ (Gráfico 7).

Gráfico 7- Resultados dos teores de Mg das amostras de solo ao longo da calha do Ariaú.

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos da análise química das amostras de solos coletadas na área de planície de inundação do Jacareubal, na margem direita do rio Negro. As análises da MO, nessa área, demonstraram que a menor concentração foi encontrada na amostra J4 na profundidade 20-40 cm com o valor de 2,16 g/kg e a maior concentração na amostra J6, com o valor de 108,84 g/kg na profundidade 0-20 cm. Em relação ao pH em H₂O pode-se constatar, conforme os dados da tabela 7, que o resultado apresenta um valor variando de 4,27 a 4,92, o que indica alta acidez do solo. Os teores de P das amostras são relativamente baixos, somente na amostra J6 apresentou um teor mais elevado de 8,0 mg/dm³. Os valores de Ca e Mg também apresentaram valores muito baixos, correspondentes a solos de baixa fertilidade, onde o maior valor de Ca foi de 0,28 cmol_c/dm³, correspondente a amostra J2. O maior valor encontrado de Mg foi de 0,21 cmol_c/dm³, na amostra J6.

As análises químicas das amostras na área do Jacareubal, demonstram que o solo nesta área são extremamente ácidos, com baixos teores de Ca, Mg e P. Sendo que a soma de base nesta área representam em média 0,26 cmol_c/dm³. Apesar de apresentar um nível elevado de matéria orgânica, o solo nesta área necessita corretivos para atingir um nível adequado de nutrientes.

Tabela 7- Resultado das análises químicas na área do Jacareubal

Profundidade	Identificação	pH	C	M.O.	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m
		H ₂ O	g/kg			mg/dm ³				cmol _c /dm ³						%
0-20	J1	4,48	3,67	6,31	1,0	32,00	9,00	0,10	0,09	7,52	9,69	0,31	7,83	10,00	3,11	96,03
20-40	J1	4,67	2,55	4,39	0,4	38,00	10,00	0,02	0,07	12,34	12,64	0,23	12,57	12,87	1,79	98,17
0-20	J2	4,30	16,62	28,58	4,0	37,00	6,00	0,28	0,13	2,39	6,01	0,53	2,92	6,54	8,12	81,83
20-40	J2	4,53	3,11	5,35	1,0	12,00	6,00	0,03	0,03	5,68	6,50	0,12	5,80	6,62	1,76	97,99
0-20	J3	4,67	1,78	3,05	2,0	24,00	2,00	0,02	0,04	0,82	1,65	0,13	0,95	1,78	7,31	86,31
20-40	J3	4,68	2,77	4,77	1,0	10,00	4,00	0,02	0,07	2,26	2,92	0,13	2,39	3,05	4,35	94,44
0-20	J4	4,57	8,52	14,65	4,0	53,00	4,00	0,20	0,15	1,43	3,86	0,50	1,93	4,36	11,52	73,98
20-40	J4	4,57	1,26	2,16	3,0	19,00	5,00	0,04	0,07	2,29	3,93	0,18	2,47	4,11	4,39	92,70
0-20	J5	4,52	1,90	3,26	2,0	30,00	4,00	0,03	0,06	2,16	3,20	0,18	2,34	3,39	5,44	92,15
20-40	J5	4,63	3,77	6,49	0,4	33,00	7,00	0,01	0,06	8,49	9,12	0,18	8,67	9,31	1,99	97,87
0-20	J6	4,38	63,28	108,84	8,0	80,00	9,00	0,34	0,21	4,90	12,16	0,79	5,69	12,95	6,13	86,06
20-40	J6	4,27	8,32	14,31	2,0	29,00	8,00	0,05	0,06	9,73	10,61	0,22	9,95	10,83	2,02	97,80
0-20	J7	4,58	1,46	2,50	0,4	3,00	2,00	0,07	0,02	0,55	2,34	0,11	0,66	2,45	4,34	83,79
20-40	J7	4,92	1,74	2,99	0,1	3,00	2,00	0,04	0,01	0,50	1,50	0,07	0,57	1,57	4,23	88,28

8- Considerações Finais

De acordo com os objetivos propostos nesta pesquisa de identificação das formas de relevo existentes na área do furo do Ariaú, utilizando as imagens do SAR/R99B para o mapeamento geomorfológico. A metodologia aplicada na área de estudo, permitiu individualizar as diferentes feições do relevo nas terras baixas no município de Iranduba por meio da chave de interpretação das informações extraídas dessas imagens.

Os resultados demonstraram o potencial do emprego das imagens do sistema de radar imageador SAR/R99B como uma eficaz ferramenta para o mapeamento geomorfológico, em áreas de relevo pouco dissecado e de baixa amplitude altimétrica, principalmente, na diferenciação das feições fluviais. Desta forma, foi possível identificar os modelados de acumulação, planícies e terraços fluviais, bem como os modelados de dissecção, os diferentes tipos de platôs na área do Ariaú.

Notamos que com a utilização da composição colorida das polarizações foi possível diferenciar, com maior precisão e detalhe os tipos de canais fluviais, quanto a sua forma e tipologia e, com isso, extrair a rede de drenagem da área de estudo. Pode-se desta forma, obter os diferentes padrões de drenagem da área de pesquisa, bem como a densidade da rede de drenagem.

Os resultados alcançados das amostras de solo na calha do Ariaú, demonstraram que há uma maior concentração de nutrientes próximo do rio Solimões/Amazonas e uma redução dos elementos à medida que se aproxima do rio Negro, no entanto, pela dinâmica do rio Solimões/Amazonas ser mais intensa, os sedimentos transportados ao longo da calha do Ariaú contribuem para a formação de uma barra de sedimentos na margem direita do rio Negro. Essa barra apresentou diferenciação nos nutrientes quanto aos níveis de deposição, sendo na parte mais elevada há uma maior concentração de Ca, Mg e P, já no nível mais baixo há pouca concentração desses nutrientes. Quanto às amostras da área do Jacareubal, ficou demonstrado que o solo é ácido e com baixa concentração de nutrientes de Ca, Mg e P, o que comprova ser um solo que precisa de correção, sendo considerado, desta forma como um solo distrófico. Os resultados granulométricos das amostras de solo comprovaram que nas unidades de acumulação, terraços e planícies, há uma maior presença de silte e argila. Por

outro lado, na área onde o relevo é mais dissecado ou mesmo próximo ao Rio Negro, o solo é mais arenoso, tendo uma menor concentração de nutrientes.

