



UFAM

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

MARIA ELIENE GOMES DA CRUZ

**CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS NOS ANINGAIS ENTRE OS MUNICÍPIOS DE
IRANDUBA E COARI**

Manaus, Amazonas
2009

MARIA ELIENE GOMES DA CRUZ

**CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS NOS ANINGAIS ENTRE OS MUNICÍPIOS DE
IRANDUBA E COARI**

Orientador: Prof. Dr. Hedinaldo Narciso Lima
Coorientador: Wenceslau Geraldes Texeira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas como requisito para obtenção do Título de Mestra em Ciências Florestais e Ambientais.

Manaus, Amazonas
2009

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C957c Cruz, Maria Eliene Gomes da
Caracterização dos solos nos aningais entre os municípios de
Iranduba e Coari / Maria Eliene Gomes da Cruz . 2009
64 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Hedinaldo Narciso Lima
Coorientador: Wenceslau Geraldes Texeira
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Solos. 2. Análise. 3. Amazônia. 4. Composição. 5. Vegetação.
I. Lima, Hedinaldo Narciso. II. Universidade Federal do Amazonas
III. Título

Aos meus pais e irmãs pela educação,
valores e amor incondicional.
À minha Irmã Jocilene: pelo apoio,
incentivo e compreensão

Dedico

Ao Luiz Evangelista: pelo carinho,
compreensão, força e toda a
ajuda na elaboração deste trabalho

Ofereço

Agradecimentos

Agradeço

À Deus;

Ao Dr. Wenceslau G. Teixeira pela oportunidade, orientação e assistência durante o período de trabalho;

Ao Dr. Hedinaldo N. Lima pela oportunidade de trabalho e apoio;

À Universidade Federal do Amazonas, onde tudo começou;

Ao projeto PIATAM pela oportunidade de trabalho e todo o apoio na coleta dos dados;

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo;

Aos meus amigos Rodrigo S. Macedo e Mariza Alves pelo apoio e ajuda em todas as etapas deste trabalho;

A minhas amigas Liene, Ramila, Iza, Suzy e Luciana pela amizade, apoio e experiência compartilhada;

À Embrapa Amazônia Ocidental pela infraestrutura e logística necessária para realização deste trabalho;

Ao laboratório de Difractometria no Departamento de Geologia da Universidade Federal do Amazonas;

Aos colegas do Laboratório de Análise de Solos e Plantas da Embrapa Amazônia Ocidental.

RESUMO

Conhecer a vegetação natural e a sua relação com os solos onde ocorre, além de contribuir na conservação da biodiversidade local, pode auxiliar na orientação de projetos de conservação e recuperação das fisionomias vegetais originais de determinados ambientes. As áreas denominadas várzeas compreendem as planícies de inundação fluvial de deposição holocênica e pleistocênica que margeiam os rios de águas barrentas, ricas em material em suspensão. A várzea amazônica inclui uma grande diversidade de ambientes e ecossistemas compreendidos em pequenas áreas. Dentro desse contexto encontram-se os Aningais, os quais são constituídos predominantemente por plantas aquáticas conhecidas como aningas (*Montrichardia arborescens* Schott), formando grandes populações destas às margens de rios e igarapés, ou ilhas aluviais que são responsáveis pela filtração das águas dos estuários Amazônicos. Com o intuito de desenvolver um maior conhecimento a cerca desse ambiente, o presente estudo teve como objetivo identificar, mapear e caracterizar os Aningais e os solos que ocorrem sob eles. A área de estudo compreende as várzeas do Rio Solimões, entre o município de Coari e a confluência dos rios Solimões e Negro, nas proximidades da cidade de Manaus. As coletas foram realizadas em três campanhas, onde foram coletados folhas, flores e frutos da aninga para identificação botânica e análise foliar. Foram registradas ainda as coordenadas geográficas de cada aningal visitado, com o intuito de validar a classificação supervisionada, realizada para mapear espacialmente os aningais. A caracterização do solo foi feita através de análises química, física e mineralógica das amostras, que foram coletadas com o uso do trado e de cilindros volumétricos. Como resultado foi possível identificar nove Aningais, todos constituídos pela espécie *Montrichardia arborescens*. Os solos são predominantemente eutróficos, com altos teores de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg), caracterizando-se como ambientes férteis. Entretanto, esses solos apresentam acidez elevada.

Palavras-chave: aningais; Amazônia central; várzea; gleissolos.

ABSTRACT

Knowing the natural vegetation and its relationship to the soils where it occurs favors the local biodiversity maintenance and can also be used as guideline in projects of maintenance and restoration of original vegetation types found in certain ecosystems. The areas known as floodplains comprise the river floodplain areas of Pleistocene and Holocene deposits that border the rivers of muddy water, which are rich in suspended solids. The Amazon floodplain regions contain a wide range of environments and ecosystems located in small areas. Within this context are the *Aningais* regions, which are characterized by the occurrence of aquatic plants known as aningas (*Montrichardia arborescens* Schott), forming large populations by the margins of rivers and streams or alluvial islands, which are responsible for filtering the water of the Amazon estuaries. In order to gather a greater knowledge and understanding about this environment, this study was carried on for identifying, mapping and characterizing the Aningais and the soils underneath them. All the study scope comprises the floodplain areas of the Solimões river area, in the extent between Coari city limits and the confluence of the Negro and Solimões rivers, in a region near Manaus city. The samples were gathered in three waves of data collection, where leaves, flowers and fruits were collected from the aninga plants and then used in studies for botanic identification and leave analysis. Also, the geographic coordinates of each of the visited regions were kept as data for further verification of the supervised classifying, performed for spatial mapping of the Aningais regions. The Soil Characterization were carried out by performing chemical, physical and mineralogical analysis of the samples that were collected using dutch auger and volumetric cylinders. As results, nine Aningais regions were identified, all of them constituted of the *Montrichardia arborescens* specie. The Soils are mainly eutrophic, presenting high concentration of Calcium (Ca) and Magnesium (Mg), making themselves as rich ecosystems. These soils, however, are highly acid.

Keywords: aningais regions; central Amazon; floodplain; gleisols.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NAS MARGENS DO RIO SOLIMÕES ENTRE OS MUNICÍPIOS DE IRANDUBA E COARI	25
FIGURA 2. CENAS DE IMAGENS DO SENSOR LANDSAT-TM5 UTILIZADAS PARA ELABORAÇÃO DO MOSAICO DA AMAZÔNIA CENTRAL.....	29
FIGURA 3. FLUXOGRAMA DE TRATAMENTO DAS CENAS DO SENSOR LANDSAT TM-5	31
FIGURA 4. DETALHE DO CAULE E FOLHA DA ANINGA (<i>MONTRICHARDIA ARBORESCENS</i>)	38
FIGURA 5. DETALHE DA FLOR E FRUTO DA ANINGA (<i>MONTRICHARDIA ARBORESCENS</i>).....	39
FIGURA 6. RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM LANDSAT Tm 5, PARA UM RECORTE DA CENA 231_062.....	42

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 . COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE TODAS AS FISIONOMIAS NAS BANDAS 3, 4 E 5 DO LANDSAT-TM5.....	43
GRÁFICO 2. ANÁLISE DE REGRESSÃO DO CARBONO (C) EM FUNÇÃO DO ALUMÍNIO (AL)	49
GRÁFICO 3. DENSIDADE DO SOLO EM UM GLEISSOLO HÁPLICO, SOB DOIS ANINGAIS EM ÁREA DE VÁRZEA NO MÉDIO SOLIMÕES, AM.....	56
GRÁFICO 4. (A E B) - CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA AJUSTADA CONFORME O MODELO PROPOSTO POR VAN GENUCHTEN A PARTIR DOS RESPECTIVOS PONTOS AMOSTRADOS NAS CAMADAS A E CG DOS ANINGAIS MANACAPURU 2 (A) E IRANDUBA (B).	58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. LOCAIS DE COLETA DAS AMOSTRAS E ANÁLISES REALIZADAS.....	26
TABELA 2. ORBITA/PONTO DAS CENAS UTILIZADAS PARA A MONTAGEM DO MOSAICO.....	28
TABELA 3. CLASSIFICAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONCORDÂNCIA DE KAPPA PARA AVALIAÇÃO DE EXATIDÃO DA CLASSIFICAÇÃO, SEGUNDO LANDIS E KOCH (1977)	32
TABELA 4. COMPOSIÇÃO MINERAL DAS FOLHAS DA ANINGA (<i>MONTRICHARDIA ARBORESCENS</i>)..	40
TABELA 5. MATRIZ DE CONFUSÃO GERADA PELO PROGRAMA ENVI, PARA O CLASSIFICADOR DE MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA, PARA A IMAGEM LANDSAT-TM5 231/062	44
TABELA 6. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS SOLOS SOB ANINGAIS EM ÁREAS DE VÁRZEA DO MÉDIO SOLIMÕES – AM.....	45
TABELA 7. VALORES DOS COEFICIENTES DA REGRESSÃO.....	48
TABELA 8. ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS SOB ANINGAIS NA REGIÃO DO MÉDIO SOLIMÕES – AMAZONAS.....	50
TABELA 9. ATRIBUTOS QUÍMICOS (MICRONUTRIENTES), DE SOLOS SOB ANINGAIS NA REGIÃO DO MÉDIO SOLIMÕES – AMAZONAS	52
TABELA 10. TEORES TOTAIS DOS ELEMENTOS DE DOIS ANINGAIS DO MÉDIO SOLIMÕES.....	54
TABELA 11. FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DE UM GLEISSOLO HÁPLIC DO RIO SOLIMÕES, SOB ANINGAIS.....	55
TABELA 12. COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DAS FRAÇÕES: ARGILA E AREIA FINA DOS SOLOS ESTUDADOS, POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X.....	59

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. JUSTIFICATIVA	15
3. OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GERAL	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	16
4. REVISÃO DE LITERATURA	17
4.1 A VÁRZEA	17
4.2 ASPECTOS DA VEGETAÇÃO	18
4.3 OS SOLOS DE VÁRZEA	19
4.4 OS ANINGAIS	21
4.5 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM	22
5. MATERIAL E MÉTODOS	24
5.1 ÁREA DE ESTUDO	24
5.2 COLETA E ESTUDO DE CAMPO	26
5.3 VARIÁVEIS ANALISADAS	26
5.3.1 <i>Aningais</i>	27
5.3.1.1 Identificação e Classificação Botânica	27
5.3.1.2 Análise Foliar	27
5.3.1.3 Mapeamento e Estimativa dos Aningais	28
5.3.1.4 Obtenção das Imagens	28
5.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	29
5.4.1 <i>Registro das Imagens</i>	29
5.4.2 <i>Mosaico das Imagens</i>	30
5.4.3 <i>Classificação de Imagens</i>	30
5.4.1 <i>Solos</i>	32
5.4.1.1 Coleta de Amostras	32
5.4.1.2 Caracterização Morfológica	32
5.4.1.3 Atributos Químicos	32
5.4.1.4 Teores Totais	33
5.4.1.5 Granulometria	34
5.4.1.6 Curva de Retenção de Umidade	34
5.4.1.6 Densidade de Solo (ρ_s) e Volume de Poros	34
5.4.1.7 Mineralogia	35
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6.1 IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO BOTÂNICA	37
6.2 ANÁLISE FOLIAR	39
6.3 IDENTIFICAÇÃO, MAPEAMENTO E ESTIMATIVA DOS ANINGAIS	41
6.4 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA	45
6.5 ATRIBUTOS QUÍMICOS	47
6.6 TEORES TOTAIS	52
6.7 GRANULOMETRIA	54
6.8 DENSIDADE DO SOLO (ρ_s)	56
6.9 CURVAS DE RETENÇÃO DE UMIDADE	57
6.10 MINERALOGIA	59
7. CONCLUSÃO	61
8. REFERÊNCIAS	62

1. INTRODUÇÃO

Conhecer a vegetação natural e a sua relação com os solos onde ocorre, além de contribuir na conservação da biodiversidade local, pode auxiliar na orientação de projetos de conservação e recuperação das fisionomias vegetais originais de determinados ambientes. As florestas de várzea dominam a paisagem na zona estuarina amazônica (PADOCH *et al.*, 2000). Elas estão concentradas na planície de inundação, cujos sedimentos foram depositados no período Quaternário. A várzea amazônica é definida como a área inundada periodicamente pelo transbordamento das águas ricas em sedimentos do rio Amazonas (SIOLI, 1984).

Os tipos de vegetação da várzea estão relacionados em parte com a elevação do terreno, refletindo a capacidade de suportar longos períodos de inundação. As áreas mais elevadas neste ambiente, e que margeiam os canais, são conhecidas como restingas e, normalmente são cobertas por uma vegetação de campo e florestas de galeria. As gramíneas naturais predominam nas terras baixas (DNPM, 1976). Nas partes mais rebaixadas encontram-se os aningais, os quais são constituídos pela aninga (*Montrichardia arborescens* Schott), formam grandes populações as margens de rios e igarapés, ou ilhas aluviais que são responsáveis pela filtração das águas dos estuários Amazônicos (MACEDO, 2005).

A complexidade do sistema de várzea dificulta uma análise integrada dos diversos aspectos. Dentro desse contexto, o sensoriamento remoto constitui uma ferramenta importante na obtenção de informações, sendo utilizada para fins de levantamento, monitoramento e mapeamento da superfície terrestre em todo o mundo. A aplicação dessa tecnologia na Amazônia é uma maneira de minimizar os problemas enfrentados pela grande extensão e a dificuldade de acesso na maioria dos trabalhos realizados até o presente nesta região de floresta tropical. O conhecimento sobre as classes de solos e sua relação com os ecossistemas amazônicos ainda é incipiente. Os estudos sobre sistemas naturais são fragmentados e são

feitos, normalmente, sem uma análise multidisciplinar e integrada entre os diversos componentes físico-bióticos que interagem e caracterizam as unidades fisiográficas.

O levantamento sistemático executado pelo Projeto RADAMBRASIL (1978) representou uma significativa contribuição para o conhecimento dos recursos naturais da região amazônica, contudo os dados foram coletados num esquema de levantamento exploratório e os mapas são apresentados na escala ao milionésimo. Esta escala de trabalho é insuficiente para uma análise localizada onde se necessita de uma maior densidade de informações para verificar os impactos da atividade antrópica nos ecossistemas naturais.

