

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E LETRAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO EM GEOGRAFIA

**CARACTERÍSTICAS HIDRO-GEOMORFOLÓGICAS DO
BAIXO CURSO DOS RIOS SOLIMÕES E NEGRO, E SUA
CONFLUÊNCIA, AMAZÔNIA, BRASIL**

Andre Zumak Azevedo Nascimento

Manaus
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E LETRAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO EM GEOGRAFIA

ANDRE ZUMAK AZEVEDO NASCIMENTO

**CARACTERÍSTICAS HIDRO-GEOMORFOLÓGICAS DO BAIXO
CURSO DOS RIOS SOLIMÕES E NEGRO, E SUA CONFLUÊNCIA,
AMAZÔNIA, BRASIL**

Orientador: Naziano Pantoja Filizola Jr., PhD.

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Geografia: Amazônia – Território
e Ambiente, como requisito para
obtenção do título de Mestre em
Geografia. Área de concentração:
Domínios da Natureza na
Amazônia.

Manaus
2016

Ficha Catalográfica

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

N244c Nascimento, Andre Zumak A.
Características Hidro-Geomorfológicas do baixo curso dos Rios Solimões e Negro, e sua confluência, Amazônia, Brasil / Andre Zumak A. Nascimento. 2016
91 f.: 31 cm.

Orientador: Naziano Pantoja Filizola Jr
Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Hidrologia. 2. Geomorfologia. 3. Confluência de Rios. 4. Rio Solimões. 5. Rio Negro. I. Jr, Naziano Pantoja Filizola II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



Poder Executivo

Ministério da Educação

Universidade Federal do Amazonas

ICHL/DEGEO/Programa de Pós-Graduação em Geografia

Mestrado Conceito 4 - Aprovado pela Resolução nº 009 – CONSUNI de 17/08/95

Credenciado pela CAPES em set/2000

Reconhecido através da Portaria Nº 1.077-MEC, de 31 de agosto de 2012



P O R T A R I A Nº 013 / 2016

O COORDENADOR DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E LETRAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS/, usando de suas atribuições estatutárias, e

CONSIDERANDO o documento oficializado junto à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia, no que concerne à composição de Banca Examinadora de Defesa Pública de Mestrado,

CONSIDERANDO o que dispõe o Artigo 10 Resolução Nº 033/2014-CONSEPE, de 30 de setembro de 2014,

R E S O L V E:

CONSTITUIR com os professores doutores abaixo nominados, Banca Examinadora de Defesa Pública de Mestrado do discente **ANDRÉ ZUMAK AZEVEDO NASCIMENTO** do Programa de Pós-Graduação em Geografia, a qual ocorrerá no dia **27 de junho de 2016, às 14h30, na Sala de Audiovisual do Departamento de Geografia/UFAM:**

Presidente:

- Professor Doutor **NAZIANO PANTOJA FILIZOLA JR**
PPGEOG/UFAM

Membros Titulares:

- Profa. Dra. **KEILA CRISTINA PEREIRA ANICETO**
PPGEO/FT/UFAM
- Prof. Dr. **ANTONIO FÁBIO SABBÁ GUIMARÃES VIEIRA**
PPGEOG/UFAM

Membros Suplentes:

- Prof. Dr. **INGO DANIEL WAHNFRIED**
DEGEO/FT/UFAM
- Profa. Dra. **JACI MARIA BILHALVA SARAIVA**
PPGEOG/UFAM

Dê-se ciência e cumpra-se.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, em Manaus/AM, 25 de maio de 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Prof. Dr. José Aldemir de Oliveira
Coordenador do Programa

Á Deus;
Aos meus pais Jorge e Norma e meus irmãos Otto e Abraão que sempre acreditaram em mim;
A Thuane Tomie pela companhia, pela amizade e pelo amor;
Ao Professor PhD. Naziano Pantoja Filozola Jr por ter me ensinado sobre Hidrologia e valores que
nunca vou esquecer na vida, pela confiança que colocou em mim e por todo seu esforço neste
trabalho;
Aos amigos e amigas Bosco Alfenas, Elisa Armijos, André Martielli, Thiago Marinho pela grande
ajuda no desenvolvimento desse trabalho;
Ao professor Dr. Marco Ianniruberto pelo apoio dado a esta pesquisa;
A FINEP e o CNPq pelo financiamento a essa pesquisa;
As instituições parceiras: ORE-HYBAM, IRD, CPRM;
Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFAM;
A todos os membros do Laboratório de Potamologia Amazônica (LAPA) agora também Grupo
Hidrossistemas e o Homem na Amazônia (H₂A) pelo espírito de grupo.

Agradeço.



Confluência dos Rios Negro e Solimões, Amazonas, Brasil. Fotografias áreas retirada com apoio do 3º Esquadrão de Helicópteros de Emprego Geral (HU-3) da Marinha do Brasil. Fotos do autor, 2016.

RESUMO

Os Rios Solimões e Negro são sistemas fluviais muito complexos que têm diferentes características. Tentar entender como interagem os processos hidrológicos, juntamente com a geomorfologia fluvial, é fundamental para a compreensão das mudanças que ocorrem na paisagem e no leito desses Rios. Por meio de dados batiméticos e hidrológicos foi possível extrair informações da morfologia do leito e hidrologia em trechos do baixo curso dos Rios Solimões e Negro, e respectiva confluência. O estudo possibilitou uma descrição dos processos e das características hidro-geomorfológicas que ocorrem na confluência dos Rios Solimões e Negro. O principal resultado foi a identificação de características da morfologia do leito e das zonas de fluxo encontradas nos estudos de confluências de grande rios. Uma possível região de fluxo uniforme no Rio Solimões, uma zona de fluxo uniforme no Rio Negro, uma zona de estagnação do fluxo na extremidade NE da Ilha da Xiborena, uma área de deflexão de fluxo, logo após uma região de altas velocidades, uma zona de separação do fluxo, áreas de recuperação do fluxo. E uma região onde ocorre um vale de erosão (bed scour) associado às regiões onde existe a deflexão do fluxo e também altas velocidades. Possivelmente, ocorre uma zona de deposição em barra submersa, após a junção dos dois canais. As transformações que ocorreram tanto nas margens da Ilha da Xiborena na extremidade NE, são tão notáveis que houve um aumento de área depositada, como na Ilha do Careiro na margem paralela ao Rio Solimões e da Ilha da Xiborena, onde houve uma grande erosão, ocasionado uma perda de aproximadamente 800 metros de terras.

Palavras-Chaves: Hidrologia, Geomorfologia, morfologia do leito, Estrutura de fluxo Confluencia de rios, Rio Negro, Rio Solimões, Amazônia.

ABSTRACT

The Solimões and Negro are very complex river systems, which have different characteristics. Try to understand how they interact hydrological processes along with the fluvial geomorphology is fundamental to understanding the changes that occur in the landscape and in the bed of these rivers. Through bathymetry and hydrological data it was possible to extract information from the morphology and hydrology of the bed in the lower course of the Solimões and Negro sections, and their respective confluence. The study made possible a description of the processes and hydro-geomorphological characteristics that occur at the confluence of the Solimões and Negro, the main result of the identification of the bed morphology characteristics and flow zones found in the confluences studies of large rivers. A possible uniform flow region before confluence in Solimões River, a uniform flow area in the Black River before confluence, there is a flow stagnation zone in the NE end of the island of Xiborena, an area for flow deflection, shortly after high speed region, and a separation zone of the flow at the end there is the recovery zone flow. A region where an erosion valley occurs, associated with regions where there are the deflection of the flow, and also high speeds. Possibly it occurs in a deposition zone submerged bar, after the junction of two channels. Are remarkable transformations that occurred both on the banks of Xiborena Island in the NE direction end, which had a deposited area increase, as in Careiro Island in parallel edge to the Solimões River and the Island Xiborena where there was a great erosion, caused one loss of approximately 800 meters of land.

Key Words: Hydrology, geomorphology, Bed morphology, River confluence. Flow structure, River Negro and Solimões, Amazon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: A: Mapa de localização das áreas de levantamento de dados.....	13
Figura 2: Mapa batimétrico da confluência dos rios Negro e Solimões.....	17
Figura 3: Tipo de Leito e sua disposição na área de estudo.	18
Figura 4: Variáveis geométricas da seção transversal e declividades da linha da água e do fundo.....	21
Figura 5: Padrões de canais fluviais: retilíneo, entrelaçado e meandrante.	22
Figura 6: Processos sedimentares e fácies fluviais.....	24
Figura 7: Fluxo Helicoidal em uma curva de meandro	24
Figura 8: Formas de deposições em um meandro dentro de uma planície de inundação, com destaque para depósitos antigos de barras de meandro	25
Figura 9: Diagrama indicando as áreas de fluxo laminar e turbulenta num canal.....	26
Figura 10: Principais elementos da morfologia do leito em canais confluentes, exemplo com ângulo de confluência de 70°.....	28
Figura 11: Principais elementos da hidrodinâmica de confluências.....	28
Figura 12: Desenho ilustrativo da ecobatimetria com monofeixe.	30
Figura 13: Desenho ilustrativo da ecobatimetria com multifeixe.....	30
Figura 14: Mudança de frequência causada pelo efeito Doppler.	31
Figura 15: Imagem ilustrativa do funcionamento de um ADCP	32
Figura 16.....	33
Figura 17: Sistemas de aquisição de dados independentes.....	34
Figura 18: Localização das áreas de coleta de dados.	35
Figura1: Distribuição das velocidades médias da água no Rio Solimões.....	44
Figura 20: Seções transversais com dados de velocidade média da água no Rio Solimões	40
Figura 21: Distribuição das velocidades médias da água no Rio Negro.	42
Figura 22: Seções transversais com dados de velocidade média da água no Rio Negro.	43
Figura 23. Mapa da distribuição das velocidades médias.	45
Figura 24: Direção dos vetores de velocidade médias ao longo de todas as profundidades	47
Figura 25: Imagem da confluência dos Rios Solimões e Negro.....	48
Figura 26: Imagem da confluência dos Rios Solimões e Negro, e a extremidade noroeste da Ilha da Xiborena.	49
Figura 27: Mapa comparativo das feições geomorfológicas em superfície.	50
Figura 28: Velocidade da corrente nos Rios Solimões e Negro.	52
Figura 29. A: Seções transversais com dados de velocidade da corrente no Rio Amazonas...	54
Figura 2. A: Padrões de fluxo encontradas na confluência dos Rios Solimões e Negro.....	65

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. ÁREA DE ESTUDO	13
3. CAPÍTULO I: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 Trabalhos anteriores	15
3.1.1 Hidrologia dos Rios Solimões e Negro	15
3.1.2 Geomorfologia Fluvial dos Rios Solimões/Amazonas e Negro.....	16
3.1.3 A geomorfologia do encontro das águas entre os Rios Solimões e Negro.....	16
4. CAPÍTULO II: REFERENCIAL TEÓRICO	20
4.1 Hidrologia.....	20
4.1.1 Cotas.....	20
4.1.2 Vazões e velocidades.....	20
4.1.3 Variáveis geométricas de canais fluviais.....	20
4.2. Geomorfologia Fluvial	21
4.2.1 Formas de canais fluviais	21
4.2.2 Feições associadas a canais fluviais	22
4.2.3 Tipos de movimento da água em canais fluviais.....	25
4.3. Hidrogeomorfologia: Conceitos e aplicações.....	26
4.4. Encontros fluviais.....	27
4.4.1 Morfologias associadas e padrões de fluxo de água.....	27
4.5. Métodos Sísmicos.....	28
4.5.1. Ecobatimetria Monofeixe e Multifeixe.....	29
4.5.2. ADCP	30
5. CAPÍTULO III: MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
5.1.1 Períodos de levantamento de dados e equipamentos usados.....	33
5.1.2 Obtenção e processamento de dados extraídos com ADCP.....	35
5.1.3 Obtenção e processamento de dados extraídos com Ecobatímetro Monofeixe e Multifeixe	36
5.1.4 Análise sobre as alterações na morfologia em superfície na região da confluência....	37
6. CAPÍTULO IV: RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
6.1 Canais dos Rios Negro e Solimões.....	38
6.1.1.Rio Solimões	38
6.1.2. Rio Negro	41
6.2. Confluência dos Rios Solimões e Negro	44
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
8. REFERÊNCIAS	59

1. INTRODUÇÃO

As confluências entre rios são locais importantes em redes de drenagem, pois nestas áreas ocorrem mudanças bruscas na estrutura de fluxo, transporte de sedimentos e morfologia do canal (RHOADS et al., 2009).

Várias características tornam as áreas de confluências importantes no mundo. Uma destas é a ocorrência da combinação de matéria (água e sedimento) e energia (fluxo de força) de dois canais diferentes, tornando estes ambientes fluviais muito complexos. A interação desses elementos produz um ambiente único e entender seu funcionamento é fundamental para o manejo dos rios (SERRES et al., 1999).