Apesar das imagens do SAR R99B já tenham coberto mais de 60% da Amazônia Legal, tenha uma boa qualidade radiométrica, uma excelente resolução espacial, com áreas imageadas desde 2004 e pelo fato dessas cenas estarem disponíveis de forma gratuita, no entanto, poucos estudos têm sido evidenciados em relação ao mapeamento geomorfológicos, ficando evidente uma lacuna a ser preenchida.

Para uma melhora no mapeamento geomorfológica na região Amazônia utilizando imagens SAR/R99B recomendamos para trabalhos futuros: a utilização de imagens em diferentes períodos do ciclo hidrológico, cheia, seca, vazante e enchente, visto que a dinâmica fluvial dos rios de água branca é muito intensa, onde a mudança do ambiente é extremamente constante; uma maior disponibilidade dos dados SAR do SIPAM para a comunidade científica por meio da rede mundial de computadores, para realizações de trabalhos voltados para geomorfologia fluvial na Amazônia; também o emprego do SAR com outros sensores para um melhor nível de detalhamento.

Apesar de este trabalho apresentar os resultados sobre o mapeamento das formas fluviais e da dinâmica fluvial do furo do Ariaú, conclui-se que são necessários para um melhorar o entendimento desses ambientes a utilizando de imagens com alta resolução espacial e multitemporal, além de uma análise hidrológica sobre o fluxo de sedimentos, a velocidade e a batimetria do canal. Pois, somente desta maneira pode-se ter com mais precisão o período da mudança do fluxo deste canal e até mesmo onde os nutrientes estão sendo depositados na sua planície de inundação.

Desta forma, pode-se concluir que a metodologia para o mapeamento das feições geomorfológicas fluviais empregadas nessa pesquisa demonstram um potencial da utilização do SAR/R99B para esse fim. O que fica evidente a utilização dessas imagens para o uso no mapeamento dos ambientes fluviais e geomorfológicos das terras baixas da Amazônia.

Como proposta final desta pesquisa, recomenda-se para futuros trabalhos com imagens do SAR/R99B na Amazônia, um detalhamento do mapeamento hidrogeomorfológico e pedogeomorfológico nas áreas de planície de inundação, terraços fluviais, e ambientes fluviais

das terras baixas da Amazônia Brasileira. Como não foi possível utilizar a Banda X do Sensor SAR R99B nesta pesquisa, faz-se necessário em trabalhos vindouros o uso das mesmas para esse fim.

9- Referências

AB'SABER, N. A. *Projeto Brasileiro para o Ensino da Geografia: Formas do Relevo*. São Paulo: Instituto de Geografia da USP, 1975. (Texto Básico).

AB'SABER, A. N. Formas de relevo: Texto básico. São Paulo, FUNBEC/Edart, 1975. 80p.

AB'SABER, A. N. No Domínio da Amazônia Brasileira. In: Mello FILHO, L. E.; MONTEIRO, S. (Coord.). *Amazônia: flora e fauna*. Rio de Janeiro, Alumbamento, p. 43-51/ p. 53-61, 1993.

AB'SABER, A. N. Tipos de drenagens labirínticas do Brasil. *Noticia Geomorfologica*, Campinas, v. 2, n. 4, p. 50-51, 1959.

ACHER, A. W. Review of Amazonian depositional systems. *Special Publs int. Ass. Sediment.* (2005), 35, 17–39

ALBUQUERQUE, A. R. C. ; ALBUQUERQUE, C. ; RODRIGUES, E. G. . FEIÇÕES DE RELEVO DA MARGEM DIREITA DO RIO NEGRO: MUNICÍPIO DE IRANDUBA (AM). In: IX Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2012, Rio de Janeiro. *Anais do IX Simpósio Nacional de Geomorfologia*, 2012.

ALMEIDA FILHO, R.; MIRANDA, F.P. Mega capture of the Rio Negro and formation of the Anavilhanas Archipelago, Central Amazônia, Brazil: Evidences in an SRTM digital elevation model. *Remote Sensing of Environment*, v.110, 2007, p.387- 392.

ALMEIDA, T.; MENESES, P. R.; ARAÚJO FILHO, J. O. As imagens do SAR multipolarimétrico R99B – SIPAM na caracterização de fácies e estruturas da Suíte Pedra Branca (maciços Mocambo e Pedra Branca, Nova Roma-GO). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 1943-1950.

AMSLER, M. and H. PRENDES. Transporte de sedimentos y procesos fluviales asociados. In C. Paoli and M. Schreider (Eds.), *El Río Paraná en su tramo medio*. Centro de Publicacions Universitarias, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, 2000. p. 233-306.

ANDRADE, G. O. de. Furos, Paranás e Igarapés, análise genética de alguns elementos do sistema potamográfico amazônica. *Boletim Carioca Geográfico*. Rio de Janeiro, 1956. p. 15-50.

ANDRADE, N. S. O.; SANTA ROSA, A. N. C. Características técnicas do sensor SAR multipolarimétrico aerotransportado brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 7027-7034. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.24.00.15>>. Acesso em: 02 jan. 2012.

ANDRADE, Nilo Sergio de Oliveira. Radar de abertura sintética polarimétrico do R-99B: análise e aplicações. 2012. xix, 216 f., il. Tese (Doutorado em Geociências)—Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

ARCHER, A.W. Review of Amazonian depositional systems. Spec. Publs int. Ass. Sediment. 35, 17–39. Department of Geology, Kansas State University, Manhattan, KS 66506, USA. 2005. 35, p. 17-39

AYRES, J.M.C. As matas de várzea do Mamirauá. Brasília, DF: CNPq; Tefé, AM: Sociedade Civil Mamirauá, Brasil. 1995.

BAKER, Victor, R. [Fluvial Landforms](#). In: SHORT, N. M. and BLAIR, R. W. Geomorphology from Space, A Global Overview of Regional Landforms, NASA: Washington, 1999. Disponível em: <http://daac.gsfc.nasa.gov/DAAC_DOCS/daac_ed.html>. Acesso em: 20 dez. 2010.