Para a análise dos sistemas naturais é necessário que se conheça sua gênese, constituição física, forma e estágio de evolução, bem como a natureza da cobertura vegetal que sobre eles se desenvolvem.

2. JUSTIFICATIVA

Este trabalho contribui para aumento do conhecimento da correlação entre a fisionomia vegetal da várzea (aningal) e as classes de solo onde eles ocorrem. A escassez de estudos sobre essas comunidades se dá devido à ideia comum de que o papel desses vegetais nos ecossistemas não é relevante (OLIVEIRA *et al.*, 2005) e a complexidade e dificuldades de acesso a esse ambiente.

Os ecossistemas aquáticos têm sido amplamente alterados devido a múltiplos impactos ambientais resultantes de atividades antrópicas. Entre essas atividades, o uso em larga escala de fertilizantes e agrotóxicos tem promovido a contaminação de solo, cursos d'água e lençol freático (WAICHAMAN, 2008). Os aningais por estarem localizados em áreas mais baixas, são susceptíveis à concentração de pesticidas e outros agentes contaminantes como hidrocarbonetos. Este estudo poderá indicar fragilidades e potencialidades das terras e subsidiar as políticas de ordenamento da ocupação destes locais.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Com o intuito de desenvolver um maior conhecimento do ambiente onde ocorrem os aningais, o presente estudo teve como objetivo: Identificar e mapear os aningais e caracterizar os solos existentes sob esses ambientes nas áreas de várzea do Médio Solimões, entre os municípios de Iranduba e Coari.

3.2 Objetivos Específicos

Quatro objetivos específicos foram formulados para o trabalho:

- 1) Identificar as áreas de aningais na calha do Médio Solimões;
- 2) Mapear as áreas de aningais utilizando imagens Landsat;
- 3) Analisar a composição química da aninga (*Montrichardia arborescens* Schott);
- 4) Caracterizar química, física e mineralogicamente os solos sob os aningais.

3.3 Organização da Dissertação

Nesta dissertação é apresentado inicialmente um capítulo introdutório que versa sobre a caracterização geral em termos de ambiente ou ecossistemas. Neste capítulo inicial, ainda são apresentados os objetivos do trabalho, bem como alguns dos principais resultados atingidos pelo mesmo. No segundo capítulo é apresentada a revisão de literatura, com descrição e características dos ambientes de várzea. O terceiro capítulo engloba os parâmetros analisados e os procedimentos metodológicos que serviram como base para esses experimentos. O quarto capítulo mostra os resultados obtidos, permitindo o conhecimento das características peculiares desses ambientes. Finalmente, o quinto capítulo apresenta as conclusões deste trabalho.

4. REVISÃO DE LITERATURA

Como base para a leitura deste trabalho, são apresentados alguns conceitos, como por exemplo, o conceito de várzea, assim como aspectos da vegetação e caracterização dos solos de várzea encontrados na região do Médio Solimões, incluindo os aningais, que são formas de vida semiaquáticas comuns nessas regiões.

4.1 A Várzea

As áreas denominadas várzeas compreendem as planícies de inundação fluvial de deposição holocênica e pleistocênica que margeiam os rios de águas barrentas, ricas em material em suspensão.

Durante o período glacial, o nível do mar desceu por 130 metros. Logo depois, o nível do mar passou a subir e os vales dos rios de águas brancas encheram-se de sedimentos, devido às reduções na correnteza, formando a paisagem plana que se tem hoje ao longo da bacia Amazônica (AYRES, 1995; JUNK, 1984). Levando-se em consideração a época em que os sedimentos foram depositados, a várzea pode ser dividida em dois tipos: a várzea mais antiga, formada durante os períodos interglaciais primários, chamada de várzea do pleistoceno; e as planícies inundáveis mais recentes, chamadas de várzea do holoceno.

O processo de formação de novas várzeas é bastante complexo, com vários estágios de sucessão. O grau de deposição e/ou erosão em um determinado local e o tamanho das partículas depositadas pode ser definido por uma série de fatores geomorfológicos, como por exemplo, a velocidade do fluxo d'água, a direção e extensão das inundações anuais, o volume de água proveniente dos afluentes, entre outros. A combinação destes fatores leva ao aparecimento de complexos biótipos, que se inundam periodicamente, compondo uma planície aluvial que pode alcançar uma grande extensão, com um sistema complexo de canais, lagos, ilhas e diques marginais (SIOLI, 1951). A topografia ondulada da várzea atual é

causada por diferenças na deposição de sedimentos. As variações na topografia se refletem em variações na vegetação, na drenagem do solo e na duração das fases terrestres e aquáticas (PEREIRA, 2007). Dentro desse contexto podemos dizer que os solos e a vegetação de várzea estão relacionados em parte com a elevação do terreno.

Estas áreas inundáveis são bastante diferentes do resto da bacia hidrográfica do Amazonas. Geralmente, com alta produtividade biológica, a várzea amazônica inclui uma grande diversidade de ambientes e ecossistemas compreendidos em pequenas áreas.

4.2 Aspectos da Vegetação

Conforme o Projeto RADAMBRASIL (1970) ocorre na região deste estudo as tipologias vegetacionais listadas a baixo:

- **Floresta Ombrófila Densa Aluvial:** Formação característica das áreas inundáveis pelas cheias sazonais, ecologicamente adaptados às intensas variações do nível da água, entretanto, beneficia-se da renovação regular do solo decorrente das enchentes periódicas. A floresta aluvial apresenta com freqüência um dossel emergente. É uma formação com muitas palmeiras no extrato intermediário;
- **Floresta Ombrófila Densa das terras baixas:** É uma formação que ocupa em geral as planícies costeiras. Ocorre desde a Amazônia, estendendo-se por todo nordeste. Apresenta agrupamentos de árvores emergentes nas elevações mais pronunciadas dos interflúvios, como o argelim-da-mata (*Hymenolobium petraeum*), Angelim-de-pedra (*Dinizia excelsa*), tauari (*Couratari spp.*), castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*) entre outras. É significativa a presença de palmeiras que competem por luz no estrato arbóreo superiores, ocorrendo preferencialmente nos locais mais úmidos;

- **Floresta Ombrófila Aberta Aluvial:** É uma formação arbórea com palmeiras que ocupa principalmente as planícies e terraços dos rios Madeira, Purus, Coari e Tefé. Característico de regiões inundáveis pelas cheias sazonais, ecologicamente adaptados às intensas variações do nível da água, se beneficia da renovação do solo decorrentes das enchentes periódicas;
- **Formações Pioneiras:** As formações pioneiras caracterizam-se pela vegetação de primeira ocupação, associada a espécies pioneiras que se desenvolvem sobre áreas pedologicamente instáveis, sob constantes deposições sedimentares, tais como das margens dos rios, ao redor dos pântanos, lagos e lagoas. São comunidades cujo desenvolvimento pleno é limitado por condições ambientais diferentes do clima regional, principalmente vento, salinidade, maresia e hidromorfismo. Sua florística é mais simplificada em relação a florestas clímax e não há ainda formação de estratos (RODERJAN e KUNIYOSHI, 1988; VELOSO, RANGEL e LIMA, 1991; IBGE, 1992; JASTER, 1995; SEMA e IAP, 1996; JASTER, 2002). Estas formações ocupam áreas de influência aluvial (planícies e terraços) e de influência pluvial (depressões nos interflúvios).

4.3 Os Solos de Várzea

Os solos de várzea são formados a partir de sedimentos do quaternário, em processo contínuo de deposição e remoção. Devido ao elevado nível do lençol freático e a inundações periódicas, ocorre uma limitação no processo pedogenético, tendo como resultado solos jovens, ou ainda, apenas sedimentos em processo incipiente de pedogênese (LIMA, 2001; TEIXEIRA, 2007). Por sua natureza sedimentar recente, os solos de várzeas guardam estreita

relação com o material de origem, sedimentos provenientes de região andina e sub-andina transportados pelos rios e depositados na planície fluvial (GIBBS, 1964).

Na várzea, os solos normalmente possuem teores elevados de silte e de areia fina. São, predominantemente, eutróficos, com elevada capacidade de troca de cátions e elevados teores de cátions trocáveis, especialmente cálcio, magnésio. Em contraste aos solos bem drenados de terra firme, apresentam reação menos ácida, níveis mais elevados de nutrientes, menores teores relativos de alumínio trocável e argila de atividade alta (Lima, 2001).

Os solos de várzea apresentam composição mineralógica bastante variada, como reflexo da diversidade e da natureza recente do material de origem, das condições periódicas de hidromorfismo, e do reduzido grau de pedogênese.

Os poucos estudos sobre a mineralogia desses solos revelam a presença de minerais primários notadamente mica, clorita e feldspatos, além de conteúdo elevado de esmectita, caulinita e vermiculita (IRION, 1984; LIMA *et al.*, 2006).

Os solos predominantes nas várzeas são os Gleissolos e Neossolos Flúvicos, os quais apresentam sua gênese relacionada a processos hidromórficos (TEIXEIRA *et al.*, 2007).

Os Gleissolo de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (1999) são solos constituídos por material mineral com horizonte imediatamente abaixo de horizonte A, ou de horizonte hístico com menos de 40cm de espessura; ou horizonte glei começando dentro de 50cm da superfície do solo. Os gleissolos são solos minerais hidromórficos, que apresentam forte gleização. O processo de gleização implica na manifestação da coloração acinzentada, azuladas ou ainda esverdeadas, isso ocorre devido à redução e solubilização do ferro, permitindo a expressão das cores neutras dos minerais de argila, ou ainda precipitação de compostos ferrosos. Esses solos geralmente apresentam textura fina e não se incluem nas classes texturais areia ou areia franca. Os solos desta classe encontram-se permanente ou periodicamente saturados pela água. São solos mal ou muito mal drenados. Desenvolvem-se

em sedimentos recentes nas proximidades dos cursos d'água e em materiais colúvio-aluviais sujeitos a condições de hidromorfia, podendo formar-se também em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos, ou ainda em materiais residuais em áreas abaciadas e depressões. Podem apresentar alta ou baixa fertilidade natural, e sua maior limitação é sua má drenagem. São encontrados praticamente em todas as regiões brasileiras, ocupando principalmente as planícies de inundação de rios e córregos.

Os Neossolo Flúvico são de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (1999), solos pouco evoluídos e sem qualquer tipo de horizonte B diagnóstico, e horizontes glei, plúntico e vértico quando presentes, não estão em condição diagnóstica. Os Neossolos Flúvicos são derivados de sedimentos aluviais com horizonte A assente sobre horizonte C constituído de camadas estratificadas, sem relação pedogenética entre si e podem apresentar um dos seguintes requisitos: distribuição irregular do conteúdo de carbono orgânico em profundidade, dentro de 150 cm da superfície do solo; e/ou camadas estratificadas em 25% ou mais do volume do solo, dentro de 150 cm da superfície do solo. Essa classe de solo está associada às áreas de maior elevação na paisagem, dentro das limitações de várzea.

Nas partes mais rebaixadas, próximas às margens do rio Solimões, é comum a ocorrência de bancos de areia, regionalmente denominado de “praia”. Os solos mais comumente encontrados nessas áreas são os Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos, solos com presença de lençol freático elevado durante grande parte do ano, na maioria dos anos, imperfeitamente ou mal drenados.

4.4 Os Aningais

De acordo com a classificação do RADAMBRASIL, os aningais estão classificados como formação pioneira com Influência Flúvio-Lacustre, que se desenvolvem sobre Organossolos e Gleissolos, influenciadas pelo regime hídrico dos flúvios, ou então em depressões alagáveis durante ao menos um período do ano – condição ambiental que propicia

o estabelecimento apenas de espécies adaptadas (RODERJAN e KUNIYOSHI, 1988; IBGE, 1992; JASTER, 1995; SEMA e IAP, 1996).

A aninga (*Montrichardia arborescens* Schott) é uma macrófita aquática vastamente distribuída nas várzeas amazônicas e igualmente encontrada em diversos ecossistemas inundáveis como os igapós, margens de rios, furos e igarapés, ocorrendo também nos Estados do Piauí, Rio de Janeiro, sul do Brasil e Suriname (AMARANTE *et al.*, 2009). Os aningais ocorrem nas várzeas e estão ligados a solos de hidromorfismo permanente. A aninga pode atingir 3 a 4 m de altura ocorrendo em densa sinússia quase monoespecífica caracterizando a paisagem aningal (MACEDO, 2005). Os aningais formam grandes populações as margens dos igarapés, podendo ocorrer também em áreas chamadas várzeas altas. Os aningais apresentam um importante papel ecológico, formando ilhas aluviais que são responsáveis pela filtração das águas dos estuários Amazônicos. Auxiliam ainda na oxigenação dos ambientes de várzea (THOMAZ, 2007).

3.5 Classificação de Imagem

A classificação de objetos ou fenômenos é feita pela escolha das características que os descrevem para diferenciá-los entre si (NETO, 2000). Segundo Moreira (2003), durante o processo de classificação de dados digitais, os alvos do universo real recebem a denominação genérica de classes temáticas. Em outras palavras, na classificação, procura-se rotular cada pixel da imagem segundo sua ocupação do solo. Para tal, utilizam-se programas apropriados também denominados de algoritmos de classificação ou simplesmente classificadores. A atribuição dos valores dos níveis de cinza é feita utilizando algoritmos estatísticos de reconhecimento de padrões espectrais. A classificação pode ser realizada pelo analista, visualmente, ou empregando um método automático, utilizando um algoritmo classificador.

Pelo método automático, cada pixel é tratado como uma unidade individual composta de valores de brilho em várias bandas espectrais, atribuindo cada pixel a uma determinada classe, constituída de pixels já conhecidos, agrupando-os às classes com reflectância espectrais mais semelhantes (CROSTA, 1992). A classificação automática pode ser realizada pelo método supervisionado ou não-supervisionado. No método não-supervisionado o algoritmo separa as classes sem a interferência do analista não havendo necessidade de informação prévia sobre as classes de interesse.

