RELATORIOFINAL2004-2006
DINAMICA HIDROLOGICA E GEOQUÍMICA DA BACIA AMAZÔNICA: O PAPEL DAS VÁRZEAS E DA ZONA ESTUARINA

CONVÊNIO CNPQ – IRD

COOPERAÇÃO TÉCNICA BRASIL – FRANÇA

2004 – 2006

RELATORIO FINAL DE PROJETO

Universidade de Brasilia

1.1. Título do projeto

Título completo: DINÂMICA HIDROLÓGICA E GEOQUÍMICA DA BACIA AMAZÔNICA: O PAPEL DAS VÁRZEAS E DA ZONA ESTUARINA

Título abreviado: **HiBAm**

1.2. Convênio

Convênio CNPq/IRD Acordo de Cooperação Técnica **Brasil / França**

1.3. Processo

Processo nº 690001/2004-5

1.4. Coordenadores

Coordenador brasileiro
Herbert Otto Shubart
ANA, Setor Policial Sul, Área 05, Quadra 3, Bloco L
70610-200 Brasília DF
Tel: 445 5210
Fax: 445 5296
shubart@ana.gov.br

Coordenadora francesa
Patricia Turcq- IRD
Depart. Geoquímica, Instituto de Quimica-Universidade Federal Fluminense
Morro do Valonguinho s/nº
24020-007 Niteroi, RJ
Tel : 26292208
Fax : 27174189
pturcq@geoq.uff.br

SUMARIO

INSTITUIÇÕES BRASILEIRAS RESPONSÁVEIS PELA IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO.....5

INSTITUIÇÃO FRANCESA RESPONSÁVEL PELA IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO.....5

3. HISTÓRICO DAS UNIDADES PARTICIPANTES.....8

INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES: ANA, UFF, UFRJ, UnB..... 8

3.1 ANA– Agência Nacional de Águas..... 8

3.1.1. Organização e Direção 8

3.1.2.Lista de pesquisadores e sua relação de participação e inserção dentro da proposta 8

3.2 UnB– Universidade de Brasilia..... 8

3.2.1 Organização e direção 8

3.2.2 Lista de pesquisadores e sua relação de participação e inserção dentro da proposta 9

3.3 UFF– Universidade Federal Fluminense 9

3.3.1 Organização e direção 9

3.3.2 Lista de pesquisadores e sua relação de participação e inserção dentro da proposta 9

3.4 UFRJ– Universidade Federal de Rio de Janeiro 9

3.4.1 Organização e direção 9

3.4.2 Lista de pesquisadores e sua relação de participação e inserção dentro da proposta 10

EQUIPES E PESQUISADORES ASSOCIADOS:..... 11

3.5 Escola politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP..... 11

3.5.1 Organização e direção 11

3.5.2 Lista de pesquisadores e sua relação de participação e inserção dentro da proposta 11

3.6 IEPA– INSTITUTO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS DO ESTADO DO AMAPÁ 11

3.6.1 Organização e direção 11

3.6.2 Lista de pesquisadores e sua relação de participação e inserção dentro da proposta 11

3.7 IBAMA– Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 12

3.7.1 Organização e direção 12

3.7.2 Lista de pesquisadores e sua relação de participação e inserção dentro da proposta 12

1. INTRODUÇÃO 13

2. ENQUADRAMENTO DA PROPOSTA FACE AOS PLANOS E INTENÇÕES DAS INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES BRASILEIRAS.....14

3. JUSTIFICATIVA DA RELEVANCIA DA PROPOSTA 15

4. PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS.....18

4.1 Modelagem das transferências de matéria através dos rios amazônicos 18

4.2. Modelagem das transferências entre o Amazonas e a Varzea do Lago Grande de Curuai 24

4.4. Aplicação do Sensoriamento Remoto ao estudo e análise ambiental nas áreas de várzeas.... 32

4.5 Utilização conjunta de modelagem hidrodinâmica e imagens de satélite para estimativa da superfície de planícies de inundação: – curso médio do rio Amazonas 33

4.6. Estudo do papel das várzeas nas transferências de sedimentos e elementos químicos 35

References : 40

5. FORMAÇÃO DE PESSOAL 43

6. LISTA DE PUBLICAÇÕES REFERENTES AO PROJETO (2004-2006).....44
7. PARTICIPACAO A REUNIOES CIENTIFICAS (2004-2006).....45
8. GERAÇÃO DE PRODUTOS (2004-2006) 47
9. PERSPECTIVAS.....47
10. ANEXOS 48

INSTITUIÇÕES BRASILEIRAS RESPONSÁVEIS PELA IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

O presente projeto de pesquisa teve como principal objetivo dar continuidade aos estudos realizados no âmbito do projeto HiBAm (Hidrologia e geoquímica da Bacia Amazônica), convênio CNPq/IRD Acordo de Cooperação Técnica Brasil / França (Processo nº 910011/97-4), desenvolvido no período 1999 – 2003.

INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES:

As instituições brasileiras participantes deste projeto foram:

- **A Agência Nacional de Águas - ANA**

  - Entidade sede e parceira do projeto anterior, responsável pela coordenação brasileira, envolvendo estudos de novas tecnologias aplicadas à hidrologia, sedimentologia e qualidade das águas e análise das condições hidrológicas em escala regional da bacia Amazônica..

- **A Universidade de Brasília – UnB**

  - Instituto de Geociências – **IG**: estudos de geoquímica (metais traço e maiores) das águas e dos sedimentos dos rios e lagos da bacia Amazônica até a zona estuarina.
  - Instituto de Biologia – **IB**: ecologia da comunidade fitoplanctônica dos lagos de várzea do sistema Lago Grande do Curuaí.

- **A Universidade Federal Fluminense - UFF**

  - Programa de Geoquímica Ambiental – **GEO**: estudos da origem e caracterização da matéria orgânica e uso de traçadores em material em suspensão e sedimentos de rios e lagos de várzea da Bacia Amazônica. Estudo dos processos de sedimentação nas várzeas. Estudo do comportamento da matéria orgânica na zona estuarina.

- **A Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ**

  - Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia **– COPPE** Área de Recursos Hídricos do Programa de Engenharia Civil e o Laboratório de Dinâmica de Sedimentos Coesivos (LDSC) da Área de Engenharia Costeira do Programa de Engenharia Oceânica da COPPE: estudos de modelagem e transporte de sedimentos no trecho fluvial e região estuarina.

INSTITUIÇÃO FRANCESA RESPONSÁVEL PELA IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

O IRD (Institut de Recherche pour le Développement) responsavel pela coordenação do Projeto pelo lado francês colaborou na realização do mesmo com inumeros pesquisadores.

Esta colaboração ficou sob a responsabilidade da Unidade de Pesquisa numero 154 (UR154) do IRD que desenvolve estudos sobre a erosão, transporte, transformação e sedimentação de matéria desde os Andes até o Oceano Atlantico e Pacifico. Sendo que alguns pesquisadores de outras instituições também participaram do projeto.

Segue a seguir a lista dos participantes com suas respectivas instituições de origem:

Nome	Instituição de acolhimento	**Estatuto**	**Disciplina**
Benoit LE GUENEC	IRD	pesquisador	modelisador
Christelle LAGANE	IRD	Técnica	Geoquimica
Francis SONDAG	IRD	Engenheiro	Geoquímica
Frédérique SEYLER	IRD	Pesquisador	Hidrologia Espacialo
Gérard COCHONNEAU	IRD	Engenheiro	Hidrologia
Jean-Michel MARTINEZ	IRD	Pesquisador	Sensoriamento Remoto
Laurence MAURICE BOURGOIN	IRD	Pesquisador	Geoquímica
Marie-Paule BONNET	IRD	Pesquisadora	Modelisadora
Stephane CALMANT	IRD	Pesquisador	Hidrologia Espacial
Patricia MOREIRA TURCQ	IRD/UFF	Pesquisador	Geoquímica
Patrick SEYLER	IRD	Pesquisador	Geoquímica
Jerôme VIERS	Universite Paul Sabatier	Professor	Geoquimico
Jerôme GAILLARDE	Institut de Physique du Globe de Paris	Professor	Geoquimico
Marc BENEDETTI	Université PARIS VII	Professor	Geoquimico

INSTITUIÇÕES OU PESQUISADORES ASSOCIADOS:

Universidade de São Paulo -Escola Politécnica - EPUSP

- Laboratório de Topografia e Geodésia do Departamento de Engenharia de Transportes: estudos de geodésia, posicionamentos planimétrico e altimétrico e hidrologia espacial. Cooperação com equipes do **IBGE** (Diretoria de Geociências) nos estudos de geodesia e georeferenciamento das estações hidrométricas e meteorológicas.

Instituto Brasileiro de Meio Ambiente – IBAMA

- Centro de Sensoriamento Remoto **– CSR**: benefícios advindos pelo uso das técnicas de sensoriamento remoto no estudo da dinâmica hidrológica, sedimentar e da vegetação das várzeas do Rio Amazonas.

Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá- IEPA

- Centro de Pesquisas Aquáticas **- CPAQ**
Divisão de Dinâmica Abiótica: estudos da hidro e morfodinâmica (descarga líquida e sólida, marés e velocidade de correntes, morfologia de fundo) na região do baixo estuário;

Universidade Federal de Goias- UFG, a traves da participação da Professora Ina de Souza Nogueira do Laboratório de Limnologia: estudos da taxonomia de comunidades aquáticas.

3. HISTÓRICO DAS UNIDADES PARTICIPANTES

INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES: ANA, UFF, UFRJ, UNB

3.1 ANA– AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

3.1.1. Organização e Direção

Diretor Geral:
Jerson Kelman

Diretoria Colegiada:
Benedito Pinto Ferreira Braga Júnior
Dilma Pereira
Ivo Brasil
Lauro Sérgio de Figueiredo
Marco Aurélio V. de Freitas

Superintendente de Tecnologia e Capacitação (STC)
Herbert Otto Roger Schubart

Superintendente de Informações Hidrológicas (SIH)
Valdemar Santos Guimarães
Eurides de Oliveira

3.1.2.Lista de pesquisadores e sua relação de participação e inserção dentro da proposta

Nome	Entidade	Status	Especialidade	Dedicação
Eurides de OLIVEIRA	ANA	Engenheiro (PósGrad)	Hidrologia	30%
Herbert Otto Roger SCHUBART	ANA	Doutor (PhD)	Recursos Hídricos Acarologia	10%
Naziano FILIZOLA Jr.	ANA/ OMM	Geólogo (MSc.)	Hidrologia Sedimentologia SIG	50%
Valdemar GUIMARÃES	ANA	Engenheiro(PósGrad)	Hidrologia	10%

3.2 UNB– UNIVERSIDADE DE BRASILIA

3.2.1 Organização e direção

Reitor
Lauro Morhy

Instituto de Geociências
Nelson Francisquine Botelho - Diretor
José Carlos Alvarenga - Vice-Diretor

3.2.2 Lista de pesquisadores e sua relação de participação e inserção dentro da proposta

Nome	Entidade	Status	Especialidade	Dedicação
Geraldo Resende Boaventura	IG/UnB	Prof. (PhD)	Geoquímica	30%
Maria do Socorro Rodrigues	IE/UnB	Prof.	Ecologia aquática	20%
Marcelo Pinelli	IG/UnB	Doutorando	Geoquímica	50%
Andrea Brandão de Souza	IG/UnB	Mestrando	Geoquímica	70%
Rafaela Andraus Portugal	IG/UnB	PIBIC	Geoquímica	100%
Pesquisadora associada : Ina de Souza NOGUEIRA	*ICB/UFG Un. Fed. Goias*	*Prof. (PhD)*	*Taxonomia de algas*	*20%*

3.3 UFF– UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

3.3.1 Organização e direção

Reitor : Cícero Mauro Fialho Rodrigues

Coordenador do Programa de Geoquímica Ambiental : Jorge João Abrão

3.3.2 Lista de pesquisadores e sua relação de participação e inserção dentro da proposta

Nome	Entidade	Status	Especialidade	Dedicação
Marcelo C. BERNARDES	GEO/UFF	Professor (D)	Geoquímica da matéria orgânica	30%
Renato C. CORDEIRO	GEO/UFF	Professor (D)	Sedimentação	20%
Jorge João ABRÃO	GEO/UFF	Professor (D)	Geoquímica Analitica	10%
Luiz Drude de LACERDA	GEO/UFF	Professor Titular (D)	Ecologia	10%

3.4 UFRJ– UNIVERSIDADE FEDERAL DE RIO DE JANEIRO

3.4.1 Organização e direção

COPPE
Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica do Programa de Engenharia Oceânica /
Prof. Julio Cyrino, Coordenador do Programa
Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (DRHIMA) da Escola Politécnica
Prof. Hildebrando Góes Filho, Chefe do DRHIMA

Laboratório de Dinâmica de Sedimentos Coesivos (LDSC)
Profa. Susana Beatriz Vinzon, Responsável pelo LDSC

Area de Recursos Hídricos do Programa de Engenharia Civil

Prof. Carlos Magluta, Coordenador do Programa

3.4.2 Lista de pesquisadores e sua relação de participação e inserção dentro da proposta

Nome	Entidade	Status	Especialidade	Dedicação
Susana Vinzon	LDSC	Professor	Transporte de Sedimentos	25%
Afonso M. Paiva	AECO/PENO	Professor	Modelagem Hidrodinâmica	15%
Rui Carlos Vieira da Silva	ARH/PEC	Professor	Transporte de Sedimentos	10%
Maximiliano Strasser	ARH/PEC	Doutorando	Transporte de Sedimentos	70%
Alfredo Trento	ARH/PEC	Doutorando	Floculação de Sedimentos	20%
Alfredo Ribeiro Neto	ARH/PEC	Doutorando	Modelagem Hidrológica	70%
Marcos Gallo	AECO/PENO	Mestrando	Modelagem Hidrodinâmica	70%
Felipe de Oliveira	LDSC	PIBIC	Modelagem Hidrodinâmica	100%

EQUIPES E PESQUISADORES ASSOCIADOS:

3.5 ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - EPUSP

3.5.1 Organização e direção

Reitor
Prof. Dr. Adolfo José Melfi

Escola Politécnica
Prof. Dr. Vahan Agopyan (Diretor)

Departamento de Engenharia de Transportes
Prof. Dr. Orlando Strambi (Chefe)

3.5.2 Lista de pesquisadores e sua relação de participação e inserção dentro da proposta

Nome	Entidade	Status	Especialidade	Dedicação
Denizar Blitzkow	EPUSP-PTR	Prof. Titular	Geodésia física e geométrica e Posicionamento por Satélite	10%
Ilce de Oliveira Campos	EPUSP	Doutorando	Geodésia física e geométrica e Posicionamento por Satélite	100%

3.6 IEPA– INSTITUTO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS DO ESTADO DO AMAPÁ

3.6.1 Organização e direção

Diretor Presidente:
Admilson Moreira Torres

Centro de Pesquisas Aquáticas-CPAQ:
Wagner José Pinheiro Costa, Chefe do CPAQ
Marcio Sousa da Silva, Chefe da Divisão de Dinâmica de Ecossistemas Aquáticos
Luis Roberto Takiyama, Coordenador do GERCO/AP

3.6.2 Lista de pesquisadores e sua relação de participação e inserção dentro da proposta

Nome	Entidade	Status	Especialidade	Dedicação
Luis Roberto Takiyama	IEPA/GERCO	Pesquisador III	Geoquímica de águas	10%
Wagner José Pinheiro Costa	IEPA/CPAQ	Pesquisador II	Geoquímica águas e sedimentos	10%

Marcio Sousa da Silva	IEPA/DDEA	Pesquisador II	Hidro e morfo dinâmica	10%
Odete F. Machado da Silveira	IEPA/ DDEA	Pesquisador III	Morfodinâmica e análise de sensores remotos	10%
Admilson Moreira Torres	IEPA	Pesquisador III	Sedimentologia	10%

3.7 IBAMA– INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS

3.7.1 Organização e direção

Presidente:
Marcus Luiz Barroso Barros

Centro de Sensoriamento Remoto:
Lindalva Ferreira Cavalcanti – Chefe
Débora Campos Jansen – Chefe-substituta

3.7.2 Lista de pesquisadores e sua relação de participação e inserção dentro da proposta

Nome	Entidade	Status	Linha de atuação	% HIBAM
Maria Salete Alves	CSR/IBAMA	Analista Ambiental: Geógrafa, MSc.	Sensoriamento Remoto e SIG	10%
Débora Campos Jansen	CSR/IBAMA	Analista Ambiental: Geógrafo – Especialista em Sensoriamento Remoto voltado à Análise Ambiental.	Sensoriamento Remoto e SIG	10%
Lindalva Ferreira Cavalcanti	CSR/IBAMA	Analista Ambiental: Engenheira Florestal, MSc.	Sensoriamento Remoto e SIG	10%

TITULO DO PROJETO:
DINÂMICA HIDROLÓGICA E GEOQUÍMICA DA BACIA AMAZÔNICA: O PAPEL DAS VÁRZEAS E DA ZONA ESTUARINA

DURAÇÃO DO PROJETO Janeiro de 2004 – Dezembro de 2006

1. INTRODUÇÃO

Os mecanismos de transferências estão presentes na natureza desde a escala do cristal à dos continentes, e seu estudo fascinando diferentes campos da ciência. Mas, é por intermédio dos rios e de suas bacias hidrográficas que se faz grande parte das transferências de matéria na superfície da Terra. Depois dos trabalhos de Schumm [1977] sobre o fluxo de sedimentos, uma bacia hidrográfica pode ser decomposta esquematicamente, quanto ao fluxo de matéria em zonas: i) de produção (relevos), ii) de transferência (cursos d'água, rios, etc.) e por fim uma iii)zona de sedimentação (deltas e estuários). Essa decomposição permite um zoneamento dos processo dominantes à escalas diferentes no tempo e no espaço, posto que fenômenos de sedimentação podem ser observados tanto nas zonas de produção e de transferência, quanto fenômenos erosivos podem ser observados nas zonas de transferência e de sedimentação (erosão de margens, por exemplo).