BARBOSA G.V. COSTA, R.C.R., NATALI T. FILHO, OLIVEIRA A.B. 1978. In: BRASIL. Projeto RADAM. Geomorfologia da Folha SA.20-Manaus. DNPM, Geomorfologia, Levantamento de Recursos Naturais, Rio de Janeiro, 167-224.

BORGES, R. O.; LIMA, C. A.; NASCIMENTO, É. R. P.; MACHADO, E. G. B.; LOPES, G. O.; FRANÇO, R. D.; PEREIRA, F. J.; RAMOS, V. M.; GALVÃO, W. S. Métodos e técnicas de registro de imagens SAR/SIPAM a partir de dados orbitais ópticos e sensores SAR/SIPAM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4819-4826.

BROWN, A. G. ; QUINE, T. A. Fluvial Processes and Environmental Change. University of Exeter, UK. JOHN WILEY & SONS. Chichester – New York – Brisbane – Singapore – Toronto 1999.

BRICQUET, J.P. LES ECOULEMENTS DU CONGO A BRAZZAVILLE ET LA SPATIALISATION DES APPORTS. Grands Bassins Fluviaux, Paris, 22-24 novembre 1993.

CAMARGO, F. F.; FLORENZANO, T. G. ; ALMEIDA, C. M. ; OLIVEIRA, C. G. ; FEITOSA, R. Q. . Análise orientada a objeto e dados ASTER/Terra na classificação do relevo. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 15, p. 81-102, 2009.

CARNEIRO, A. E. V. Análise quantitativa do sedimento depositado nas planícies de inundação do rio Solimões/Amazonas, utilizando a técnica de fluorescência de raios X por dispersão de energia. São Paulo, 1995. 232p. Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.

CARVALHO, A.S. Integração de imagens de Radar/JERS-1, TM/Landsat-5 e geofísicas para o mapeamento geológico da porção nordeste de Roraima, Brasil. Brasília, 1997. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, UnB, Brasília, 1997.

CARVALHO, T.M. . Métodos de Sensoriamento Remoto Aplicados à Geomorfologia. Revista Geográfica Acadêmica, v. 1, p. 44-54, 2007.

CASSETI, V. Geomorfologia. Livro digital (2006). Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/pdf/index.php>>. Acesso em: 10 de jun. 2010.

CEPLAB, Centro de Planejamento da Bahia. Mapa Geomorfológico do Estado da Bahia. Salvador: Secretaria de Planejamento, Ciência e Tecnologia, 1980. 1 mapa: color., 116cm x 107cm. Escala: 1:1.000.000.

CHARLTON, Ro. Fundamentals of fluvial geomorphology. Routledge, New York, 2008, 234 p.

CHRISTOFOLETTI. *Geomorfologia*. 2ªEd. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1980.

COOKE, R. U. & DOORNKAMP, J. C. Geomorphology In Environmental Management. 2ª. Edição. Oxford, Oxford University Press, 1974.

CORREIA, A.H. Projeto, Desenvolvimento e Avaliação de Classificadores Estatísticos Pontuais e Contextuais para Imagens SAR Polarimétricas. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos: INPE, 1998.

COSTA, M. L; MENESES, M. E. N. da SILVA; CARVALHO, L. C. F; COSTA, J. A. V. Produção bibliográfica sobre ambientes lacustres no Brasil. Acta Geográfica, Vol. 1, No 1, 2007.

COSTA, R. O. ; SILVA, T. M. Contribuições das técnicas de sensoriamento remoto para mapeamentos geomorfológicos. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa - MG. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009.

COSTA, S. S.; CAMPOS, M. A. A.; ROGÉRIO, A. P. C. Imageamentos realizados pelo sistema aerotransportado SAR/SIPAM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6661-6665. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.10>>. Acesso em: 29 jan. 2012.

CUNHA, F.M.B. Controle tectônico-estrutural na hidrografia da região do Alto do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, 1988 Belém. Anais ... Belém: SBG, 1988, v.5, p.2267-2277.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A.J.T. Geomorfologia do Brasil. 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 392p.

CUNHA, C. L. M.; MENDES, I.A; SANCHEZ, M.C. A Cartografia do Relevo: Uma análise comparativa de técnicas para a Gestão Ambiental. Revista Brasileira de Geomorfologia. 2003. 4: 1-9.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A. A.; CORSEUIL, C. W. Recursos hídricos e saneamento – Curitiba: Ed. OrganicTrading, 2008. 160p.

DANA, J. D., On the relation of the so-called "kames" of the Connecticut River valley to the terrace formation: American Journal of Science, 22, 451-468, 1881.

DANTAS, Marcelo Eduardo ; MAIA, Maria Adelaide Mansini . Compartimentação Geomorfológica. In: Maria Adelaide Mansini Maia; José Luiz Marmos. (Org.). Geodiversidade do Estado do Amazonas. Manaus: CPRM, 2010.

DEMEK, J. Manual of Detailed Geomorphological Mapping. Prague, Czechoslovakia: Academia (for the International Geographical Union, Commission on Geomorphological Survey and Mapping), 1972. 344p.

DUTRA, L. V.; MURA, J. C.; FREITAS, C. da Costa.; SANTOS, J. R.; ELMIRO, M. T. Processamento de Imagens de Radar de Abertura Sintética – Princípios e Aplicações. Anais do IVWorkshop em Tratamento de Imagens, NPDI/DCC/ICEx/UFMG, p. 4-13, Junho de 2003.

DUTRA, L. V. ; SCOFIELD, G. B. ; ABOUT-NETA, S. R. ; NEGRI, R. G. ; FREITAS, C. C. ; ANDRADE, D. . Land Cover Classification in Amazon using Alos Palsar Full Polarimetric Data. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, NATAL, RN. Anais. São José dos Campos: INPE, 2009. v. 1. p. 7259-7264.

DUMONT J. F. 1993. Types of lakes as related neotectonics in Western Amazonia. In: PICH/INQUA, Simpósio Internacional do Quaternário da Amazônia, 1, Resumos e contribuições científicas, 1993. p. 99-102.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

FEARNSIDE, PHILIP M.; NIWTON, L. F. Solo e Desenvolvimento na Amazônia: Lições do Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais.. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. (INPA) C.P. 478 07 de julho de 2002.

FERREIRA, S.J.F.; LUIZÃO, F.J.; MIRANDA, S.A.F.; SILVA, M.S.R. & VITAL, A.R.T. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira. Acta Amazônica 36(1): 59-68. 2006.