No processo supervisionado o analista identifica amostras de treinamento na imagem, referentes àsquelas categorias que ele deseja separar na imagem. A partir das amostras de treinamento são procedidos cálculos estatísticos para cada classe e então o algoritmo usa uma regra estatística para grupar os pixels às classes de informação (CROSTA, 1992). Após a caracterização estatística para cada classe de informação, a imagem é classificada através do estudo da reflectância de cada pixel para decidir com qual das assinaturas ele mais se assemelha (DPI, 2009).

O resultado da classificação digital é apresentado por meio de classes espectrais (áreas que possuem características espectrais semelhantes), uma vez que um alvo dificilmente é caracterizado por uma única assinatura espectral.

5. MATERIAL E MÉTODOS

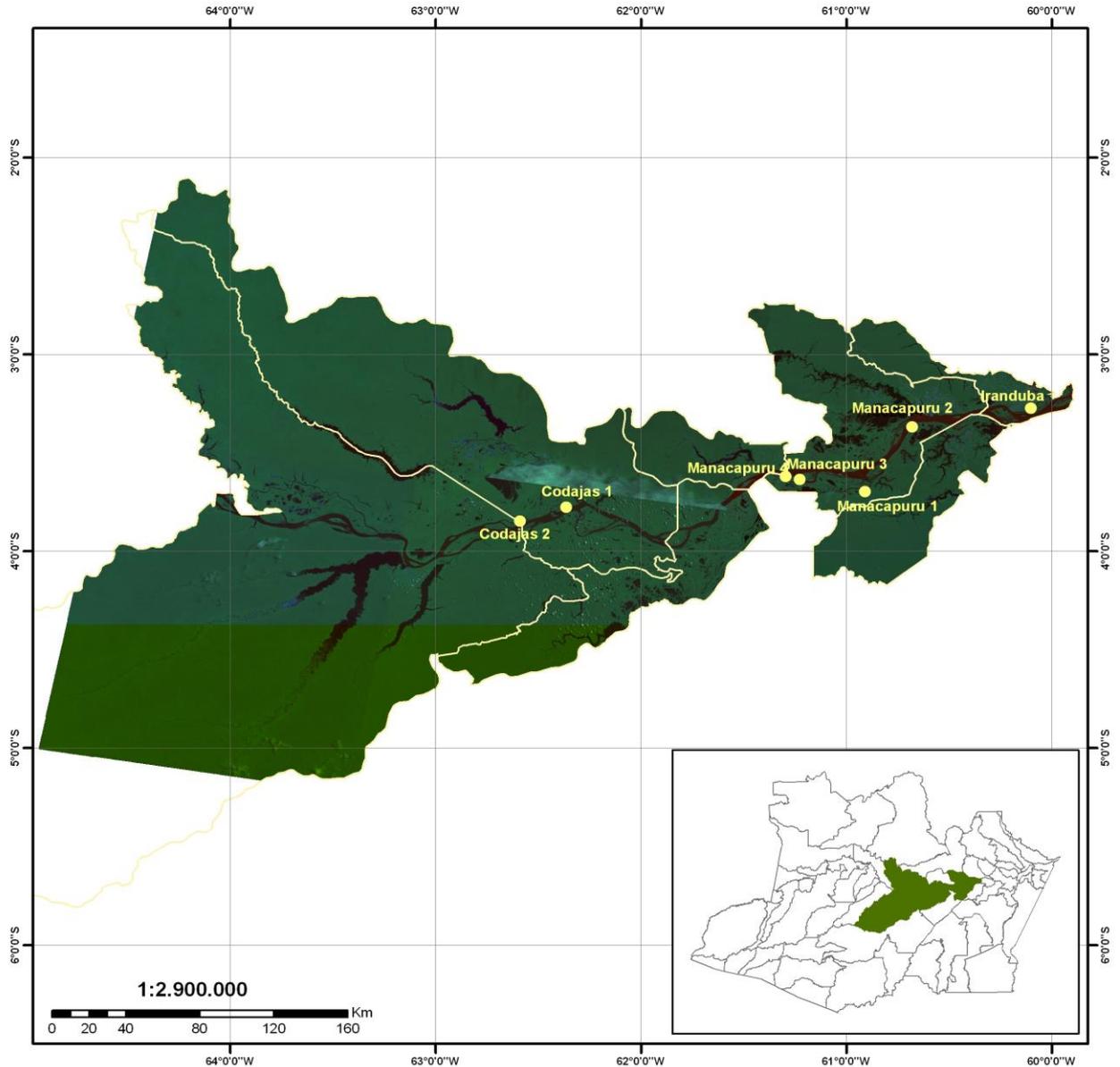
Este capítulo apresenta a área de estudo deste trabalho, assim como descreve o processo de coleta de materiais, definindo os parâmetros usados tanto na coleta dos materiais, como nas análises de resultados dos experimentos. Nesse sentido, este segmento da dissertação trata dos aningais, que foram estudados com foco na análise foliar das espécies pesquisadas, assim como descreve as imagens de satélites usadas na identificação e mapeamento dessa espécie. Neste capítulo também são consideradas as amostras de solos usadas em análises química, física e mineralógica, realizada como parte dos experimentos deste estudo.

5.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende as várzeas do rio Solimões, entre o município de Coari e a confluência dos rios Solimões e Negro, nas proximidades de Manaus. A área estudada, compreende oito localidades (Baixio, Nossa Senhora das Graças, Nossa Senhora de Nazaré, Bom Jesus, Santo Antonio, Matrinxã, Lauro Sodré, Esperança II), estudadas pelo projeto PIATAM, próximas ao traçado do gasoduto Coari – Manaus. O Projeto Inteligência Socioambiental Estratégica da Indústria do Petróleo (PIATAM) é voltado a pesquisa socioambiental criado para monitorar as atividades de produção e transporte de petróleo e gás natural oriundos de Urucu.

O clima regional é do tipo Af, com precipitação em todos os meses do ano. Apresenta características de clima equatorial úmido, com temperaturas médias anuais sempre acima de 22°C (SUDAM, 1984).

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo nas margens do rio Solimões entre os municípios de Iranduba e Coari



Aningal	Local	Coordenadas
Aningal Iranduba	No município de Iranduba em frente à comunidade Santa Luzia do baixo, ao lado do Ramal da Várzea	3° 16' 23" e 60° 06' 03,10"
Aningal Manacapuru 1	Localizado próximo a comunidade Canaã- Araiaué, no Paraná dos Mundurucus	3°41' 44,90" e 60°54'30,20"
Aningal Manacapuru 2	Próximo a comunidade Nossa Senhora das Graças, na localidade Costa do Marrecão	3° 21' 59" e 60° 40' 48,90"
Aningal Manacapuru 3	No município de Manacapuru, atrás da comunidade Bom Jesus, as margens do Lago do Jacaré	3°37' 05,50" e 61°17'43,20"
Aningal Manacapuru 4	No município de Manacapuru, atrás da comunidade Novo oriente	3° 38' 08,9" e 61° 13' 37,8"
Aningal Manacapuru 5	Próximo a comunidade Bom Jesus	Não foi possível adquirir as coordenadas;
Aningal Codajas 1	Atrás da comunidade Matrxã dentro da propriedade do Senhor Natanael	3°46' 33,40" e 62°21'46,90"
Aningal Codajas 2	Dentro dos limites do município de Codajas, nas proximidades da comunidade Lauro Sodré	3°50'46,40" e 62°35'19,20"
Aningal Anorí	Em frete a comunidade Santo Antonio	Não foi possível obter as coordenadas.

Fonte: Cruz (2009)

5.2 Coleta e Estudo de Campo

O levantamento em campo teve como objetivo o reconhecimento e mapeamento dos aningais. As coletas foram realizadas em três campanhas, nos anos de 2007 e 2008, cada uma com 13 dias de duração. Durante as campanhas foram coletadas amostras da aninga (folhas, flores e frutos para identificação e análise foliar) e amostras de solo.

5.3 Variáveis Analisadas

Este seguimento versa sobre as amostragens e os tratamentos aplicados para a caracterização dos aningais (tabela 1). O item 5.3.1.1 trata dos métodos aplicados para a análise da vegetação, como sua classificação botânica, análise foliar e ainda a estimativa destes dentro da área de trabalho. Bem como os procedimentos de coleta, preparo e análise das amostras de solo.

Tabela 1. Locais de coleta das amostras e análises realizadas

Aningais	Localização	Coleta de material botânico	Teores foliares	Morfologia	Análise			Mineralógica
					Química	Física ⁽¹⁾	Mineralógica	
Irاندuba	Próximo a comunidade Santa Luzia do Baixo, ao lado do Ramal da Várzea	X		X	X	X	X	X
Manacapurú 1	Próximo a comunidade Canaã-Araiaué			X	X	-	X	X
Manacapurú 2	Próxima comunidade Nossa Senhora das Graças na localidade Costa do Marrecão	X	X	X	X	X	X	X
Manacapurú 3	Próximo a comunidade Bom Jesus	X	X	X	X	-	X	X

Aningais	Localização	Análise						
		Coleta de material botânico	Teores foliares	Morfologia	Química		Física ⁽¹⁾	Mineralógica
					Análise química/fertilidade	Teores totais		
Manacapuru 4	Próximo a comunidade Bom Jesus, na localidade Novo oriente	-	-	X	X	-	X	X
Codajás 1	Atrás da comunidade Matrinxã	X	X	X	X	-	X	X
Codajás 2	Comunidade Lauro Sodré, no lago do Jacaré	X	X	X	X	-	X	X
Anori	Comunidade Santo Antonio, na localidade Tauanã.	-	-	X	X	-	X	X

¹Física: Granulometria, densidade do solo, porosidade e curva de retenção

5.3.1 Aningais

5.3.1.1 Identificação e Classificação Botânica

Foram coletados ramos férteis de cada população de aninga encontrada no percurso. A identificação foi realizada através do material botânico coletado em conjunto com a equipe de botânica do projeto PIATAM e, posteriormente comparada com exemplares do Herbário do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia. Para efeito de classificação de tipologia vegetal, foram consultados os relatórios do RADAMBRASIL (1978) e o Manual de Classificação da Vegetação Brasileira (IBGE, 1992).

5.3.1.2 Análise Foliar

Foram coletadas folhas adultas da aninga (*Montrichardia arborescens*) com médias de 44 cm de largura e 52 cm de comprimento. A coleta ocorreu no período de 03/03/2008 a 13/03/2008, nos aningais de Coari, Codajás, Manacapuru 2 e Iranduba. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análises de Solos e Plantas – LASP/Plantas Embrapa

Amazônia Ocidental, onde foram higienizadas (lavadas com água deionizada). As amostras foram secas em estufa a 40°C e após a secagem foram pulverizadas para posterior determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S e Cl, Na, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

5.3.1.3 Mapeamento e Estimativa dos Aningais

Após as campanhas de campo foi realizada a classificação das imagens Landsat-TM5, objetivando mapear as demais áreas de aningais existentes na área de estudo.

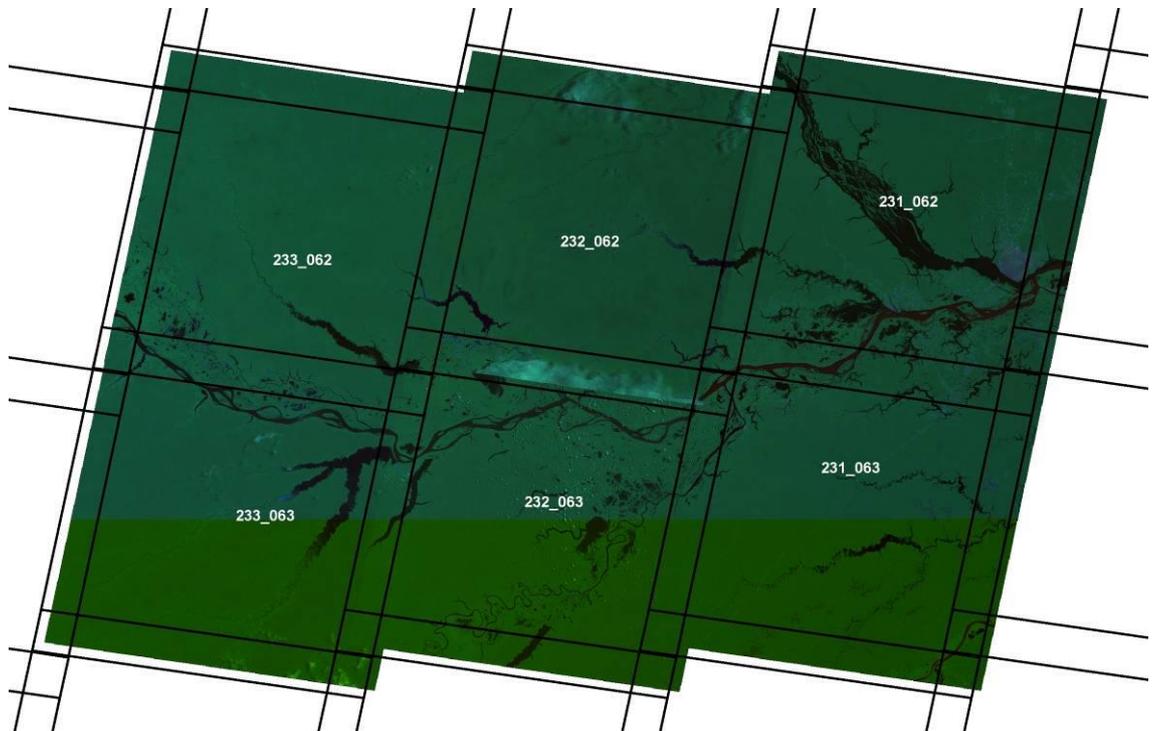
5.3.1.4 Obtenção das Imagens

Foram adquiridas imagens do sensor LANDSAT- TM5 na internet, no site do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>), selecionando aquelas com boa qualidade radiométrica e com baixa cobertura de nuvens (figura 2). A tabela 2 contém as cenas utilizadas e as datas de imageamento.