Dentro de uma perspectiva hidráulica, as confluências são suscetíveis à ocorrência de turbulência com movimentos convergentes e divergentes, formando ressurgências, que geram movimentos caóticos, com a formação de correntes secundárias de diferentes velocidades e direções, incluindo correntes que seguem contra o fluxo principal do rio (STEVAUX et al., 2009).

Conforme Szupiany et al. (2009) uma série de pesquisas com experiências em campo e laboratório mostram que em regiões de confluência existe: 1) uma zona de estagnação do fluxo próximo do canto da junção a montante; 2) uma região de deflexão do fluxo, em que cada corrente entra na área da confluência; 3) uma área de separação do fluxo, à jusante da confluência; 4) zona onde os fluxos convergem que estão associados com as linhas de corrente de curvatura de escoamento; 5) zona de aceleração do fluxo, onde os dois fluxos convergem; e, 6) a recuperação progressiva do fluxo a jusante da zona de convergência.

A morfologia do leito nas áreas de confluência tem sido amplamente discutida, indicando a interação com as diferentes zonas de fluxo. Neste sentido, merecem destaque: (1) um grande sulco de erosão (*scour hole*), normalmente orientado ao longo da região de máxima velocidade em que ambos os fluxos convergem e começam a se misturar e cuja orientação frequentemente esta associada ao ângulo de confluência; (2) faces de avalanche na boca de cada canal da confluência, que se desenvolvem em um vale de erosão central; (3) deposição de sedimentos na zona de estagnação do fluxo; e (4) barras formadas dentro da zona de separação do fluxo no canto de cada junção à jusante ou no meio do canal após a zona de confluência. (SZUPIANY et al., 2009).

Após o desenvolvimento de tecnologias de posicionamento geodésico e de perfilagem acústicas de efeito Doppler, tornou-se mais fácil o desenvolvimento de pesquisas sobre a morfodinâmica dos grandes rios (PARSON et al., 2008; SZUPIANY et al., 2009; FILIZOLA et al., 2009a; STEVAUX et al., 2009).

Alguns dos principais trabalhos de pesquisa em grandes rios (BEST; ASHWORTH, 1997; SZUPIANY et al., 2007; LANE et al., 2008; PARSONS et al., 2008; SZUPIANY et al., 2009) se concentram principalmente em confluências angulares, que tenham um canal principal e seu afluente um ângulo reto. No entanto, as observações de campo e estudos realizados em confluências de canais sinuosos por Riley e Rhoads (2012) começaram a revelar os efeitos da curvatura do canal sobre as dinâmicas que ocorrem em confluências (RILEY et al., 2015).

A confluência entre os Rios Negro e Solimões não apresenta um ângulo reto. Nesta área é possível observar os efeitos desta condição sobre a dinâmica da zona de confluência de dois grandes rios do mundo, até agora inexplorada. Dessa forma, a área de estudo em questão, os canais dos Rios Solimões e Negro a montante da confluência e a área onde ocorre o encontro entre estes dois Rios, apresenta uma oportunidade singular para compreender a interação de diversos fatores hidrológicos e geomorfológicos e as suas interações.

Compreender as condições morfodinâmicas dessas regiões, sobretudo em grandes Rios, é fundamental para permitir um melhor entendimento quanto à transferência de matéria (particulado ou dissolvida), distribuição do fluxo na região da confluência e o comportamento geral do canal fluvial. Além disso, é necessário avaliar como as diferenças na localização da barra de confluência e o ângulo em que ocorre a junção podem influenciar o fluxo em curvas de meandro, e consequentemente a morfologia do leito.

Portanto, este estudo teve como objetivo caracterizar a hidro-geomorfologia dos baixos cursos dos canais dos Rios Solimões e Negro e sua respectiva confluência.

Esta pesquisa foi financiada pelo Projeto IHESA (Iniciativa de Hidrologia Espacial na Amazônica – MCT/FINEP/CT-HIDRO 01/2010/2785) sobre gerencia do Laboratório de Potamologia Amazônica – LAPA da Universidade Federal do Amazonas – UFAM. A pesquisa esta vinculada também ao Observatório ORE-HYBAM (Observatório de Pesquisa para o Meio Ambiente) e Projeto MEG-HYBAM (Monitoramento Espacial das Principais Bacias Hidrográficas do Brasil). Tendo como produto principal um artigo (ANEXO 1) que esta em fase final para ser submetido para uma revista científica da área de Geografia Física e Geociências.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área deste estudo compreende três trechos: 1- Rio Solimões 80 Km a montante da foz, 2- Rio Negro 20 Km a montante da foz, e 3- a região da confluência entre os dois rios (Figura 1). Faz-se aqui uma abordagem de cada rio individualmente a menos de 100 Km da confluência para que suas principais características possam ser evidenciadas, possibilitando um melhor entendimento do que se passa na região do encontro dos dois rios.

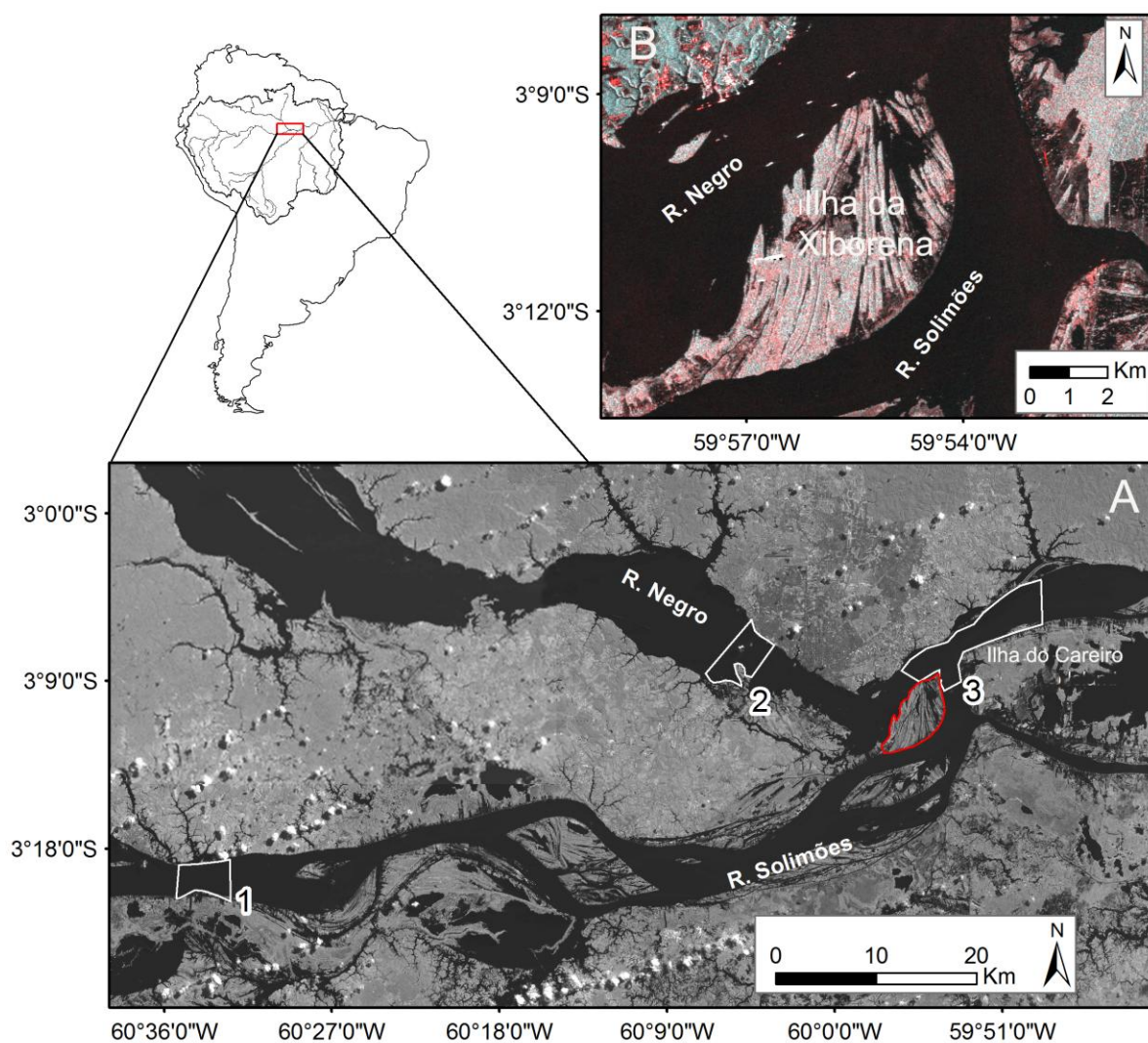


Figura 1: A: Mapa de localização das áreas de levantamento de dados (polígonos em branco, 1 e 2 = áreas nos Rios Solimões e Negro antes da confluência e 3 = área da confluência), imagem base (banda 5 do satélite LANDSAT 8, baixado do site EROS, USGS Web site). B: Imagem Alos Palsar (baixado do IBGE Web site) da Ilha Xiborena, confluência entre os Rios, Solimões e Negro. (Polígono vermelho na figura 1 A).
Org.: Andre Z. A. Nascimento, 2016.

O Rio Amazonas, no Brasil, recebe a denominação de Solimões desde a fronteira com o Peru até a confluência com o Rio Negro. A bacia deste rio, incluindo a parte peruana,

apresenta precipitações médias anuais variando de 1800 a 2000 mm (SOMBROEK, 2001). Drena áreas do cinturão orogênico dos Andes e bacias interiores, formando padrões de drenagem *anabranching* de baixa sinuosidade (LATRUBESSE et al., 2005; LATRUBESSE, 2008). A área escolhida para o estudo esta situada nas proximidades da cidade de Manacapuru e apresenta larguras que variam de 2 a 3 km e profundidades máximas que chegam a 50m (Figura 1).

A descarga líquida média anual do Rio Solimões, é de 103.000 m³/s e a quantidade de sedimentos em suspensão transportada é da ordem de 420 Mt/ano (FILIZOLA; GUYOT, 2009). As águas deste rio são "brancas" devido ao grande volume de sedimentos em suspensão transportados com pH $\approx$ 7 e temperatura da água variando em torno de 29°C (SIOLI, 1984). A velocidade média da água é de 1,25 m/s no seu baixo curso (FILIZOLA et al., 2009b).

A bacia do Rio Negro tem uma das mais altas precipitações anuais em toda a Amazônia brasileira - média anual de 2000 a 2200 mm (SOMBROEK, 2001). Este fabuloso sistema fluvial drena áreas cratônicas. Desenvolve-se em vales amplos alternados com trechos estreitos, formando uma intrincada morfologia multicanal (LATRUBESSE et al., 2005; LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2005).

O trecho utilizado como área de estudo situa-se a jusante e montante da Ponte Rio Negro, na cidade de Manaus, apresenta larguras que variam de 3 a 6,5 Km e profundidades que chegam aos 50m (Figura 1). A média anual da descarga líquida na foz é de 32.000 m³/s, sendo considerado o segundo maior afluente do Rio Amazonas. Transporta 8 Mt/ano de sedimentos em suspensão (FILIZOLA, 1999). Os sedimentos de fundo são formados por areia fina a média (MERTES; MEADE, 1985). As águas deste rio são negras por consequência da grande quantidade de ácidos húmicos provenientes da decomposição de matéria orgânica. Possui um pH ácido (< 5) e temperatura média anual em torno de 30°C (SIOLI, 1984). O curso inferior do Rio Negro, próximo a confluência, apresenta velocidade média em torno de 0,4 m/s (FILIZOLA et al., 2009b).

Em seu trecho final, o Rio Solimões, provindo do oeste, forma uma ampla curva para leste, antes de receber as águas do Rio Negro e passar a se chamar Amazonas. O Rio Negro, nesta área, apresenta largura de 3km e profundidade média de 43m, sendo que as profundidades máximas chegam a 60m. Já o Rio Solimões, apresenta largura de 2Km e profundidade média de 36m. As maiores profundidades (50m) situam-se à margem direita do canal (Figura 1A). Na zona de confluência encontra-se a Ilha da Xiborena (Figura 1B).

3. CAPÍTULO I: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Trabalhos Anteriores

3.1.1 Hidrologia dos Rios Solimões e Negro

Meade et al. (1991) indicaram a existência do barramento hidráulico que o Rio Solimões exerce sobre o Rio Negro na região da confluência, sobretudo nas épocas de enchente do rio Solimões. Usando dados de cotas fluviométricas, os referidos autores observaram que efeitos de barragem eram evidentes na parte baixa do Rio Negro, aproximadamente 300km à montante da foz, na vila de Moura. O padrão de variação anual de nível da água é mais similar ao da foz do que às partes à montante (mais acima).