FERREIRA, S. J.F.; REICHARDT, K.; MIRANDA, S. A.F. Características físicas de Sedimentos e solos de dois lagos de várzea na Amazônia central. Acta Amazônica 29(2): 277-292. 1999.

FILIZOLA, N. O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Bacia Amazônica brasileira. Publ. ANEEL, Brasília, 1999. 63 p.

FILIZOLA, N. Transfert sédimentaire actuel par les fleuves amazoniens. Thèse, UPS, Toulouse III, Toulouse: 2003. 273 p.

FILIZOLA, N.P.; GUYOT, Jean Loup; GUIMARÃES, V. S.; MOLINIER, M.; OLIVEIRA, Eurides de; FREITAS, M. A. V. Caracterização Hidrológica da Bacia Amazônica. In: RIVAS, A. & FREITAS, C. (Org.). Amazônia - Uma perspectiva interdisciplinar. Manaus: Editora da Universidade do Amazonas, 2002. cap. 2 p. 33-54.

FILIZOLA, N.P.; GUYOT, J. L. Balanço do fluxo de sedimentos em suspensão da Bacia Amazônica. in: IBAMA (Ed.), Workshop Geotecnologias Aplicadas às Áreas de Várzea da Amazônia, Ibama, Manaus. 2007, p. 83 – 91.

FLORENZANO, T. G. Dados multisensores para mapeamento geomorfológico de regiões da Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8. (SBSR), 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p. 629-630

FLORENZANO, T. G. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FRANZINELLI, Elena; IGREJA, H.L.S. Utilização do sensoriamento remoto na investigação na área do Baixo Rio Negro e Grande Manaus. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., 1990, Manaus. **Anais...** Manaus: UFAM, 1990, v. 3. p. 641-648.

FRANZINELLI, Elena. Características morfológicas da confluência dos rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil). *Rev. bras. geociênc.* [online]. 2011, vol.41, n.4 [citado 2013-03-28], pp. 587-596 . Disponible en: http://papegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-5362011000400004&lng=es&nrm=iso. ISSN 0375-7536.

FRERY, A. C. O.; SANT'ANNA, S. J. S. Redução de ruído em imagens SAR pelo uso de filtros robustos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7. (SBSR), 1993, Curitiba, BR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. v. 3, p. 433-442.

FRIEND, P.F. and SINHA, R. Braiding and meandering parameters. In: Best, J.L. and Bristow, C.S. (Eds.), *Braided Rivers*, Geological Society Special: 75: p. 105-111. 1993.

GIBBS R.J. The Geochemistry of the Amazon River System. Part I. The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. *Geological Society of America Bulletin* 78, 1967: p. 1203-1232.

GILBERT, G. K. Report on the geology of the Henry Mountains [Utah]: Publication of the Powell Survey, U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 1877. 160 p.

GILEWSKA, S. Different methods of showing the relief on the detailed geomorphological maps, *Zeit. Für Geom.* II, 1967 p. 481-490

GONÇALVES, G. A.; GARCIA, C. A. E. Processamento digital de imagens SAR/ERS-1 na caracterização de feições oceanográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8. (SBSR), 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p. 769-774.

GUERRA, A. T. Vales submersos na Amazônia. Revista Brasileira de Geografia: Sumário do número de julho-setembro de 1962.

GUERRA, A.J.T.; GUERRA, A.T. Novo Dicionário geológico-geomorfológico. 3 ed. Rio de Janeiro, 2003. 652p.

GUERRA, A.J.T. & MARÇAL, M.S. Geomorfologia Ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192p.

GUSTAVSSON, Marcus. Development of a Detailed Geomorphological Mapping System and GIS Geodatabase in Sweden. Chapters 1-4: Review of Geomorphological mapping. Licentiate Thesis, May 2005.

HESS, L.L.; MELACK, J.M.; NOVO, E.M.L.M; BARBOSA, C.C.F.; GASTIL, M. Dual-Season Mapping of Wetland Inundation and Vegetation for the Central Amazon Basin. Remote Sensing of Environment, 2003, 87: 404-428.

HORBE A.M.C., PAIVA M.R.P.d., MOTTA M.B., HORBE M.A. Mineralogia e geoquímica dos perfis sobre sedimentos neógenos e quaternários da bacia do Solimões na região de Coari - AM. Acta Amazônica 37:81, 2007.

HOWARD, A. D. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. Bulletin. Chicago: American Association of Petroleum Geologists, v. 51, n. 11, p. 2246-2259, nov. 1967.

HUGGETT, Richard John. 2nd ed.. Fundamentals of Geomorphology. Routledge, London ; New York , 2007.

IGREJA, Hailton ; TOLEDANO, Maria Salomé de Albuquerque ; FORTES, M. R. . Revisão Conceitual de paraná com base na geologia e geomorfologia: paraná do Careiro, Estado do Amazonas, Brasil. In: IX Semana de Geografia do Amazonas, 1999, Manaus. Anais da 9ª Semana de Geografia do Amazonas, 1999. p. 47-60.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. Mapa Geomorfológico Folha Manaus – SA 20Z-D, escala 1 :250.000 Diretoria de Geociência, 2002.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, 1981. v. 1/2. (Relatório nº 15388).

IRION, G. Clay minerals of Amazonian soils, in: H. Sioli (Ed.), *The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*, W. Junk Publishers, Dordrecht. 1984, pp. 537-579

IRION, G., DE MELLO, J. A. S. N., MORAIS, J., PIEDADE, M. T. F., JUNK, W. J., & GARMING, L. Development of the Amazon valley during the Middle to Late Quaternary: sedimentological and climatological observations. In W. J. Junk, M. T. F. Piedade, F. Wittmann, J. Schöngart, & P. Parolin (Eds.), *Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management* (pp. 27-42). Dordrecht [et al.]: Springer. 2010.

JENSEN, J.R. (1949). Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R; SANTOS, A.R.; RUDORFF, B.F.T.; ALMEIDA, C.M.; GALVÃO, L.S. (Tradução). São José dos Campos: Parêntese. 2009.

JUNK, W.J. Áreas Inundáveis - Um desafio para Limnologia . In : *Acta Amazônica*, v. 10, 1980, pp.775-795.