Tabela 2. Orbita/Ponto das cenas utilizadas para a montagem do mosaico

Landsat	Orbita/Ponto	Data
Cenas	231/062	04/08/2008
	231/063	29/08/2008
	232/062	24/07/2008
	232/063	21/08/2008
	233/062	08/07/2008
	233/063	03/09/2008

Figura 2. Cenas de Imagens do Sensor Landsat-TM5 utilizadas para elaboração do mosaico da Amazônia Central



Fonte: Cruz (2009)

5.4 Procedimentos Metodológicos

5.4.1 Registro das Imagens

As imagens produzidas por sensores remotos, oriundos de fotografias aéreas ou imagens de satélite, apresentam uma série de distorções espaciais, não possuindo, portanto, precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos neles representados. O registro foi realizado utilizando o programa Envi versão 4.5, onde os pontos de controle foram coletados de imagem para imagem, usando a projeção geográfica Lat/long e datum WGS84, com resolução espacial de 30 metros (figura 3).

5.4.2 Mosaico das Imagens

O mosaico de imagens tem a finalidade de juntar duas (ou mais) imagens para gerar uma imagem maior, proporcionando uma visão completa, este processo é utilizado quando a área de estudo é maior que a cena disponibilizada pelo satélite (ANDRADE, 1998). O mosaico foi realizado utilizando o programa Envi 4.5. Neste trabalho a elaboração do mosaico teve como objetivo a visualização geral da área de trabalho.

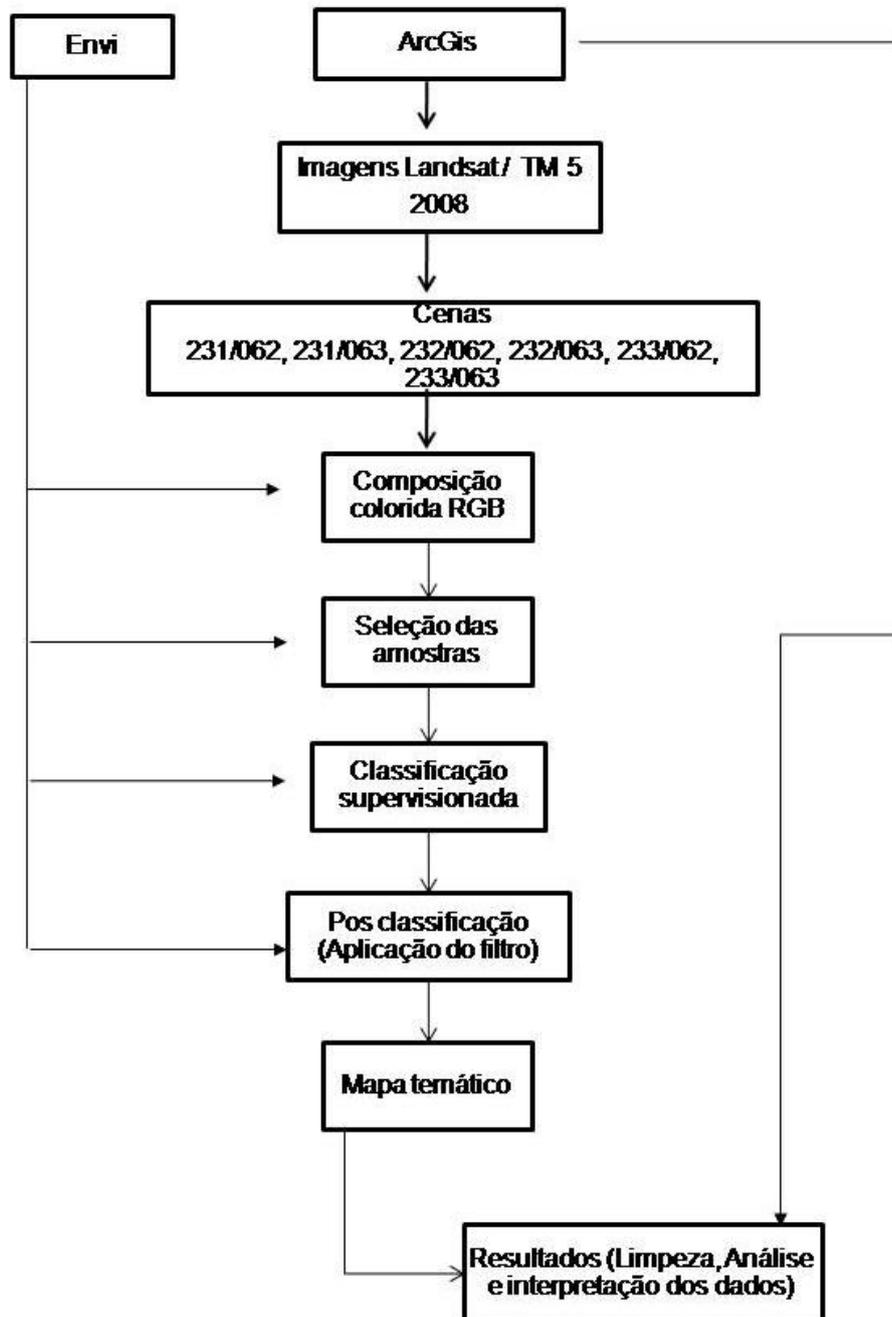
5.4.3 Classificação de Imagens

O objetivo principal do processo de classificação de imagem neste estudo foi atribuir categorias automaticamente a todos os pixels de uma imagem em classes temáticas presentes no terreno. As características de cada classe temática são manifestadas por combinações baseadas nos diferentes números digitais, de acordo com suas propriedades espectrais (LILLESAND e KIEFER, 1994 apud TEXEIRA, 2008)

A classificação utilizada foi a supervisionada, utilizando como algoritmo classificador a Máxima Verossimilhança. Como auxílio à interpretação visual das imagens para a classificação foram utilizadas composições coloridas de bandas (3, 4 e 5).

Para a área de treinamento foram estabelecidas cinco classes (aningal, corpos d'água, floresta, solo exposto e vegetação rasteira), como o objetivo dessa classificação foi classificar os aningais existentes na área de trabalho, não houve a necessidade de detalhar outros tipos de vegetação (figura 3).

Figura 3. Fluxograma de tratamento das cenas do sensor Landsat TM-5



Fonte: Cruz (2009)

O método utilizado para medir a exatidão a partir da matriz de erro foi o coeficiente de concordância de Kappa. Segundo Landis e Koch (1977) a avaliação a partir do coeficiente de Kappa pode ser realizada com base nos valores apresentados na tabela 3.

Tabela 3. Classificação do coeficiente de concordância de Kappa para avaliação de exatidão da classificação, segundo Landis e Koch (1977)

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

5.4.1 Solos

5.4.1.1 Coleta de Amostras

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, para a realização de análises morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas. As amostras deformadas foram coletadas com trado holandês até a profundidade de 60 cm. As amostras indeformadas em cilindros metálicos de 100 cm³, nas camadas A e Cg. As amostras foram analisadas no Laboratório de Análise de Solo e Planta, Embrapa Amazônia Ocidental – CPAA, Manaus AM.

5.4.1.2 Caracterização Morfológica

Os parâmetros morfológicos analisados foram a cor e a consistência úmida e molhada, conforme definições descritas em Santos *et al.*, (2005). A classificação do solo foi realizada através das observações feitas em campo juntamente com os resultados das análises das amostras de solo. A classificação foi feita de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

5.4.1.3 Atributos Químicos

As amostras coletadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2mm de abertura de malha, obtendo-se desta maneira a terra fina seca ao ar (TFSA), que foi submetida a análises de acordo com os métodos descritos por (EMBRAPA, 1999). As análises

químicas realizadas foram: pH, determinado em água e solução de KCl 1 mol⁻¹ em suspensão solo/solução na proporção 1g para 2,5 ml;

O alumínio trocável (Al³⁺) extraído com solução KCl 1 mol⁻¹ e quantificado por titulometria com solução NaOH 0,025 mol L⁻¹; acidez potencial (H+Al), extraída com solução de acetato de cálcio 0,5 mol⁻¹ a pH 7,0 e quantificada por titulometria com solução NaOH 0,025 mol L⁻¹; fósforo disponível (P) pelo extrator Mehlich-1, quantificado espectrofotometricamente por meio da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibídico produzido pela redução do molibdato de amônio com o ácido ascórbico, cálcio e magnésio (Ca²⁺ e Mg²⁺), extraídos com solução KCl 1 mol⁻¹ e quantificados por titulometria pelo método complexométrico, potássio (K⁺) extraído com solução HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ e quantificado por fotometria de chama. Detalhes do procedimento metodológico estão descritos em (EMBRAPA, 1999).

Ao término das análises descritas acima, foram calculados os seguintes índices: soma de bases (S) = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺; capacidade de troca catiônica (T) = S + Al + H; saturação por bases (V %) = 100 S/T; saturação por alumínio (m %) = 100 Al/S + Al, conforme Embrapa (1997). A atividade da argila foi obtida por meio da expressão T x 100g kg⁻¹ de argila, onde atividade alta (Ta) designa valor ≥ 27 cmol kg⁻¹ de argila e valores inferiores designam atividade baixa (Tb) (EMBRAPA, 2006).

5.4.1.4 Teores Totais

As amostras coletadas nos aningais de Iranduba e Manacapuru 2, nas profundidades 0 – 20, 20 - 40 e 40 a 60 foram submetidas à pulverização total em grau de porcelana e posteriormente peneiradas em malha de 0,106mm. Os teores totais de Ag, Al, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sn, Sr, V, Zn e Zr foram extraídos por digestão por água régia e as determinações foram realizadas por espectrometria, em

plasma de acoplamento indutivo (ICP) no Geosol Laboratórios Ltda em Belo Horizonte – MG.

5.4.1.5 Granulometria

A análise granulométrica foi realizada após agitação mecânica e dispersão química com NaOH 0,1 mol L⁻¹ e a ADA por meio de agitação mecânica e água destilada. A fração areia foi separada em peneiras de 2,00 – 0,20mm (areia grossa) e de 0,20 – 0,05mm (areia fina), ao qual foram obtidas por pesagem. O teor de argila foi determinado pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997) e o silte foi estimado pela diferença.

5.4.1.6 Curva de Retenção de Umidade

Para ajuste das curvas de retenção de umidade, foram utilizadas amostras indeformadas previamente saturadas e submetidas à mesa de tensões de 1; 1,5 e 1,8 pF, posteriormente, as amostras foram submetidas às tensões de 2.0, 2.5, 3.0 e 3.7 pF na câmara de Richards. Com estes pontos de tensão (pF) e umidade (θ) foram ajustadas as curvas, conforme modelo proposto por van Genuchten *et al.*, (1991). Para o ajuste das curvas foi utilizado o programa SHIFIT, para o ajuste da curva foram criados arquivos txt com os dados das tensões utilizadas e os resultados das leituras após a submissão as mesas de tensão.

5.4.1.6 Densidade de Solo (ρ_s) e Volume de Poros

Após a curva de retenção, as amostras foram levadas à estufa onde foram secas a 105° C por 24 hs para determinação da massa de solo. A densidade do solo (ρ_s), foi determinada conforme Blake e Hartge (1986), dada pela seguinte expressão:

$$\rho_s: \left(\frac{m_{ss}}{v_t} \right)$$

Em que: ρ_s = densidade do solo (Mg m⁻³); m_{ss} = massa do solo seco a 105° C (Mg); v_t = volume total (m³)

O volume total de poros (VTP) foi calculado a partir dos valores de densidade do solo e de densidade de partículas, segundo a expressão:

$$\text{VTP} = \left(\frac{\text{Cálculo da água no pF0}}{vT} \right)$$

Em que: VTP = volume total de poros ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); vt = volume total (m^3)

A microporosidade foi calculada por meio da expressão:

$$\text{Microporosidade} = 100 * (\text{pF 1.8} - \text{mss}) / (\text{mss} - \text{pcil} - \text{pano} + \text{liga})$$

Em que: mss = massa do solo seco a 105°C (Mg); pcil = peso do cilindro metálico (g); liga + pano = liga e tela permeável colocados no fundo dos cilindros.

A macroporosidade foi calculada por meio da diferença entre o VTP e volume de microporos:

$$\text{Macroporosidade} = \text{VTP} - \text{microporosidade}$$

Em que: VTP = volume total de poros

5.4.1.7 Mineralogia

Foram coletadas amostras nos nove aningais, nas profundidades 0 – 20 e 20 – 40, posteriormente foi realizada a separação da fração argila das amostras selecionadas tomando-se por base a metodologia da Embrapa (1999). Após seca em estufa, essa fração foi moída em almofariz de ágata até adquirir consistência pastosa, em seguida, as amostras foram dispostas de forma orientada em lâminas de vidro.

Os argilominerais foram identificados por difração de raio-X (DRX) em equipamento Shimadzu XRD 6000, equipado com anodo de Cu, e com intervalo de leitura entre 3° a 60° 2θ .

Essa análise foi realizada no laboratório de Difratomia no Departamento de Geologia da Universidade Federal do Amazonas.

5.4.1.8 Análises Estatística

Segundo EBELING (2006) solos com elevados teores de Matéria Orgânica (MO), haverá muito mais ácidos orgânicos na solução e conseqüentemente mais alumínio (Al) estará disponível na solução do solo associados a estes ácidos orgânicos. Com base nessa informação os resultados de teores de Alumínio (Al) e Carbono (C) foram submetidos aos seguintes testes estatísticos: correlação, por meio do método de Person, e análise de regressão, visando avaliar as variações do carbono em relação ao alumínio. As análises de correlação e regressão foram realizadas com auxílio do aplicativo Bioestat versão 5.0.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Identificação e Classificação Botânica

Entre os nove aningais localizados e visitados durante os trabalhos de campo, em quatro foi realizado a coleta de material botânico, são eles: Manacapuru 2 e 3 e Codajás 1 e 2. Posteriormente a identificação, as exsicatas foram doadas a equipe da botânica do projeto PIATAM.

Todas as quatro amostras coletadas foram identificadas como:

- Divisão: Magnoliophyta;
- Classe: Liliopsida;
- Ordem: Alismatales;
- Família: Araceae;
- Gênero: Montrichardia;
- Espécie: arborescens.