No caso de grandes bacias fluviais, a zona de produção é, geralmente, de extensão geográfica limitada (relevos de cadeias ativas, seja nos bordos ou nas cabeceiras da bacia), e as zonas de transferência e de sedimentação, confundem-se e desenvolvem-se sobre vastas bacias sedimentares particularmente dominante nas unidades geomorfológicas do Brasil. Estas bacias sedimentares, por sua vez, desenvolvem-se sobre os mais antigos crátons do globo.

O estudo das transferências de matéria tem, numa grande bacia hidrográfica como a Amazônica, a vantagem de possibilitar o estabelecimento de balanços (balanço de massa, balanço de energia, balanço hídrico, etc.). O uso de balanços constitui peça chave para que se possa avançar na compreensão de processos de erosão/alteração e em particular em questões ligadas ao ciclo do carbono. A bacia amazônica apresenta um caráter integrador, que limita a ocorrência de efeitos catastróficos possibilitando avaliar as respostas ao determinismo climático e tectônico dos mecanismos de alteração.

Durante o ciclo hidrológico anual, uma dinâmica transversal se instala entre o rio e as zonas de inundação interconectadas (fluxo bidirecional), que controla o equilíbrio espacial e temporal dos processos de transferência e de sedimentação [Amoros et Petts, 1993]. No caso da bacia Amazônica, essas zonas úmidas (várzeas) se estendem por mais de 300.000 km² [Melack, 1984] e estão ligadas a uma forte produtividade biológica [Junk *et al.*, 1989]. No entanto, as contribuições laterais, aporte de matérias fornecidas pelas planícies de inundação (várzeas), têm sido sugeridas por vários autores como tendo um importante papel nos balanços de matéria.

Na primeira fase do Projeto HiBAm (1997-2000) as pesquisas concentraram-se no conhecimento da realidade dos processos hidrológicos e geoquímicos existentes ao longo dos grandes rios Amazônicos. Esses estudos foram realizados através de campanhas de campo para coleta de amostras e medições de descarga ao longo dos rios com a conseqüente elaboração de balanços hidrodinâmicos envolvendo diversos parâmetros (descarga líquida e sólida, elementos maiores e

traços, etc.). Na segunda fase do projeto HIBAM (2001-2003) o papel das várzeas dentro dos processos de transferência começou a ser discutido e tornou-se o principal pólo de interesse do grupo. O papel do estuário também demonstrou interesse e foi mesmo proposto neste atual projeto mas infelizmente por razões práticas de infra-strutura não pode ser levado a termo.

Desde 2003, a rede de estações de referencia hidrológicas e de qualidade de águas HIBAM instaladas na região amazônica (Brasil, Bolívia, Peru e Equador) faz parte do programa francês ORE "Observatoire Régionaux en Environnement" financiado pelo Ministère de la Recherche, o CNRS e o IRD.

O atual projeto "Dinâmicas Hidrologica e Geoquímica da Bacia Amazônica: o papel das várzeas e da zona estuarina" teve como **objetivo principal** compreender e modelar o papel das várzeas para o funcionamento hidrológico, sedimentológico e geoquímico da bacia hidrográfica do rio Amazonas.

2. ENQUADRAMENTO DA PROPOSTA FACE AOS PLANOS E INTENÇÕES DAS INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES BRASILEIRAS

A Agência Nacional de Águas – ANA, através da superintendência de Informações Hidrológicas – SIH, assumiu desde Janeiro de 2002, a responsabilidade de sediar o projeto e a rede de monitoramento HiBAm. As ações desenvolvidas pela agência, sempre em consonância com um programa de metas, têm sido tomadas no sentido de desenvolver estudos hidrológicos com o uso de novas tecnologias e embaçadas na série de dados históricos advindos da rede hidrometeorológica nacional. Além disso, a base de dados HIBAM tem dado à ANA condições de obter novos dados para sua base e gerar balanços de massa, necessários para a determinação de cenários multiparamétricos para a bacia. Esses cenários têm sido de grande importância para o processo de tomada de decisões por parte da Agência. Outra atividade que foi realizada pela ANA, é de resumir e viabilizar o livre acesso às informações produzidas pelo projeto em um site web.

A Universidade de Brasília, UnB, e mais especificamente o **Laboratório de Geoquímica, o LAGEQ**, desenvolve desde 1997, em cooperação com os pesquisadores do IRD, pesquisas sobre a geoquímica das águas de superfície da Bacia Amazônica. O interesse maior do LAGEQ concentra-se no estudo dos processos de especiação metálica entre as águas, os sedimentos e a vegetação.
E também visou uma intercalibração entre este laboratorio e o LMTG (França) nas análises dos metais traço. A participação do **Instituto de Biologia** da UnB consistiu no estudo da ficoflórula dos lagos de várzea do sistema Lago Grande de Curuaí (Amazônia) e dos atributos da comunidade fitoplanctônica com base na densidade, biomassa, diversidade, estrutura de tamanho e dominância das espécies que estão associadas a determinadas variáveis climáticas, físicas e químicas da água dos diferentes lagos marginais.

A participação da Universidade Federal Fluminense, UFF, através do **Programa de Geoquímica Ambiental**, o qual constitui o principal centro de ensino e pesquisa na área de Geoquímica Ambiental do país, teve como objetivo o de centralizar os estudos quanto à origem e a caracterização da matéria orgânica e dos processos sedimentológicos nas várzeas amazônicas. Desta colaboração entre a UFF e o IRD, dissertações de mestrado e teses de doutorado assim como orientações de iniciação científica foram realizadas ou estão em andamento.

A UFRJ participa desde 2001 em campanhas realizadas pelo projeto HIBAM. A linha de pesquisa dos grupos envolvidos (Área de Recursos Hídricos do Programa de Engenharia Civil da COPPE, o Laboratório de Dinâmica de Sedimentos Coesivos (LDSC) da Área de Engenharia

Costeira do Programa de Engenharia Oceânica e a Área de Recursos Hídricos do Programa de Engenharia Civil, da COPPE) consiste no estudo da hidrodinâmica e do transporte de sedimentos nos trechos fluviais e estuarinos do rio Amazonas.

3. JUSTIFICATIVA DA RELEVANCIA DA PROPOSTA

O conhecimento quantitativo e qualitativo da água e sua distribuição espacial e temporal, assim como da evolução destes no decorrer do tempo são fatores essenciais para um manejo sustentável dos recursos hídricos e o seu melhor aproveitamento sob os aspectos do uso energético, agrícola, industrial, navegação e outros. Nesse sentido foram realizados estudos vinculados ao balanço dos fluxos no transporte de elementos dissolvidos e sob forma particulado nos rios da Amazônia, estes foram os principais objetivos do Projeto Hibam (1997-2003).

As áreas alagáveis que margeiam grandes rios são um dos ecossistemas naturais mais procurados para a ocupação humana face à sua grande fertilidade (Junk, 1980). Pitelli (1984) ressalta o significado ecológico das várzeas devido à sua enorme riqueza biológica, resultante da alta produtividade aliada à grande multiplicidade de cadeias alimentares.

As várzeas da Amazônia são componentes importantes da hidrologia, da biogeoquímica, e da ecologia da bacia. Estas várzeas representam uma área de 300 000 km² (Junk, 1997), ou seja, 5% da superfície da bacia. Essa estimação ainda não foi confirmada e um dos objetivos específicos do projeto é calcular as extensões totais das áreas alegadas da Bacia Amazônica usando técnicas espaciais (imagens radar, especificamente). No balanço hídrico, Richey *et al.* (1989) estimaram que 30% da vazão media do Rio Amazonas transitava pelas várzeas. Essas zonas permitem aplainar o hidrograma do Rio Amazonas e explicam por que a vazão máxima (280 000 m^3 s^{-1}) eqüivale a só quatro vezes a vazão mínima (70 000 m^3 s^{-1}). No balanço biogeoquímico, essas zonas de enchente atuam como um filtro e também como um reator químico. Suas maiores características são a dinâmica hidrológica, causada pela variação sazonal do nível das águas do rio e o seu papel biogeoquímico. Considerando o balanço hidrológico e sedimentar, as zonas de inundação têm um papel de armazenamento temporário ou permanente do material dissolvido e particulado; sendo que o tempo de armazenamento pode variar de alguns meses (água e substâncias dissolvidas) a algumas centenas à milhares de anos (sedimentos). Foi estimado que 80% do material transportado pelo Rio Amazonas, transitava pelas várzeas (Mertes *et al.*, 1996 ; Dunne *et al.*, 1998). Estes autores estimaram que este fluxo é de 2 bilhões de toneladas por ano. Um dos objetivos deste novo projeto foi de estimar o tempo de residência das águas e dos sedimentos nas várzeas assim como o estudo das modificações das características biogeoquímicas desse material.
Estes lagos interferem no fluxo de nutrientes, aumentando suas concentrações e influenciando a composição química dos rios. Além disso, as várzeas têm um papel essencial na dinâmica da matéria orgânica, assim como na do ferro e de outros elementos redox. A instalação de condições oxidantes ou redutoras nos sedimentos e na coluna d'água subjacente depende, principalmente, de sua dinâmica hidrológica. Quanto mais longo o tempo de transferência da massa de água na várzea, mais estável será a anoxia e maior será a produção de espécies químicas reduzidas. As inundações sazonais, ou "flood pulse", tem um papel chave na produtividade dos rios e das áreas alagadas associadas. As várzeas constituem zonas preferenciais de deposição de sedimentos, matéria orgânica e metais associados, como o mercúrio. Essas zonas são caracterizadas por uma alta produtividade primária durante uma parte do ciclo hidrológico, seguido durante a fase de águas baixas, por processos de degradação anaeróbica, originando a emissão de gases a efeito estufa, como o CO_2, CH_4 e H_2S (Junk *et al.*, 1989; Richey *et al.*, 1988, 2002; Grace and Malhi, 2002). Essas zonas apresentam, em particular, condições favoráveis ao processo de metilação (Guimarães *et al.*, 1995 e 1998), ou seja, de transformação das espécies de mercúrio inorgânico em espécies

orgânicas diretamente assimilável pelos organismos aquáticos e pelos homens, cuja toxicidade foi claramente provada (Barbosa *et al.*, 1998; Lebel *et al.*, 1998; Dolbec *et al.*, 2001). As várzeas ou zonas de enchente da Amazônia constituem o ambiente mais propício à produção das formas orgânicas de alguns metais, e do mercúrio em particular. Por exemplo, as taxas de metilação do mercúrio analisadas nas raízes de várias espécies de macrófitas aquáticas coletadas em diferentes várzeas são 3 vezes superiores as taxas analisadas nos sedimentos sub-adjacentes. Estas macrófitas podem representar até 60% da produção primária das várzeas e representam uma fonte importante de carbono orgânico para a cadeia trófica aquática, que podem ser expostas as importantes concentrações em metil-mercúrio tóxico.

A produção primária nas várzeas é estimada a 110 toneladas de peso seco por ha, cujo 73% são atribuídos ao fitoplâncton e as macrófitas terrestres e aquáticas, e 27% a floresta alegada (Junk, 1985). Esta importante produtividade é devida à fertilidade dos sedimentos dos lagos de várzea nos quais a concentração em cátions básicos indispensáveis ao crescimento dos vegetais é 10 vezes mais alta do que a dos solos de terra firme (Victoria *et al.*, 1989).

A determinação dos fluxos de carbono orgânico nos principais afluentes do Rio Amazonas foi estimada na segunda fase do projeto HIBAM, assim como o fluxo de carbono orgânico que é exportado anualmente pelo Rio Amazonas para o Oceano Atlântico (Moreira-Turcq *et al.*, 2003a). Este fluxo representa entre 8 à 10% do que entra, em carbono orgânico nos oceanos, anualmente. Atualmente, nosso maior interesse é de quantificar as trocas laterais das planícies de inundação (várzeas) e ao mesmo tempo o papel que as várzeas ocupam na transferência e na acumulação de sedimentos, dos metais associados assim como da matéria orgânica dentro da Bacia Amazônica. Uma parte do carbono das várzeas é exportada no curso principal do Rio Amazonas; Quay *et al.* (1992) estimam que 40% do carbono dissolvido analisado no Rio Amazonas é produzido nas várzeas. Vários autores (Victoria *et al.*, 1989; Richey *et al.*, 1988; Junk, 1985 and 1997) têm evidenciado o papel das várzeas nos balanços de matéria e principalmente no que diz respeito à matéria orgânica (Moreira-Turcq *et al.*, 2003b) e aos metais pesados associados que podem ser à origem de problemas de contaminação serio da cadeia trofica aquática até o homem (Maurice Bourgoin *et al.*, 2000 e 2002). Aparentemente estes sistemas, extremamente produtivos, representam uma fonte de matéria orgânica labil para o Amazonas que é caracterizado por uma pobre produção autóctona. Somente a partir da determinação e identificação das diferentes contribuições poderemos finalmente propor um ciclo total de carbono para a Bacia Amazônica. Estudos recentes sobre a dinâmica da matéria orgânica mostraram que os traçadores orgânicos são ferramentas úteis na caracterização e quantificação de compostos orgânicos encontrados no material em suspensão e em sedimentos de fundo (Hedges *et al.*, 1997).

A combinação destes múltiplos traçadores, e a busca de novos traçadores permitirá a identificação das diferentes fontes da matéria orgânica presente nas várzeas (matéria em suspensão), assim como os principais processos biogeoquímicos responsáveis por esta distribuição e simultaneamente o estudo da matéria orgânica sedimentar permitirá uma reconstituição paleo-hidrológica recente das várzeas (300 anos).

Um dos resultados mais relevantes do antigo projeto HIBAM foi a estimação precisa dos aportes de sedimentos do Rio Amazonas assim como a descrição da sua variabilidade temporal na estação de referencia mais a jusante, Obidos. Porem, essa informação relevante não permite extrapolar e calcular de maneira precisa os aportes sólidos ao Oceano Atlântico.

Outro aspecto relevante da participação da UFRJ corresponde à propagação da maré na região estuarina. Está em desenvolvimento um modelo numérico hidrodinâmico a ser configurado desde Óbidos até a plataforma continental, que tentará explicar a complexidade do comportamento da propagação da maré observada nos registros de maré que hoje existem na região. O levantamento proposto de dados de maré na região estuarina ao longo de pelo menos um ano, contribuirá significativamente neste desenvolvimento, desde que será possível avaliar a influência da sazonalidade anual das vazões. O levantamento altimétrico destas estações de medição permitirá a

aferição das variações no nível médio das águas na região estuarina, usualmente considerado constante.

Uma ferramenta de modelagem como a que está sendo desenvolvida servirá a diversas finalidades: apoio à navegação, à estudos morfológicos vinculados ao transporte de sedimentos, suporte para a redução das sondagens batimétricas realizadas pela DHN, e também ao estudo das cheias registradas em cidades ribeirinhas. Para tanto, observações GPS conduzidas próximos aos limnímetros associadas a um modelo geoidal, permitem vincular as observações do nível da água a um referencial altimétrico comum e consistente.

4. PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS

Os principais resultados obtidos ao longo destes 2 anos de projeto são expostos a seguir de acordo com as diferentes linhas de pesquisa de nosso estudo:

4.1 Modelagem das transferências de matéria através dos rios amazônicos

- Aportes da hidrologia espacial através da altimetria radar no acompanhamento da dinâmica hidrológica dos rios –

Os radares altimétricos instalados à bordo de diferentes missões altimétricas emitem uma onda ao nadir, na vertical em direção ao solo. No retorno, o radar recebe o eco refletido pela superfície do plano d'água. A análise do eco permite extrair uma medida muito precisa do tempo de trajeto entre o satélite e a superfície da água. O tempo é transformado em distância considerando-se a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas emitidas. Estas distâncias são calculadas mediante sobre certo período (1 segundo) para obter uma medida mais representativa da distância satélite/ superfície do plano d'água.

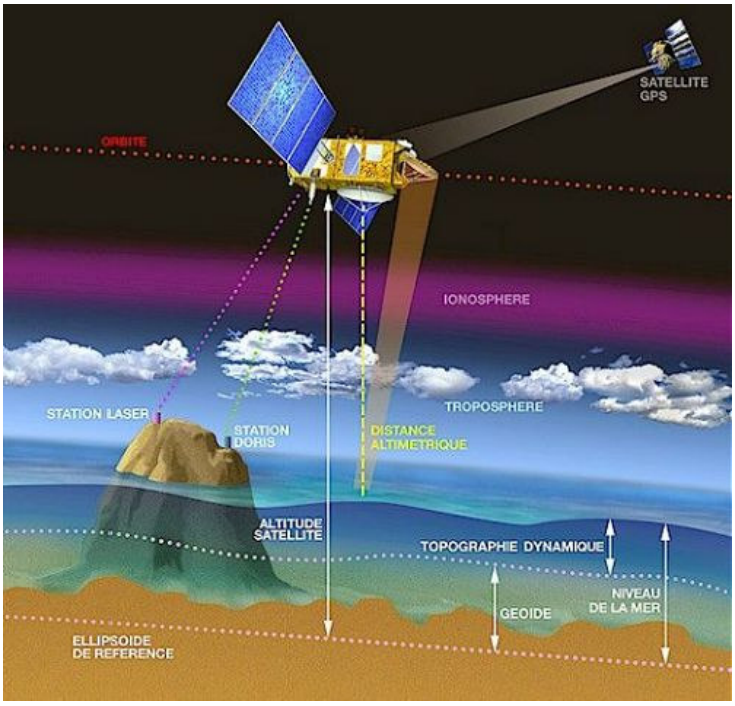


Figura 1: Um radar altímetro instalado à bordo de um satélite emite um sinal à elevada freqüência (mais de 1700 impulsos por segundo) à sua vertical em direção ao solo e recebe de volta o eco refletido pela superfície do plano d'água.