JUNK, W.J. and FURCH, K. The physical and chemical properties of Amazonian waters and their relationships with the biota. In: *Key Environments: Amazonia* (Eds G.T. Prance and T.E. Lovejoy), 1985, pp. 3–17, Pergamon, Oxford.

JUNK, W. J. General Aspects of Floodplain Ecology with Special Reference to Amazonian Floodplain, 3-20. In: *The Central Amazon Floodplain, Ecology Of A Pulsing System*. Junk, W. J. (Ed.) Ecological Studies 126, Springer. 1997

JUNK W.J.; BARLEY, P.B.; SPARKS, R.E. The flood-pulse concept in river-floodplain systems. *Can. Spec. Publ. Fish Aquat. Sci.*, 106:110–127, 1989.

KESKINEN, M; KOPONEN, J; KUMMU, M; NIKULA, J; SARKKULA, J; VARIS, O. INTEGRATION OF SOCIO-ECONOMIC AND HYDROLOGICAL INFORMATION IN THE TONLE SAP LAKE, CAMBODIA. *Proceedings of the International Conference on Simulation and Modeling V*. Kachitvichyanukul, U. Purintrapidan, P. Utayopas, eds. 2005.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A. de A.; CORSEUIL, C. W. Recursos hídricos e saneamento. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2008. 160p.

KUX, H. J. H.; PINHEIRO, E. S. Análise exploratória de dados SAR, bandas X e P, para o mapeamento das unidades de relevo e uso e cobertura do solo numa seção da Floresta Nacional de Tapajós (FLONA), Estado do Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR), 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2217 - 2224.

LE COINTE, P. Le bas Amazone In: Annales de Géographie. 1903, t. 12, n°61. pp. 54-66.

LATRUBESSE, E. Perspectivas Hidrogeomorfológicas da Diversidade das Várzeas Amazônicas. In: Workshop de Geotecnologias Aplicadas às Áreas de Várzea da Amazônia. Manaus, 2007. p. 37-41.

LATRUBESSE, E.M; STEVAUX, J.C.; SINHA, R. Grandes sistemas fluviais tropicais: uma visão geral. Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 6, Nº 1, 2005, p. 01-18

LATRUBESSE E.M. & FRANZINELLI E. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. Geomorphology, 2002, 44:241-257.

LEOPOLD, L. B. & WOLMAN, M.G. River channel patterns: braided, meandering and straight. US Geological Survey Professional Paper 282-B: 1957, p. 36-83.

LEOPOLD, L.B., WOLMAN, M.G. and MILLER, J.P. Fluvial Processes in Geomorphology. Freeman, San Francisco, 1963, 522 p.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LESLEY, J. P. On terrace levels in Pennsylvania: American Journal of Science, 1878, 16, 68-69.

LIMA, H.N.; MELLO, J.W.V.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C. & LIMA, A.M.N. Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da Bacia Sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. R. Bras. Ci. Solo. 30:59-68, 2006.

LIMA, H.N.; TEIXEIRA, W. G.; SOUZA, K. W. Os solos da paisagem da várzea com ênfase no trecho entre Coari e Manaus. In: FRAXE, T. J. P.; PEREIRA, H. dos S.; WITKOSKI, A. C. (org). Comunidades ribeirinhas amazônicas: modos de vida e uso dos recursos naturais / Manaus: EDUA, 2007.

LIMA, M.I.C. de. Lineamentos estruturais na sequência Cenozóica Solimões e suas relações com o craton Amazônico e bacia do Alto Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, 1988, Belém. Anais ... Belém: SBG, 1988. v.6, p. 2396-2406.

LIMA, M. I. C.; MONTEIRO, N.; SILVA, L. L.; ALMEIDA E MARINHO, D. Identificação de morfoestruturas anômalas na porção centro-oriental da bacia do Maranhão (Brasil), através de imagens SLAR e Landsat-TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6. (SBSR), 1990, Manaus. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1990. p. 663-670.

_____. Introdução à interpretação radargeológica. Rio de Janeiro: IBGE, 1995. Série de Manuais Técnicos em Geociências, n.3, 124p.

LUCHIARI, Ailton; KAWAKUBO, Fernando S.; MORATO, Rúbia G. Aplicações do sensoriamento remoto na Geografia. In: VENTURI, L. A.B. (org.). *Praticando a geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental*. São Paulo: Oficina de textos, 2005, p. 33-54.

LUZ, R.A. da. Geomorfologia da planície fluvial do rio Pinheiros entre os bairros de Pinheiros, Butantã e Cidade Jardim, São Paulo (SP). São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2010, 91 p. Dissertação de Mestrado em Geografia Física.

MAIA, Maria Adelaide Mansini. Projeto materiais de construção na área Manacapuru – Iranduba – Manaus – Careiro: domínio Baixo Solimões. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2007.

Manual técnico de geomorfologia / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2009. 182 p.

MARTINI, P.R; DUARTE, V.; ARAI, E. Metodologia de Medição das Extensões dos Rios Amazonas e Nilo Utilizando Imagens Modis e Geocover. Selper, Havana, 2008.

MARTINELLI, L.A.; FORSBERG, B.R; VICTORIA, R.L.; DEVOL, A.H.; MORTATTI, J.R.; FERREIRA, J.; BONASSI, J. and de OLIVEIRA, E. Suspended Sediment load in the Madeira river. *Mitt.Geol.Palaeont.Inst.Univ. Hamburg*, 1993, 74: 41-54.

MEADE, R.H.; NORDIN, Jr. C.F.; HERNANDEZ, D.P.; MEJÍA, B.A. and GODOY, J.M. Sediment and water discharge in rio Orinoco, Venezuela and Colombia. *Proceedings of the Second International Symposium on River Sedimentation: water resources and electric power*. Nanjing, China, 1983, p.1134-1144.

MEADE, R.H., NORDIN, Jr. C.F.; CURTIS, W.F.; COSTA RODRIGUES, F.M.; DO VALE, C.M.; EDMOND, J.M. Sediment loads in the Amazon River. *Nature*. 1979. 279:161-163.

MEADE R.H. River-sediment inputs to major deltas. In: Milliman J.D. and Haq B.U. (eds), *Sea Level Rise and Coastal Subsidence*, Kluwer, Dordrecht, 1996, p. 63–85.

MEADE R.H. Movement and storage of sediment in river systems, 165-179. In: *Physical and Chemical Weathering in Geochemical Cycles*, Lerman, A. & Meybeck, M. (eds), Kluwer, Dordrecht, 1988.