Os aspectos morfológicos de *Montrichardia arborescens* a caracterizam como uma espécie herbácea com 4 – 6 metros de altura, folhas com cerca de 45 – 66 cm de comprimento e 35 – 63 cm de largura (Figura 4). Sua flor (Figura 5) é uma espádice simples de coloração branca amarelada e seus frutos (Figura 5) fazem parte da dieta dos grandes herbívoros, como o peixe-boi, as capivaras e as tartarugas (AMARANTE, 2009).

Figura 4. Detalhe do caule e folha da aninga (*Montrichardia arborescens*)



(A) Visão geral dentro de um aningal, mostrando o ambiente encharcado e o caule da espécie; (B) Parte superior da aninga e (C) Detalhe da folha da aninga

Fonte: Cruz (2009)

Figura 5. Detalhe da flor e fruto da aninga (*Montrichardia arborescens*)



(A e B) Detalhe do fruto; (C) Detalhe da flor da aninga
Fonte: Amarante (2009)

6.2 Análise Foliar

Os teores de Ca variaram entre $7,63 \text{ mg kg}^{-1}$ e $11,59 \text{ mg kg}^{-1}$ e o Mg apresentou valores entre $2,97 \text{ mg kg}^{-1}$ e $8,06 \text{ mg kg}^{-1}$. Esses valores podem ser explicados devido a grande quantidade de Ca e Mg nestes ambientes trazidos anualmente pelos sedimentos dos rios de água barrenta, como o rio Solimões. Os dados de Ca e Mg neste ambiente são apresentados na tabela 4. Segundo os critérios apresentados por Malavolta (1997), os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) são elevados em todas as amostras de folhas dos aningais coletados, dados apresentados na tabela 4.

Tabela 4. Composição mineral das folhas da aninga (*Montrichardia arborescens*)

Nutrientes	Unidade	Codajás 2	Manacapuru 2	Codajás 1	Manacapuru 3	
N	g kg ⁻¹	33,75	29,41	38,29	33,28	
P		3,27	2,90	9,80	2,75	
K		33,48	28,64	40,28	25,92	
Ca		11,54	9,82	7,63	11,59	
Mg		2,97	4,44	8,06	4,82	
S		3,22	2,96	4,44	4,02	
B		33,35	27,95	31,19	68,67	
Cu		mg kg ⁻¹	3,00	16,00	28,00	11,00
Fe			200	134	203	157
Mn			1051	1020	1348	578

Os teores de fósforo (P) e potássio (K) apresentaram valores elevados, segundo a faixa de nutrientes proposto por (MALAVOLTA, 1997) para plantas tropicais. Os valores de P variam de 2,75 g kg⁻¹ no aningal Manacapuru 3 e 3,27 g kg⁻¹ no aningal Codajás 2, já os valores de K variam entre 25,92 g kg⁻¹ no aningal Manacapuru 3 e 40,58 g kg⁻¹ no aningal Codajás 1.

Nos aningais o teor de nitrogênio nas folhas variou de 29,41 a 38,29 g kg⁻¹, considerado elevado, comparados com a concentração média de 15 mg kg⁻¹ apresentadas em outras espécies segundo (Malavolta, 1997).

Ainda segundo Malavolta (1997), as folhas analisadas do aningal de Codájas 2 apresentaram reduzidos teores de Cobre (Cu), com valores de 3,00 mg kg⁻¹. Nos demais pontos os valores variaram de adequado a excessivo, com teores de 11,00 mg kg⁻¹ a 28,00 mg kg⁻¹.

Foram observados teores elevados de manganês (Mn), comparado com teores foliares normalmente observados em outras plantas tropicais (MALAVOLTA, 1997) em todas as amostras, com valores variando entre 578 mg kg⁻¹ a 1348 mg kg⁻¹. Esses valores podem ser justificados pelo fato de que o solo de várzea permanece muito tempo inundado e, como a concentração de Mn na solução do solo aumenta com a submersão deste, assim decorrente do processo de redução, ocorrerá maior disponibilidade de Mn no solo e maior absorção pela planta (AMARANTE, 2009). Além disso, o estudo realizado em amostras de solo sob os aningais, mostraram valores de pH < 5 indicando solos muito ácidos.

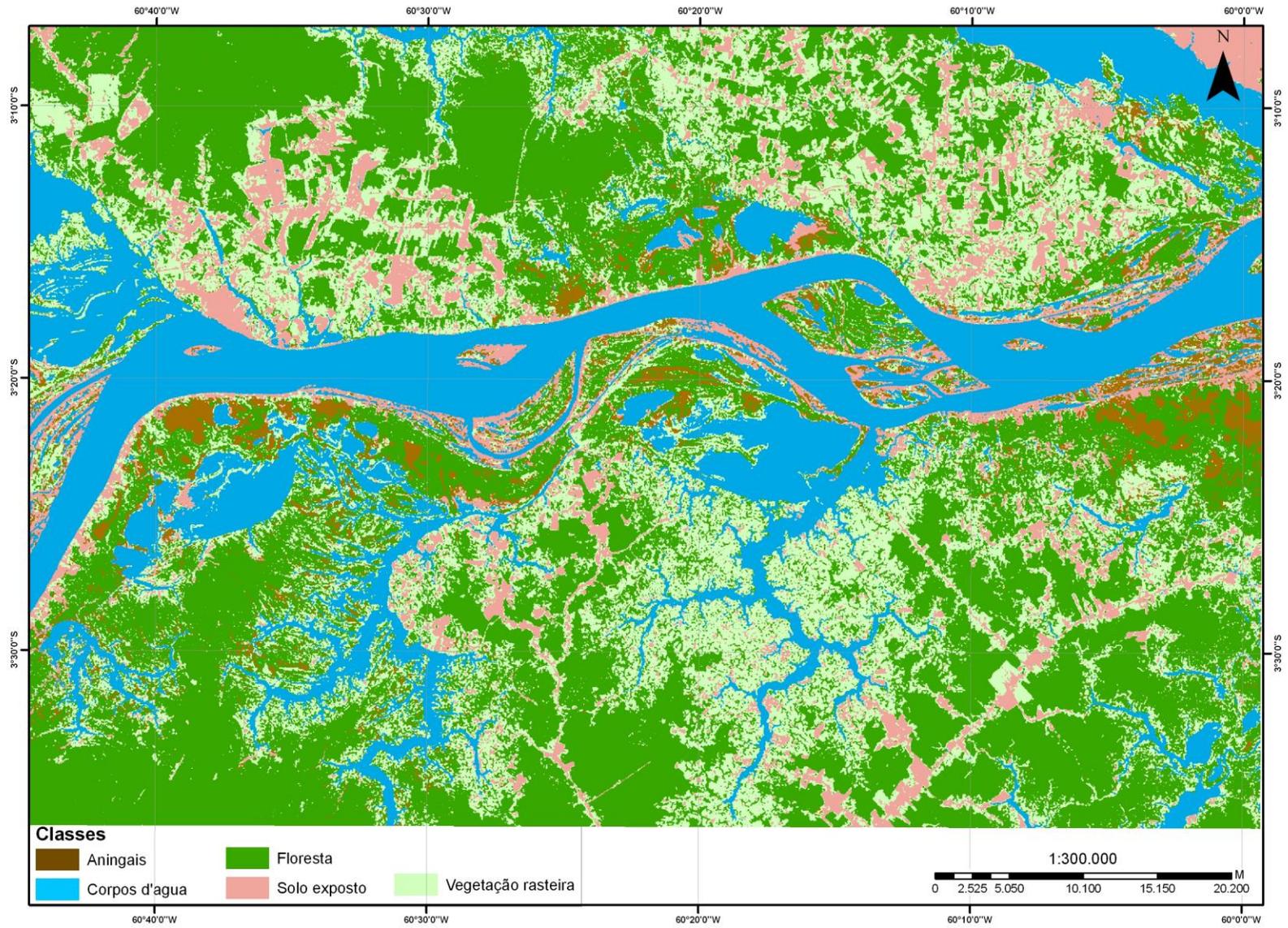
Amarante (2009) encontrou teores semelhantes de Mn, no estudo espectrométrico das folhas da aninga as margens do rio Guamá, em Belém (PA), em uma contribuição ao estudo químico da família Araceae. Em geral, condições de pH ácido favorecem o acúmulo de concentrações tóxicas de Mn, em virtude do aumento da solubilidade do Mn em pH abaixo de 5,0.

Com a faixa estabelecida por Malavolta (1997), o Fe (ferro), o B (boro) e o S (enxofre) apresentam valores médios, a saber: Fe (173,5), B (40,29) e S (3,66) (Tabela 2). Trabalhos realizados com alfafa e cafeeiros relatam que valores elevados de Mn (manganês) tendem a diminuir a absorção de B (boro) e Fe (ferro), diferindo do resultado encontrado neste trabalho.

6.3 Identificação, Mapeamento e Estimativa dos Aningais

A Figura 6 apresenta o resultado da classificação supervisionada pixel a pixel por meio do classificador Máxima Verossimilhança.

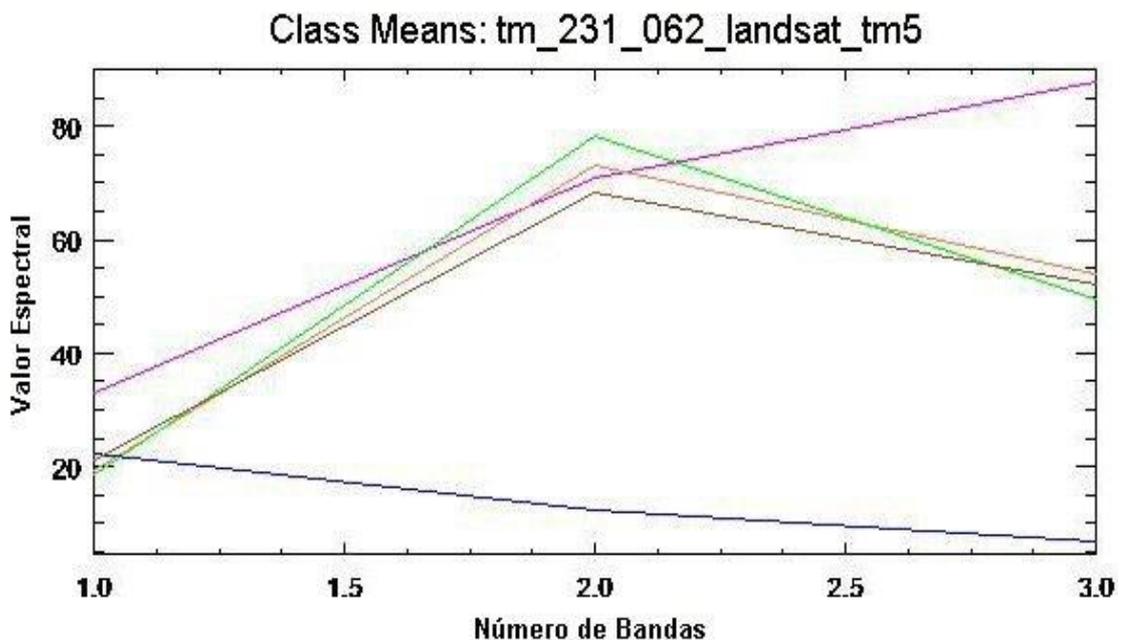
Figura 6. Resultado da classificação da imagem Landsat Tm 5, para um recorte da cena 231_062



Através da classificação supervisionada foi possível delimitar e quantificar a área das cinco classes determinadas (aningal, floresta, vegetação rasteira, solo exposto e corpos d'água). A área abrangida pelos Aningais correspondeu a 15.755 ha, ou seja, aproximadamente 3,2% da área total. A classe Floresta ocupa a maior área, com 209.173 ha, seguida das classes Vegetação rasteira com 114.985, corpos d'água 104.473 ha e Solo exposto com 47.555 ha.

O gráfico 1 mostra como se comportam espectralmente cada amostra. De acordo com o gráfico, as classes aningais, florestas, e vegetação rasteira possuem comportamento espectral semelhantes, o que explica a confusão entre as três classes.

Gráfico 1 . Comportamento espectral de todas as fisionomias nas bandas 3, 4 e 5 do Landsat-TM5



A classificação da cena 231/062 alcançou a acurácia de 92.68% e o coeficiente Kappa foi de 0.8864, aproximando-se do valor de concordância máxima (1).

Como em uma classificação ideal os valores da diagonal principal devem ser próximos a 100%, indicando que não houve confusão, as classes corpos d'água, solo exposto e floresta

obtiveram melhor desempenho uma vez que apresentaram respectivamente 100%, 99,04% e 97,83% dos pixels de suas amostras classificados (tabela 5). Contudo, 14% dos pixels da classe vegetação rasteira e 10,22% dos pixels da classe aningais foram classificados como floresta.

A comparação dos dados de campo com a imagem processada não mostrou resultados satisfatórios, pressupondo que a imagem utilizada, o tamanho das unidades de mapeamento e a escala de trabalho não conferem uma boa qualidade para os resultados, confirmando que quanto melhor a resolução espacial aliada a uma boa resolução espectral, melhor será a discriminação dos alvos.

Teixeira *et. al* (2008) usando o sensoriamento remoto para delimitar áreas inundáveis obteve bons resultados utilizando classificação supervisionada em imagens Landsat-TM5, alcançando 0,69 no índice Kappa, entretanto houve confusões entre classes, ressaltando que apesar de o resultado ser classificado como bom, não é ideal para classificar áreas pequenas.

Tabela 5. Matriz de confusão gerada pelo programa Envi, para o classificador de Máxima Verossimilhança, para a imagem landsat-TM5 231/062

Classes	Solo exposto (%)	Vegetação rasteira (%)	Floresta (%)	Corpos d'água (%)	Aningais (%)
Não classificado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Solo exposto	99.04	2.41	0.02	0.00	0.00
Vegetação rasteira	0.96	81.21	0.66	0.00	0.72
Floresta	0.00	14.48	97.83	0.00	10.22
Corpos d'água	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
Aningais	0.00	1.90	1.49	0.00	89.06
Não classificado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

6.4 Caracterização Morfológica

Os solos foram classificados como Gleissolo Háptico, eutrófico nos aningais Manacapuru 2, Manacapuru 1, Manacapuru 4, Codajás 1, Codajás 2, Manacapuru3 e Iranduba e Gleissolo Háptico, distrófico no aningal Anori.