Conforme aqueles autores, o período de águas baixas no Rio Negro de Moura até Manaus, ocorre entre outubro ou novembro. Nas porções à montante ocorre em Fevereiro ou Março. Este comportamento da variação anual do nível da água é também observado na parte baixa do curso do Rio Solimões, na estação de Manacapuru, evidenciando o controle hidráulico que este Rio representa. Desta forma, os dados de nível da água da estação de Manaus, servem também para monitorar o sistema Solimões-Amazonas desde 1902 segundo Meade et al. (1991).

Utilizando tecnologias de efeito Doppler, Filizola et al. (2009b) realizaram uma avaliação da descarga líquida do Rio Negro e sua interação com o Rio Solimões na região da confluência e confirmaram as observações sobre o barramento hidráulico realizado nos estudos de Meade et al. (1991). O Rio Solimões tem uma contribuição de vazão total para Rio Amazonas no ponto de confluência de aproximadamente 81% enquanto que o Rio Negro somente 10%. Os 9% restantes são oriundos do Paraná do Careiro. Segundo os mesmos autores, estas diferenças provavelmente estão relacionadas às variações nas pendentes de água entre os Rios Solimões e Negro e também o Amazonas. Fato este que pode ser influenciado pela geomorfologia da área (Filizola et al., 2009b).

Laraque et al. (2009) fez uma primeira análise sobre a mistura destas duas massas de água, dos Rios Solimões e Negro, concluindo que necessitam aproximadamente de 100Km para se homogeneizar por completo. A principal causa para a demora desse processo de homogeneização das massas de água, vem do fato do Rio Negro ter valores menores para turbidez e pH, em relação ao Rio Solimões, e maiores valores para temperatura.

3.1.2 Geomorfologia Fluvial dos Rios Solimões/Amazonas e Negro

De acordo com o critério descritivo-genético adotado por Iriondo (1982), a planície Amazônica compreende a várzea ou planície propriamente dita. Esta é a faixa deprimida dentro da qual corre o rio que lhe dá nome. Essa faixa permanece alagada de forma permanente ou temporária pelas águas fluviais. Esta Planície é constituída por depósitos de canal e de inundação, sendo considerado o principal elemento de análise dentro da geomorfologia fluvial, pois é nessa área que ocorrem os processos de erosão, transporte e deposição dentro da planície (SUGUIO; BIGARELLA, 1990).

O Rio Solimões/Amazonas de uma forma geral apresenta um padrão de canal *anabranching* relativamente simples com baixa sinuosidade sendo que para a maioria dos canais secundários a sinuosidade é maior. De forma geral, o Rio Solimões/Amazonas não se divide em mais de dois ou três canais em um mesmo local. Flui entre ilhas fortemente vegetadas e gera, ocasionalmente, barras de deposição no canal, constituídas de areia (LATRUBESSE, 2008).

O trecho mais a jusante do Rio Solimões é caracterizada por canais menos sinuosos, restritos aos limites da planície que, por meio da estabilização em longo prazo e das construções de diques, tornou-se uma planície de inundação dominada por terraços antigos (MERTES et al., 1996).

O Rio Negro também é caracterizado como um canal *anabranching*, considerado bem complexo por Latrubesse (2008), pois apresenta cargas de sedimentos muito baixas, porém seguindo com as características comuns de canais *anabranching*, possuindo multi-canais, e trechos com baixas sinuosidades.

O que torna este Rio tão complexo conforme Latrubesse e Franzinelli (2005), é a origem de todo esses sedimentos que estão presentes na atual planície de inundação. A arquitetura dos depósitos presentes nesse sistema fluvial resulta de respostas morfo-sedimentares às alterações climáticas durante o Pleistoceno tardio $\cong$ 0,11 à 0,12 Ma e mudanças tectônicas.

3.1.3 A Geomorfologia do Encontro das Águas entre os Rios Solimões e Negro.

Franzinelli (2011) utilizando cartas náuticas da Marinha do Brasil fez uma caracterização da geomorfologia da confluência dos Rios Solimões e Negro, descrevendo a morfologia do leito destes rios (Figura 2).

As principais observações realizadas por Franzinelli (2011) indicam que, para o Rio Amazonas, o elemento mais importante para o desenvolvimento de sulcos de erosão não é o valor da abertura do ângulo da confluência, mas sim o fluxo da carga total.

As variações dos valores de profundidade são de 40 a 43 m, correspondendo a cerca de 1,5 vezes a profundidade média dos tributários. Este valor é compatível com os dados obtidos em outros estudos de grandes rios. Estas variações são resultantes das irregularidades na descarga que, por sua vez, mostram condições de desequilíbrio no sistema, na Bacia do Solimões, esse desequilíbrio no sistema pode ser causado por aporte anormal de sedimentos (FRANZINELLI, 2011).

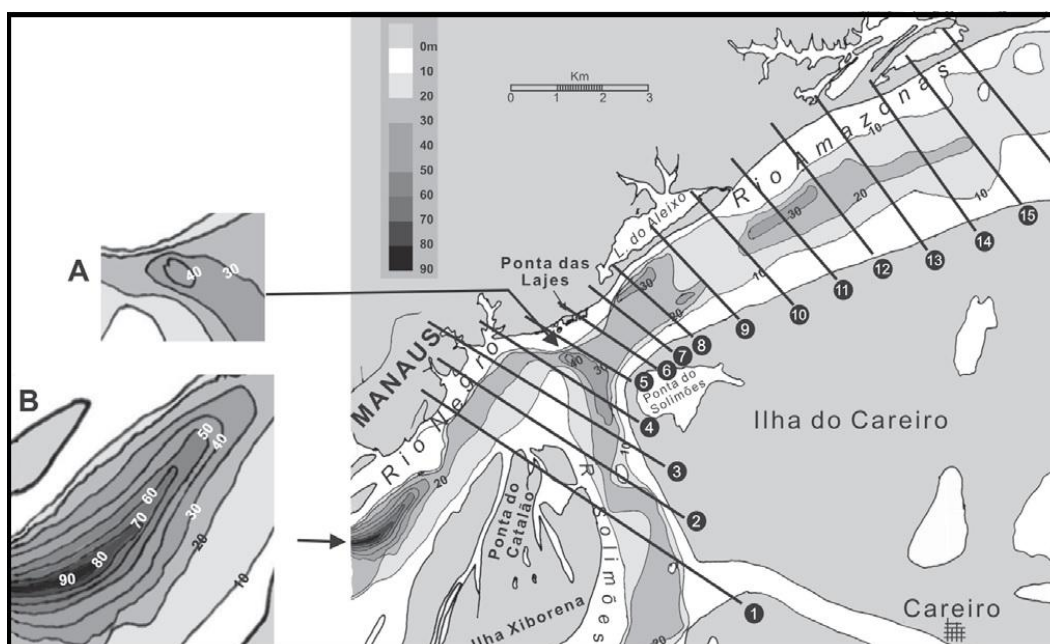


Figura 2: Mapa batimétrico da confluência dos rios Negro e Solimões. Equidistância das curvas = 10m. Dados de batimetria da Carta da Marinha Nº 4 106 B. Nos detalhes a esquerda: A - Zona do sulco de erosão (scour); B - Trecho do rio Negro.

Fonte: Adaptado de Franzinelli (2011).

A Ponta do Catalão, extremidade da barra da confluência, apresenta mudanças consideráveis com aumento de superfície e com variação na forma, com deslocamento para SE. Isso é coerente considerando o enorme volume de sedimentos trazidos pelo Rio Solimões e o imenso volume de água que os movimenta (FRANZINELLI, 2011). Na frente dessa barra da confluência ocorre o sulco de erosão. Segundo Bristow et al. (1993), uma feição desse tipo produz erosão profunda no leito do canal e está relacionada à amplitude do ângulo da confluência, à largura e profundidade dos canais confluentes e à descarga total.

A forma do sulco de erosão se apresenta irregular, de semicircular quase rodeando, oscilando em torno da posição da bissetriz do ângulo da confluência alcançando 2km ou mais de comprimento. No Rio Amazonas, paralelamente à margem esquerda a partir da Ponta das Lajes, ocorre uma fossa de 40 a 31 metros de profundidade e, aproximadamente, 4km de comprimento (Figura 2).

Usando um perfilador de sub-fundo, que é um aparelho que emite ondas sísmicas e consegue realizar mapeamentos geológicos do fundo aquático, Andrade (2014) produziu vários perfis sísmicos que proporcionaram a interpretação dos ecotipos e a análise da sua distribuição espacial. Como resultado, foi gerado um mapa (Figura 3) mostrando o tipo de ambiente de sedimentação na região do Encontro das Águas. Isso possibilitou a visualização do leito misto que se apresenta em duas zonas diferentes: uma no Rio Negro, antes da confluência, e outra a jusante da confluência, próximo a margem esquerda do Rio Amazonas. A predominância de afloramentos de rochas no Rio Solimões se limita à parte mais profunda onde a velocidade do fluxo é maior. No início da confluência o afloramento rochoso domina toda a extensão, provavelmente sendo uma zona de erosão.

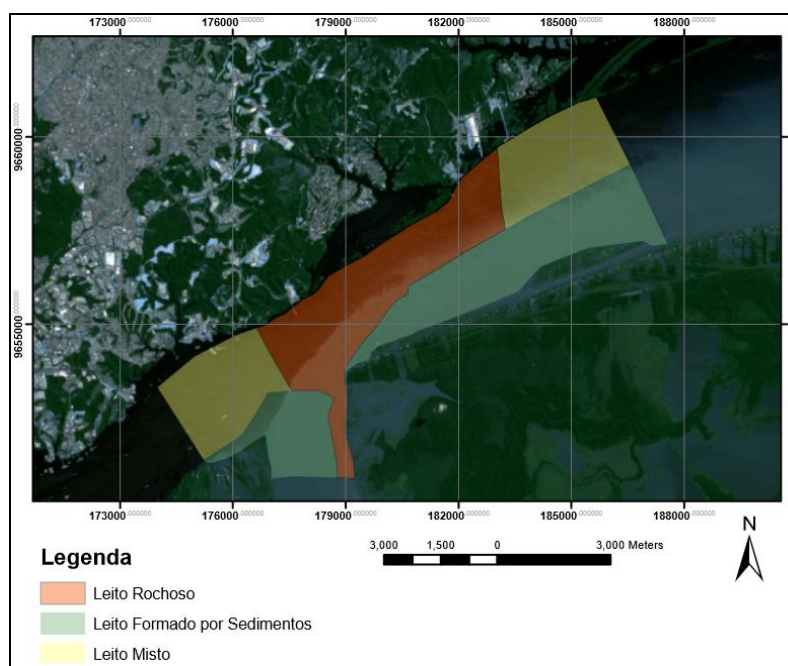


Figura 3: Tipo de Leito e sua disposição na área de estudo.
Fonte: Andrade (2014).

Andrade (2014) mostra que a distribuição dos ecotipos corrobora com a distribuição da carga de sedimentos em suspensão e das velocidades do fluxo. Porém, o referido autor

alerta para a escassa penetração do sinal do perfilador de subfundo utilizado (max. 8/10m), o que dificulta a identificação clara dos paleo-ambientes sedimentares.

4. CAPÍTULO II: REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Hidrologia

A hidrologia é a ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas e sua reação com o meio ambiente, incluindo sua relação com as formas vivas (U.S. Federal Council for Science and Technology, citado por CHOW, 1959).

A hidrometria, segundo Santos et al. (2001), é a parte da ciência hidrológica ligada à medida das variáveis temáticas e tem como objetivo obter dados básicos de precipitação, níveis de água (cotas), vazão, geometria do canal, entre outros, e também medir suas variações no tempo e no espaço.

4.1.1 Cotas

As cotas são entendidas como a altura atingida pela água na seção transversal do curso d'água em relação a uma determinada referência (absoluta ou arbitrária). Podendo ser um valor instantâneo ou a média em um determinado intervalo de tempo (dia, mês, ano) (SANTOS et al., 2001).

4.1.2 Vazão e Velocidades

A vazão ou descarga de um rio, segundo Santos et al. (2001), é o volume de água que passa através de uma seção transversal do canal na unidade de tempo. A unidade de medida é geralmente m^3/s . A velocidade é o deslocamento das partículas de água no canal numa unidade de tempo e é parte da equação da vazão, sendo geralmente medida em m/s .

A distribuição de velocidades não é uniforme na seção transversal em canais fluviais devido ao atrito da água com o ar, as margens e o leito. Por isso a distribuição tende a aumentar da margem para o centro e do fundo para a superfície (TUCCI, 2002).

4.1.3 Variáveis geométricas de canais fluviais

As variáveis geométricas de canais fluviais são importantes, pois descrevem a morfologia de uma seção transversal. Essa seção é entendida como uma linha imaginária que intersecta um plano vertical com o vale do rio, perpendicular ao leito (FERNANDEZ, 2004).