MEDEIROS, J.S. Banco de Dados Geográficos e Redes Neurais Artificiais: Tecnologias de Apoio à Gestão do território. Tese de Doutorado. FFLCH – USP. São Paulo. Julho de 1999.

MEKONG RIVER COMMISSION (MRC) Mekong River Basin Diagnostic Study: Final Report, MRC, Bangkok, 1997.

MELACK, J. M. Amazon Floodplain Lakes: Shape, Fetch and Stratification. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, Stuttgart, 1984, v. 22, p. 1278-1282.

MELACK JM, HESS LL .Remote sensing of the distribution and extent of wetlands in the Amazon basin. In: JUNK, W.J.; PIEDADE, M. (eds) *Amazonian floodplain forests: ecophysiology, ecology, biodiversity and sustainable management*. Ecological Studies, vol. 210, part 1. 2010, Springer, pp 43–59

MENDES, L. R. . Aplicação de técnicas de geoprocessamento para análise geomorfológica do Parque Estadual do Jalapão (TO) e entorno (Dissertação de Mestrado), Curso de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de Brasília, 2008, 78p.

MERTES L.A.K., DUNNE T., MARTINELLI L.A. Channel-floodplain geomorphology along the Solimões-Amazon River, Brazil. *Geological Society of American Bulletin*, 1996. 108: pag.1089-1107.

MILLIMAN, J.D. and MEADE, R. World-wide delivery of river sediments to the oceans. *J. Geol.* 91, 1983, p. 1-22.

MILLIMAN, J.D., FARNSWORTH, K.M. and ALBERTIN, C. Flux and fate of fluvial sediments leaving large islands in the East Indies. *J. Sea Res. (Netherlands)*, 1999, 41, 97-107.

MIRANDA, F. P. ; BEISL, C. H. ; CAMARGO, E. C. G. . Textural Classification of R99SAR Data as an Aid to Flood Mapping in Coari City, Western Amazon Region, Brazil. In: Workshop GEOTECNOLOGIAS Aplicadas às Áreas de Várzea da Amazônia, 2007, Manaus. Workshop Geotecnologias Aplicadas às Áreas de Várzea da Amazônia. Manaus: Edições Ibama, 2007. v. 1. p. 77-81.

MONTEIRO, Mário Ypiranga. O Sacado - Morfodinâmica Fluvial. Cadernos da Amazônia. Manaus: CNPq- Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, 1964, 48p

MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 2 ed. Viçosa: UFV, 2003. 307 p.

MORISAWA ME. Rivers: form and process. Geomorphology Texts, Number 7. Longman, London, UK, 1985.

NASCIMENTO, D.A. do; MAURO, C.A., de; GARCIA, M. das G.L. Geomorfologia In: BRASIL Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha AS.21 Santarém. Rio de Janeiro, 1976. 522p. (Levantamento de Recursos Naturais, 10).

NANSON, G.C.; CROKE , J.C. A classificação genética das planícies aluviais. In: G.R. Brakenridge e J. Hagedorn (Editores), Evolução de várzea. Geomorfologia, 1992. 4 - 459-486.

NELSON, N. P. The formation of a terrace: American Geologist, 1893, 12, 125-126.

NEVES, E. G. Programa de Levantamento e Salvamento Arqueológico no Âmbito do Gasoduto Coari-Manaus. 2003.

NEVES, E. G. Levantamento arqueológico área de confluência dos rios Negro e Solimões, estado do Amazonas. USP/FAPESP. 2000.

NEVES, Delma Pessanha. “Os agricultores de várzea no médio Solimões: condições socioambientais de vida”. In: LIMA, Deborah (Org.). Diversidade Socioambiental nas várzeas dos Rios Amazonas e Solimões: perspectivas para o desenvolvimento sustentável. Manaus: IBAMA, ProVarzea. 2005.

NOVO, E. M. L. Ambientes Fluviais. In: FLORENZANO, T. G. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

NOVO, E.M.L.; FERREIRA, L.; BARBOSA, C.; CARVALHO, C.; SANO, E.; SHIMABUKURO, Y.; HUETE, A.; POTTER, C.; ROBERTS, D.; HESS, L.; MELACK, J.; YOSHIOKA, H.; KLOOSTER, S.; KUMAR, V.; MYNENI, R.; RATANA, P.; DIDAN, K.; MIURA, T. Técnicas avançadas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo de mudanças climáticas e ao funcionamento dos ecossistemas amazônicos. *Acta Amaz.* [online]. 2005, vol.35, n.2, pp. 259-272. ISSN 0044-5967. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672005000200016>>. Acessado em: 03 de fev. 2011.

ORELLANA, M. P. Utilização de dados de sensoriamento remoto em geomorfologia aplicada In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2. (SBSR), 1982, Brasília. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1982. p. 957-964. Printed, On-line. ISBN 978-85-17-00046-1. (INPE-7789-PRE/3629). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/marte@80/2008/10.01.14.39>>. Acesso em: 12 abr. 2011.

PANIZZA, A., FONSECA, F. TÉCNICAS DE INTERPRETAÇÃO VISUAL DE IMAGENS. GEOUSP: espaço e tempo, América do Norte, 1, dez. 2011. Disponível em: <http://citrus.uspnet.usp.br/geousp/ojs-2.2.4/index.php/geousp/article/view/448>. Acesso em: 12 Abr. 2012.

PARADELLA, W.R. Radar em aplicações geológicas: os experimentos sarex na província mineral dos Carajás (Pará) e Airsar no Vale do Rio Curaçá (Bahia). In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, 1993. Bahia. *Anais ...* Bahia. 1993. v.3, p.282-294.

PARADELLA, W.R.; BIGNELLI, P.A.; VENEZIANI, P.; PIETSCH, R.W.; TOUTIN, T. Airborne and spaceborne synthetic aperture radar (SAR) integration with Landsat TM and gamma ray spectrometry for geological mapping in a tropical rainforest environment - The Carajás mineral province. *International Journal of Remote Sensing*, v.18, n.7, p.1483-1501, 1997.

PARADELLA, W. R.; SANTOS, A. R.; VENEZIANI, P.; CUNHA, E. S. P. Radares imageadores nas geociências: status e perspectivas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1847-1854. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. (INPE-12667-PRE/7958). Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.14.57>>. Acesso em: 17 abr. 2011.