Na tabela 6 são apresentadas as características morfológicas dos perfis estudados. As camadas superficiais (0-20) para consistência úmida exibiram cor cinzento (N 6/) nos aningais Manacapuru 4 e Codajás, cinzento-azulado (10B 4/1, 10B 5/1, 10B 7/1 e 5PB 6/1) nos aningais Iranduba, Manacapuru 2 e 3 e Coari, cinzento-azulado-claro (5PB 8/1 e 5PB 7/1) nos demais. Na consistência seca, apresentaram cor cinzento-claro (N 7/ e 5PB 7/1) nos aningais Iranduba, Manacapuru 4, Codajás 2 e Coari, cinzento-azulado (5PB 8/1 e 10B 7/1) nos demais.

Na camada 20-40, na consistência úmida e seca, a amplitude de variação foi entre cinzento-claro a cinzento-azulado-claro (N7/, 5PB 7/1, 5B 8/1, 10B 4/1, 10B 5/1, 10B 7/1) em todos os aningais.

Na camada 40-60, na consistência úmida e seca, os aningais Manacapuru 1, Manacapuru 4, Codajás 1 e 2 apresentaram uma diferença na coloração, com amplitudes de variação entre amarelo-oliváceo e amarelo (2.5Y 6/6, 10YR7/6 e 10YR 7/8), os demais apresentaram coloração cinzento-azulado (10B 7/1) e cinzento-azulado-claro (5B 8/1, 10B 4/1, 10B 5/1, 10B 7/1).

A presença de mosqueados em todos os perfis indica drenagem imperfeita. Com exceção do perfil de Codajás, que apresentou a coloração cinza (N7/), os demais exibiram coloração amarelado-avermelhado (7.5 YR 6/8, 7.5 YR7/6, 7.5 YR 7/8, 5 YR 6/8 E 5YR 7/8).

Tabela 6. Características morfológicas dos solos sob aningais em áreas de várzea do Médio Solimões – AM

Perfil	Localização	Profundidade	Cor
--------	-------------	--------------	-----

			Consistência úmida		Consistência amassada	Consistência seca	
			Fundo	Mosqueado		Fundo	Mosqueado
Iranduba	Próximo a comunidade Santa Luzia do Baixio, ao lado do Ramal da Várzea	0-20	5PB 6/1	5YR 6/8	7.5 YR 6/1	5PB 7/1	7.5YR 7/6
		20-40	10B 7/1	5YR 6/8	2.5 Y 7/3	5PB 8/1	7.5YR 7/8
		40-60	10B 7/1	5YR 6/8	2.5 YR 7/4	5PB 8/1	7.5YR 7/8
Manacapurú 1	Próximo a comunidade Canaã- Araiaué	0-20	5PB 8/1	7.5YR 6/8	2.5 Y 7/2	5PB 8/1	7.5YR 8/6
		20-40	5B 7/1	7.5YR 6/8	2.5 Y 6/4	5PB 8/1	7.5YR 7/8
		40-60	2.5Y 6/6	10BG 5/1	2.5 Y 5/4	10YR 7/8	10B 7/1
Manacapurú 2	Próximo comunidade Nossa Senhora das Graças na localidade Costa do Marrecão	0-20	10B 5/1	5YR 5/6	7.5 YR 4/3	10B 7/1	5YR 7/8
		20-40	10B 5/1	5YR 5/6	2.5 YR 5/2	10B 7/1	7.5YR 7/8
		40-60	10B 4/1	5YR 5/6	2.5 YR 5/2	10B 7/1	7.5YR 7/8
Manacapurú 3	Próximo a comunidade Bom Jesus	0-20	5PB 6/1	5YR 7/8	2.5 Y 7/3	5PB 8/1	7.5YR 7/8
		20-40	5B 7/1	7.5YR 7/8	2.5 Y 6/4	5PB 8/1	7.5YR 7/8
		40-60	10B 7/1	5YR 6/8	2.5 YR 7/4	10B 7/1	7.5YR 7/8
Manacapurú 4	Próximo a comunidade Bom Jesus, na localidade Novo oriente	0-20	N 6/	7.5YR 7/8	2.5 Y 6/2	N 7/	7.5YR 8/6
		20-40	N 7/	7.5YR 6/8	10 YR 6/6	N 8/	7.5YR 6/8
		40-60	10 YR 7/6	N 7/	10 YR 6/6	10 YR 7/6	7.5YR 7/6
Coda-jás 1	Atrás da comunidade Matrinxã	0-20	5 PB 8/1	7.5YR 7/8	2.5 Y 7/2	5 PB 8/1	7.5YR 8/6
		20-40	5 B 7/1	7.5YR 7/8	2.5 Y 6/4	5 PB 8/1	7.5YR 7/8
		40-60	2.5Y 6/6	7.5YR 7/8	2.5 Y 5/4	10 YR 7/8	7.5YR 7/8
Coda-jás 2	Comunidade Lauro Sodré, no lago do Jacaré	0-20	N 6/	7.5YR 7/8	2.5 Y 6/2	N 7/	7.5YR 8/6
		20-40	N 7/	7.5YR 6/8	10 YR 6/6	N 8/	7.5YR 6/8
		40-60	10YR 7/6	N7/	10 YR 6/6	10 YR 7/6	N 8/
Anori	Comunidade Santo Antonio, na localidade Tauaná.	0-20	5 PB 6/1	5YR 7/8	7.5 YR 6/1	5 PB 7/1	7.5YR 7/6
		20-40	10 B 7/1	5YR 6/8	2.5 Y 7/3	5 PB 8/1	7.5YR 7/8
		40-60	10 B 7/1	5YR 6/8	2.5 YR 7/4	5 PB 8/1	7.5YR 7/8

6.5 Atributos Químicos

De modo geral os solos estudados apresentaram teores elevados de nutrientes. Notadamente, o cálcio e o magnésio apresentaram teores elevados em todas as profundidades, com valores por volta de 12 cmol dm^{-3} (Tabela 8). Isso se deve ao fato desses ambientes serem fertilizados anualmente pelos sedimentos dos rios de água barrenta, como o rio Solimões. Simultaneamente podemos observar que as áreas com elevados teores de cálcio e magnésio tendem a apresentar um baixo teor de alumínio trocável. Lima *et al.*, (2007) observou as mesmas características estudando solos de várzea do médio Solimões. Entretanto foram identificados alguns valores elevados de alumínio trocável (Tabela 8) e podem estar relacionados a extração de alumínio nas argilas pelo extrator utilizado ($\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$), este fato foi estudado por Marques *et al.*, (2002) em outros locais com solos da Formação Solimões.

Muitos estudos têm mostrado que o H^+ e Al^{3+} são os dois principais componentes da acidez do solo. O Al é um dos principais componentes da maioria dos minerais e quando liberado pelos processos de intemperismo promove hidrólise, aumentando a acidez do solo pelo processo de liberação de prótons (JACKSON, 1963).

Coleman *et al.* (1959) já citavam que há pouco H^+ trocável em solos ácidos e que a acidez trocável é causada principalmente pelo Al em forma iônica o que coincide com os dados obtidos nesse estudo, em que se observa que os valores da acidez potencial variam de médios a altos, entretanto os valores altos coincidem com valores elevados de Al^{3+} .

A soma de bases (SB) e a capacidade de troca de cátions (CTC) apresentaram valores altos a muito altos em todas as áreas, segundo índices propostos por (Ribeiro, Guimarães e Alvarez, 1999). Os solos amostrados apresentaram na sua maioria saturação por bases acima de 50 %, caracterizando um ambiente fértil (eutrófico), com exceção do aníngal Anori que

alcançou em média saturação por base de 22,34% indicando um ambiente distrófico. Esse aningal obteve menores concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} e elevados teores de Al^{3+}

De modo geral esses solos apresentaram baixos teores de carbono orgânico. É provável que esses valores sejam um reflexo do baixo conteúdo desse componente nos sedimentos depositados periodicamente na várzea e ou da rápida decomposição da matéria orgânica na Amazônia Central.

Souza (2007), estudando áreas de várzea do médio Solimões, observou que de modo geral, os teores de carbono no solo são inferiores a 1%. Apesar de baixos os teores de carbono orgânico total (COT), estes apresentaram pequenas variações, inferindo em alguns pontos teores mais elevados, coincidindo com os elevados teores Alumínio (Al). Entretanto as análises realizadas, mostraram baixa correlação entre esses dois dados, obtendo o índice de 0.3179 pelo índice de correlação de Person, e um coeficiente de determinação r^2 de 0.1011, esses valores podem ser considerados como indicativo de uma baixa correlação linear entre estes fatores.

Na análise de regressão linear o coeficiente de regressão (p) foi de 0, 1060, mostrando que o Carbono orgânico total (COT) não explica a variação do Alumínio (Al) nos aningais. Na tabela 7 são apresentados os resultados obtidos para a análise de regressão linear. Finalizado o processo de análise de regressão foi ajustado uma equação para os elementos Al e C (gráfico 2).

Tabela 7. Valores dos coeficientes da regressão

F (regressão) =	2.8111	p = 0.1026
Variável dependente =	Carbono	
Variável independente =	Alumínio	
Coef. de Determinação (R^2) =	0.1011	
R^2 (ajustado) =	0.0651	
Coeficiente de Correlação =	0.3179	

Intercepto (a) =	8.6328	t = 3.1977	p = 0.0037
Coef. de Regressão (b) =	0.8206	t = 1.6766	p = 0.1060
Equação	$Y' = a + bx$		

Gráfico 2. Análise de regressão do Carbono (C) em função do Alumínio (Al)

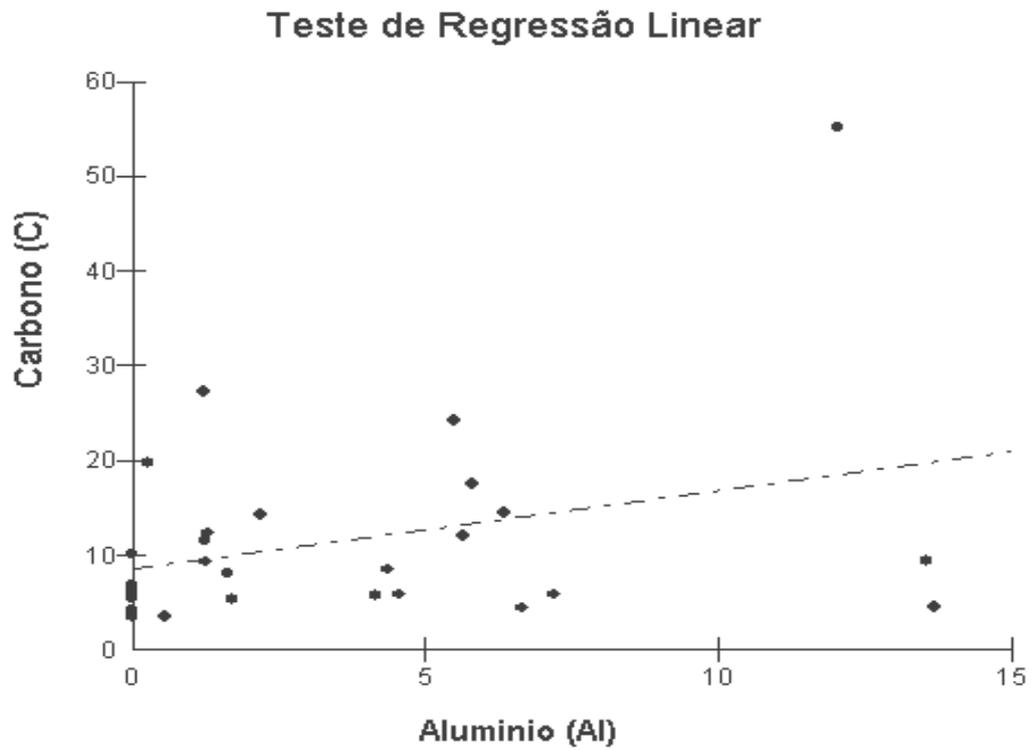


Tabela 8. Atributos químicos de solos sob aningaís na região do Médio Solimões – Amazonas