Segundo Tucci (2002), as principais variáveis (Figura 4) são: a largura do canal, que é a medida de uma margem à outra da seção transversal em nível de margens plenas; a profundidade média do canal, que são valores de profundidade do canal medidos com referência ao nível de margens plenas; a área molhada, que é a extensão do perímetro da seção transversal ocupada pela água; a declividade da linha da água, entendida como o declive no sentido longitudinal em metros por metros; e a declividade do canal que é influenciada pelo declive do fundo do canal fluvial, é também entendido como um perfil longitudinal, o qual é estabelecido em função das distâncias horizontais percorridas para a área de interesse (FERNANDEZ, 2004).

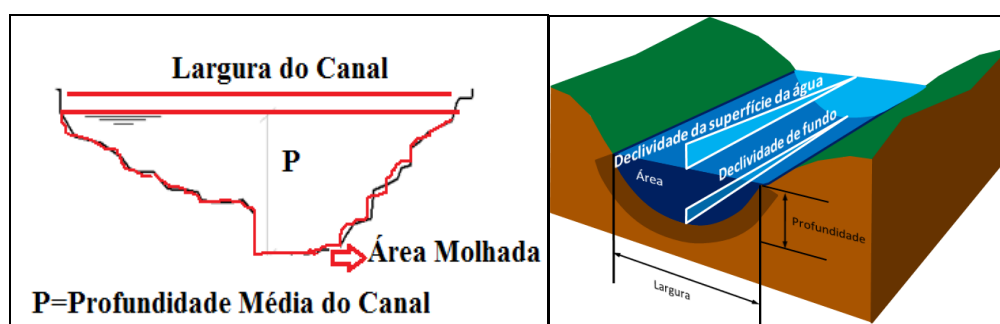


Figura 4: Variáveis geométricas da seção transversal e declividades da linha da água e do fundo.
Fonte: Fernandez (2004).

4.2. Geomorfologia Fluvial

Geomorfologia Fluvial é o campo da geomorfologia que se dedica a estabelecer relações entre processos de erosão e deposição resultantes do escoamento da água em canais fluviais e as formas de relevo dele derivadas (CHALTON, 2008).

4.2.1 Formas de Canais Fluviais

Suguio (2003) descreve algumas das principais características gerais sobre as principais formas de canais fluviais:

- os canais entrelaçados são excepcionalmente bem desenvolvidos em planícies de inundação. São caracterizados por sucessivas divisões e reuniões de canais que contornam barras de sedimentos aluviais, sendo que estas barras podem ficar expostas durante as estiagens e submersas nas enchentes e podem ficar parcialmente estabilizadas por pela vegetação;

- a principal característica dos canais meandrantes é a sua sinuosidade. Esta característica reflete a intensidade de meandramento do canal. A sinuosidade aumenta, em geral, de montante para a jusante, em consonância com a diminuição da declividade e aumento da carga sedimentar transportada;

- o padrão de canal fluvial entrelaçado é caracterizado por vários canais menores e curvilíneos que fluem em baixa velocidade contornando ilhas aluviais permanentemente cobertas por vegetação.

Todos estes tipos de formas encontram-se ilustrados na figura 5.

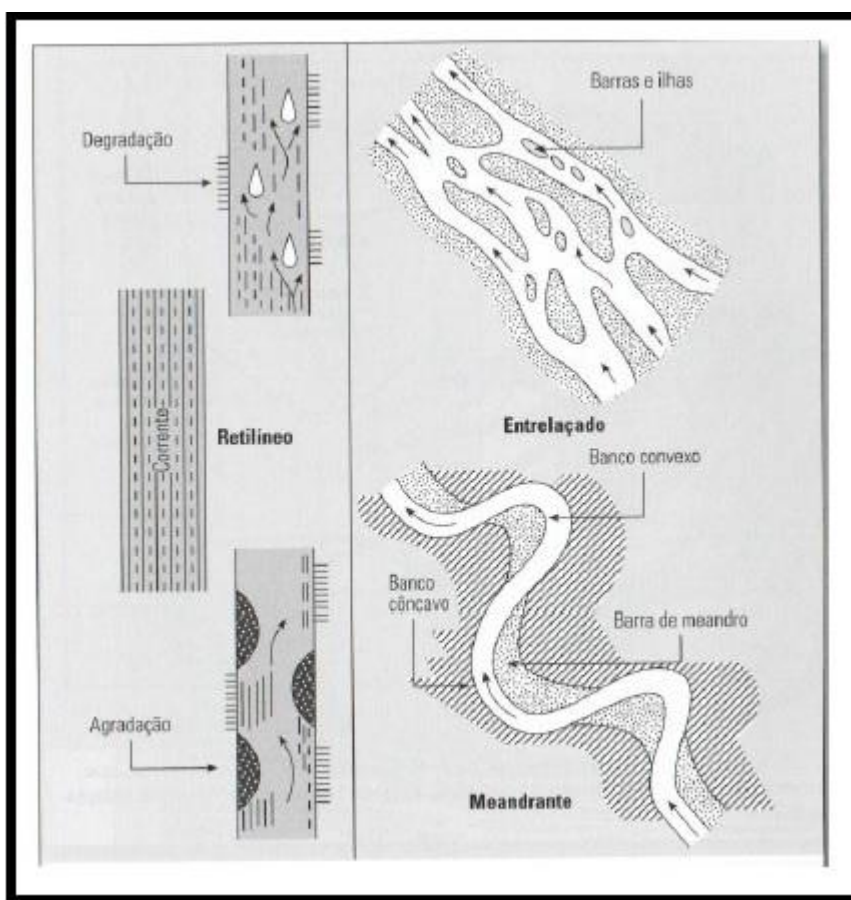


Figura 5: Padrões de canais fluviais: retilíneo, entrelaçado e meandrante.
Fonte: Modificado de Suguio (2003).

Entretanto, todos estes diferentes padrões de canais fluviais podem estar simultaneamente presentes em um mesmo rio, assim como variações temporais podem ser constatadas na evolução de um sistema fluvial (STEVAUX, 1994).

Estas definições simples de tipos de canais (como retilíneos, meandrant e entrelaçados) são difíceis de aplicar em grandes Rios (LATRUBESSE et al., 2005).

Conforme Jansen e Nanson (2004) e Latrubesse (2008), os grandes rios são dominados por padrões “*anabranching*”. Estes são entendidos como multicanais que apresentam um diversificado grupo de rios aluviais abrangendo canais múltiplos e são interconectados separados por ilhas aluviais grandes e estáveis, que dividem o fluxo.

Como abordado por vários autores (NANSON; CROKE, 1992; KNIGHTON, 1998, MIAL, 1996; FIELDING, 2007), há uma estreita associação entre o tipo de padrão de canal e as características que se desenvolvem na planície de inundação. As morfologias distintas e a arquitetura sedimentar que caracterizam uma planície de inundação podem estar relacionadas com as dinâmicas hidro-geomorfológicas dos padrões de canais associados.

4.2.2 Feições Associadas à Canais Fluviais

As principais feições ou formas que ocorrem em canais fluviais foram classificadas como unidades morfológicas aluvionares, segundo o modo de deposição, em dois tipos: i) depósitos formados por sedimentos atuantes dentro do canal; e ii) depósitos originados por processos de sedimentação que atuam fora dos canais (SUGUIO; BIGARELLA, 1990).

Os depósitos de canal (Figura 6) são classificados conforme os referidos autores em:

a) **Depósito de Barra de Meandro:** são constituídos de sedimentos arenosos, siltico-argilosos ou conglomeráticos, pobremente selecionados;

b) **Depósito de Barras Longitudinais e Transversais:** ocorrem em rios entrelaçados provenientes de carga de fundo e são depositados em fases de escoamento rápido.

No que diz respeito aos depósitos que ocorrem fora dos canais (Figura 6) podem ser classificados segundo Suguio e Bigarella (1990) em:

a) **Diques Naturais:** que constituem cordões sinuosos, grosseiramente triangulares, em secção transversal. Sua altura é maior perto da margem do canal, formando bancos íngremes e altos de onde afinam para a planície de inundação, sendo mais desenvolvidos nos bancos côncavos.

b) **Depósito de Planície de Inundação:** originam-se por um processo semelhante ao da formação dos diques naturais. Nesta depositam-se sedimentos finos, camadas de areia fina, silte e argila;

c) **Depósito de Rompimento de Diques:** a formação desses depósitos ocorre quando, no período da enchente, uma grande quantidade de água e sedimentos transborda por sobre os diques, causando o rompimento do dique e, através deste processo, formando um depósito aluvionar.

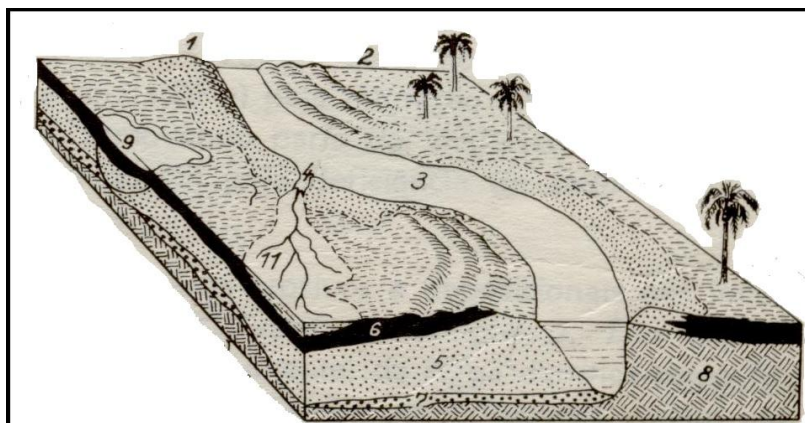


Figura 6: Processos sedimentares e fácies fluviais: 4 - Depósitos de rompimento de dique marginal (crevassa). 5 – Depósito de barra de meandro. 6 – Depósito de planície de inundação. 11 – Depósitos de rompimento de dique. Fonte: Modificado de Allen (1964) *apud* Suguio e Bigarella (1990).

As deposições em **barras de meandro**, como parece ser o caso da Ilha da Xiborena, ocorrem em um canal sinuoso dentro do canal principal. Devido à fricção do fluxo sobre o leito e margens, forma-se um fluxo secundário helicoidal em cada curva como ocorre nos canais meandrantess (Figura 7). Dessa forma, o material erodido na margem côncava de uma curva de meandro tende a ser depositado na próxima margem convexa da curva seguinte, à jusante, e não na margem oposta formando as fácies designadas por barras de meandro (Figura 7) (SUGUIO e BIGARELLA, 1990).

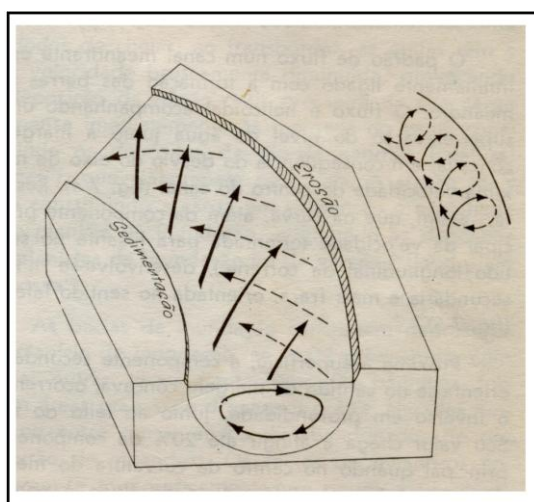


Figura 7: Fluxo Helicoidal em uma curva de meandro, aonde ocorre deposição de sedimentos na margem convexa e erosão na margem côncava. Fonte: Modificado de Suguio e Bigarella (1990).

Esses depósitos de barra de meandro, também são conhecidos pela designação de barra em pontal (*point bar*),, conforme Suguio e Bigarella (1990). Estes caracterizam a maior parte dos canais sinuosos e se formam no interior das curvas de meandros como resultado dos

padrões de fluxo secundário que estão associados com escoamento em canais curvos (CHALTON, 2008).

Em alguns casos, os antigos depósitos de barras de meandro podem ser observados na topografia da planície de inundação como barras que foram deslocadas. Cada deslocamento representa uma posição anterior dessa barra em pontal, juntamente com as deposições por acreção lateral (Figura 8). A topografia resultante desses sucessivos deslocamentos do *point bar* consiste em cristas superiores, separadas por pontos baixos, que podem ser vistos como uma série de cumes e pequenos vales (Figura 8) (CHALTON, 2008).