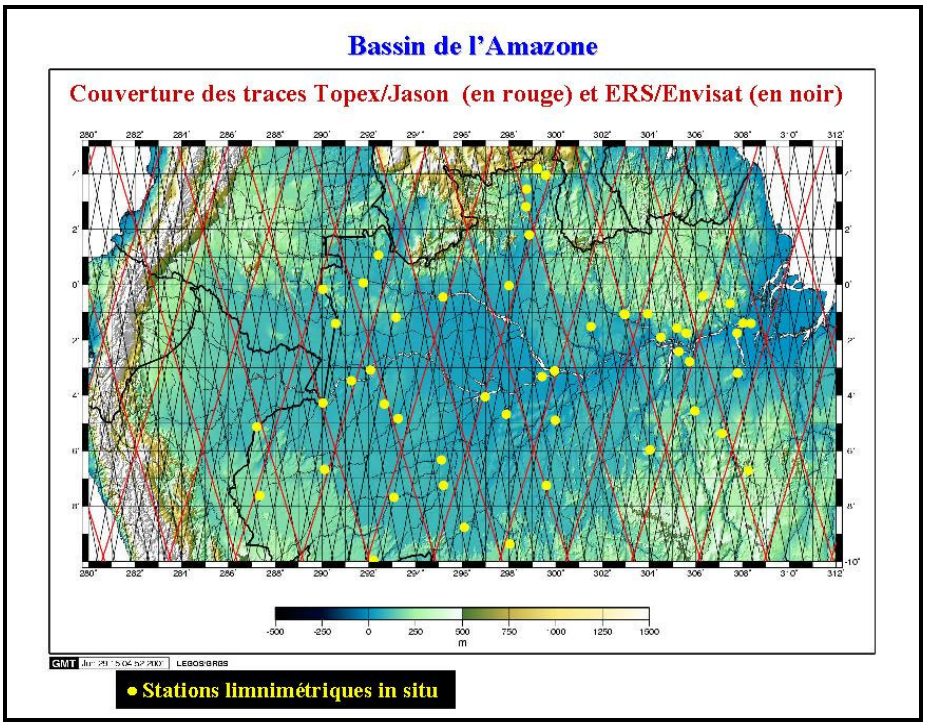


Figure 2: Localisação dos traços T/P em vermelho e ENVISAT em azul na Bacia Amazônica.

Métodos utilizados:

1) Criação das estações virtuais pela seleção dos dados correspondentes ao cruzamento do plano d'água

Cada interseção de um traço altimétrico com o plano d'água consiste numa estação virtual sendo potencialmente possível obter uma série temporal da altura do plano d'água. O princípio da extração é descrito na figura 5. Para cada interseção pode-se extrair o traço altimétrico dos pontos correspondentes ao plano d'água, para tal o mosaico de imagens do satélite JERS do período de cheias é utilizado em segundo plano.

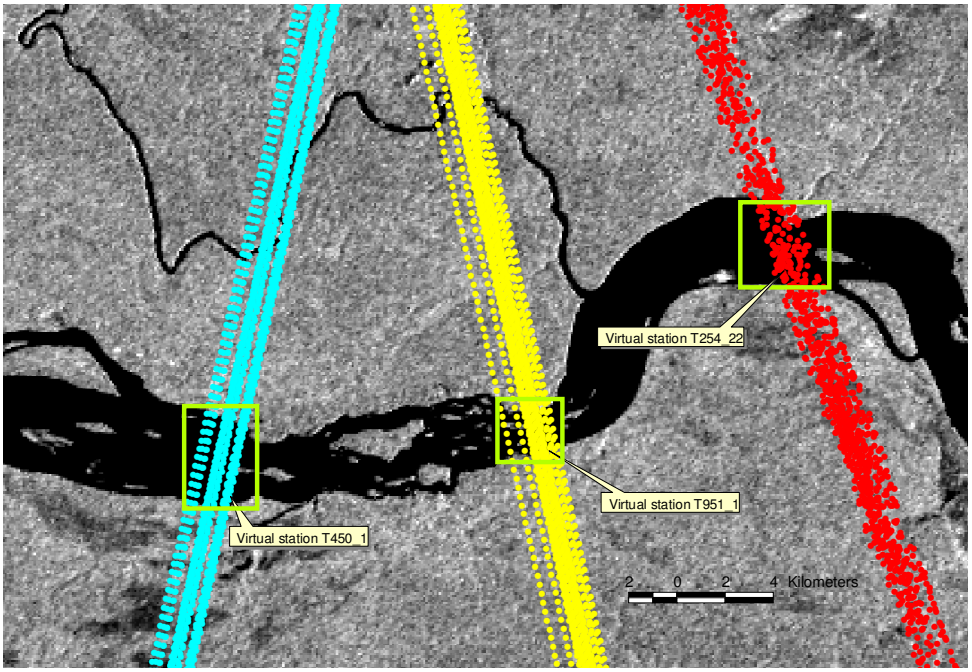


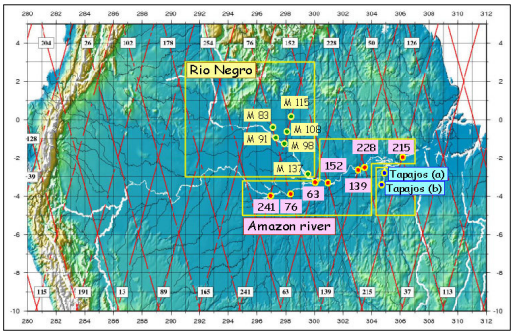
Figure 3: Criação das estações virtuais.

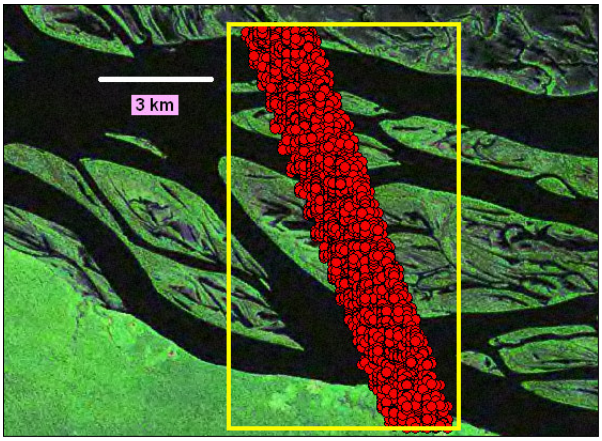
Uma vez os pontos selecionados, os dados altimétricos permitem construir uma série temporal de nível d'água calculando-se a mediana diária do conjunto de medidas, bem como, associa-se uma dispersão caracterizando a qualidade dos resultados obtidos. Tal dispersão é calculada por desvio da mediana (EAM):

$$EAM(h) = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}\left|h_i - h_{med}\right|$$

Onde, N = número de observações
h_i = i^{essima} observação
h_{med} = mediana

A Figuras 4 exemplifica series temporais obtidas a partir dos dados do satélite T/P no rio Negro et no rio Amazonia.





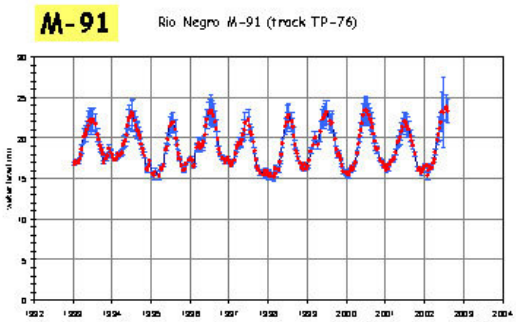
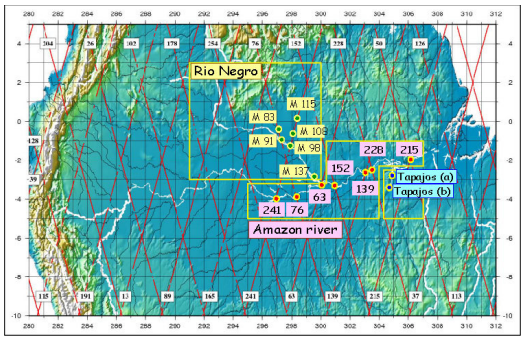
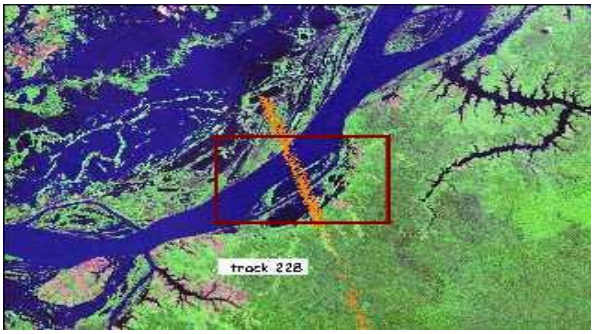


Figure 4-a. Estação virtual no Rio Negro. Dados T/P traço 76. Série temporal mostrando uma variação de 15 à 25 m da altura d'agua.
Origem : Projeto CASH





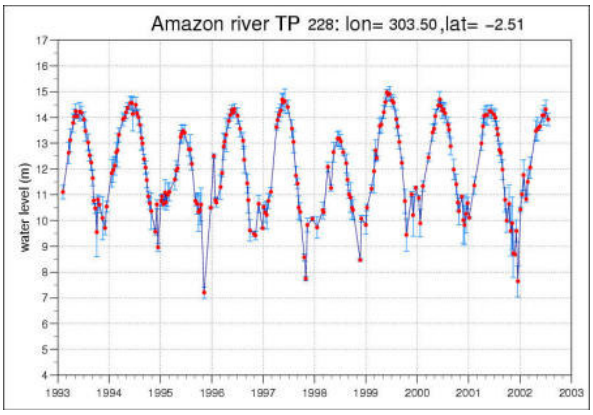


Figure 4-b. Estação virtual no Amazonas. Dados T/P traço 228. Série temporal mostrando uma variação de 9 à 15 mna altura d'agua..
Origem : Projeto CASH

2) Validation des séries temporais :

Para as estações vituais próximas a uma estação in situ, a comparação das series temporais permite quantificar os erros (estimativa RMSE) e eventualmente validar as series obtidas em referência a uma escala de qualificação sistematica. A Figura 5 ilustra uma comparação para a estação de São Felipe no rio Negro.

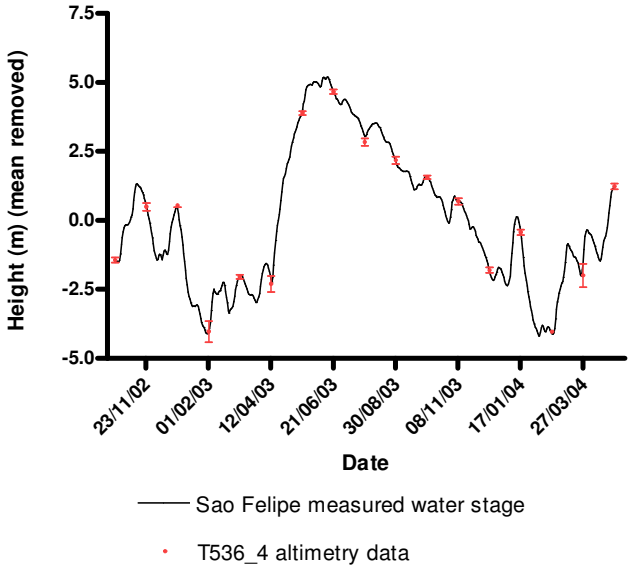


Figura 5 : Comparação entre a série temporal do nível d'água para o satélite ENVISAT (em vermelho) e série in situ (em preto) na estação de São Felipe. O erro RMS entre as duas séries é de 12 cm.

3) Propagação das vazões e estabelecimento das curvas chave para as estações virtuais

As vazões diarias são estimadas para as estações virtuais. O modelo de fluxo ProGUM (Leon et al, submitted) é baseado sob a fomulação difusiva de Muskingum-Cunge da propagação de onda, vastamente utilizada da modelagem de escoamento superficial canalizado (Ponce, 1986 ; Singh and Aravamuthan, 1996, 1997, 1998, Jain and Singh 2005).

$$O_{t+1} = C_0.I_{t+1} + C_1.I_t + C_2.O_t + C_3 Q_L \qquad (1)$$

Onde: I_t é a vazão de entrada, O_t é a vazão de saida no tempo t e Q_L é a media da contribuição da vazão lateral. Os coeficientes C_i estão relacionados com inclinação do fundo do canal, cumprimento do canal, celeridade da onda, numero de Froude e largura.
A curva chave é construida a traves da relacão das vazões propagadas e as alturas altimetricas. Alguns exemplos de curvas de taragem são apresentados na Figura 6.

A curva chave é uma função potência onde os parâmetros permitem a estimação das caracteristicas hidrologicas seguintes: 1. a profundidade equivalente a vazão nula téorica ou fundo equivalente da seção transversal , 2.os coeficientes de rugosidade de Manning.

.

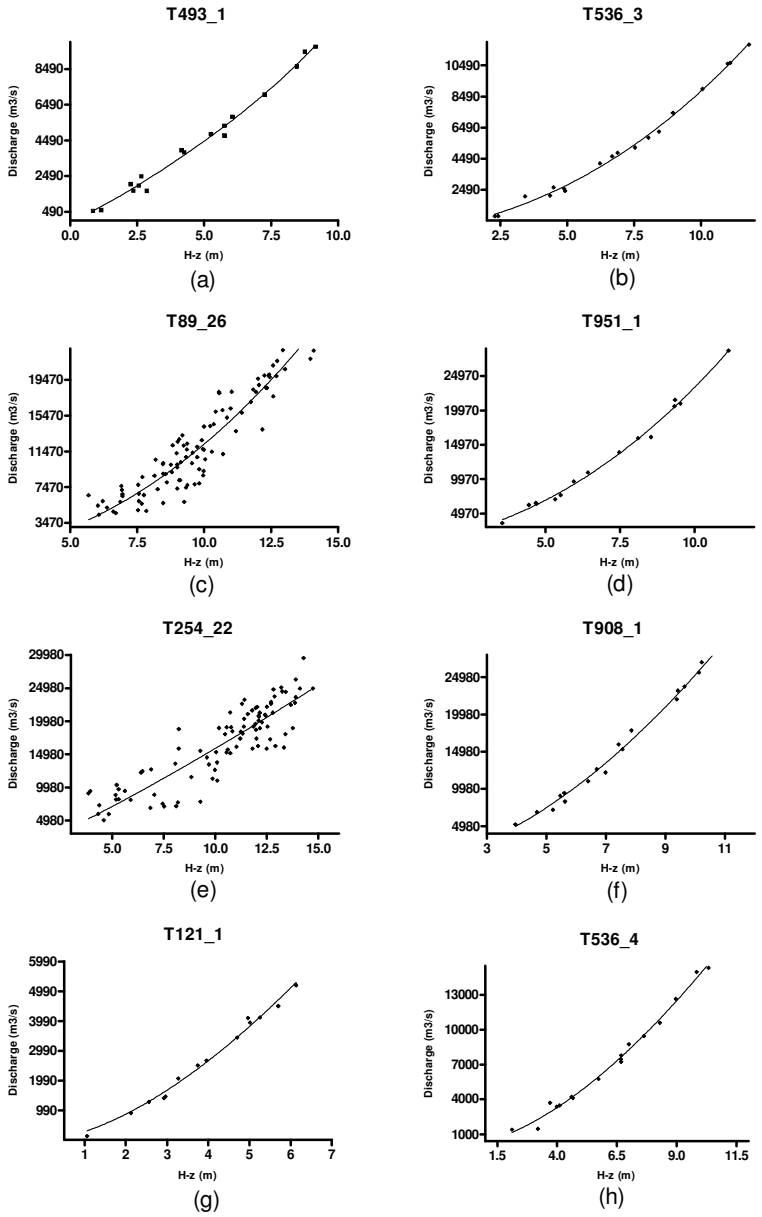


Figure 6

Figure 6. Exemplo de curvas de taragem para algumas estações virtuais da Bacia Amazônica.

4.2. Modelagem das transferências entre o Amazonas e a Varzea do Lago Grande de Curuai

4.2.1.O Modelo 1D : HEVa

Principio do modelo:
De acordo com esta abordagem, a várzea é considerada como um lago ou um conjunto de lagos homogêneos conectados entre si e ao Amazone por canais. A superfície dos lagos (e por conseguinte o seu volume) é função da altura de água de acordo com a relação estabelecida a partir do MNT. As superfícies das bacias vertentes situadas sobre a terra firma (zona sempre emergida), a superfície máxima da bacia de cada lago na zona de transição (delimitado pelo curso principal e a terra firma) foram extraídas do MNT utilizando ArcView. O modelo é forçado pelas alturas de água medidas (ou deduzidos pela razão hidráulica) nos canais de conexão com Amazonas e os dados de chuva. Uma formulação próxima de « Manning Strickler » permite o cálculo das descargas nos diferentes canais, a evaporação é calculada quer por utilização de uma relação empírica função das temperaturas do ar, quer a partir dos dados meteorológicos adquiridos sobre o local. A altura de água (e por conseguinte a superfície e o volume) de cada lago é deduzida por simples balanço entre as contribuições e as perdas de água de cada lago. O modelo é calibrado e validado a partir dos dados de alturas de água diários e das descargas medidas durante as campanhas.
Quando vários lagos são considerados, o elemento cloro, medido na rede de observadores locais, é utilizado como traçador não reactivo, e as etapas de calibração e validação do modelo descansam igualmente sobre a adequação das concentrações de cloro simuladas com as medidas in situ.

4.2.2. Balanço hídrico da zona de inundação

O modelo HEVa permitiu quantificar as descargas trocadas com o Amazonas durante as fases de enchente e vazante (figura 1), de determinar o tempo de residência das águas no sistema que foi estimado de aproximadamente 4,5 ±0.5 meses e de hierarquizar as diferentes fontes de água para o sistema em função do tempo (figura 2) para anos hidrológicos diferentes. Estes resultados são importantes para a interpretação das variações temporais sazonais ou inter-anuais das concentrações em elementos dissolvidos e/ou particulados. Com efeito, se o Amazonas constitui no final do ano sempre a fonte principal de água para a zona de inundação, as contribuições das outras fontes, e em especial a cobertura e a bacia emergida constituem fontes não negligenciáveis (de aproximadamente 20% para anos hidrológicos médios). Para confirmar estes resultados, uma campanha de aquisição e medições de dados específicos (medidas de aguas subterrânea) é contudo ainda necessária.