PORTO, Mônica F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*. vol.22 no.63 São Paulo 2008.

PRANCE, Ghilean T. A terminologia dos tipos de florestas amazônicas sujeitas a inundação. *Acta Amazônica*, 1980, 10(3): 495-504.

QUESADA, C. A.; LLOYD, J.; ANDERSON, L. O. FYLLAS, N. M. SCHWARZ, M. AND CZIMCZIK, C. I. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences*, 8, 1415–1440, 2011.

RESTREPO J.D. and KJERFVE, B. 2000. Magdalena river: interannual variability (1975-1995) and revised water discharge and sediment load estimates. *Journal of Hydrology* 235: 137- 149.

RIBEIRO, J.E.L.S.; HOPKINS, M.J.G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C.A.; COSTA, M.A.S.; BRITO, J.M.; SOUZA, M.A.D.; MARTINS, L.H.P.; LOHMANN, L.G.; ASSUNÇÃO, P.A.C.L.; PEREIRA, E.C.; SILVA, C.F.; MESQUITA, M.R. & PROCÓPIO, L.C. Flora da reserva Ducke: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central.DFID-INPA, Manaus. 1999.

RICHARDS, K., 1982. Rivers: Form and Process in Alluvial Channels. Methuen, London. Another classic out of print book. Some students may be put off by the mathematical approach but the explanations are clear. Good on sediment transport processes and channel adjustment.

ROSOT, N. C. Integração de imagens de sensores de microondas e ópticos para fins de mapeamento e classificação de reflorestamento no sul do Brasil. (Tese de Doutorado em Engenharia de Produção)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. In: *Revista do Departamento de Geografia. FFLCH-USP, São Paulo*, 1992, n.6, p. 17-29.

ROSS, J .L. S. & MOROZ, I. C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia Depto de Geografia FFLCHUSP/ Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia Aplicada - IPT/FAPESP, 1997.

SALATI, Eneas; LEMOS, H.M.de; SALATI, Eneida. Água e o desenvolvimento sustentável. In: Rebouças, A.C., Braga, B., Tundisi, J.G. (Org.). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*, 2. Escrituras, São Paulo, 2002.

SANTANA, Claudinei Lopes. Geomorfologia da planície fluvial do rio Ribeira de Iguape entre Sete Barras e Eldorado (SP): Subsídios ao planejamento físico-territorial de áreas inundáveis. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo 2008.

SANT'ANNA, S.J.S., MASCARENHAS N.D.A. Comparação do desempenho de filtros redutores de "speckle". In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 8, 1996, Salvador, Anais..., São José dos Campos: INPE, 1996. Artigos, p.871-877.

SANTOS, U. M.; RIBEIRO, M. N. G. A hidroquímica do rio Solimões-Amazonas. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia- INPA, Manaus-AM. ACTA Amazônica, 18(3-4): 145-172, 1988.

SHREVE, R.L. Statistical law of stream numbers, Journal of Geology, 74, 17-37, 1966.

SHINZATO, E. et al. Os solos do distrito agropecuário da Suframa – DAS. Manaus: [S.n.], 2005.

SILVA, C.L. "Análise da tectônica cenozóica na região de Manaus e adjacências". Rio Claro. Tese de doutorado em geologia regional, defendida no Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (Unesp). 2005.

SILVA, T.I ; RODRIGUES, C. S. Elaboração de um Tutorial de Cartografia Geomorfológica como Alternativa para o Ensino da Geomorfologia. Revista Geográfica Acadêmica. V.3, n.2. xii. 2009. p.85-89.

SILVA, B. N. R. D., ARAÚJO, J. V., RODRIGUES, T. E., FALESI, I. C. e RÊGO, R. D. S. Os Solos Da Área Cacau- Pirêra - Manacapuru. Belém: IPEAN, v.2. 1970. 198 p. (Solos da Amazônia).

SILVA, J. M. F.; SANTOS, L. J. C. O Sensoriamento Remoto na pesquisa geomorfológica: aplicações no município de Antonina, PR. Geonorte, v. 2, p. 1636-1645, 2012

SILVA, J. E. B.; SANTOS, P. R. A. A utilização dos modelos SRTM na interpretação geomorfológica: técnicas e tecnologias aplicadas ao mapeamento geomorfológico do território brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4261-4266.

SILVERMAN, B.W. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. Journal of the American Statistical Association, v. 83, n. 401, p. 269-270, 1988.

SIOLI, H. The Amazon And Its Main Afluentes: Hidrography, Morphology of the River Course, And River Types, 127-165. In: The Amazon, Limnology And Landcape Ecology Of A Mighty Tropical River And Its Basin. Sioli H. (Ed.) Junk Publ., Dordrecht. 1984.

SIOLI, H. Alguns resultados e problemas da liminologia amazônica. Belém, IPEAN, 1951. p.3-44 (IPEAN. Boletim Técnico, 24).

SIOLI, H. 1950 Das Wasser im Amazonasgebiet, Forschungen und Fortschritte, 26 (21/22): 274–280.

SIEPPEL, S. J.; HAMILTON, S. K.; MELACK, J. M. Inundation area and morphometry of lakes on the Amazon River floodplain. Archives of Hydrobiology, v. 123, p. 385-400, 1992.

SOARES, C. B. S. S.; TEIXEIRA, W. G.; PINTO, W. H. A.; COSTA, L. A. Geotecnologia aplicada ao estudo da dinâmica do uso e cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental (APA) Encontro das Águas - Iranduba (AM). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3163-3170. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.26>>. Acesso em: 17 jan. 2011.

SOARES, E.A.A.2007. Depósitos pleistocenos da região de confluência dos rios Negro e Solimões, Amazonas. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007, 205p.

SOLER, L. S. Detecção de manchas de óleo na superfície do mar por meio de técnicas de classificação textural de imagens de radar de abertura sintética (RADARSAT-1) / L. S. Soler – São José dos Campos: INPE, 2000. 167p. – (INPE-8605-TDI/790).

SOUZA FILHO, P. W. L. ; PARADELLA, W. R. ; SOUZA Jr., C.; VALERIANO, D. M. ; MIRANDA, F. P. . Sensoriamento Remoto e Recursos Naturais da Amazônia. Ciência e Cultura (SBPC), v. 3, p. 37-41, 2006.