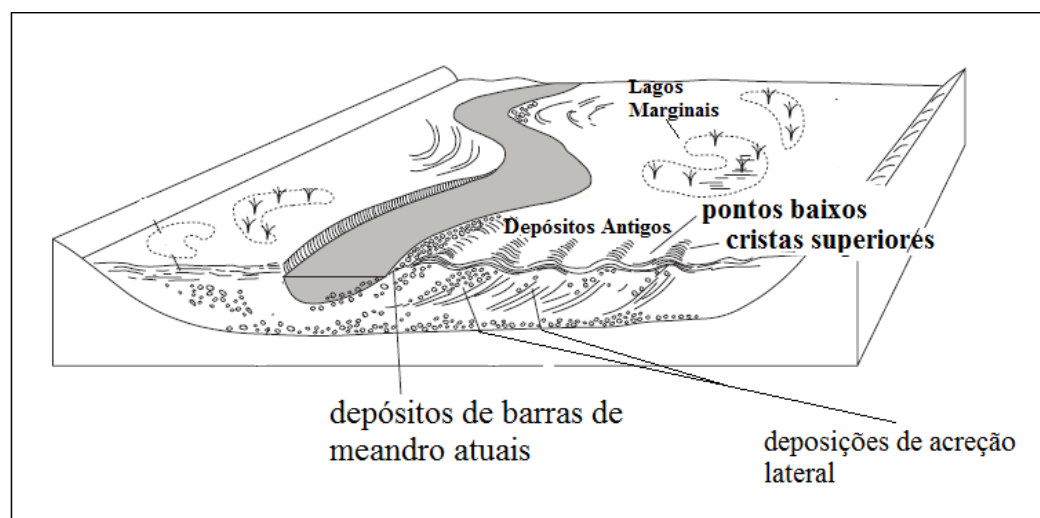


Figura 8: Formas de deposição em um meandro dentro de uma planície de inundação. Destaque para depósitos antigos de barras de meandro e as formas na topografia resultante do deslocamento da barra em pontal, que são as cristas superiores e os pontos baixos.

Fonte: Modificado de Chalton (2008).

Complementando o entendimento das fácies fluviais dos sistemas deposicionais definidos por Suguio e Bigarella (1990), estes são entendidos como processos sedimentares dominantes. Suas características resultam da história completa do sistema fluvial englobando, inclusive, efeitos temporais como mudanças na carga transportada e no volume de descarga.

4.2.3 Tipos de Movimento da Água em Canais Fluviais

Em canais abertos, podem-se encontrar vários tipos de movimentos do fluido (SUGUIO; BIGARELLA, 1990) dentre os quais se destacam os fluxos laminares e os turbulentos (Figura 9):

a) **fluxo laminar**: a água corrente apresenta este tipo de fluxo quando as várias "camadas de fluido" deslizam umas em relação as outras sem que haja mistura de material.

Isto ocorre quando a velocidade de fluxo é relativamente lenta e cada elemento do fluido move-se ao longo de um caminho específico com velocidade uniforme.

b) **fluxo turbulento**: o fluxo torna-se turbulento quando, através das linhas fluxo, verificam-se flutuações de velocidades que excedem um determinado valor crítico. Estas flutuações são causadas quando a água passa por obstáculos ou irregularidades de contornos rugosos do fundo.

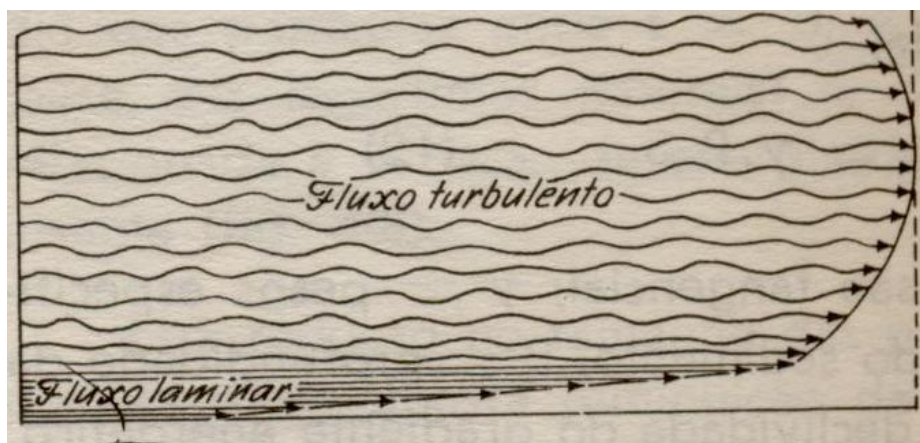


Figura 9: Diagrama indicando as áreas de fluxo laminar e turbulenta num canal.
Fonte: Suguio e Bigarella (1990).

4.3. Hidrogeomorfologia: conceitos e aplicações

Scheidegger (1973) foi o primeiro pesquisador a usar o termo Hidrogeomorfologia em um artigo científico definindo este termo como sendo o estudo das formas causadas pela ação das águas (GOERL et al., 2012). Desde então, este conceito teve varias modificações, sendo encontrado em vários estudos relacionados à união entre a Hidrologia e a Geomorfologia. Porém, a maneira como esta união ocorre ainda não é bem definida, segundo Goerl et al. (2012).

Para Sidle e Onda (2004), a Hidrogeomorfologia inclui as inter-relações entre diversos processos hidrológicos e geomorfológicos e pode ser definida como uma ciência interdisciplinar que se concentra na ligação e interação de processos hidrológicos com as formas de paisagem ou matérias terrestres e, ainda, a interação de processos geomorfológicos com as águas superficiais ou subsuperficiais em diferentes escalas espaciais e temporais.

Sidle e Onda (2004) enumeram alguns temas-chave desenvolvidos por estudos hidrogeomorfológicos: processos de escoamento superficial influenciados pela litologia e geomorfologia; processos erosivos superficiais ligados à canais; fatores de modelagem

hidrológica que afetam a deflagração de deslizamentos e a avaliação das propriedades hidrológicas dos solos associadas a deslizamento; e a interação entre precipitação e ambiente terrestre.

4.4. Encontros Fluviais

4.4.1 Morfologias Associadas e Padrões de Fluxo de Água

Dentro de uma perspectiva hidráulica, confluências são suscetíveis à ocorrência de turbulência com movimentos convergentes e divergentes, formando ressurgências. Essas ações geram movimentos caóticos com a formação de correntes secundárias de diferentes velocidades e direções, incluindo correntes que seguem contra o fluxo principal do rio (MORIZAWA, 1968; STEVAUX et al., 2009).

Os principais fatores de controle sobre o fluxo nas zonas a jusante das confluências são: fatores morfológicos - como ângulo de confluência e a assimetria do leito do canal; e fatores hidráulicos - como a relação da intensidade dos fluxos divergentes e o contraste de densidades desses fluxos (DE SERRES et al., 1999; STEVAUX et al., 2009).

Essas dinâmicas induzem um grande movimento de sedimentos no fundo do canal e, conseqüentemente, uma grande variação e alteração na morfologia do leito (CHRISTOFOLETTI, 1981; RHOADS; KENWORTHY, 1995; DE SERRES et al., 1999; STEVAUX et al., 2009).

Através de observações realizadas por meio de simulações em laboratório, Best (1988) analisou o comportamento da morfologia do leito em confluências. O autor evidenciou que o ângulo de confluência e a razão de descarga entre os dois canais confluentes são os principais responsáveis pelas características morfológicas do leito nestas áreas. Nesse contexto, 3 elementos distintos ocorrem (Figura 10): 1) faces de avalanche na boca de cada canal da confluência, 2) uma profunda fenda de erosão no centro e 3) uma barra formada nos cantos da junção são comuns.

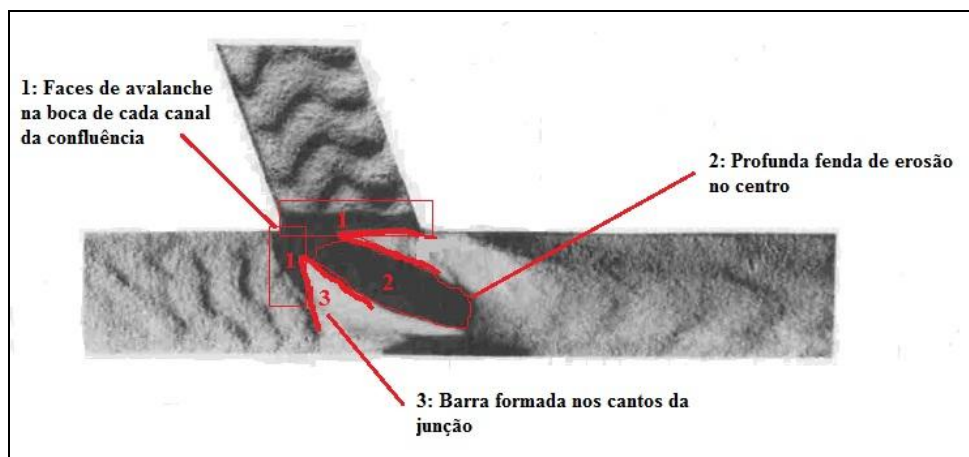


Figura 10: Principais elementos da morfologia do leito em canais confluentes. Exemplo com ângulo de confluência de 70°.
Fonte: Best (1988).

Em relação aos padrões de fluxo da água em zonas de confluências, Best (1987) descreve seis elementos distintos (Figura 11): 1) uma zona de estagnação relativa do fluxo próximo do canto da confluência à montante; 2) uma região de deflexão do fluxo, em que cada corrente entra na área da confluência; 3) uma zona de separação do fluxo, à jusante da confluência; 4) uma área de velocidade máxima; 5) uma área de recuperação gradual do fluxo à jusante da zona de separação de fluxo; e 6) uma zona de recuperação progressiva do fluxo à jusante da confluência. Os dois elementos controles dominantes sobre estas zonas são o ângulo de confluência e razão de descarga do canal.

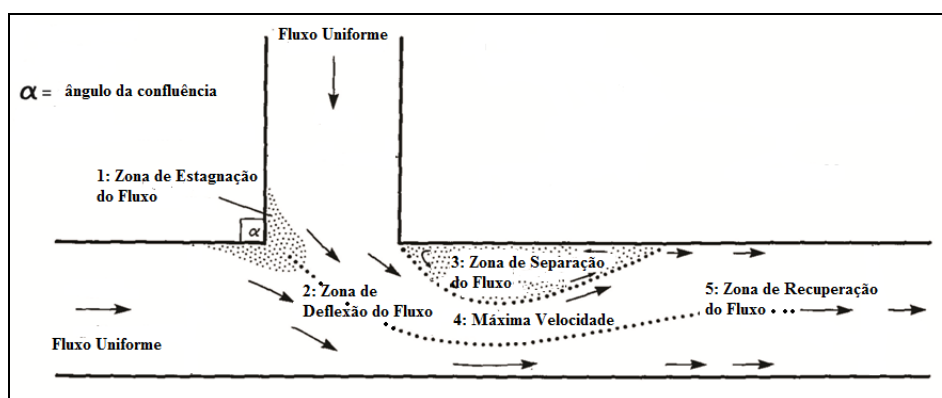


Figura 11: Principais elementos da hidrodinâmica de confluências.
Fonte: Adaptado de Best (1987).

4.5. Métodos Sísmicos

Os métodos Sísmicos baseiam-se na propagação de ondas sísmicas em meios elásticos. Ondas sísmicas são pacotes de energia de deformação elástica que se propagam radialmente a partir de uma fonte acústica (PINHEIRO, 2015).

O levantamento sísmico consiste na emissão de ondas sísmicas geradas por uma fonte acústica. Estas percorrem o meio e são captadas por receptores (geofone, no caso de levantamentos terrestres, e hidrofones, no caso de levantamentos aquáticos). Os sinais recebidos contendo informações a respeito dos tempos de chegada e a intensidade do sinal captado são conduzidos ao sistema de gravação para futuro processamento e interpretação da seção sísmica (PINHEIRO, 2015).

Existe um grande leque de fontes acústicas que geram ondas sísmicas com frequências variadas dependendo do seu objetivo. Frequências mais elevadas normalmente fornecem informações com melhor resolução em detrimento da penetração, enquanto frequências mais baixas normalmente apresentam maior penetrabilidade em detrimento da resolução. Estes métodos, assim como a maioria dos métodos geofísicos, constituem maneiras indiretas de investigação possibilitando o imageamento e o mapeamento do assoalho do corpo hídrico em estudo e dos estratos em subsuperfície (PINHEIRO, 2015).

.

4.5.1. Ecobatimetria Monofeixe e Multifeixe

Ecobatímetros monofeixe realizam um único registro de profundidade a cada pulso acústico (*ping*). Emitindo pulsos de forma contínua, obtém linhas ou seções batimétricas levantadas no percurso da navegação (GEOLEVEL, 2016). Conforme a embarcação desloca-se ao longo da área estudada, o equipamento mapeia o leito do corpo hídrico (Figura 12).

Ecobatímetros multifeixe realizam diversas medidas de profundidade com um mesmo *ping* emitido por múltiplos feixes que são arranjados angularmente de forma a mapear áreas contíguas na direção perpendicular à navegação (Figura 13). Com isso o sistema é capaz de levantar faixas extensas (variando com a profundidade) do fundo, atingindo elevada resolução da área levantada (GEOLEVEL, 2016).