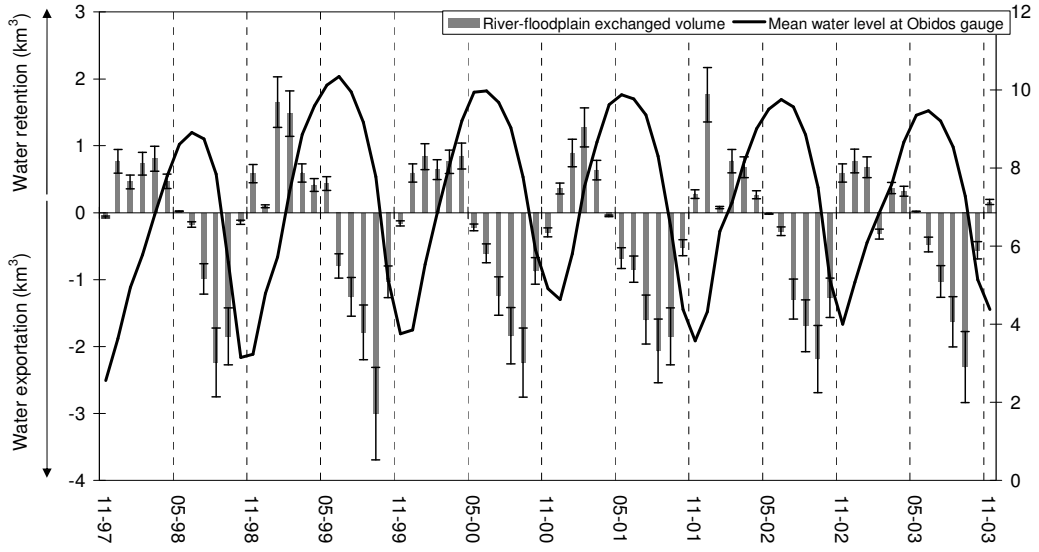


Figure 7 : Volume d' agua trocados entre o Amazonas e a Varzea de Curuai durantye as diferentes fases do Ciclo hidrologico. A linha plena representa a Cota (cm) na estação de Obidos.

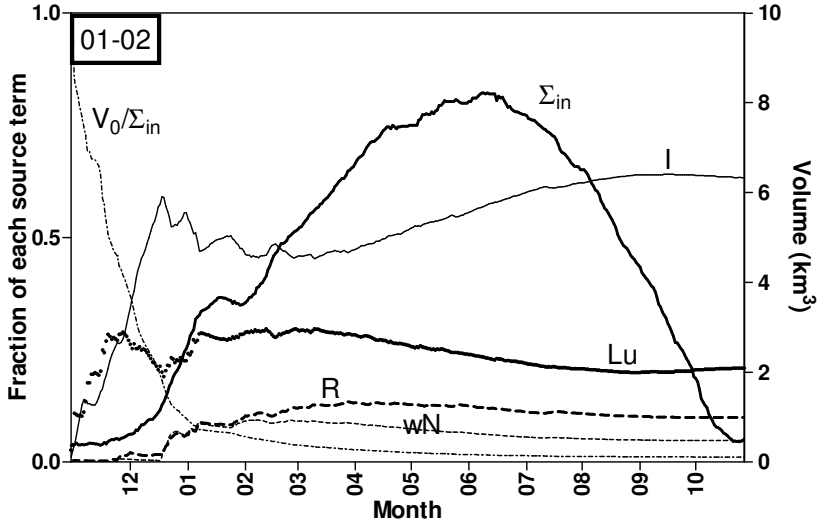


Figure 8 : Contribuição das diferentes fontes de agua : R (chuva direta), wN (bacia situada na zona de influencia do Amazonas), Lu (aportes acumulados no lençol freatico e na bacia exposta), V_0/Σ_{in} (mistura ocorrida no ano anterior).

4.2.3. Balanço hidrosédimentaire

Os dados de material em suspensão foram amostrados a cada dez dias na varzea e na estação de Óbidos) assim como em vários pontos da várzea. O modelo permitiu o cálculo dos fluxos do material em suspensão nos diferentes canais de conexão e por conseguinte permitiu estabelecer um balanço sedimentar da zona de inundação. Em especial, o armazenamento de sedimentos na zona de inundação representa cerca de 50% dos fluxos que entram na varzea (figura 3) os fluxos de exportação ocorrem essencialmente durante a fase de vazante da várzea (diminuição da lâmina d'

agua, efeito do vento sobre os sedimentos de fundo). A modelização 1D não permite contudo tratar leve em conta a dimensão vertical sera necessária.

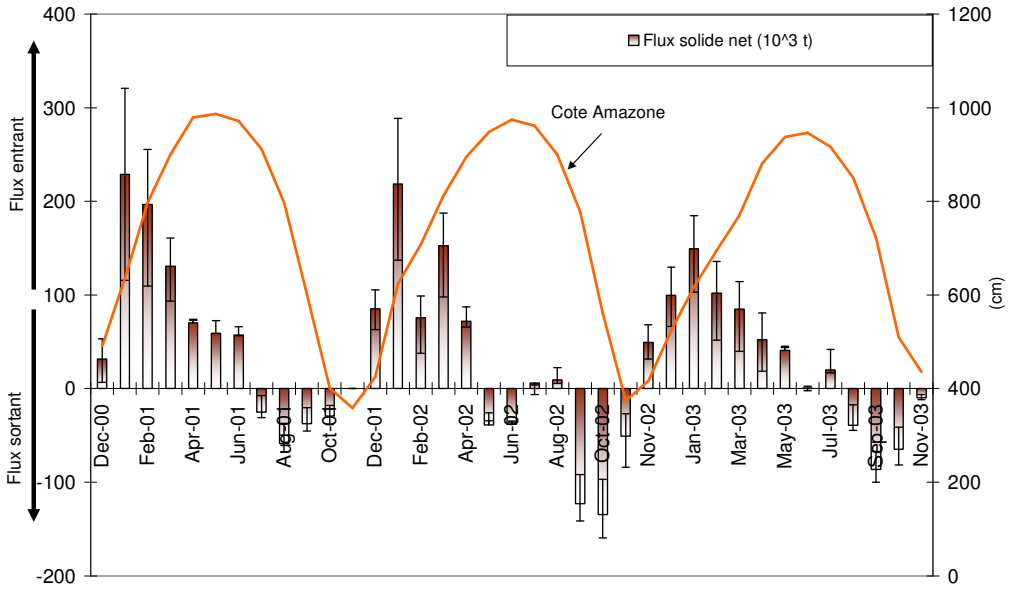


Figura 9 : Fluxos de sedimentos trocados entre a Varzea de Curuai e o Rio Amazonas.

4.2.4. Avaliação das misturas entre os diferentes subsistemas da várzea (entre os diferentes lagos da varzea):

De acordo com esta abordagem, a zona de inundação é representada por um sistema de lagos homogêneos, ligados entre si e ao curso principal por uma rede de canais. O cloro, para o qual as concentrações mensais nos principais subsistemas da várzea estão disponíveis, foi utilizado como traçador após ter sido verificado o seu comportamento conservador, para forçar as trocas entre lagos. O modelo permitiu quantificar as diferentes fontes de água e calcular os tempos de residência médio das águas para cada lago tido em conta. Os resultados mostram grandes disparidades entre os diferentes subsistemas da zona de inundação, os tempos de residência variaram de um factor 2.5 (de 120 para 50 dias), em especial, em função do grau de conexão dos lagos com o Amazonas. A relação entre as diferentes fontes de água e a dinâmica de mistura é igualmente muito variável de um lago ao outro. Estes resultados são importantes para ajudar na interpretação da variabilidade espaço-temporal dos dados geoquimicos.

Uma vez validado o modelo para o cloro e para os outros elementos conservativos, o modelo foi utilizado para identificar os elementos não conservativos no sistema.

O modelo permitiu igualmente, como para o material em suspensão, estabelecer um balanço dos fluxos trocados entre a zona de inundação e o curso principal do Amazonas. Em termos de balanço, à escala anual, os resultados mostram um comportamento globalmente conservador para o conjunto dos elementos estudados (K, Ca, Ba, Sr, Cu, U, Mn, Fe) com excepção dos elementos fortemente influenciados pelas condições redox como Mn, ou Fe que parecem ser retidos fortemente nos lagos. Em contrapartida, à uma escala temporal mais curta, o modelo destaca comportamentos fortemente não conservadores em especial para o Ca e o K. Uma das interpretações propostas descansa sobre um armazenamento sazonal na biomassa vegetal que se desenvolve à superfície dos lagos e na nas margens destes. Contudo, esta hipótese necessita a quantificação da biomassa vegetal bem como o fluxo de elementos associados durante pelo menos um ciclo anual.

4.3. Mapeamento das Zonas Inundadas

O método usado permite mapear a extensão das zonas de enchente, a distribuição da vegetação e de avaliar a quantidade de água presa nos lagos. Este método foi desenvolvido em primeiro na várzea de Curuaí para qual usemos uma série de 21 imagens do satélite JERS adquiridas entre 1993 e 1997.

Quantificando as variações registradas na série de imagens o algarítmo atribui a cada pixel da imagem sua pontencialidade de estar inundada: sempre inundada, ocasionalmente inundada, ou nunca inundada.

Adicionalmente a análise das imagens permite mapear a grande tipo de vegetação: floresta, vegetação pioneira, áreas descampadas. A partir deste mapeamento o mesmo algorítimo é utilizado para explorar seqüências parciais de imagens, para detectar quando um pixel "ocasionalmente inundado" está submergido durante o ciclo de inundação. Essa técnica autoriza estudar a dinâmica de enchente e de definir a relação nível da inundação / superfícies alagadas usando dados sobre o nível das águas da régua de estação hidrológica de Curuai. A integração dessa relação permite computar o volume de água presa nos lagos. A figura 7 mostra a várzea de Curuaí classificada em 7 temas. A figura 8 mostra na parte oeste da várzea a dinâmica de enchente desde o baixo nível de água até o pico de enchente.

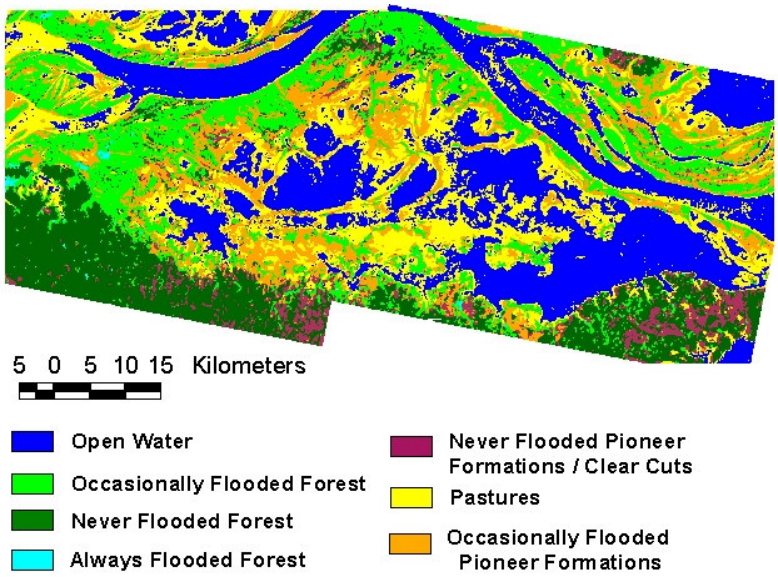


Figure 10. Mapa da várzea de Curuaí monstrando as zonas regularmente alagadas e os principais tipos de vegetação.

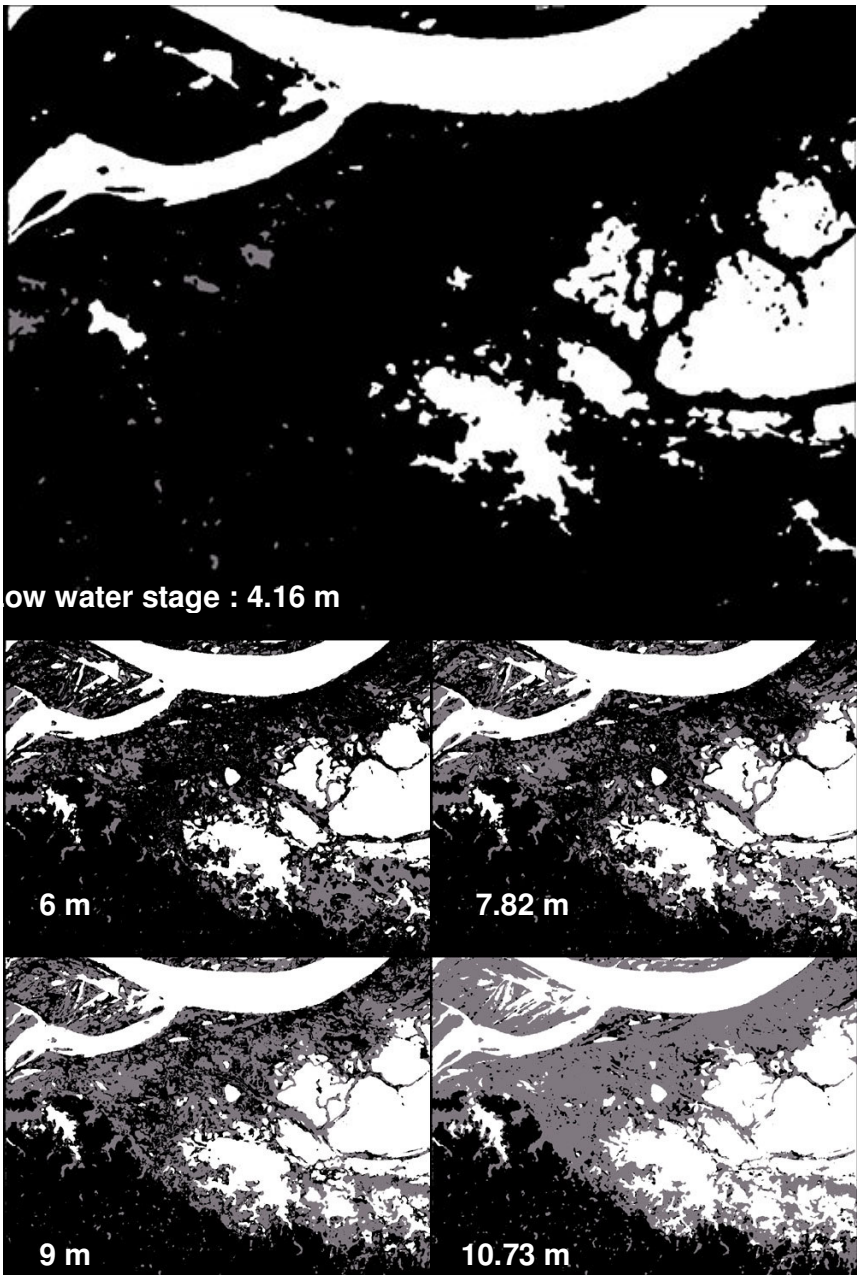


***Figure 11*. Dinâmica da enchente e da vegetação na parte oeste da várzea de Curuai para 5 diferentes níveis de enchente desde o nível o mais baixo das águas (4,16 metros na régua de Curuaí) ate o pico de enchente (10,73 m). Áreas brancas representam zonas totalmente alagadas (lagos e rio), áreas pretas zonas que não são alagadas e áreas cinzas zonas alagadas em baixo da vegetação**

Este trabalho permitiu analisar como a vegetação é distribuída espacialmente em relação a duração da enchente. A figura 9 mostra a percentagem de vegetação inundada em função da duração da enchente para 3 tipos de vegetação: pastagem, vegetação pioneira, floresta. A duração da enchente limita claramente como a floresta se estabelece nas áreas freqüentemente inundadas : só 16% da floresta ocasionalmente inundada está localizada em áreas inundadas mais do que 52 dias por ano, mais 50% desta mesma floresta é localizada em áreas inundadas em menos de 110 dias. Do contrário as pastagens e a vegetação pioneira são localizadas nas áreas freqüentemente inundadas: quase 50% deste tipo de vegetação está localizado em áreas inundadas mais do que 252 dias por ano. Estas observações demonstram o papel essencial da enchente na dinâmica da Várzea.

Adicionalmente se pode notar na figura 12 que uma parte significativa das áreas das pastagens são localizadas em áreas pouco inundadas. Tendo como hipótese que as pastagens, assim como a vegetação pioneira, deveria ficar em áreas freqüentemente inundadas, este fato indica que uma parte significativa das pastagens são na realidade áreas que foram desmatadas.

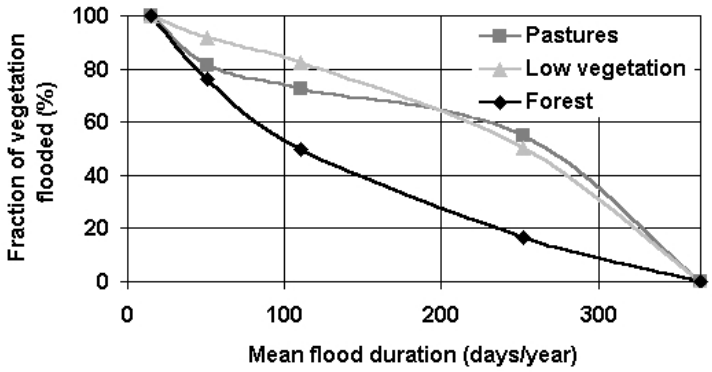


Figure 12: Repartição dos tipos principais de vegetação (pastagens, áreas pioneiras e floresta) ocasionalmente inundados em função da duração media da enchente (dias/ano).

A figura 13 mostra a relação entre o nível da enchente e a superfícies alagadas, definindo uma função de ordem 3. Esta função integrada entre os dois níveis mínimo e máximo nos fornece diretamente o volume de água estocada na planície de Curuai, usando o modelo hidrológico simples para discriminar as águas vindo do Rio Amazonas, da chuva e da bacia local permitiu calcular os fluxos de água entre o Rio e a Várzea. A figura 14 mostra a evolução na década de 90, com os fluxos de água entrando e saindo. Está aparecendo que os fluxos da planície em direção ao rio são altamente variáveis (variação média de 22% neste período de 10 anos) , e que, ao contrário, os fluxos do Rio em direção a Várzea está mais estável (variação média de 10%).