Identidade da amostra	pH	pH	pH	C	M.O.	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m
Prof.	H ₂ O	KCl	CaCl ₂	g/kg			mg/dm ³			cmol _c /dm ³			%				
Manacapuru 2																	
0-20	4,66	3,78	4,13	11,57	19,91	54	53	54	11,75	5,10	1,24	4,57	17,22	18,46	21,79	79,03	6,71
20-40	4,67	3,71	4,05	9,36	16,10	53	66	47	11,30	3,17	1,25	4,43	14,84	16,10	19,27	77,03	7,79
40-60	4,57	3,78	4,03	12,38	21,30	54	60	42	10,10	2,93	1,31	4,86	13,37	14,68	18,23	73,33	8,95
Anori																	
0-20	4,05	3,27	3,38	55,13	94,83	8	144	27	1,51	1,56	12,03	13,68	3,56	15,58	17,23	20,63	77,18
20-40	4,53	3,24	3,38	9,41	16,19	2	54	35	1,08	2,69	13,55	13,52	4,06	17,61	17,58	23,10	76,95
40-60	4,60	3,91	3,30	4,59	7,89	1	47	50	0,59	3,15	13,68	13,46	4,08	17,75	17,53	23,25	77,03
Manacapuru 1																	
0-20	4,58	3,77	4,11	27,23	46,84	8	89	108	15,41	10,27	1,22	6,37	26,38	27,60	32,75	80,55	4,43
20-40	5,06	3,82	4,14	5,31	9,13	3	82	77	14,09	7,19	1,71	4,47	21,82	23,54	26,30	83,00	7,28
40-60	5,39	4,15	4,48	3,49	6,00	4	65	60	9,59	4,92	0,57	2,00	14,94	15,51	16,93	88,21	3,70
Manacapuru 4																	
0-20	4,13	3,46	3,62	24,24	41,68	7	77	43	9,58	4,21	5,48	9,86	14,17	19,66	24,03	58,97	27,90
20-40	4,41	3,47	3,66	12,08	20,77	6	76	42	7,93	4,19	5,64	8,21	12,50	18,14	20,70	60,36	31,10
40-60	4,85	3,56	3,82	5,88	10,11	4	65	45	7,13	4,65	4,55	6,45	12,14	16,69	18,59	65,30	27,27
Codajas 1																	
0-20	4,81	3,72	3,97	14,25	24,51	48	84	56	9,05	3,36	2,18	5,28	12,87	15,04	18,15	70,92	14,46
20-40	5,55	4,23	4,60	10,13	17,42	52	68	59	12,06	4,03	0,00	3,19	16,52	16,52	19,71	83,80	0,00
40-60	6,26	4,86	5,42	5,45	9,38	54	56	59	13,05	5,40	0,00	1,69	18,85	18,85	20,54	91,79	0,00
Manacapuru 3																	
0-20	5,43	3,69	4,23	8,11	13,95	3	49	80	12,23	5,87	1,63	4,10	18,57	20,21	22,68	81,91	8,08
20-40	5,81	3,86	4,52	4,28	7,36	2	46	94	13,12	7,72	0,00	2,91	21,37	21,37	24,28	88,01	0,00
40-60	5,91	4	4,64	3,49	6,00	1	67	100	13,69	8,23	0,00	2,83	22,53	22,53	25,36	88,82	0,00
Codajas 2																	
0-20	4,86	3,57	3,83	17,56	30,20	4	55	66	9,34	2,73	5,81	9,08	12,50	18,31	21,58	57,92	31,75
20-40	5,25	3,62	3,82	5,90	10,14	2	53	93	6,52	2,66	7,2	8,72	9,72	16,92	18,44	52,72	42,55
40-60	5,53	3,62	3,87	4,45	7,66	3	46	87	5,46	2,81	6,66	7,73	8,77	15,43	16,50	53,13	43,17
Irاندوبا																	
0-20	5,25	4,24	4,51	19,72	33,92	54	143	28	12,76	3,11	0,27	4,31	16,36	16,63	20,67	79,13	1,61

Identidade da amostra	pH	pH	pH	C	M.O.	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m
Prof.	H ₂ O	KCl	CaCl ₂	g/kg		mg/dm ³			cmol _c /dm ³				%				
20-40	5,88	4,34	4,82	6,90	11,87	58	96	39	12,00	3,38	0,00	2,67	15,80	15,80	18,46	85,54	0,00
40-60	6,08	4,5	5,00	6,14	10,57	67	86	43	11,87	3,43	0,00	2,32	15,71	15,71	18,03	87,11	0,00

V - Índice de Saturação por Bases

CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

M.O – Matéria orgânica

m - Índice de Saturação por Alumínio

CTC(T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

C – Carbono

Tabela 9. Atributos químicos (micronutrientes), de solos sob aningais na região do Médio Solimões – Amazonas

Identidade da amostra	Fe	Zn	Mn	Cu
Prof.	mg/dm ³			
Manacapuru 2				
0-20	1000	6,90	176,76	6,14
20-40	1020	5,00	124,47	10,18
40-60	1220	7,20	361,66	11,17
Anori				
0-20	447	3,41	9,25	1,21
20-40	2230	5,00	8,37	4,79
40-60	2470	8,80	6,00	12,50
Manacapuru 1				
0-20	325	6,50	130,36	1,78
20-40	1310	5,70	144,67	5,03
40-60	2290	3,30	168,64	4,53
Manacapuru 4				
0-20	496	19,80	97,36	5,64
20-40	1480	5,36	47,40	4,93
40-60	489	2,83	46,48	4,35
Codajas 1				
0-20	2060	6,60	92,25	12,48
20-40	430	5,00	190,06	7,70
40-60	254	4,34	123,36	10,66
Manacapuru 3				
0-20	287	4,14	29,29	4,55
20-40	113	3,91	22,21	4,42
40-60	177	5,31	32,50	4,48
Codajas 2				
0-20	271	3,04	15,32	3,75
20-40	122	2,25	4,89	2,61
40-60	158	1,47	3,52	2,67
Iranduba				
0-20	496	13,20	103,23	5,11
20-40	243	7,60	79,65	4,41
40-60	256	7,80	95,11	4,51

6.6 Teores Totais

Os resultados obtidos indicam que os dois ambientes são geoquimicamente distintos. O aningal Iranduba apresentou teores totais de Ca e P igual a 0,01% em todas as

profundidades. O Mg, K, Na e o Mn apresentaram valores abaixo do limite de detecção (0,01%) em todas as profundidades (Tabela 10). De acordo com Berredo *et al.* (2008), esses sedimentos são lixiviados pelo intenso intemperismo tropical, semelhante ao comportamento observado em outros solos da Amazônia.

Os teores de Mn abaixo do limite de detecção (< 0,01%) contrastam com os encontrados por Lima (2001) estudando solos da Amazônia Ocidental, e com os estudos de Irion (1984), ao qual discute que menores concentrações de Mn podem indicar maior intemperismo químico.

No aningal Manacapuru 2, os teores totais de Ca, Mg, Na e P superou o Iranduba, apresentando teores elevados, acima do limite de detecção, constatando uma relação direta com seus respectivos teores na fase disponível.

Os teores totais de Al, com amplitude de variação entre 0,22 a 0,27%, no aningal Iranduba e 1,60 a 1,69 % no aningal Manacapuru 2, são os mais elevados em relação ao teor de Al³⁺ disponível, sugerindo uma correlação inversa entre essas duas fases.

Os teores totais de Fe relacionam-se com os seus teores na fase disponível. Esses teores são devido ao fato desses solos estarem sujeitos a períodos prolongados de saturação por água e, ou, devido esses solos receberem sazonalmente novos sedimentos, suficiente para manter o conteúdo de Fe em níveis mais elevados.

Em geral os aningais apresentaram teores elevados de Cr, Cu, Sr, V, Zn, Zr. Os elementos Zn e Cu assemelham-se aos seus valores na fase disponível. O Cd apresentou teores a abaixo do limite de detecção nos dois aningais.

Tabela 10. Teores totais dos elementos de dois aningais do Médio Solimões

Prof	Ca	Mg	Na	K	Al	P	Fe	Mn	
(%)									
Iranduba									
0-20	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,22	0,01	0,33	< 0,01	
20-40	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,25	0,01	0,35	< 0,01	
40-60	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,27	0,01	0,36	< 0,01	
Manacapuru 2									
0-20	0,35	0,54	0,01	0,01	1,68	0,08	3,61	0,07	
20-40	0,33	0,51	0,01	0,01	1,60	0,08	3,45	0,06	
40-60	0,34	0,52	0,01	0,01	1,69	0,07	3,29	0,05	
Prof	Cd	Cr	Cu	Li	Mg	Sr	V	Zn	Zr
ppm									
Iranduba									
0-20	-1	3,2	1,1	<1	-0,1	1,4	8,5	3,4	-1
20-40	-1	3,4	1,3	<1	-0,1	1,9	8,7	4,4	-1
40-60	-1	3,6	1,6	<1	-0,1	2,2	9,1	4,8	-1
Manacapuru 2									
0-20	-1	22	25,1	17,5	0,54	29	50	92,6	2,5
20-40	-1	21,1	22,4	16,8	0,51	28,6	46	84,3	3,1
40-60	-1	22,1	22,8	17,8	0,52	28,4	48	86,9	4,5

6.7 Granulometria

Nas áreas de estudo, a fração granulométrica dominante foi o silte, seguida da fração argila. A textura foi classificada como argilo-siltosa nas camadas de 0–20, 20-40 e 40 a 60 cm, nos aningais Manacapuru 2, Manacapuru 3, Manacapuru 4 e Codajás 1, e como siltosa nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 dos aningais Iranduba e Codajás 2. No aningal Anori a textura foi de muito-argilosa na camada de 0-20 e argilosa nas camadas de 20-40 e 40-60. No aningal Manacapuru 1 a textura variou nas três camadas, muito-argilosa na camada de 0-20, argilosa na camada 20-40 e siltosa 40-60 (tabela 11).

A textura siltosa dominante é indicativa de solo pouco evoluído. As variações frequentes do regime hídrico condicionam a oscilação do lençol freático, que, permanecendo próximo à superfície, impede o desenvolvimento do solo (Embrapa, 1999). Elevado teor de silte foi encontrado por Freire *et al.* (1991) em estudos pedológico-fisiográficos de um solo Gley Pouco Húmico, nas várzeas do rio Guamá. Mattar *et al.* (2002) também encontraram a ocorrência de solos com dominância siltosa na várzea desse mesmo rio. Ferreira *et al.* (1999) obtiveram resultados semelhantes, estudando as características físicas de sedimentos e solos de dois lagos de várzea da Amazônia Central,

O maior teor de argila em todas as camadas do anigal Anori e nas camadas 0-20 e 20-40 do anigal Manacapuru 1, evidencia um material mais evoluído do ponto de vista pedogenético, ou um ambiente de deposição mais lenta.

Tabela 11. Frações granulométricas de um Gleissolo Háptico do rio Solimões, sob aningais

Profundidade	Areia grossa	Areia fina	Areia total	Silte	Argila	Classe Textural +
cm	2.00-0.20 mm	0.20-0.0 mm	2.00-0.05 mm	0.05-0.002 mm	<0.002 mm	
g kg ⁻¹						
Codajás 1						
0-20	1	4	5	425	570	Argilo-siltosa
20-40	0	8	9	472	520	Argilo-siltosa
40-60	0	16	16	561	423	Argilo-siltosa
Iranduba						
0-20	3	29	32	702	267	siltosa
20-40	4	53	57	692	252	siltosa
40-60	4	71	75	691	234	siltosa
Anori						
0-20	1	4	5	292	704	Muito argilosa
20-40	8	13	21	402	577	argila
40-60	8	12	21	407	589	argila
Manacapuru 1						
0-20	3	9	12	241	747	Muito argilosa
20-40	0	13	13	397	590	argila
40-60	0	76	76	600	324	siltosa
Manacapuru 4						
0-20	3	8	10	545	445	Argilo-siltosa
20-40	1	5	6	507	488	Argilo-siltosa
40-60	0	4	4	588	408	Argilo-siltosa
Codajás 2						
0-20	3	5	7	739	254	siltosa

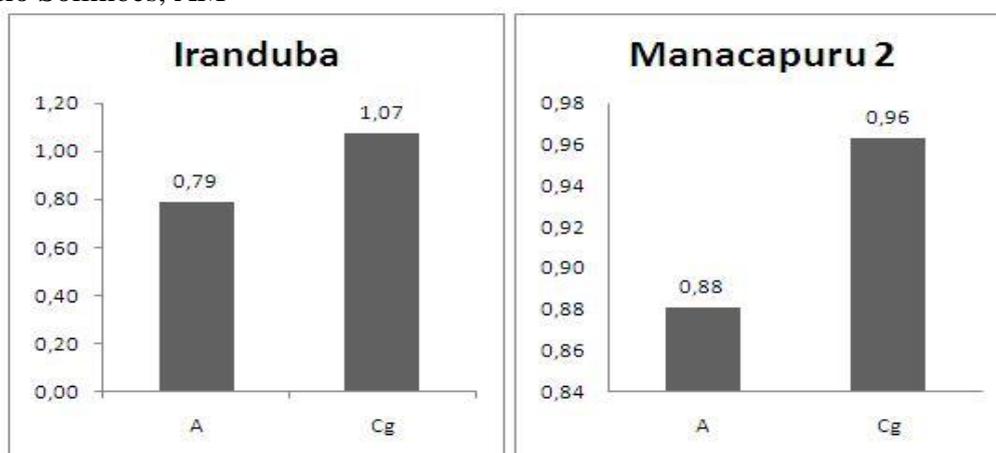
Profundidade	Areia grossa	Areia fina	Areia total	Silte	Argila	Classe Textural +
cm	2.00-0.20 mm	0.20-0.0 mm	2.00-0.05 mm	0.05-0.002 mm	<0.002 mm	
20-40	4	6	10	687	303	siltosa
40-60	3	4	7	716	277	siltosa
Manacapuru 3						
0-20	1	1	2	530	468	Argilo-siltosa
20-40	2	27	29	610	361	Argilo-siltosa
40-60	2	5	7	563	430	Argilo-siltosa
Manacapuru 2						
0-20	0	1	1	526	473	Argilo-siltosa
20-40	1	1	2	557	442	Argilo-siltosa
40-60	4	9	13	533	454	Argilo-siltosa

+ Classificado segundo os critérios da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

6.8 Densidade do solo (ρ_s)

Nos aningais Iranduba e Manacapuru 2, a ρ_s no horizonte A variou entre 0,790 a 0,880 (Mg m^{-3}) e nos horizontes Cg a amplitude foi de 0,96 a 1,07 (Mg m^{-3}) (gráfico 3). Nos dois aningais foi observado aumento gradual desse parâmetro em profundidade. Segundo Curcio (2007) esse fato está relacionado a diferença nos teores de carbono orgânico nos horizontes, visto que, apresentam mesma composição granulométrica e condição estrutural semelhante. Curcio (2007) descreveu valores semelhantes estudando Gleissolos no Rio Iguaçu –Paraná.

Gráfico 3. Densidade do solo em um Gleissolo Háplico, sob dois aningais em área de várzea no Médio Solimões, AM



6.9 Curvas de Retenção de Umidade

Nos aningais Iranduba e Manacapuru 2, as umidades volumétricas foram relativamente altas em todos os potenciais mátricos avaliados, apresentando uma redução com o aumento da tensão. Uma provável explicação para essa tendência pode estar relacionada à maior proporção de microporos (aproximadamente 43%) e menor de macroporos (10%), nos aningais Manacapuru 2 e Iranduba essa proporção foi de 41% e 14% de (microporos e macroporos, respectivamente). Assim, os poros grandes perdem a água retida por capilaridade a potenciais baixos, enquanto que os pequenos, retém água mesmo em potencial elevados (Hillel, 1971 apud Marques *et al.*, 2004).