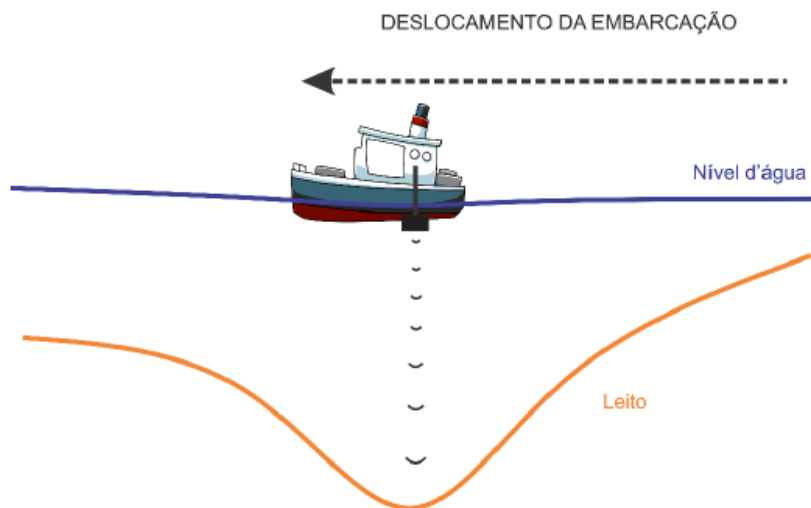


Figura 12: Desenho ilustrativo da ecobatimetria com monofeixe.
Fonte: Pinheiro (2015).

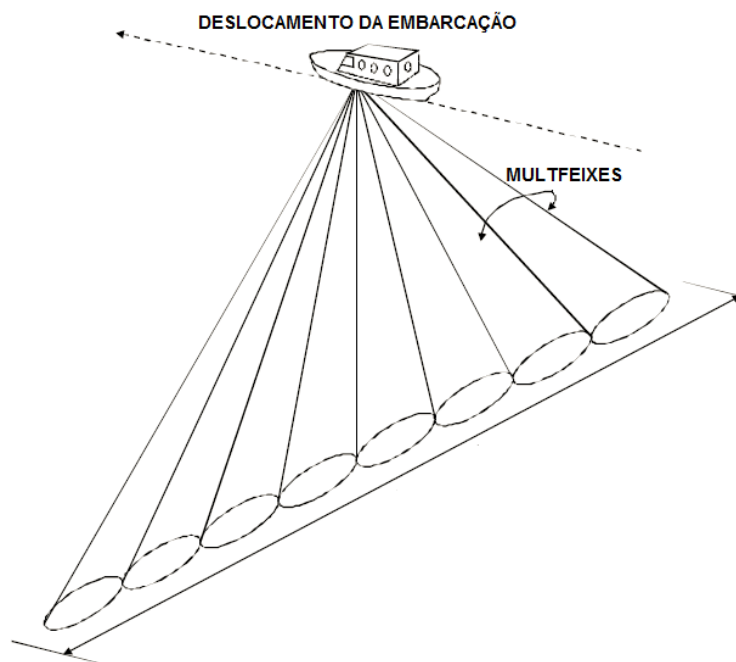


Figura 13: Desenho ilustrativo da ecobatimetria com multifeixe.
Fonte: Adaptado da Geolevel (2016).

4.5.2. ADCP

O Correntômetro Acústico de Efeito Doppler (siglas em inglês de ADCP - *Acoustic Doppler Current Profile*), é um aparelho que foi desenvolvido para medir vazões e velocidade de cursos d' água através do efeito "Doppler" (THIAGO FILHO et al., 1999; FILIZOLA et al., 2009a).

O princípio de funcionamento do ADCP, similar à sísmica, utiliza a propagação, reflexão e espalhamento do sinal acústico através da coluna d'água. Porém, estas ondas são de maior frequência, tais como 75, 150, 300, 600, 1200 e 2400kHz, dependendo do modelo do equipamento (RD INSTRUMENTS, 1996).

Este aparelho, que contém quatro transdutores, registra o retorno do sinal acústico refletido pelos sedimentos em suspensão transportados pela corrente. O efeito Doppler refere-se à mudança de frequência do sinal transmitido e refletido causada pelo movimento relativo entre o equipamento e o material em suspensão sob a ação dos feixes das ondas sonoras (Figura 14).

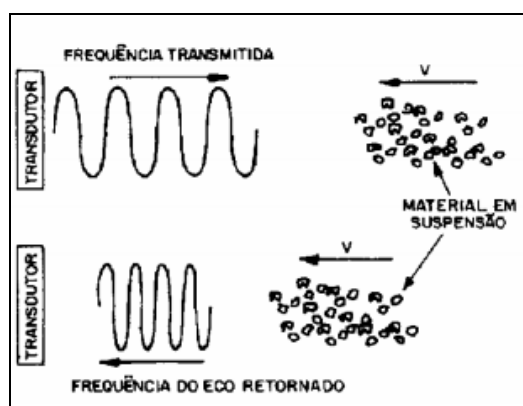


Figura 14: Mudança de frequência causada pelo efeito Doppler.
Fonte: Thiago Filho (1999).

Como o material em suspensão se desloca na mesma velocidade da corrente da água, a magnitude do efeito Doppler é diretamente proporcional a essa velocidade. Medindo-se a frequência dos ecos que retornam do material em suspensão e comparando-a com a frequência do som emitido, o ADCP determina a velocidade da partícula que é a mesma da corrente de água (THIAGO FILHO et al., 1999).

Conforme o aparelho vai emitindo pulsos acústicos e medindo as velocidades, também está realizando uma batimetria à medida que vai lendo o fundo. Com isso, computa as velocidades médias de cada vertical, sua área correspondente e, logo, a vazão do segmento (GAMARO, 2012). A figura 15 ilustra o funcionamento de um ADCP.

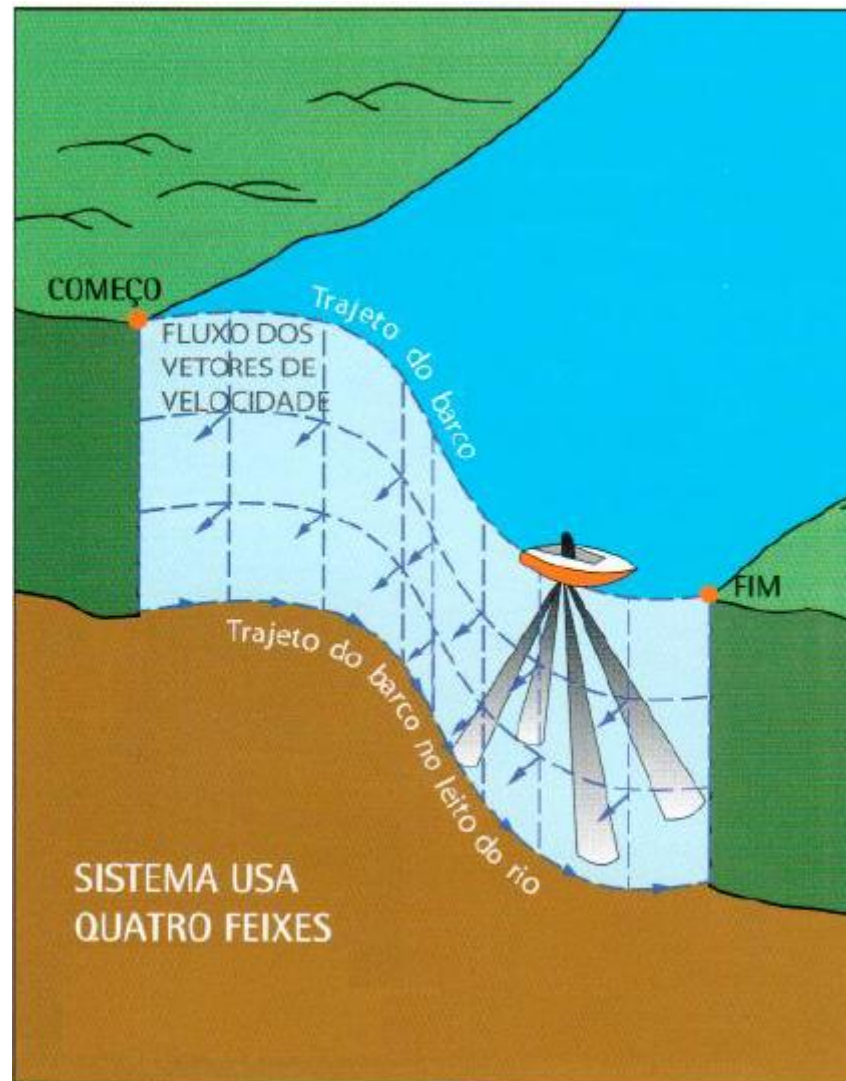


Figura 15: Imagem ilustrativa do funcionamento de um ADCP
Fonte: USGS (2003) apud Gamaro (2012).

5. CAPÍTULO III: MATERIAIS E MÉTODOS

5.1.1 Períodos de Levantamento de Dados e Equipamentos Usados

A abordagem utilizada deste trabalho utilizou dados de:

- profundidade do canal;
- velocidade da corrente;
- sinal de retroespalhamento;
- temperatura da água em superfície;
- imagens de satélites e fotografias aéreas.

Os levantamentos de campo ocorreram em datas distintas: entre os dias 13 e 14 de maio de 2008 no Rio Solimões; de 8 a 11 de janeiro de 2015 no Rio Negro; e de 28 de abril de 2015 a 03 de maio de 2015 na confluência. Todos os levantamentos ocorreram em períodos de enchente nos Rios Solimões e Negro, conforme observado na figura 16.

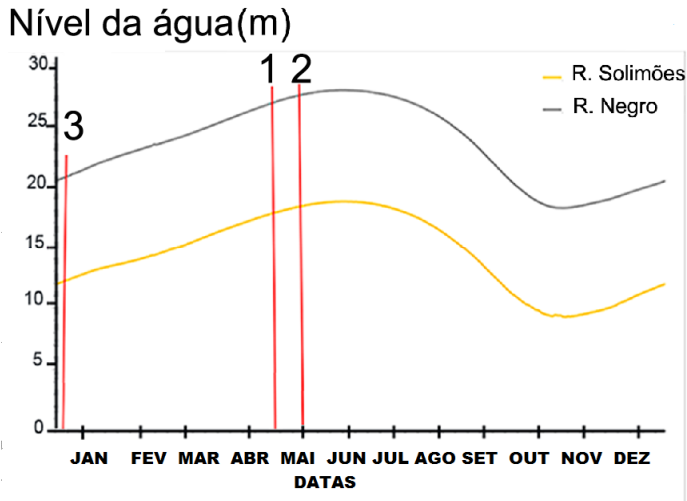


Figura 16: Períodos de levantamentos de campo para este estudo (1 = Rio Solimões, 2 = Rio Negro e 3 = área da confluência) no ciclo hidrológico dos Rios Solimões e Negro. Foram utilizados dados médios do nível da água dos últimos 10 anos para as duas estações hidrométricas: Manacapuru no Rio Solimões e Manaus no Rio Negro. Org.: André Z. A. Nascimento, 2016.

Para as coletas de dados foram utilizados diversos equipamentos:

- ADCP modelo Workhorse Rio Grande, frequência de 600 kHz (RD INSTRUMENTS, 2003) para obtenção de dados de: velocidade de corrente, sinal de retroespalhamento, temperatura da água na superfície e profundidade;

- Ecobatímetro Monofeixe Odom Echotrac CVM de dupla frequência, 200 e 33 kHz;
- Ecobatímetro multifeixe Reson Seabat 7101 para a obtenção de dados de profundidade em maior detalhe;
- DGPS Trimble R4 e Trimble DSM 232 para obtenção de dados de posicionamento dos levantamentos realizados com ADCP, Ecobatímetros e auxílio na navegação da embarcação;
- 2 NOTEBOOKs (Modelo Positivo de 4 GB de memória e processador i7).

No barco acoplaram-se dois sistemas de aquisição de dados independentes: a) O sistema de bombordo (Figura 17A) que consistiu no ecobatímetro monofeixe e no DGPS Trimble DSM 232, conectados a um *notebook* e interligados pelo *software* Hypack 2010. O *software* fornece suporte à navegação, além de registrar os dados dos ecobatímetros e os do DGPS, fornecendo valores de profundidade georreferenciados. b) O sistema de boreste (Figura 17B) consistiu de um ADCP e um DGPS Trimble R4, ambos interligados pelo *software* WinRiver II, possibilitando a coleta de dados hidrológicos georreferenciados.