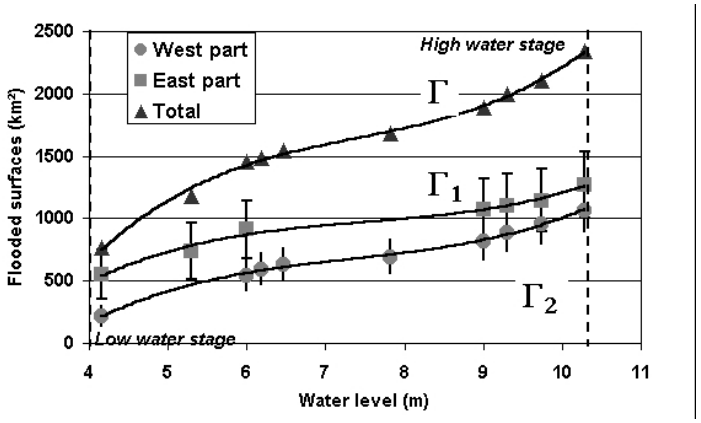


***Figure 13*. Variação das áreas inundadas na várzea em relação ao nível das águas registradas na régua de Curuaí.**

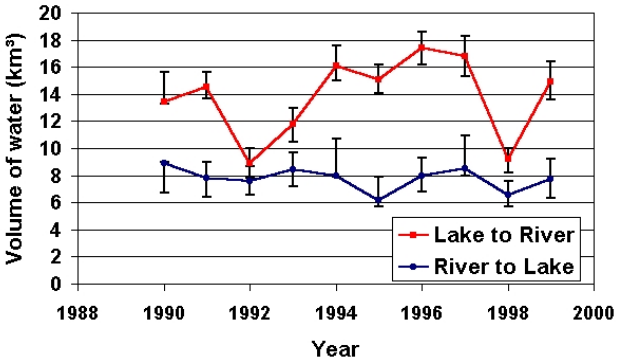


***Figure 14*. Variação dos fluxos de água Rio-Várzea e Várzea-Rio usando um modelo hidrológico simples. Dados coletados usando o banco de dados da ANA na estação de Curuaí.**

A técnica de mapeamento foi aplicada a toda a bacia usando os mosaicos J-ERS disponível sobre a Amazônia. A figure 15 mostra o mapeamento da bacia Amazônica entera. Aparecem claramente as floresta inundadas do Rio Solimões e do Rio Negro. As zonas de cerrados alagadas do Rio Branco e da Bolivia (Rio Mamore e Guapore) são as seguintes maiores zonas de inundações. Este trabalho permitiu de computar para toda a bacia as extensões mínimas e máximas das zonas de enchente : de 210 000 km² ate 610 000 km². Estas primeiras estimativas desde Junk em 1983, são bem superiores aquelas normalmente utilizados (300 000 km²) devido à incorporação das zonas de enchente do Rio Branco, dos afluentes do Rio Madeira e do Rio Solimões.

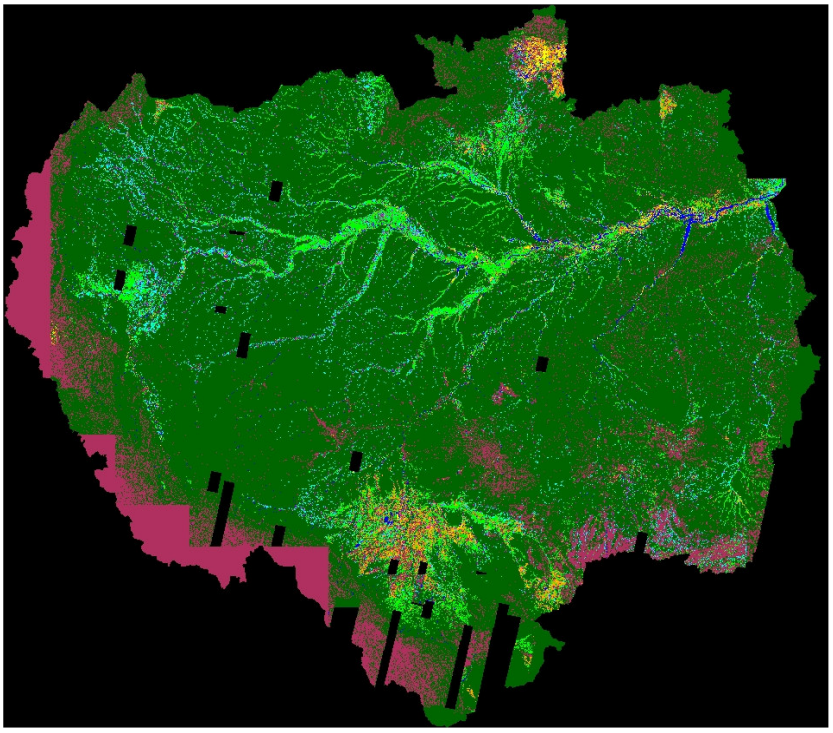


Figure 15: Mapas das zonas de enchente em toda a bacia Amazônica (incluindo o Brasil e os demais paises vizinhos).

4.4. Coloração das Aguas

O objetivo desta parte é de desenvolver uma ferramenta permitindo monitorar o conteúdo em sedimento das águas usando dados de satélite. Analisando várias imagens por ano seria possível estimar a quantidade de material estocado nos lagos e de calcular o balanço sedimentar. Para este objetivo, o método tem que estar baseado sobre uma fonte de dados permitindo obter um grande número de imagens cada ano e de ter uma cobertura espacial larga.

Este compromisso é oferecido pelo Satélite de resolução média como MODIS da Nasa e MERIS da Agência Espacial Européia. Estes sensores têm uma resolução espacial fina (entre 300 a 500 metros) e permite obter imagens duas vezes por dia como MODIS, e a cada três dias como o MERIS, sobre áreas maiores do que centenas de milhares de quilômetros quadrados. O uso de tal satélite é comum para medir as concentrações de clorofila e determinar a produção primária das águas de superfícies dos oceanos, mas o uso deste tipo de dado em águas continentais é ainda raro.

Os primeiros trabalhos realizados usando imagens MODIS e MERIS mostraram o potencial deste tipo de sensor para medir o conteúdo em sedimento. A figura 16 mostra a variação em função do tempo da reflectança medida por MODIS das águas do Rio Amazonas na estação de Obidos em 2002, e a variação de material em suspensão medida a cada 10 dias durante vários anos na mesma estação. A figura 17 mostra a variação da reflectança MODIS para um lago da várzea de Curuaí e as medições de sedimentos realizados no mesmo lago, ambas em 2002. Essa duas figuras demostram que sensores como o MODIS ou o MERIS permitem seguir com precisão o conteúdo em sedimentos das águas de superfície dos rios e dos lagos.

Os futuros trabalhos terão como objetivo determinar como os parâmetros do sensor e as características física e químicas das águas e dos sedimentos afetam a resposta espectral das águas. Esse trabalho tem como apoio a Agência Espacial Européia que aceitou nos fornecer 300 imagens MERIS sobre a Várzea de Curuai e o Rio Amazonas dentro do período 2003/2006.

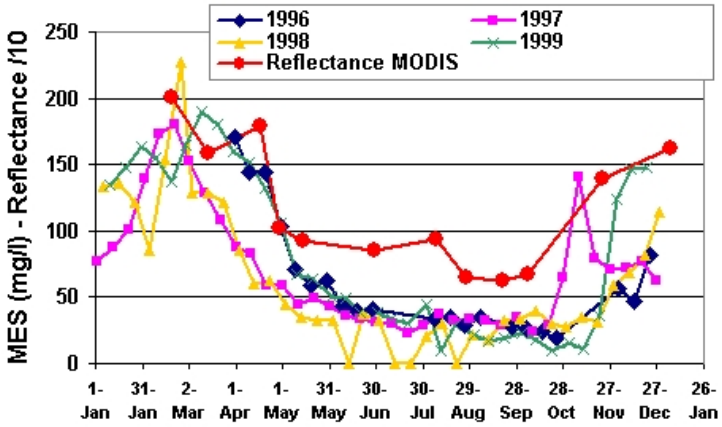


Figure 16 : Reflectanca medida por MODIS (banda do vermelho) em 2002 das águas do Rio Amazonas em Obidos e comparação com a conteúdo em sedimentos medido na mesma estação de 1996 a 1999. A reflectança foi dividida por 10 para uma melhor comparação visual.

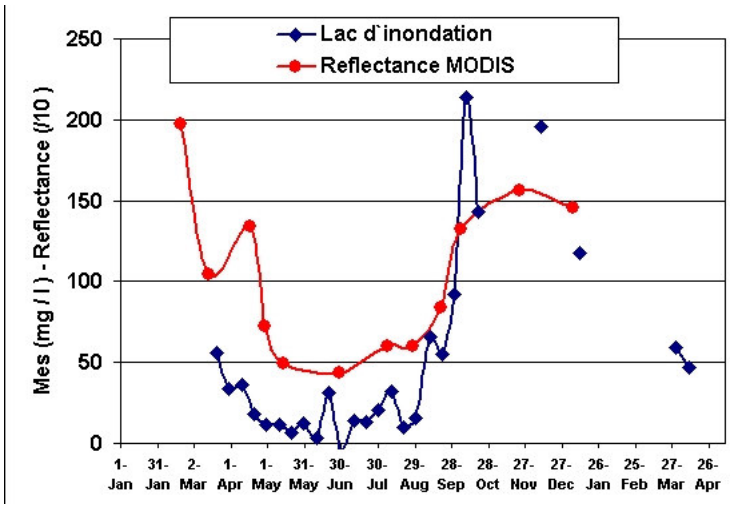


Figure 17 : Reflectanca medida por MODIS (banda do vermelho) em 2002 das águas de um lago da várzea de Curaí e comparação com a conteúdo em sedimentos medido no mesmo ano. A reflectança foi dividida por 10 para uma melhor comparaçãao visual.

4.4. Aplicação do Sensoriamento Remoto ao estudo e análise ambiental nas áreas de várzeas

. O Centro de Sensoriamento Remoto (CSR) é um centro especializado do IBAMA de referência em geoprocessamento aplicado ao meio ambiente, que executa atividades ligadas ao estudo e ao monitoramento dos ecossistemas brasileiros, empregando técnicas de geoprocessamento. O CSR desenvolve estudos e pesquisas que visam conhecer e acompanhar as transformações que se processam no meio ambiente, para dar suporte às atividades desenvolvidas pelo IBAMA, pelo SISNAMA e por outras instituições.

Para alcançar o objetivo geral, foram utilizadas a base cartográfica SIVAM/SIPAM escala 1:250.000; limite Municipal IBGE 1996; e imagens digitais de satélite Landsat-7 - ETM+ órbita ponto 228-61 de 08/07/2002 e ETM+ órbita ponto 228-62 de 08/07/02, bandas 3, 4, 3, para discriminar o antropismo, comparando com o reconhecimento de campo. Foi adotada a interpretação visual em tela para mostrar o uso e ocupação do espaço da Várzea de Curuai/PA (Anexo A). Utilizou-se também o GPS Garmin 12 para adquirir pontos de coordenadas geográficas para controle da interpretação visual e plotar alguns pontos não existentes na base cartográfica utilizada.

Durante o trabalho de campo foi aplicada a técnica de entrevistas abertas com os habitantes locais, para perceber os aspectos socioeconômicos e ambientais da Várzea, bem como, verificar como os habitantes percebem a relação entre si e o IBAMA no que tange ao monitoramento da pesca.

Os resultados obtidos durante a realização da pesquisa tiveram como meta buscar informações referentes aos aspectos socioeconômicos e ambientais e detectar as alterações antrópica, por meio de interpretação visual em tela de imagens digitais de satélite. Estes resultados são para complementar as informações do Projeto ProVárzea o qual atua em duas áreas pilotos: uma no município de Parintins/AM e outra no município de Santarém/PA; apresentou-se os seguintes produtos: Carta Imagem (Anexo A) identificando a ação antrópica e pontos coletados por meio de GPS; imagem classificada (prelliminar) e entrevistas com os habitantes locais.

De acordo com a interpretação visual em tela e com o trabalho em campo chegou-se ao seguinte resultado: Observando a legenda da carta imagem anexo, pode-se verificar que a cor rosa e verde claro significa antropismo, a cor verde escuro significa vegetação, a cor magenta a hidrografia, a cor branca as nuvens, além dos pontos plotados que significam as comunidades que vivem as margens do lago é áreas de relevante antropismo.

A imagem foi classificada preliminarmente com o algoritmo de classificação não-supervisionada Isodata, que é descrito como um meio de interpretação de imagens de sensoriamento remoto assistida por computador. O programa de classificação identifica padrões típicos nos níveis de cinza. Esses padrões são classificados efetuando-se visitas de reconhecimento a alguns poucos

exemplos escolhidos para determinar sua interpretação. Em razão da técnica usada nesse processo, os padrões são geralmente referidos como "clusters" (agrupamentos ou nuvens). Neste tipo de classificação, as classes são determinadas pela análise de agrupamentos ("cluster analysis").
Podemos dizer que, no caso das classificações não-supervisionadas, quanto maior a heterogeneidade das amostras, maior a certeza de que todas as classes possíveis estarão representadas. Os pixels nas áreas de treinamento são, então, submetidos a algoritimos de agrupamentos ("clustering"), que determinam o agregamento natural dos dados, considerando sua distribuição num espaço de n dimensões (no caso, bandas espectrais).
Os resultados da pesquisa indicam uma população que vive das atividades de pesca, agricultura e pecuária. A agricultura é de subsistência praticada por todos os habitantes ribeirinhos, cultivam milho, macaxeira, mandioca, pimentão, além dos frutos, como melancia, tomate, melão e maracujá. A pecuária está voltada para a criação de búfalo e gado nelore, que segundo os depoimentos dos moradores, adaptam-se bem as condições da várzea.
As Comunidades de Cativo, Piedade e Curuai, localizam-se no Município de Santarém, Igarapé das Fazendas no Município de Juruti/PA, essas comunidades vivem com exclusividade da atividade pesqueira. As condições de vida são precárias no que se refere à educação, saúde, alimentação, transporte, e energia elétrica; contam com 3(três) horas por dias de energia elétrica, utilizando-se geradores, o que resulta em custo muito alto para os moradores.
Finalmente, constatamos que as atividades de pesca e agricultura, praticadas por todas as comunidades, são as principais fontes de renda, assim como formam a base alimentar das comunidades. Os peixes que mais ocorrem na região são o tambaqui, mapará, tucunaré, surubim, Curimatã e o pirarucu em menor escala.

4.5 Utilização conjunta de modelagem hidrodinâmica e imagens de satélite para estimativa da superfície de planícies de inundação: – curso médio do rio Amazonas

Um modelo hidrodinâmico unidimensional (SIC, Baume (2005)), foi aplicado na propagação de ondas de cheia nos rios da bacia Amazônica de Manaus a Óbidos com vistas a estimar a superfície de planícies de inundação. As campanhas das medições foram executadas em períodos diferentes do ciclo hidrológico, incluindo as seções transversais, os níveis do leito, as vazões e os perfis da velocidade, limitadas, no entanto ao leito médio dos rios. A calibração no regime não permanente ajustando os hidrogramas observados e calculados é usada para determinar as dimensões do leito maior ao longo do rio, quantificando o volume armazenado para níveis diferentes da superficie livre. Foram empregadas imagens de radar do satélite japonês JERS-1, provenientes do projeto de mapeamento global da floresta tropical (*Global Rain Forest Mapping* – GRFM). Os mosaicos foram recortados e classificados pelo método da máxima verossimilhança conjuntamente com o uso do método de textura GLCM relativas às métricas de dissimilaridade e homogeneidade. À montante, localizam-se as estações de Manacapuru no rio Solimões, Moura no rio Negro e Fazenda Vista Alegre no rio Madeira, enquanto, a jusante, o limite é representado pela estação fluviométrica de Óbidos. O comprimento total do sistema é de 1.200 km.

Dados utilizados: As séries de vazão e cota foram obtidas da rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA). Informações de altimetria nas estações fluviométricas foram retiradas de levantamentos realizados por um projeto que envolveu a Universidade de São Paulo (USP), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e HiBAm (Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica). As batimetrias das seções dos rios foram levantadas pelo HiBAm.

A calibração em regime permanente consistiu na determinação do valor do coeficiente de rugosidade *n* de Manning nos trechos localizados entre duas estações fluviométricas. Apesar do coeficiente *n* ter apresentado uma variação com respeito à cota do rio, optou-se por atenuar essa variação acrescentando-se um leito médio paralelo ao canal principal do rio.

Regime transitório: Nesta fase, a determinação do leito maior, responsável pelo armazenamento de parte da vazão, foi o único parâmetro determinado. Uma simulação sem o leito maior (Figura 18) foi realizada para que se calculasse, por diferença, o volume de água armazenado durante cada evento de cheia. Considerou-se que um evento de cheia corresponde ao ano hidrológico. Utilizou-se a série de vazões observadas em Óbidos e a vazão calculada pelo modelo. De acordo com a figura 1, o volume do leito maior pode ser determinado subtraindo-se a vazão calculada (Q_{Calc}) da vazão observada (Q_{Obs}) em Óbidos. Acumulando-se os valores da diferença entre Q_{Calc}(sem leito maior) e Q_{Obs}, pode-se determinar a variação do volume armazenado com respeito à vazão em Óbidos.

A figura 19 mostra essa variação, durante a fase de ascenso, para cada ciclo de cheia. A curva interpolada indica a variação do volume armazenado com a vazão em Óbidos. Conclui-se que o volume total armazenado no leito maior do sistema é de 200.000 hm^3, quando em Óbidos a vazão é de 250.000 m^3/s. A partir desse resultado, procedeu-se a determinação da geometria do leito maior (largura e cota do fundo).