STERNBERG, H.O’R. Vales Tectônicos da planície Amazônica? Revista Brasileira de Geografia. 1950, Ano XII (4), 3– 26.

STERNBERG, H.O’R. A Propósito de Meandros. Revista Brasileira de Geografia, 19(4): 99-121 (477-499). (IBGE. Rio de Janeiro), 1957.

SUGUIO, K. & BIGARELLA, J.J. Ambientes fluviais. Florianópolis: Editora da UFSC, 1990.

TEIXEIRA, C.V.; SANO, E. E. . Utilização de Imagens Ópticas e de Rada pra Delimitação de Áreas e Identificação de Alvos Representativos na Várzea Amazônica: Proposta Metodológica. In: II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2007, Presidente Prudente - SP. Anais do II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2007. p. 1030-1033.

TEIXEIRA, W.G.; PINTO, W.H.; LIMA H.N.; MACEDO, R.S.; MARTINS, G.C.; ARRUDA, W.D.C. Os solos das várzeas próximas a calha do Rio Solimões – Amazonas no Estado do Amazonas, in: IBAMA (Ed.), Workshop Geotecnologias Aplicadas às Áreas de Várzea da Amazônia, Ibama, Manaus. 2007, p. 29 – 36.

TEIXEIRA, W. G. ; PINTO, W. H. A. ; SILVA, C. B. S. ; LIMA, H. N. ; MACEDO, R. S. . O solo de várzea nas margens do rio Negro Amazonas - Brasil. In: XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2009, Fortaleza. XXXII CBCS: O solo e a produção de bionergia: perspectivas e desafios. Fortaleza : Universidade Federal do Ceará, 2009. p. 494-494.

TEIXEIRA, ARRUDA, W.D.C.; SHINZATO, E.; MACEDO, R.S.; MARTINS, G.C.; LIMA H.N.; RODRIGUES, T. E. Solos, in: Geodiversidade do estado do Amazonas/ Maia, M. A. M. (org.)- Manaus: CPRM, 2010, 275 p.

THORNBURY, William D.; RAMPA, Alfredo C. (1917-...) (dir.); TURNER, Juan Carlos A. (tr.). Principios de geomorfología. Buenos Aires, Editorial Kapelusz. 1960.

TRICART, J. Normes pour l'établissement de la carte géomorphologique détaillée de la France (1:20.000, 1:25.000, 1:50.000). – Mém. et Doc. Année 1971, n.s 12. 1972. 37 – 105 p.

TUCCI, C. E. M. 1997. Hidrologia: ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/ Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

TUNDISI, J.G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. Limnologia. Oficina de Textos, 2008, 632p

VALERIANO, M.M. Modelo digital de variáveis morfo-métricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. Simp. Bras. de Sens. Remoto, 12. São José dos Campos, INPE, 2005, p. 3595-3602.

VENTURI, L. A. B. Ensaios Geográficos. 1. ed. São Paulo: Humanitas, 2008. v. 1. 200 p

VERSTAPPEN, H. Th. Applied Geomorphology: Geomorphological Surveys for Environmental Development. Elsevier. Amsterdam-Oxford-New York, 1983.

VERSTAPPEN, H.T., VAN ZUIDAM, R.A. ITC system of geomorphologic survey: ITC textbook of photo – interpretation. Use of Aerial Photographs in Geomorphology by: Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC). Enschede. v.7, ed.3. 1975. 52p.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P.C.T.C. 1987. Amazônia seus solos e outros recursos naturais. Ed. Agronômica Ceres. São Paulo. 416 pp.

VILLELA, S. M.; MATTOS, Arthur. Hidrologia aplicada. . McGraw-Hill: São Paulo, 1936.

WALLACE, A.R. Narrative of Travels on the Amazon and Rio Negro. Reeve and Company, London, 1853, 363 pp.

WALKER, I. Amazonian streams and small rivers. In: Tundisi, J. G.; Bicudo, C. E. M., Matsumura-Tundisi, T. (Eds). Limnology in Brazil. Soc. Bras. De Limnologia/Acad. Bras. de Ciências. 1995. p. 167- 193.

XAUD, H. A. M.; GOLTZ, G. A. M. Classificação de imagens de radar multipolarizadas na banda L (R99-B) para mapeamento de uso do solo em áreas urbanas e periurbanas de São José dos Campos-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 8185-8190. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTW/3A6DU55>>. Acesso em: 19 jan. 2012.

Anexo I - Mapa Geomorfológico do Ariaú

Legenda

- Rodovias
- Hidrografia

DOMÍNIO MORFOESTRUTURAL	UNIDADE GEOMORFOLÓGICA
BACIA S E COBERTURAS SEDIMENTAR	Planície Amazônica
EMBASAMENTOS EM ESTILOS COMPLEXOS	PlanaltoDissecado Rio Trombetas-Rio Negro

MODELADOS

Modelado de Acumulação

Af

Planície Fluvial - área plana resultante de acumulação fluvial sujeitas a inundações periódicas, correspondendo às várzeas atuais.

Atf

Terraço Fluvial- acumulação fluvial de forma plana, levemente inclinada, apresentando ruptura de declive em relação ao leito do rio e as várzeas recentes situadas em níveis inferior, entalhada devido às mudanças de condições a consequente retomada de erosão.

Modelado de Dissecação

Dt

Platô Baixo- homogênea fluvial que não obedece a controle estrutural nítido, com topos tabulares.

Dt

Platô Norte- homogênea fluvial que não obedece a controle estrutural nítido, com topos tabulares.

Dt

Platô Tabular- homogênea fluvial que não obedece a controle estrutural nítido, com topos tabulares.

Dc

Platô convexo- dissecação marcada por controle estrutural evidente, apresentando forma de topos convexos.

Tabela de Índices de Dissecação

Aprofundamento das Incisões						
Densidade da Drenagem		Muito Fraco	Fraco	Médio	Forte	Muito Forte
	Muito grosseira	11	12	13	14	15
	Grosseira	21	22	23	24	25
	Média	31	32	33	34	35
	Fina	41	42	43	44	45
	Muito Fina	51	52	53	54	55

Elaboração: Willer Hermeto (2013)

Fonte: Mapa elaborado, a partir da interpretação das imagens do SAR R99B

Anexo II - Mapa de Ambientes Fluviais do Ariaú