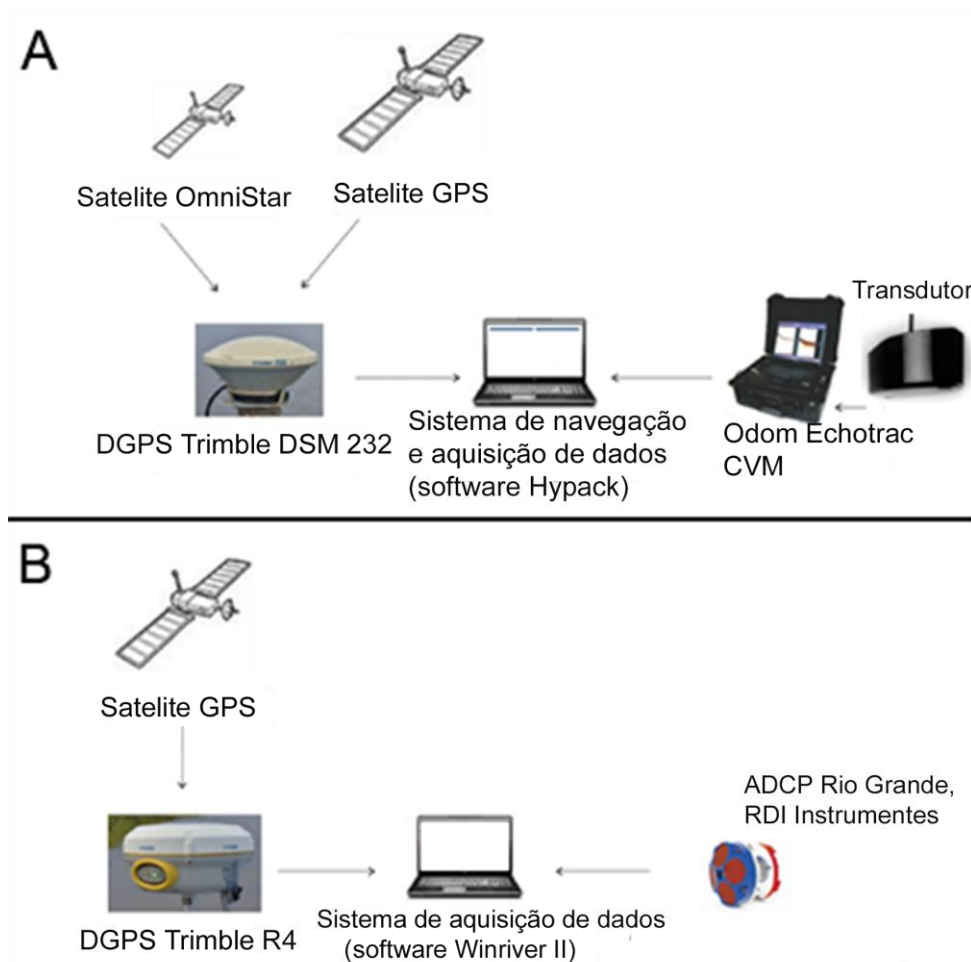


Figura 17: Sistemas de aquisição de dados independentes. A) Sistema de bombordo, com aquisição de dados batimétricos; e B) Sistema de boreste com aquisição de dados hidrológicos.

Fonte: Adaptado de Pinheiro (2015).

5.1.2 Obtenção e Processamento de Dados Extraídos com ADCP

Para iniciar as medições, o barco equipado com o ADCP e DGPS integrado é posicionado próximo a uma das margens (ponto inicial), mede-se a distância (em metros) da margem ao barco, insere-se esta informação no software de coleta de dados (Winriver II) e inicia-se o modo *ping* (emissão de sinal). Logo após, o barco desloca-se de maneira transversal ao curso do rio até chegar à outra margem. Finalizada a travessia, completa-se a medição e registra-se a distância até a margem que é inserido novamente no software do fabricante que irá calcular automaticamente todas as informações coletadas. Obtém-se, assim, os resultados de vazão (m^3/s), velocidade do fluxo (m/s), *backscatter* (retorno do eco em dB), entre outros.

Os dados de profundidade, velocidade, retroespalhamento e temperatura foram coletados a partir de *transects* transversais aos canais fluviais em espaçamentos regulares nas três áreas de estudo (Figura 18A 1, 2 e 3a) gerando nuvens de pontos georreferenciados.

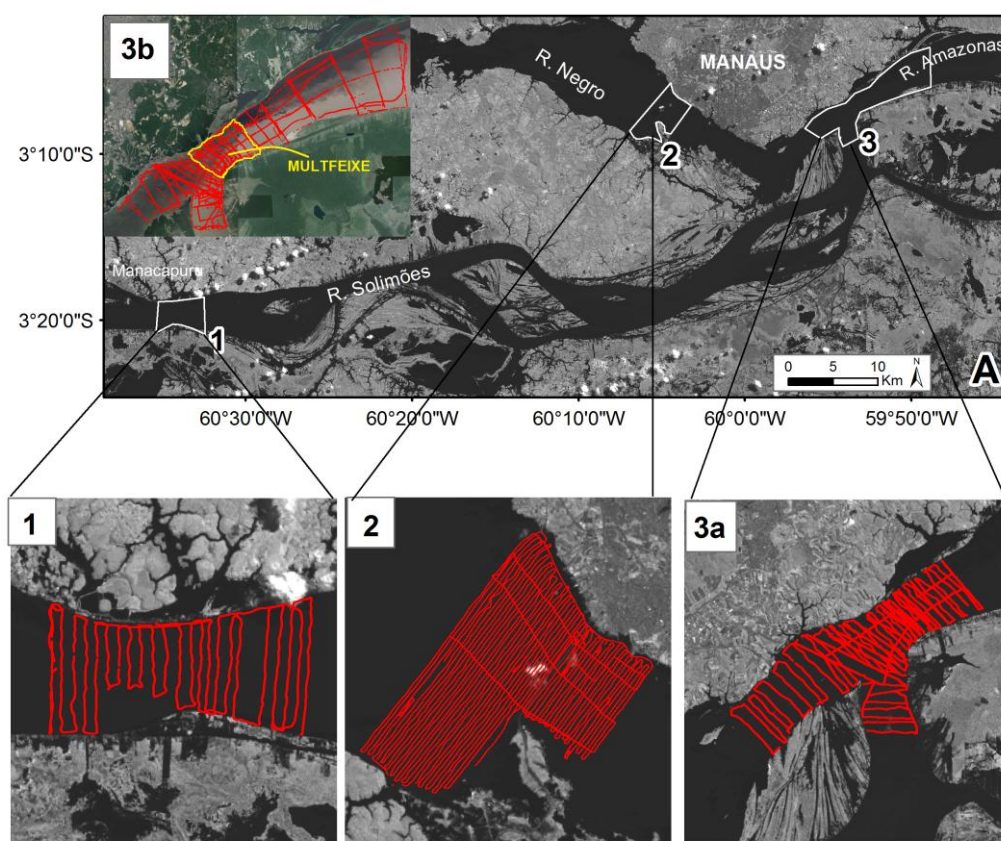


Figura 18. A: Localização das áreas de coleta de dados. 1) Transectos de coleta de dados ADCP no Rio Solimões em Manacapuru; 2) Transectos de coleta de dados ADCP no Rio Negro em Manaus; 3a) Transectos de coleta de dados ADCP na área de confluência dos rios Solimões e Negro; 3b) Transectos de dados coletados com ecobatímetros mono e multifeixe na área de confluência (linhas vermelhas indicam transectos de pontos coletados e polígono em amarelo indica área de coleta do ecobatímetro multifeixe).
Org.: Andre Z. A. Nascimento, 2016.

O processamento ocorreu através de software específico do equipamento. Após esta etapa, os dados foram convertidos para um mesmo padrão (ASCII) e trabalhados em Sistema de Informação Geográfica (SIG) onde foram interpolados utilizando o método de Krigagem Ordinária. Esse consiste em um processo geoestatístico de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço e/ou tempo, com base em valores adjacentes quando considerados interdependentes pela análise variográfica. Segundo Landim et al. (2013), a diferença fundamental, quando comparada à outros métodos tradicionais, é que a krigagem apresenta estimativas não tendenciosas e a mínima variância associada ao valor estimado.

Na sequência, foram gerados mapas de profundidade, de distribuição em superfície das velocidades médias de corrente, da temperatura e do sinal de retroespalhamento. Utilizando o software VMT (Velocity Mapping Toolbox) (PARSONS et al., 2013), foi possível gerar perfis de velocidade primária (corrente geral nas áreas de estudo) e de velocidades secundárias (eventos locais de turbulência), além das médias de velocidades e vetores de direção do fluxo ao longo de todas as profundidades (*depth average velocities*). Foi utilizado o método de rotação Rozovskii, pois este revela as velocidades secundárias induzidas pela divergência de vetores próximos do leito e de velocidade perto da superfície, além de indicar se estas velocidades secundárias variam sistematicamente sobre a profundidade (RHOADS; KENWORTHY, 1999).

5.1.3 Obtenção e Processamento de Dados Extraídos com Ecobatímetro Monofeixe e Multifeixe

Os dados de profundidade extraídos do Ecobatímetro Monofeixe (Figura 18A - 3b) foram processados através do software específico do equipamento. Depois foram extraídos no formato “.txt”. Em seguida, foram gerados Modelos Digitais de Terreno (MDT) através do *software* SURFER 12, da Golden Software com a licença gentilmente cedida pelo laboratório de Geofísica do Instituto de Geofísica da Universidade de Brasília, usou-se o método de interpolação Krigagem. Utilizou-se a projeção UTM - Zona 21S e Datum WGS-84.

Os dados de profundidade da região da confluência (Figura 18A-3b) foram referenciados com o Datum vertical da estação fluviométrica do Porto de Manaus com o nível de referência igual à altura do nível d'água de 17,65m. Este dado foi obtido na Ficha F-43 da Marinha. Escolheu-se o nível de referência da Marinha, pois os dados de Franzinelli (2011) foram retirados de cartas náuticas do órgão e, para possíveis comparações, fez-se necessário

este ajuste. Para os dados de profundidade dos canais dos Rios Solimões e Negro a montante da confluência, não foi realizada nenhuma referência, tendo em vista que a análise da morfologia do leito destas áreas é de caráter descritivo.

Os dados do Ecobatímetro multifeixe Reson Seabat 7101 foram fornecidos pelo Prof. Dr. Marco Ianniruberto do Instituto de Geociências-IG da Universidade de Brasília-UnB. Estes foram levantados em 11 de setembro de 2015 e processados pelo mesmo no software SURFER 12, da Golden Software, também utilizando o método de interpolação por Krigagem, com a projeção UTM -Zona 21S e Datum WGS-84. Foi realizado um modelo 3D com uso de SIG com os dados levantados na área de estudo (Figura 18A - 3b).

5.1.4 Análise Sobre as Alterações na Morfologia em Superfície na Região da Confluência

A análise sobre as alterações na morfologia em superfície na região da confluência foi realizada através da interpretação visual e, posteriormente, a vetorização e sobreposição das principais feições de duas imagens: uma de satélite LANDSAT 5 de 2004 (baixado do INPE Web site) e um mosaico de fotografias desenvolvidas por Sternberg (1998), ambas com o nível da água aproximadamente próximo. Os sulcos de feição do ano de 2015 referentes a este trabalho e dados de 1967 da Marinha, retirados do trabalho realizado por Franzinelli (2011), também foram vetorizados e inseridos nessa análise com o intuito de identificar as mudanças que ocorreram no leito do canal na área de estudo.

Utilizou-se um software de SIG para a elaboração de um mapa resumo com os principais resultados dessa análise e mais dois mapas, sendo um com a identificação das regiões de fluxo e outro com as principais feições morfológicas que ocorrem no leito de canais fluviais em áreas de confluência.

6. CAPÍTULO IV: RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Canais dos Rios Negro e Solimões

6.1.1. Rio Solimões

A área investigada apresentou uma distribuição de velocidades médias de corrente bem delimitada (Figura 19A). As maiores velocidades concentram-se, inicialmente, próximos da margem esquerda do canal (montante da área), na sequência, tornando-se mais fortes na região central (jusante da área). Os valores absolutos variaram de 2,5m/s a 3m/s e a direção da corrente permaneceu praticamente a mesma, de oeste para leste.

O trecho do Rio Solimões (Figura 19B) apresentou profundidades máximas que variaram de 50 a 60m, características essas possivelmente associadas ao lineamento tectônico descrito por Latrubesse e Franzinelli (2002). A maior profundidade do canal encontra-se próxima à margem esquerda reduzindo-se para jusante, até cerca de 25m, com o leito (em "rampa") gradativamente passando de uma forma em "U", encaixado, para um leito praticamente plano, de formato retangular.