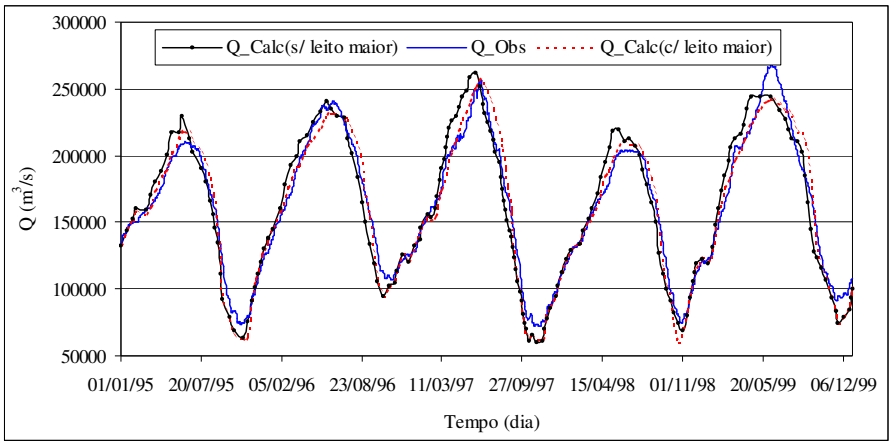


Figura 18 – Hidrogramas observados e calculados sem e com o leito maior

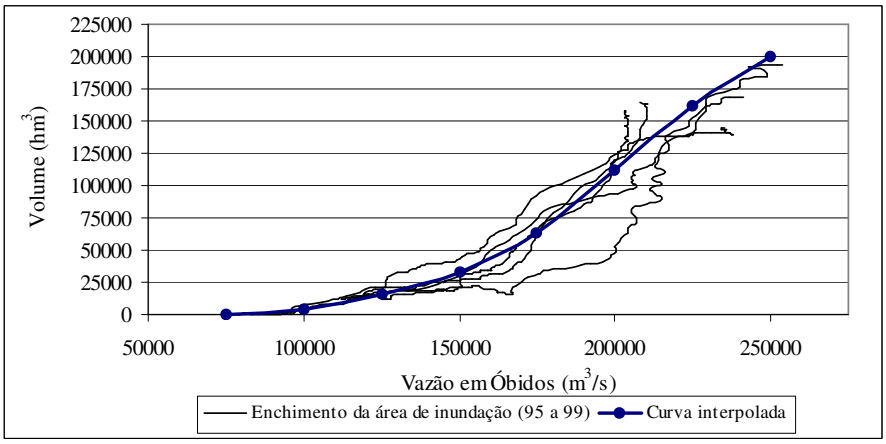


Figura 19 – Curvas "Volume armazenado x Vazão em Óbidos" para cada ciclo e curva interpolada

A construção da área de inundação resultaram em uma simulação com valores calculados da vazão em Óbidos com leito maior mais próximos dos observados quando comparados com a simulação sem leito maior, conforme pode ser visto na figura 1. De acordo com as dimensões atribuídas ao leito maior na simulação em regime transitório, pode-se chegar às dimensões da área de inundação no trecho entre Manacapuru e Óbidos. Chega-se ao valor de 29.700 km^2.

Obtenção da superfície da planície de inundação utilizando-se imagens de satélite

Condições hidrológicas na época de aquisição das imagens são representativas das condições extremas, próximas da estiagem e da cheia do ciclo hidrologico 95-96.

Estabelecida a distinção em termos de época de cheia e época de vazante, os mosaicos para a área de estudo foram recortados e submetidos aos processos de classificação. Explorou-se o método da classificação não supervisionada seguida de uma classificação supervisionada através do método de máxima verossimilhança conjuntamente com o uso do método de textura GLCM (*gray level coocurrence matrix*).

Em termos de área de inundação, pode-se estimar 24 244 km^2 na época da cheia.

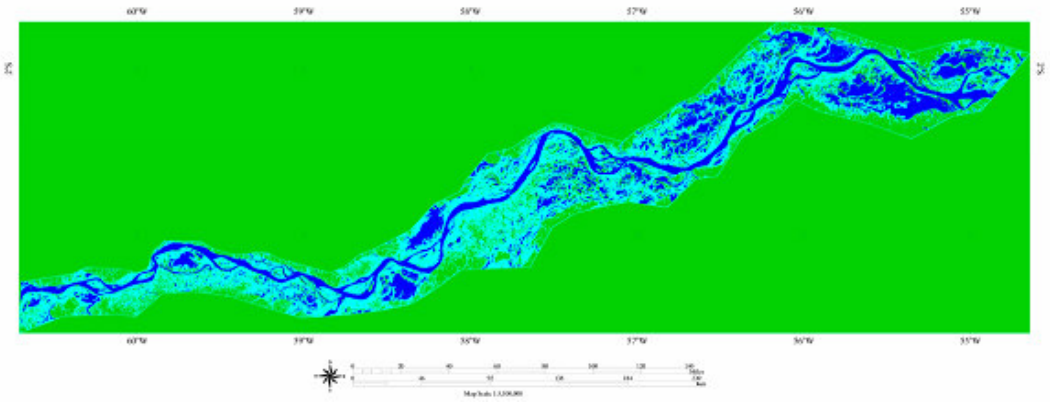


Figura 20 – Imagens classificadas pelo método da máxima verossimilhança nos mosaicos da cheia .

Dispõe-se apenas de 2 imagens que correspondem a duas situações extremas. A evolução temporal das superfícies inundadas é considerada unicamente com os cálculos do modelo hidrodinâmico durante a subida das águas.

Um passo adiante a ser feito é o uso de levantamentos altimétricos para auxiliar o cálculo dos volumes armazenados e liberados. Para isso, é necessário acoplar essas imagens com medidas altimétricas, diretamente no campo, com as réguas das estações hidrológicas e as interpolações, ou com medidas de linhas de água durante campanhas de medições, ou via dados complementares usando outros satélites. A utilização de um modelo hidrodinâmico bem calibrado surge como uma alternativa interessante (e de menor custo) porque permite obter linhas de água contínuas sobre toda a rede modelada. Este trabalho, onde a imagem aparece como uma ferramenta, pode ser feito em sentido inverso. Em outras palavras, nos modelos hidrológicos, onde é necessário avaliar os volumes armazenados, o modelo hidrodinâmico pode aparecer como um instrumento que permite quantificar esses volumes e confirmar a altimetria, fornecendo linhas de água contínuas. Nesse caso, trata-se, então, de um apoio para o tratamento das imagens.

4.6. Estudo do papel das várzeas nas transferências de sedimentos e elementos químicos

Na fase anterior do Projeto HiBAm a equipe de pesquisadores concentrou seus esforços na determinação dos processos hidrológicos e geoquímicos existentes ao longo dos grandes rios Amazônicos. Durante esta fase inicial ficou nitido que as trocas laterais com as várzeas também são extremamente importantes para a compreensão dos balanços de matéria (agua, sedimentos e elementos quimicos) na Bacia como um todo.

Entre os varios elementos quimicos estudados durante o projeto, neste relatorio, concentraremos nossa atenção para o caso do mercurio, cations e carbono orgânico.

4.6.1. Mercurio, elementos traços e cations.

O mercurio sob sua forma inorgânica não apresenta perigo para o homem nem para os organismos aquaticos. Mas é um elemento de grande importância para o meio ambiente, visto que sob a forma de metil mercurio ele é extremamente toxico para os animais assim como para o homem. O objectivo principal foi o de estudar e quantificar o papel das interacções entre o rio Amazone e os lagos de inundação nos processos de transporte, depósito, transformação e transferência do mercúrio. A partição do mercúrio será correlacionada nas águas, à presença dos principais ligands em solução (Cl -, OH -, SO42 -, COD, COP, FE, Al, Mn) e nos sedimentos, ao pH e a qualidade organomineral das partículas.

A distribuição cations (figura 21) e os resultados dos aniões nas águas superfíciais da varzea permitiu-nos verificar que a maior parte dos lagos é alimentada em grande parte pela água do rio Amazone dado que as concentrações destas variáveis estão próximas das medida no rio. Em contrapartida, os lagos de água preta (A33 10, A33-a, A33-b et AT20) são influenciados mais pelas águas de chuva que drenam as sub-bacias florestais. Esta mistura é também perceptível sobre a distribuição longitudinal dos cations no lago Grande (AT20, A43, A42 et A40ter).

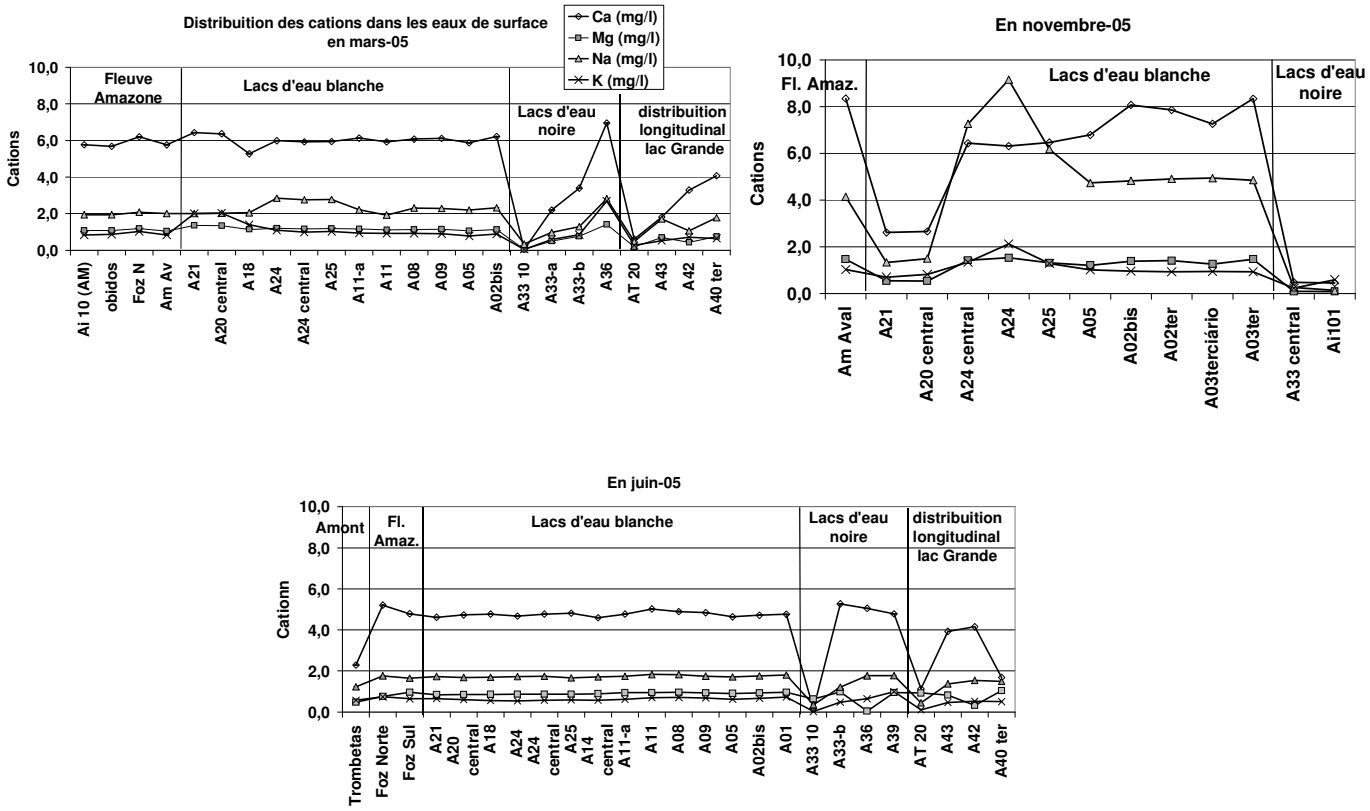


Figure 21. Distribuição dos cations nas aguas superficiais dos Lagos de inundação da Varzea de Curuai, em março, junho e novembro de 2005.

Nas águas superficiais dos lagos de inundação, as concentrações mais fortes em mercúrio são observadas durante a subida da cheia, em Março (Fig. 22); e as mais fracas observado durante o pico da cheia devido à diluição das águas pelo Rio. Observa-se perdas de mercúrio dissolvido nos primeiros centímetros em superfície devido à formação de mercúrio gasoso dissolvido por fotoredução e a sua volatilização na atmosfera. Em contrapartida, nos lagos de águas pretas,

observa-se uma tendência oposto entre as elevadas e baixas águas devido aos fortes teores em matéria orgânica coloidal.

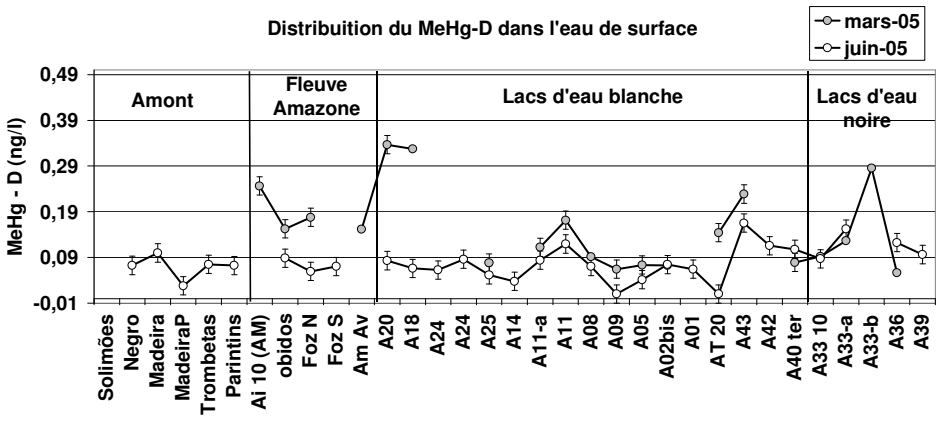


Figure 22. Distribution de HgT-D nas aguas superficiais dos lagos da Varzea de Curuai em março e junho de 2005.

Em Março de 2005, as concentrações de métil mercurio dissolvido (MeHg-D) nos quatro principais lagos foram comparadas com a temperatura, O2 dissolvido e o COD. Observa-se que as concentrações em MeHg-D máximos estão à 1/3 da profundidade dos lagos; estes picos, frequentemente, são correlacionados aos valores mínimos de oxigénio dissolvido e ao COD na coluna de água. Este comportamento talvez esteja associado à uma atividade bacteriana mais intensa à esta profundidade. Além disso, devido à forte insolação solar, as fracas concentrações medidas em superfície podem ser explicadas pelo processo de foto-oxydation metilo- Hg (Amyot e Al, 1997; de Schmolke e Al, 1999; de Lindberg e Al, 2000 e Beucher e Al, 2002) que passa sob forma elementar (Hg°) libérada sob forma gasosa para atmosfera por volatilização sob a acção do vento.

4.6.2. Carbono Orgânico

.Nossos primeiros resultados sobre a retenção de material dentro dos lagos mostram que os sedimentos e alguns elementos quimicos como o carbono são armadilhados no interior dos lagos.

As águas do Rio Amazonas são consideradas relativamente pobres, quanto ao teor em matéria orgânica, em relação às águas das Várzeas, principalmente quanto as concentrações em carbono e nitrogênio orgânico particulado. As várzeas são ambientes extremamente produtivos (grande parte desta produção é oriunda do fitoplâncton, das macrófitas e do perifiton). Grande parte desta produção é retida nos sedimentos das várzeas (em média 20%), outra fração é degradada in situ e o restante é exportado para o rio, enriquecendo este em uma matéria orgânica bem mais lábil do que aquela que estava sendo transportada, que é caracterizada por uma origem altamente refrataria. Outro importante resultado obtido ao longo destes dois anos foi uma primeira estimativa da taxa de sedimentação nas Várzeas, sendo que esta varia de 0,42 cm yr^{-1}, na superfície à 1,34 cm yr^{-1} ao longo do testemunho. Também estimamos a acumulação média de matéria orgânica nas várzeas (100 gC m^{-2} yr^{-1}) (Figura 23).

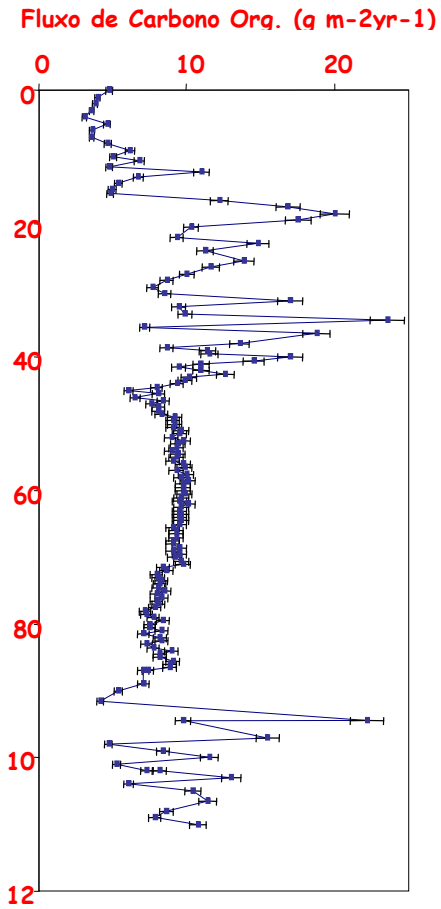


Figura 23: Acumulação de carbono organico nos sedimentos da varzea de Curuai, em uma escala secular.

Com o objetivo de melhor compreendermos o papel das várzeas na acumulação de matéria dentro dos lagos de várzea realizamos em agosto de 2004 uma extensa campanha para a realização de um levantamento sísmico (Figura 24) com o objetivo de conhecermos a geometria dos sedimentos lagunares. Durante a mesma campanha, após a análise dos perfis sísmicos realizamos a coleta de 10 testemnhos longos que estão sendo estudados por diferentes alunos de mestrado e doutorado do Programa de Geoquímica da Universidade Federal Fluminense.