No gráfico 4, estão representadas as curvas de retenção de água de cada camada de solo estudado. Analisando-se cada amostra, nota-se que, embora pequenas, as variações na retenção de água entre os horizontes tendem a aumentar, certamente devido ao aumento da microporosidade com a profundidade do solo e aos teores de argila.

Segundo Mota (1976) e Reichard (1985 e 1996) além do tamanho e proporção dos poros, outros fatores como o teor de argila e de matéria orgânica contribuem para o aumento da retenção de água.

Na camada superficial (A) dos aningais estudados, a umidade volumétrica para o pF 1.0 variou de 0,47 a 0,51 m^3m^{-3} . Já no pF 3.7 a umidade volumétrica foi de 0,35 m^3m^{-3} nos aningais Manacapuru 2 e Iranduba.

A umidade volumétrica no pF 1.0, da camada Cg dos dois aningais variou de 0,47 a 0,49 m^3m^{-3} . No pF 3.7 a variação ficou entre 0,33 a 0,39 m^3m^{-3} .

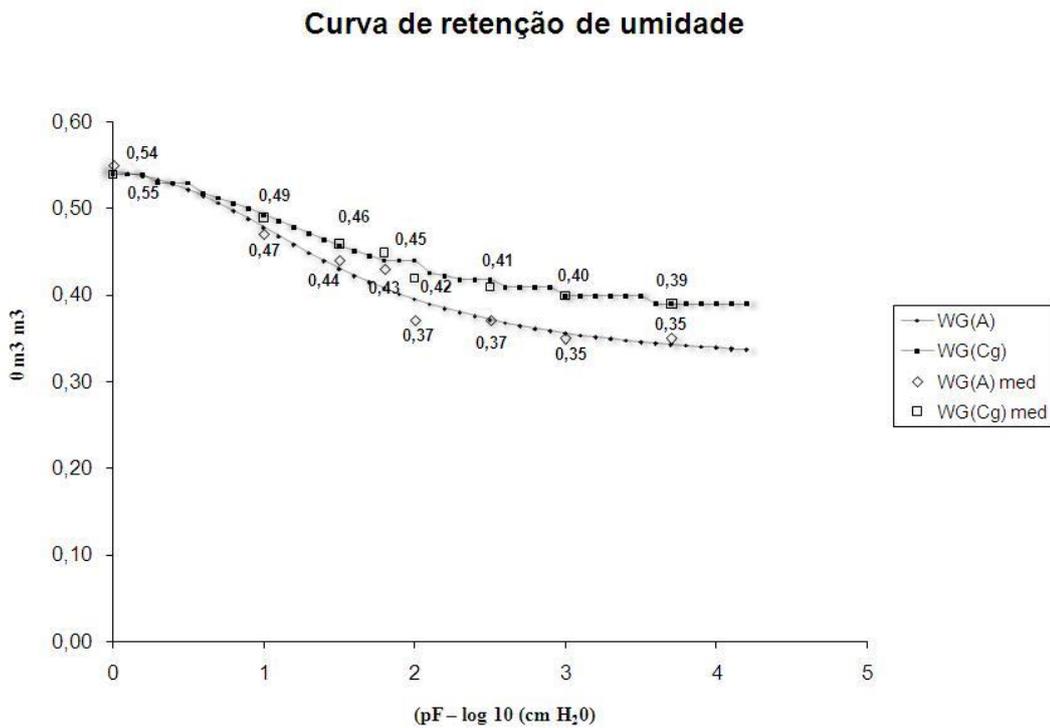
Ferreira *et al.*, (1999) obtiveram resultados semelhantes, estudando as características físicas de sedimentos e solos de dois lagos de várzea da Amazônia central. Na camada Cg a estrutura mais forte e textura mais argilosa causam retenção de água muito maior. Em superfície (camada A), a oscilação da umidade no solo é muito frequente e os picos de

umidade seguem imediatamente os eventos pluviométricos, por ser, nesta camada, maior a concentração de raízes, com absorção mais intensa de água da chuva. Além do componente gravitacional que drena rapidamente esta água no sentido vertical sem qualquer impedimento.

Os Gleissolos por apresentarem textura mais argilosa, dispõem de maior retenção hídrica e maior proporção de microporos em relação à macroporos, evidenciadas pela curva de retenção menos inclinada em relação ao eixo do potencial matricial (gráfico 4).

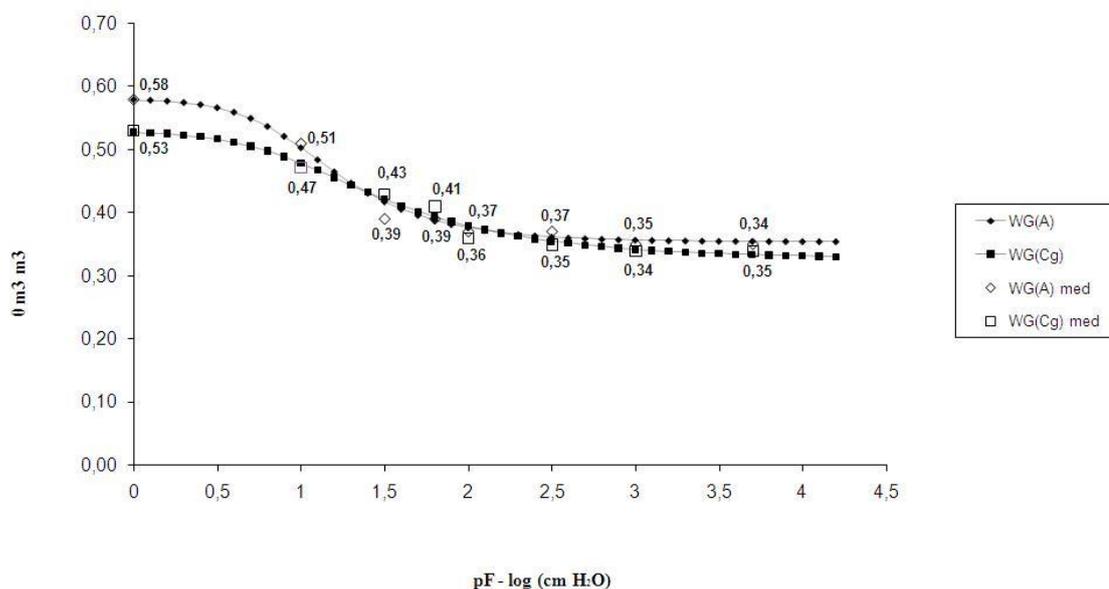
Gráfico 4. (a e b) - Curva de retenção de água ajustada conforme o modelo proposto por van Genuchten a partir dos respectivos pontos amostrados nas camadas A e Cg dos aningais Manacapuru 2 (a) e Iranduba (b).

(a)



(b)

Curva de retenção de umidade



6. 10 Mineralogia

As análises obtidas pelos difratogramas mostram a predominância de quartzo e caulinita em todos os aningais estudados, seguidos de alguns minerais acessórios como o anatásio, albita e rutilo (tabela 12). Os aningais apresentam composição mineralógicas semelhantes na fração argila, com a predominância de quartzo e caulinita. Não foram observadas variações significativas na composição mineralógica da fração areia fina e argila de todos os solos estudados. Lima (2001) estudando os solos de várzea do Médio Amazonas observou a ocorrência e predominância de caulinita e quartzo na classe dos Neossolos.

Tabela 12. Composição mineralógica das frações: argila e areia fina dos solos estudados, por difratometria de raios X

Identificação das amostras	Camada	Argila	Areia fina
Manacapuru 5	0-20	Ct, Qz e na	Qz, Rt e bt
	20-40	Ct e Qz	Qz e bt
Iranduba	0-20	Ct, Qz, An e bt	(não analisado)
	20-40	Ct, Qz e bt	(não analisado)

Identificação das amostras	Camada	Argila	Areia fina
Manacapuru 2	0-20	Ct, Qz e na	(não analisado)
	20-40	Ct, Qz e na	(não analisado)
Anori	0-20	(não analisado)	(não analisado)
	20-40	Ct e Qz	Qz
Manacapuru 1	0-20	Ct e Qz	Qz e bt
	20-40	Ct, Qz e na	Ct, Qz e bt
Manacapuru 4	0-20	Ct e Qz	(sem material)
	20-40	Ct, Qz e na	(não analisado)
Codajas 1	0-20	Ct e bt	Ct, Qz, Rt e bt
	20-40	Ct, Qz, An e bt	Ct, Rt e bt
Manacapuru 3	0-20	Ct, Qz e na	(não analisado)
	20-40	(não analisado)	Ct, Qz e An
Codajas 2	0-20	Ct e Qz	(não analisado)
	20-40	Ct e Qz	Qz, Rt e bt

Ct – caulinita; Qz – quartzo; na – anatasio; Rt – rutilio; bt – albita.

7. CONCLUSÃO

Os aningais da área de estudo são formados predominantemente pela espécie *Montrichardia arborescens*. Após a validação da exatidão através de testes estatísticos, a classificação supervisionada foi satisfatória para o mapeamento dos aningais. Contudo o sensor Landsat TM-5 não apresenta exatidão para classificar pequenas áreas de aningais.

Os solos nos aningais, em sua maioria são eutróficos, com altos teores de Ca e Mg. Entretanto esses solos possuem acidez elevada.

Os solos dos aningais apresentam elevados valores de densidade do solo, baixa macroporosidade e elevada retenção de água a baixas tensões indicando a predominância de microporos. A fração granulométrica dominante nas áreas dos aningais foi o silte, seguida da argila. A assembléia mineralógica da fração argila apresentou predominância de quartzo e caulinita e alguns minerais acessórios.

8. REFERÊNCIAS

- AYRES, J.M. As matas de várzea do Mamirauá: médio rio Solimões. Fotografias, Luiz Claudio Marigo; mapas gráficos, A. Martins; aquarelas, Jenevora Searight. Brasília, DF: CNPq; Tefé, AM: Sociedade Civil Mamirauá. Estudos do Mamirauá, Volume I. 1995. 130 p.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL: programa de integração nacional. Rio de Janeiro: DNPM. v.10. il. (Levantamento de Recursos Naturais, 10 a). 1970.
- CROSTA, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas: IG/UNICAMP.1992. 170p.
- DNPM. Projeto RADAMBRASIL. Fo lha SB.20-Purus. Rio de Janeiro. 561 p. il. (Levantamento de Recursos Naturais, 17), 1978. p. 19-100.
- EBELING, A.G. Caracterização analítica da acidez em organossolos. Rio dor Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. 88p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2nd ed. EMBRAPA-CNPS, Rio de Janeiro. 1997. 212p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2nd ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 2006. 306p.
- IBGE. Manual técnico da Vegetação brasileira. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1992.
- JUNK, W. J.; HOWARD-WILLIAMS, C. Ecology of aquatic macrophytes in amazonia. In: Sioli, H. (ed).
- KERN, D.C. Geoquímica e pedogeoquímica de sítios arqueológicos com terra preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel-Pará). 1996. 124p. Tese (Doutorado em Petrologia e Geoquímica). Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.
- LIMA, H. N. ; MELLO, J. W. V. ; SCHAEFER, C. E. G. R. ; KER, J. C. . Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação. Acta Amazonica, Manaus - AM, 2005. v. 35, n. 3, p. 317-350,
- LIMA, H. N. Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental. 2001. 176p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2001. p. 176.
- LIMA, H.N.; TEIXEIRA, W.G.; SOUZA, K.W. O solo da paisagem da várzea com ênfase no trecho Coari - Manaus. In: FRAXE, T.J.P.; PEREIRA, H.S.; WITKOSKI, A.C. (Eds.). Comunidades ribeirinhas amazônicas: modos de vida e uso dos recursos naturais. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2007. p. 35-52.
- MACEDO, E. G.; SANTOS FILHO, B. G.; POTIGUARA, R. C. V.; SANTOS, D. S. B. Anatomia e arquitetura foliar de Montrichardia linifera (Arruda) Schott (Aracea) espécie da

várzea amazônica. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. sér. Ciências Naturais, Belém, 2005. v.1, p. 19-43, jan – abr.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral. Ed. Ceres. São Paulo, 1980. 251pp.

MARQUES, J.J.; TEIXEIRA, W.G.; SCHULZE, D.G.; CURI, N. Mineralogy of soils with unusually high exchangeable Al from the Western Amazon Region. Clay Minerals, 2002. v. 37, p. 651-661,

MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. UFV, Viçosa, 2003. 2ª Edição.

NETO, A.S. Subsídio para Elaboração do Plano de Manejo do Parque Nacional Grande Sertão Veredas Por Meio de Um Sistema de Informações Geográficas, Viçosa, Minas Gerais. 2000. 98p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais).

PADOCH, C., M. Ayres, M. Pinedo-Vasquez; A. Henderson, eds. Várzea: Diversity, Development, and Conservation in Amazonia's Whitewater Floodplains. The New York Botanical Garden Press, New York, 2000.

PEREIRA, J.A.A., OLIVEIRA FILHO, A.T. & LEMOS FILHO, J.P. Environmental heterogeneity and disturbance by humans control much of the tree species diversity of Atlantic montane forest fragments in se Brazil. 2007.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V.V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa, MG, 1999. 359p.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C. & ANJOS, L. H. C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 5nd ed. 2005.

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

SIOLI, H. Tropical river: the Amazon. In: WHITTON, B. A. (Ed.) River ecology. Berkeley, U.S. Press, 1975. p. 461-487.

SIOLI, H. The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. s. l.: Dr. W. Junk Publishers, 1984. 761p.

SOUZA, K.W. Uso do solo em comunidades de várzea do rio Solimões do trecho Coari – Manaus. 2007. 95p. Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) -Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2007.

SUDAM/PROJETO DE HIDROLOGIA E CLIMATOLOGIA DA AMAZÔNIA. Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira. Belém: SUDAM, 1984. 125 p.

TEIXEIRA, W.G.; PINTO, W.H.; LIMA, H.N.; MACEDO, R.S.; MARTINS, G.C.; ARRUDA, W.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, 2007a. p. 29-36.

WAICHMAN, A. V.; Römbke. Uma proposta de Avaliação Integrada de Risco de Uso de Agrotóxicos no Estado do Amazonas. Acta Amazônica, 2008. 38(1): 45-51 p.