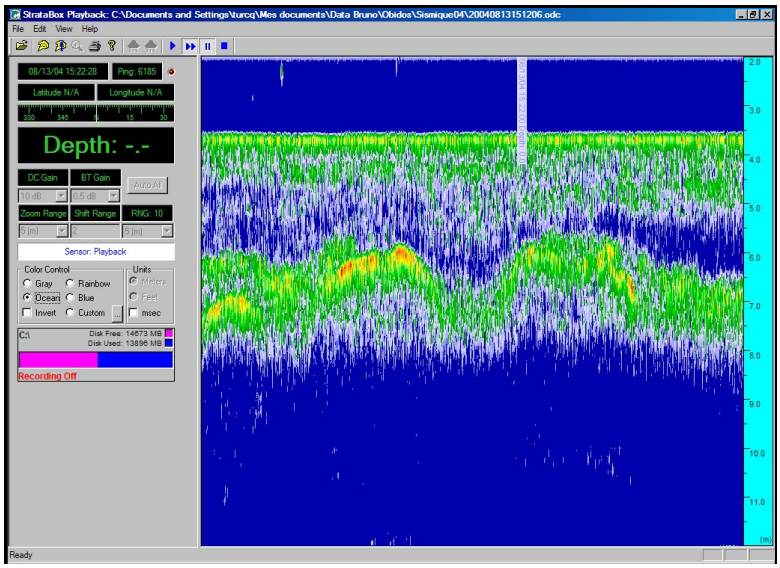


Figure 24: Exemplo de um perfil sismico obtido na varzea do Lago Grande de Curuai, onde nos podemos observar um paleo-canal..

References :

Amoros C. and Petts G.E., 1993. Hydrosystèmes fluviaux. Mason Ed., Collection d'Ecologie 24, pp300.

Araújo-Lima, C.R.M.,Forsberg, B.R.,Victoria, R. and Martinelli, L.1986. Energy sources for detritivorous fishes in the Amazon. *Science*, **234**:1256-1258.

Barbosa A.C., Silva, S.R.L., and Dórea, J.G., 1998. Concentration of mercury in hair of indigenous mothers and infants from the Amazon basin. *Environ. Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **34**: 100-105.

Bayley, P. B., 1995. Understanding Large Rivers - Floodplain Ecosystems. *BioScience*. 45 (3): 153-158.

Birkett, C.M., 1998. Contribution of the TOPEX NASA radar altimeter to the global monitoring of large rivers and wetlands. *Water Resour. Res*., 34 (5), 1223-1239.

Bjerklie, D.M., Dingman, S.L., Vorosmarty, C.J., Bolster, C.H., Congalton, R.G., 2003. Evaluating the potential for measuring river discharge from space. *J. of Hydrology*, 278, 17-38.

Cazenave, A., P. Bonnefond, K. DoMinh. Caspian sea level from Topex/Poseidon altimetry: level now falling. Geophys. Res. Lett. (1997) 24:881-884.

Dingman, S.L., Sharma, K.P., 1997. Statistical development and validation of discharge equations for natural channels. *J. of Hydrology*, 199, 13-35.

Dolbec J., Mergler D., Larribe F., Roulet M., Lebel J. and Lucotte M., 2001. Sequential analysis of hair mercury levels in relation to fish diet of an Amazonian population, Brazil. *Sci. Total Environ*., **271**: 87-97.

Gallo, M.N. e Vinzon, S.B., 'Estudo simplificado da propagação da mare em rios e estuários. Caso de estudo: rio Amazonas', XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, 2003

Gundersen, K. 1990. Sampling precision and preservation of sediment trap material. 6-35pp. In: Wassman, P. *et al.* (eds), Sediment Trap Studies in the Nordic Countries. Vol. 2.

Grace J. and Malhi Y., 2002. Carbone dioxide goes with the flow. *Nature*, **416**:594-595.

Guimarães J.R.D., Meili M., Malm O. and Sousa Brito, 1998. Mercury methylation in sediments and floating meadows of a tropical lake in Pantanal, Brazil. *Sci. Tot. Environ*., 213: 165-176.

Guimarães J.R.D., Malm O. and Pfeiffer W.C., 1995. A simplified radiochemical technique for measurements of net mercury methylation rates in aquatic systems near gold-mining areas, Amazon, Brazil. *The Sci. of Total Environ*., 175 :151-162.

Junk WJ. 1985. The Amazon floodplain: a sink or source for organic carbon? In Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers, Pt3. SCOPE/UNEP (Ed), 267-283.

Junk W.J., Bayley P.B. and Sparks R.E., 1989. The Flood pulse concept in river-floodplain systems. *In* D.P. Dodge (Ed), Proceedings of the International Large River Symposium. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.,* 106 :110-127.

Junk, W.J., Piedade, M.T.F. 1993. Biomass and primary production of herbaceous plant communities in the Amazon floodplain. *Hydrobiologia*, 263:155-162.

Junk W.J., 1997. The central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system, Springer Berlin (Junk WJ, Ed), Heidelberg, New York.

Kosuth, P., Cochonneau, G., Seyler, F., Guyot, J.-L., Campos de Oliveira, I., Maheu, C., Cazenave, A., 2003. Premiers résultats et perspectives de l'altimétrie pour le bassin amazonien. Rapport quadriennal CNFGG.

Kosuth P., Hydrological dynamics of the varzea of Lago Grande de Curuai. In *2nd LBA (Large Scale Biosphere Atmosphere) Scientific Conference*, Manaus July 2002, Brazil.

Kostaschuk R., e Villard, P., Flow and sediment transport over large subaqueous dunes: Fraser River, Canadá, Sedimentology, 43, 849-863, 1996.

Kostaschuk, R., A field study of turbulence and sediment dynamics over subaqueous dunes with flow separation, Sedimentology, 47, 519-531, 2000

Lebel, J., Mergler, D., Branches, F., Lucotte, M., Amorim, M., Larribe, F. and Dolbec, J., 1998. Neurotoxic effects of low-level mercury contamination in the Amazonian basin. *Environmental Research*, A79:20-32.

Leon, J.G., Bonnet, M.P., Cauhope, M., Calmant, S. and Seyler, F. 2005. Distributed water flow estimates of the Upper Negro River using a Muskingum-Cunge routing model constrained by satellite altimetry. Submitted to Journal of Hydrology.

Leon, J. G., S. Calmant, F. Seyler, M-P Bonnet, M. Cauhopé, F. Frappart, N. Filizola, Rating cruves and estimation of average water depth at the upper Rio Negro river based on satellite altimeter data and modeled discharges, J. of Hydrology, 2006 (in press)

Lund, J.W.G., Kipling C. and Lecren, E.D. 1958. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimating by counting. *Hydrobiologia*, 11: 143-170.

Mackereth, F.J.H., Heron, J.R. and Talling, J.F. 1978. Water analysis some revised methods for limnologists. Cumbria, Freshwater Biological Association. 120 p. (Scientific Publication, 36).

Maheu C., Cazenave A. and Mechoso R., 2003. Water level fluctuations in the La Plata basin South America) from Topex/Poseidon altimetry, *Geophys. Res. Lett.,* in press.

Martinez J.M., Kosuth P., Cochonneau G., Maurice-Bourgoin L., Seyler F., Bourrel L. and Guyot J.L, 2003. Application of remote sensing data for the quantification of an Amazon floodplain extension, dynamics and water storage. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, April, 2003, France.

Maurice-Bourgoin L., Quiroga I., Chincherros J. and Courau P., 2000. Mercury distribution in waters and fishes of the Upper Madeira rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. *The Science of the Total Environment,* 260: 73-86.

Maurice-Bourgoin L., Aalto R. and Guyot J.L., 2002. Sediment-Associated Mercury Distribution within a Major Amazon Tributary: Century-Scale Contamination History and Importance of the flood plain accumulation, in "The structure, Function and management Implications of Fluvial Sedimentary systems" (Dyer F., Thoms M.C. and Olley J.M., Eds), *IAHS Publ*. No 276, 161-168.

Maurice Bourgoin L., Kosuth, P., Chaffaut I., Martinelli L.A. and Ometto .J.P., 2003. Isotope tracing of the hydrological dynamics of an Amazonian floodplain. In : *IV South American Symposium on Isotope Geology* , Vol.II: 453-456.

Mellack, J.M., 1984. Amazon floodplain lakes: shape, fetch and stratification. *Ver. Internat. Verein. Limnol*., **22**:1278-1282.

Mertes LAK, Dunne T, Martinelli LA, 1996. Channel-floodplain geomorphology along the Solimões-Amazon River, Brazil. *Geol. Soc. of America Bull*., 108:1089-1107.

Milliman J.D., Meade R.H. 1983. World wide delivery of river sediment to the ocean. *Journal of Geology,* 91(1): 1-21.

Moreira-Turcq, P.F., Seyler, P., Guyot, J.L., Etcheber, H. 2003a . Exportation of organic carbon from the Amazon River and its main tributaries. *Hydrological Processes*, 17 : 1329-1344.

Moreira-Turcq, P.F., Seyler, P., Guyot, J.L., Etcheber, H. 2003 b. Characteristics of organic matter in the mixing zone of the Rio Negro and Rio Solimões of the Amazon River. *Hydrological Processes*, 17: 1393-1404.

Neiff, J.J., 1990. Aspects of primary productivity in the lower Paraná and Paraguai riverine system. *Acta Limnol*. Brasil.

Neto, A.R. 2001. Modelação hidrodinâmica da bacia do Rio Amazonas. Universidade de Brasilia, MSc. Tese.

Oliveira Campos I., Mercier, F., Maheu, C., Cochonneau, G., Kosuth, P., Blitzkow, D. and Cazenave, A., 2001.Temporal variations of river basin waters from Topex-¨Poseidon satellite altimetry. Application to the Amazon basin. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Serie II, Sciences de la Terre et des planètes*, 333, 1-11.

Pitelli, R.A.1984. Simpósio nacional sobre aproveitamento de várzeas, 1] Jaboticabal, 24 a 28 de setembro. Anais Jaboticabal, FCAV, 311p.

Ponce, V.M. 1986. Diffusion wave modelling of catchment dynamics. J. of the Hydraulics Division, ASCE, 112(8): 716-727.

Ponchaut, F., A. Cazenave. Continental lake level variations from Topex/Poseidon (1993-1996). C. R. Acad. Sci. Paris (1998) 326: 13-20.

Quay, P.D., Wilbur, D.O., Richey, J.E., Hedges, J.I., Devol, A.H., Victoria, R., 1992. Carbon cycling in the Amazon river: implication from the 13C compositions of particles and solutes. *Limnol. and Oceanogr.,* **37**(4): 857-871.

Richey J.E., Devol A.H., Wosfy S.C., Victoria R., and Ribeiro M.N.G., 1988. Biogenic gases and the oxidation and reduction of carbon in Amazon River and floodplain waters. *Limnol. Oceanogr*., **33**:551-561.

Richey, JE, Mertes, LAK, Dunne, T., Victoria, R., Forsberg, BR, Tancredi, ACFNS, Oliveira, E. 1989. Source and routing of the Amazon river flood wave. *Global biogeochemical cycles,* **3**:191-204.

Richey J.E., Melack J.M., Aufdenkampe A.K., Ballester V.M. and Hess L., 2002. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO_2. *Nature*, **416**:617-620.

Samain O., Mognard-Campbell N. and Cazenave A., 2003. Surface water balance in the Ob basin (Russia) from Topex/Poseidon altimetry and SSMI radiometry, *Int. J. Remote Sensing*, in press.

Shannon C.E. and Weaver, W. 1963. The mathematical theory of communication. Urbana, Univ. Illinnois Press. 173p.

Singh, V. P., and V. Aravamuthan (1996), Errors of kinematic-wave and diffusion-wave approximations for steady-state overland flows, *Catena*, *27*, 209-227.

Singh, V. P., and V. Aravamuthan (1997), Accuracy of kinematic wave and diffusion wave approximations for time-independent flow with momentum exchange included, *Hydrological Processes*, *11*, 511-532.

Singh, V. P., and V. Aravamuthan (1998), Accuracy of the kinematic wave and diffusion wave approximations for time-independent flows with infiltration included, *Hydrological Processes*, *12*, 1951-1979.

Sippel, S.J., Hamilton, S.K. and melak, J.M. 1992. Inundation area and morphometry of lakes on the Amazon River floodplain, Brazil. *Arch. Hydrobiol*. 123:385-400.

Victoria RL, Martinelli LA, Forsberg BR, Richey JE, Devol AH. 1989. Spatial and Temporal Variations in the Chemistry of Várzea Sediments of the Amazon Basin. *GeoJournal,* 19(1): 45-52.

5. FORMAÇÃO DE PESSOAL

A formação de pessoal (alunos de graduação, mestrado e doutorado) tanto no Brasil (UnB, UFF, UFRJ), quanto na França (LMTG-Université Paul Sabatier) sempre foi um dos objetivos principais desta nossa cooperação IRD/CNPq. Dentre os inúmeros alunos formados ou em formação dentro do nosso Projeto apresentamos a seguir uma lista por Instituição:

Brasil:

UnB:

CAMPOS, A.B.S.P., 2005. Geoquímica de Elementos-Traços em Águas em Planícies Alagadas da Bacia Amazônica. Universidade de Brasília-IG.

UFF:

- GASSER, Manoel. Junho 2004. Estágio de final de curso de graduação (Maîtrise Sciences et Tehniques Géosciences et Géotechniques) da Universidade de Nice Sophie Antipolis. "Caractérisation des sédiments superficiels dans les plaines d'inondation de l'Amazone".

-BOULET, Jeremy. Junho 2006. Estágio de final de curso de graduação duplo diploma (Ecole de Chimie de Lille e Escola Politécnica da USP. "Determinação da composição do material orgânico nos sedimentos de um testemunho de varzea do Rio Negro".
-MASSON, Jeremy. 2006. Dissertação de mestardo (master Sciences et Gestion de la Terre), da Université de Nice Sophie Antipolis. « Evaluation du stock de carbone organique dans les lacs d'inondation en Amazonie : cas de la Varzea do Lago Grande de Curuai, Para Bresil. » Defendida em 20 de setembro de 2006, Nice, França ; sob a orientação de Patricia Moreira Turcq.
-PONCHANT , Patrice. 2006. Dissertação de mestardo (master Sciences et Gestion de la Terre), da Université de Nice Sophie Antipolis. « Étude et interprétation des données sismiques et sédimentaire : Varzea do Lago Grande de Curuai, Para Bresil. » Defendida em 20 de setembro de 2006, Nice, França ; sob a orientação de Patricia Moreira Turcq.
-AMORIM, Marcelo A. 2006. Dissertação de mestrado em Geoquímica na Universidade Federal Fluminense, Niteroi, Brasil. « Estudo da sedimentação recente na Varzea do Lago Grande de Curuai, Para, Brasil ». Defendida em 22 de fevereiro de 2006, Niterói, Brasil, sob a orientação de Patricia Moreira Turcq.

Teses e dissertações em Andamento UFF:

-PEREZ-PEREZ, Marcela. Março de 2004- . Tese de Doutorado em Geoquímica na Universidade Federal Fluminense, Niteroi, Brasil. "Ciclagem de carbono e nitrogênio em águas brancas e pretas da Várzea do Lago Grande de Curuai". sob a orientação de Patricia Moreira Turcq.
-AMORIM, Marcelo A. 2006. Tese de Doutorado em Geoquímica na Universidade Federal Fluminense, Niteroi, Brasil. « Estudo da sedimentação recente na Varzea do Lago Grande de Curuai, Para, Brasil ». Defendida em 22 de fevereiro de 2006, Niterói, Brasil, sob a orientação de Patricia Moreira Turcq.
MOREIRA, Luciane. Março de 2006- . Dissertação de mestrado em Geoquímica na Universidade Federal Fluminense, Niteroi, Brasil. "Reconstrução paleoambiental e paleohidrológica da Várzea do Lago Grande de Curuai." sob a orientação de Patricia Moreira Turcq.
-ZOCATELLI, Renata. Março de 2005- . Tese de Doutorado em Geoquímica na Universidade Federal Fluminense, Niteroi, Brasil."Análises de biomarcadores na caracterização de processos de

produção, degradação e sedimentação em diferentes ecossistemas lacustres". Sob a orientação de Marcelo Bernardes.
- CECANHO, Fernanda. Março de 2005- . Dissertação de mestrado em Geoquímica na Universidade Federal Fluminense, Niteroi, Brasil."Caracterização dos compostos orgânicos presentes nos sedimentos superficiais da Várzea do Lago Grande de Curuai". Sob a orientação de Marcelo Bernardes.

UFRJ (COPPE):

RIBEIRO NETO, A.,(2004). Modelagens hidrológica e hidrodinâmica dos rios Solimões, Madeira e Amazonas. Universidade Federal de Rio de Janeiro - COPPE.
STRASSER, M.A. (2005). Estudo do transporte de fundo no curso médio do Rio Amazonas. Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE.

<u>França</u>:

DUTRA, Polyana M. 2004- .Tese de Doutorado da Université Paul Sabatier, Toulouse, França. Le rôle des échanges entre le fleuve Amazone et la plaine d'inondation dans les processus de transport, de transfert et de spéciation du mercure.
BARROUX, G., 2002-2005. Etude géochimique des lacs d'inondation du bassin amazonien ; exemples de Marchantaria e Curuai. UPS Toulouse.
FRAPPART F., 2002-2005.Application des données TOPEX/POSEIDON à l' étude de l'Hydrologie du Bassin Amazonien. UPS, Toulouse.
GUERIN F., 2002-2005. Etudes des émissions de gaz à effet de serre dans les retenues de barrage en milieu tropical et comparaison avec les émissions de lacs naturels, UPS Toulouse.

6. LISTA DE PUBLICAÇÕES REFERENTES AO PROJETO (2004-2006)

Baume J.P., Malaterre P.O., Belaud G., Le Guennec B.(2005) « SIC : a 1D hydrodynamic model for river and irrigation canal modeling and regulation », in "Métodos numericos em recursos hidricos - tome 7", chap. 1, 85 pages ABRH (2005), ISBN 858868614-7

Barroux, G., Sonke, J., Boaventura, G., Viers, J., Godderis, Y., Bonnet, M.P., Sondag, F., Lagane, C. (2006) Seasonal dissolved rare earth element dynamics of the amazon River main stem, its tributaries, and the Curuaí floodplain – (***Geochemistry,Geophysics, Geosystems, aceito***)

Bernardes. M.C.; Martinelli, L.A.; Krusche A.; Guderman J.; Moreira M.; Victoria, R.V.; Ometto, J.P.H.B.; Ballester, M.V.R.; Aufdenkampe, A.K.; Richey R. E.; Hedges J. I. (2004). Riverine Organic matter composition as a function of land use changes, southwest amazon. ***Ecological Applications***, 14: 263-279.

Bonnet, M.P., Barroux, G., Seyler, P., Pecly, G., Moreira-Turcq, P., Lagane, C., Cochonneau, G., Viers, J., Seyler, F. and Guyot, J.L., 2005. Seasonal links between the Amazon corridor and its floodplain - the case of the varzea of Curuai. In: IAHS (Editor), IAHS. ***IAHS Publication 294***, Foz de Iguacu, Brazil, pp. 69-77.

Bonnet, M.P, Barroux, G., Martinez, J.M ; Seyler, F., Moreira-Turcq, P., Cochonneau, G., Melack, J.M., Boaventura, G., Maurice-Bourgoin, L., León, J.G., Roux, E., Calmant, S., Guyot, J.L., Seyler, P. Flooding hydrology in an Amazonian floodplain lake (Lago Grande de Curuaí) (***Journal of Hydrology, submetido***)

Coynel A. , Seyler P., Etcheber H., Orange D., Meybeck M. 2005. Spatial and Seasonal dynamics of Total Suspended Sediment and Organic Carbon species in the Congo River. ***Global Biogeochemical Cycles***.*Vol 19, GB4019.*

Guérin et al. (2006). Methane and carbon dioxide emissions from tropical reservoirs: contributions of rivers downstream of the dams. **Geophysical Research Letters (aceito)**

Maurice-Bourgoin, L. Bonnet, M.P., Martinez, J.M., Grélaud, J., Cochonneau, G., Vauchel, P. & Guyot, J.L. (2006) Temporal dynamics of water and sediment exchanges between the Curuaí floodplain and the Amazon river main stream, Brazil, (***Journal of Hydrology, aceito***)

Martinez, J.M., Maurice Bourgoin, L., Moreira-Turcq, P. & Seyler, F. (2006) Monitoring of water quality in the Amazon Floodplain using Meris Data. ***Journal of Remote Sensing (aceito).***

Moreira-Turcq, P., Jouanneau, J.M., Turcq, B. , Seyler, P. , Weber, O. & Guyot, J.L. (2004) Carbon sedimentation at Lago Grande de Curuai, a floodplain lake in the low Amazon region: insights into sedimentation rates. ***Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*** 214, 1-2, 27-40.

Moreira-Turcq, P.F., Seyler, P., Guyot,J.L., & Etcheber, H. (2004) Reactive processes of organic matter in Amazon river. Chapter 15. In : Environmental Geochemistry in Tropical Countries, Eds. Lacerda, L.D., Abrao, J.J., Santelli, E. & Duursma, E.. Springer Verlag p 189-2002.

Moreira-Turcq, P., Barroux, G., Bernardes, M., Bonnet, M.P., Maurice-Bourgoin, L., Perez, M. & Seyler, P. (2005) Dynamics of organic carbon between Amazon River and floodplain lakes. Dynamics and Biogeochemistry of Rivers Corridors and Wetlands. ***IAHS Publ*. 294: 19-26.

Seyler, P., **Moreira-Turcq, P.,** Coynel, A., Etcheber, H. & Guyot, H. (2004) Flux de carbone organique de l'Amazone et de ses principaux affluents. ***Bulletin du Reseau Erosion*** 22 : 420-431.

Seyler, P., Coynel, A., Moreira-Turcq, P., Etcheber, H., Colas, C., Orange, D., Bricquet, J.P., Laraque, A., Guyot, J.L., Olivry, J.C. & Meybeck, M. (2006) Organic carbon transported by equatorial rivers: exemple of Zaire-Congo and Amazon river-basins. In Land use, erosion and carbon dynamic. Lal R., Roose E (Eds) Advances in Soil Science, Lewis Publishers, CRC Press. Taylor & Francis Group. Boca Raton, Fl. USA Chapter 17, pp 255-272.

Viers J., Barroux G., Pinelli M., Seyler P., Oliva P., Dupré B. & BoaventurA G.R. (2004) The influence of the Amazonian floodplain ecosystems on the trace element dynamics of the Amazon River mainstem (Brazil). ***Science of Total Environmen*t** 339: 219-232.

7. PARTICIPACAO A REUNIOES CIENTIFICAS (2004-2006)

Barroux G., Bonnet M-P., Boaventura G., Viers J., Moreira-Turcq, P., Seyler P. Seasonal geochemical fluxes between the Amazon River (Obidos) and its floodplain (Lago grande de Curuaï) , EGU 2004 Nice, 25-3O Avril Geophysical Research Abstracts, Vol.2.

Barroux G., Seyler P., , Rodrigues Ibañez M. , Viers J., Boaventura G.R., Moreira-Turcq P., "Impact of a phytoplanktonic bloom on the trace element concentrations of amazonian floodplain lakes (Lago de Curuaï, Para, Brazil)" Goldsmith Conference 2004 Copenhague 5-11 juin 2004.

Barroux G, Viers, J.,Seyler,P ; M.S. Rodrigues Ibanez 2004. Impact of a phytoplanktonic bloom on the trace concentrations of amazonian floodplain lakes (Lago de Curuaï, Para, Brazil) LBA conference, Brasilia, Bresil. Juillet 2004.

Barroux G, Seyler,P Viers, J., Boaventura G., Turcq-Moreira P. REE behavior in an Amazonian floodplain lake system : The lago de Curuai, Para, Brazil. IV International Symposium of Environemental Geochemistry in Tropical Countries. Buzios, Brésil. Octobre 2004.

Bernardes, M. C. ; Turcq, P. ; Zocatelli, R. ; Perez, M. P. ; Lagane, C. ; Cordeiro, C. R. . Oxygen Depletion, Carbon Dioxide Production and Respiration Rate in Waters of Curuai Varzea Lakes, Para, Brazil In: 4 th International Symposium Environmental Geochesmistry in Tropical Countries., 2004, Bzios. International Symposium Environmental Geochesmistry in Tropical Countries, 2004. p. 86-88.

Bonnet M.P, Filizola N., MM Maubourguet, J. Chorda, G. Cochonneau, L. Maurice-Bourgoin, Seyler P.Suspended solids fate in the Amazonian floodplain: study of the várzea of Curuai and of its links with the Amazon River. SIL Helsinki , 8-15 Aout 2004.

Bonnet, M.P., Barroux, G., Seyler, P., Pecly, G.J.O, Moreira-Turcq, P., Lagane, C., Cochonneau, G., Viers, J., Seyler, F., Guyot, J.L. (2005) - Seasonal links between the Amazon corridor and its flood plain : The case of the várzea of Curuaí – Proceeding of the Iguaçu IAHS Symposium, Avril 2005

Bonnet, MP; Barroux, G; Boaventura, G; Seyler, F; Moreira-Turcq, P; Martinez, JM ; Seyler, P. Modelling flooding hydrology and lake water mixture dynamics in an Amazon floodplain lake: the várzea of Lago Grande de Curuaí EGU06-A-03895,Vienne April 2006.

Moreira-Turcq, P., Seyler, P., Turcq, B., Jouanneau, J.-M. et Guyot, J.-L.2004. Organic carbon buried in Amazonian floodplains lakes. LBA conference, Brasilia, Bresil. Juillet 2004.

Moreira-Turcq, P., Seyler, P., Etcheber, H., Jouanneau, J.-M., Turcq, B. et Guyot, J.-L. 2004. Organic carbon cycles in Amazon Basin : insights into floodplains lakes. 32º IGC, Florence, Italie. Août 2004.
.
Moreira-Turcq, P., Barroux, G., Bernardes, M., Bonnet, M.P., Maurice-Bourgoin, L., Perez, M. & Seyler, P. (2004) Behaviour of organic carbon between Amazon River and floodplain lakes. IV International Symposium of Environemental Geochemistry in Tropical Countries. Buzios, Brésil. Octobre 2004.

Moreira-Turcq, P., Barroux, G., Bernardes, M., Bonnet, M.P., Maurice-Bourgoin, L., Perez, M. & Seyler, P. (2005) Dynamics of organic carbon between Amazon River and floodplain lakes. Seventh International Assembly of IAHS, Foz do Iguaçu, Brésil. Avril 2005.

Seyler, P., Aries, S., Viers, J., Coppin, P., Abraham, A-C. (2005) Distribution and partition of Trace metals in the Zambesi Basin. Geophysical research Abstracts, Vol 7, 02288. AGU 2005;

Seyler, P.; Viers J;; Barroux, G.; Pinelli, M ;; Oliva P. ; Boaventura G. ; Dupré, B. 2005 Role of the floodplain lakes in the trace elements dynamics of the Amazon River. X Congesso Brasilierao de Geoquimica, Porto de Galinhas, Novembro 2005.

Amorim, M. A., Moreira-Turcq, P. F; Carlos, L. C. S. & Turcq, B.(2005) Comportamento, distribuição e composição de sedimentos finos na Varzea do Lago Grande de Curuai, Para. Congresso Brasileiro Da Sociedade Brasileira de Estudos do Quaternario (ABEQUA), Guarapari, ES, Brésil. Octobre 2005.

Amorim M.A, Moreira-Turcq P.F., Turcq B., Perez M.A.P. & Cordeiro R.C. (2005) Caracterização e Quantificação da Composição Mineralógica e Granulométrica dos Sedimentos Superficiais da Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará. X Congresso Brasileiro de Geoquimica. Porto de Galinhas , PE. Novembre 2005

Ribeiro Neto A., Le Guennec B., Martinez J.M., Baume J.P., Santos Da Silva J., Rotunno Filho O.C., Kosuth P., (2005) Utilização conjunta de modelagem hidrodinâmica e imagens de satélite para estimativa da superfície de planícies de inundação: estudo de caso – curso médio do rio Amazonas. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa - PB, 20-24 Novembro de 2005.

Bonnet, MP; Barroux, G; Boaventura, G; Seyler, F; Moreira-Turcq, P; Martinez, JM ; Seyler, P. Modelling flooding hydrology and lake water mixture dynamics in an Amazon floodplain lake: the várzea of Lago Grande de Curuaí EGU06-A-03895,Vienne April 2006.

Amorim, M.A. & Moreira-Turcq, P.F. (2006) Sedimentary organic matter in an Amazonian Floodplain. Congress de l'Association Latino Americaine de Géochimie Organique (ALAGO) Salvador, BA, Brésil. Novembre 2006.

8. GERAÇÃO DE PRODUTOS (2004-2006)

Como produtos obtidos no decorrer do nosso projeto além da extensa lista de publicações listadas anteriormente, inumeras participações em congressos e reuniões cientificas sempre tentando incentivar a participação de alunos de mestrado e doutorado nestas reuniões e temos também a geração de cartas de vegetação, de uso do solo e ambienatis da zona de estudo como por exemplo a ja apresentada na Figura (10) e a figura A em anexo.

9. PERSPECTIVAS

Seguindo as recomendações da ultima avaliação do CNPq, nós decidimos desmembrar este projeto em sub-projetos visto a grande pluridisciplinalidade do mesmo.

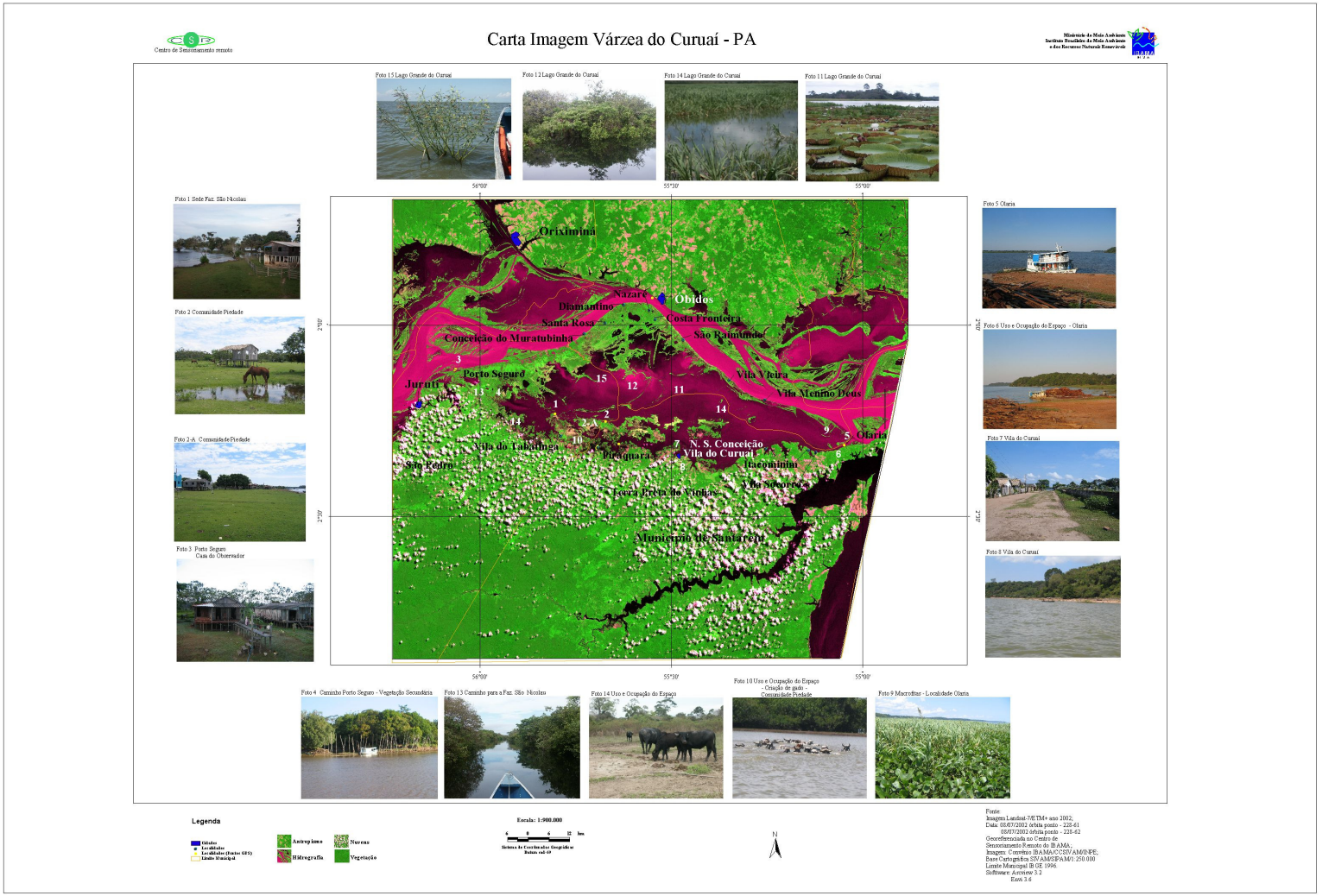
Desta forma temos atualmente dois subprojetos dentro do convênio internacional entre o IRD e o CNPq, são eles:

- MODAMAZON- Modelagem hidrodinâmica e do transporte de sedimentos da bacia hidrografica brasileira do rio Amazonas. Coordenado pelo lado brasileiro pela Professora Suzana Vinzon (COPPE-UFRJ) e, pelo lado francês, pelo pesquisador do IRD Benoit Le Guennec. Este projeto tem como objetivo principal desenvolver a modelagem hidrodinâmica e sedimentológica a fim de melhorar o entendimento da dinâmica espacial e temporal dos escoamentos, das cheias e do transporte de sedimentos ao longo do rio Amazonas.

- BIOBAM- Biogeoquimica dos Lagos de Varzea da Bacia Amazônica. Coordenado pelo lado brasileiro pelo Professor Geraldo Boaventura (UnB) e pelo lado francês pela pesquisadora Patricia Moreira-Turcq (IRD). Este projeto visa desenvolver estudos e pesquisas para a compreensão e a modelagem do funcionamento hidrológico, sedimentológico e vbiogeoquímico dos lagos de varzea da Bacia Amazonica.

Consequentemente, estamos dando continuidade a nossa pesquisa e afinando cada vez mais o entendimento do funcionamlento hidro-sedimentar e geoquimico da Bacia Amazônica.

10. ANEXOS


Carta Imagem Várzea do Curuaí - PA
Centro de Sensoriamento remoto
Ministério do Meio Ambiente
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
e dos Recursos Naturais Renováveis
Foto 15 Lago Grande do Curuaí
Foto 12 Lago Grande do Curuaí
Foto 14 Lago Grande do Curuaí
Foto 11 Lago Grande do Curuaí
Foto 1 Sede Faz. São Nicolau
Foto 2 Comunidade Piedade
Foto 2-A Comunidade Piedade
Foto 3 Porto Seguro
Casa do Observador
Foto 5 Olaria
Foto 6 Uso e Ocupação do Espaço - Olaria
Foto 7 Vila do Curuaí
Foto 8 Vila do Curuaí
Oriximiná
Nazaré
Óbidos
Diamantino
Santa Rosa
Costa Fronteira
São Raimundo
Conceição do Muratubinha
Porto Seguro
Jurutí
Vila Vieira
Vila Menino Deus
Vila do Tabatinga
São Pedro
Pirapuarás
N. S. Conceição
Vila do Curuaí
Jacominim
Vila Socorro
Terra Preta de Vidal
Município de Santarém
Olaria
56°00'
55°30'
55°00'
2°00'
2°30'
Foto 4 Caminho Porto Seguro - Vegetação Secundária
Foto 13 Caminho para a Faz. São Nicolau
Foto 14 Uso e Ocupação do Espaço
Foto 10 Uso e Ocupação do Espaço
- Criação de gado -
Comunidade Piedade
Foto 9 Macrófitas - Localidade Olaria
Legenda
Cidades
Localidades
Localidades (Dados GPS)
Limite Municipal
Antropismo
Hidrografia
Nuvens
Vegetação
Escala: 1:900.000
Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum sul-69
N
Fonte
Imagem Landsat-7/ETM+ ano 2002,
Data: 08/07/2002 órbita-ponto - 228-61
05/07/2002 órbita-ponto - 228-62
Georeferenciada no Centro de
Sensoriamento Remoto do IBAMA;
Imagem Corrente: IBAMA/CCSIV/AM/UHPE,
Base Cartográfica SIVAM/SIPAM/1:250.000
Limite Municipal IBGE 1996
Software: Acrview 3.2
Esri 3.6