Seções transversais (SOLI-1 a SOLI-4, Figuras 20A e B), com dados de velocidade da corrente e sinal de retroespalhamento, foram extraídas dos *transects* realizados com ADCP possibilitando uma visão da distribuição dessas variáveis dentro do canal. A seção **SOLI-1** apresentou uma geometria bem regular em "U", com largura de 2Km, profundidades que chegaram a 50m na porção centro-direita do canal e velocidades máximas variando de 2,5 a 3m/s. Os valores de retroespalhamento do sinal variaram de 80 a 95 [dB], com os maiores valores chegando a 95 [dB] e situados na porção centro-esquerda, próximo de uma zona de baixa intensidade com valores de 80 [dB].

A seção **SOLI-2** apresentou geometria do canal mais irregular que a SOLI-1 com largura de 2,1Km, profundidades elevadas de 40 a 45m na região centro-direita do canal e velocidades máximas variando de 2,5 a 3m/s na parte central da seção. Maiores valores de retroespalhamento do sinal variando de 90 a 95 [dB] se estenderam ao longo de quase toda a seção. Uma zona de baixa intensidade com valores variando de 80 a 85 [dB] foi encontrada nas proximidades da margem esquerda do canal.

Na seção **SOLI-3**, a geometria do canal apresentou uma forma mais regular que as anteriores com um largura de 2,6Km e uma diminuição das profundidades que variaram de 25 a 30m, com velocidades mais altas oscilando entre 1 a 2,5m/s na região centro-esquerda do

canal. Valores elevados do sinal de retroespalhamento variaram de 90 a 95 [dB] praticamente ao longo de toda a seção, havendo apenas uma região na superfície da água próximo à margem direita e uma zona próximo da margem esquerda com valores mais baixos (80 a 85 [dB]).

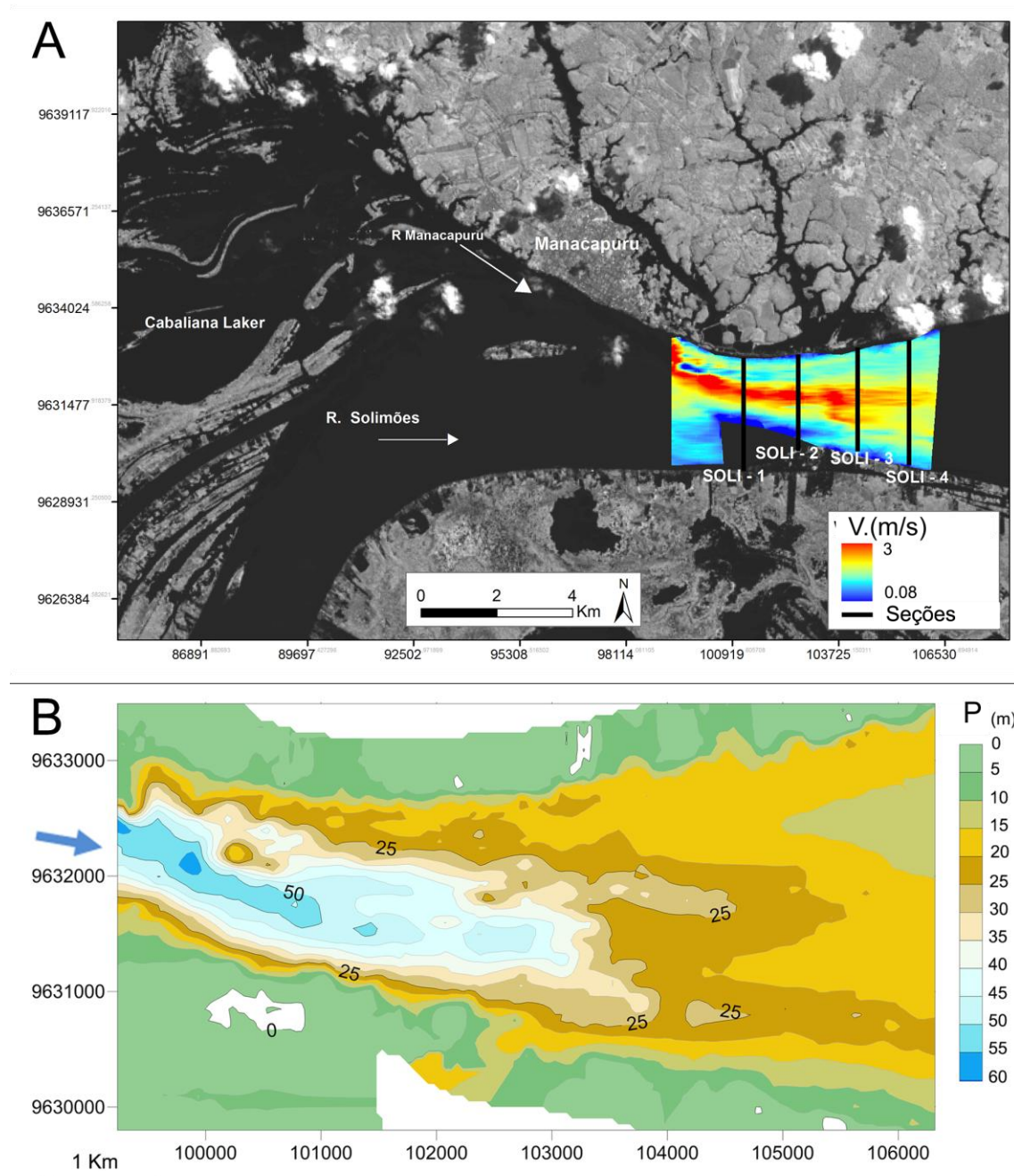


Figura 19. A) Distribuição das velocidades médias da água no Rio Solimões nas proximidades de Manacapuru. Maiores valores correspondem às cores quentes (amarelo claro ao vermelho) e menores valores às cores frias (azul escuro à azul claro). Linhas pretas indicam os locais das seções transversais (SOLI-1, 2, 3 e 4) retiradas dos dados ADCP coletados em campo. Em destaque, a foz do Rio Manacapuru, à montante da área estudada. Imagem base (banda 6 do satélite LANDSAT 8, baixado do site do [EROS](http://eros.usgs.gov), USGS). B) Mapa batimétrico do Rio Solimões, em Manacapuru.

Org.: Andre Z. A. Nascimento, 2016.

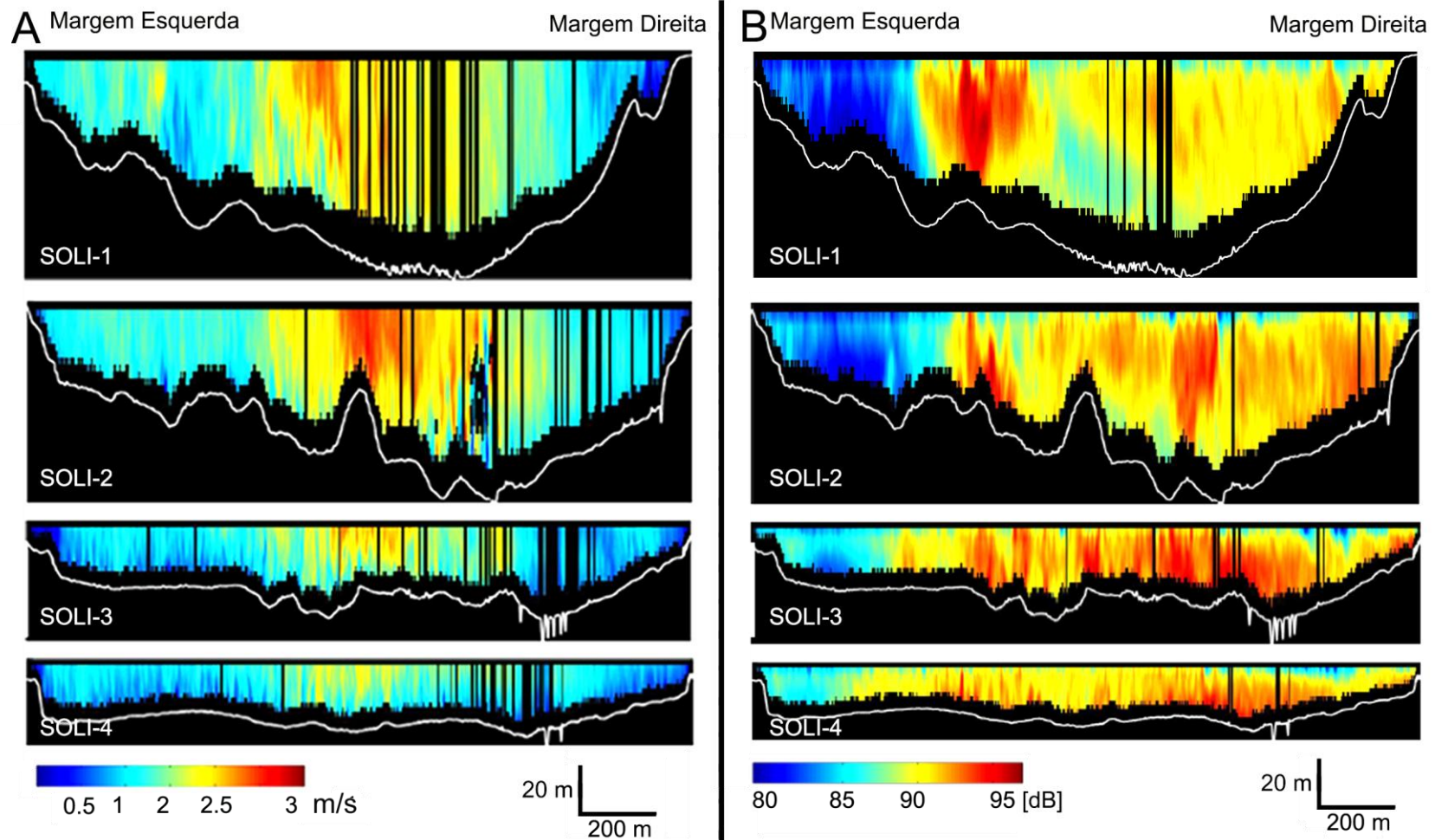


Figura 20. A) Seções transversais com dados de velocidade média da água no Rio Solimões; B) Seções transversais com dados de retroespalhamento do sinal no mesmo Rio. A localização destas seções é indicada na figura 20A.
Org.: Andre Z. A. Nascimento, 2016.

A seção SOLI-4 apresentou geometria do canal bastante regular com largura de 3Km, profundidades máximas variando entre 20 e 25m e velocidades máximas variando de 1 a 2m/s na região central do canal. A distribuição dos valores de retroespalhamento do sinal apresentou-se semelhante à seção anterior com valores variando de 90 a 95 [dB], tendo apenas duas zonas com baixas intensidades: uma próximo da margem esquerda na superfície da água e outra à margem direita, com valores variando de 80 a 85 [dB].

O que se percebe com esta análise é uma irregularidade dentro da área, do ponto de vista das profundidades, onde maiores profundidades ocorrem à montante e diminuem a jusante. Isso evidencia um leito com forte inclinação, algo parecido como uma "rampa", causando variações importantes no sinal de retroespalhamento que, conforme observado por Filizola et al. (2009a), resultam no revolvimento do sedimento do leito, com efeito sendo perceptível a partir de imagens de satélite. Além disso, baixos valores de retroespalhamento do sinal na margem esquerda do canal podem estar relacionados às contribuições das águas escuras, que carregam poucos sedimentos do Rio Manacapuru, localizado à montante da área.

6.1.2. Rio Negro

A área investigada no Rio Negro apresenta distribuição irregular de velocidades de corrente (Figura 21A) com maiores valores que chegam a 0,85m/s localizados à montante da ponte sobre o Rio Negro. Os valores absolutos variam de 0,04 a 0,85m/s com a direção da corrente permanecendo praticamente a mesma, de nordeste para sudeste. O leito do baixo curso do Rio Negro (Figura 21B) apresenta duas áreas com profundidades elevadas: uma próxima da margem esquerda, que chega a 45m, e outra maior na margem direita com 50m. Estas feições podem estar associadas a lineamentos e zonas de falha que existem nesta região, conforme Franzinelli (2011).

Seções transversais (NEG-1 à NEG-4, Figuras 22A e B) com dados de velocidade da corrente e sinal de retroespalhamento também foram extraídos dos *transects* realizados com ADCP na área de estudo. A seção **NEG-1** apresentou largura de 5Km, maiores profundidade situadas no centro do canal medindo 30m, um platô à margem direita com profundidades menores a 5m e elevações próximas a 20m na margem esquerda.

Os menores valores de velocidade chegaram a 0,2m/s e se localizaram na margem esquerda. As maiores velocidades variaram de 0,4 a 0,8m/s e concentraram-se principalmente no centro da seção. Os maiores valores de restroespalhamento do sinal

(variando de 65 a 70 [dB]) encontraram-se predominantemente no meio da seção, próximo da superfície. Quando próximo à superfície da água, este sinal pode ser associado à existência de algas (WOOD & GARTNER, 2010; RD INSTRUMENTS, 1996) e aparece também próximo à margem esquerda.

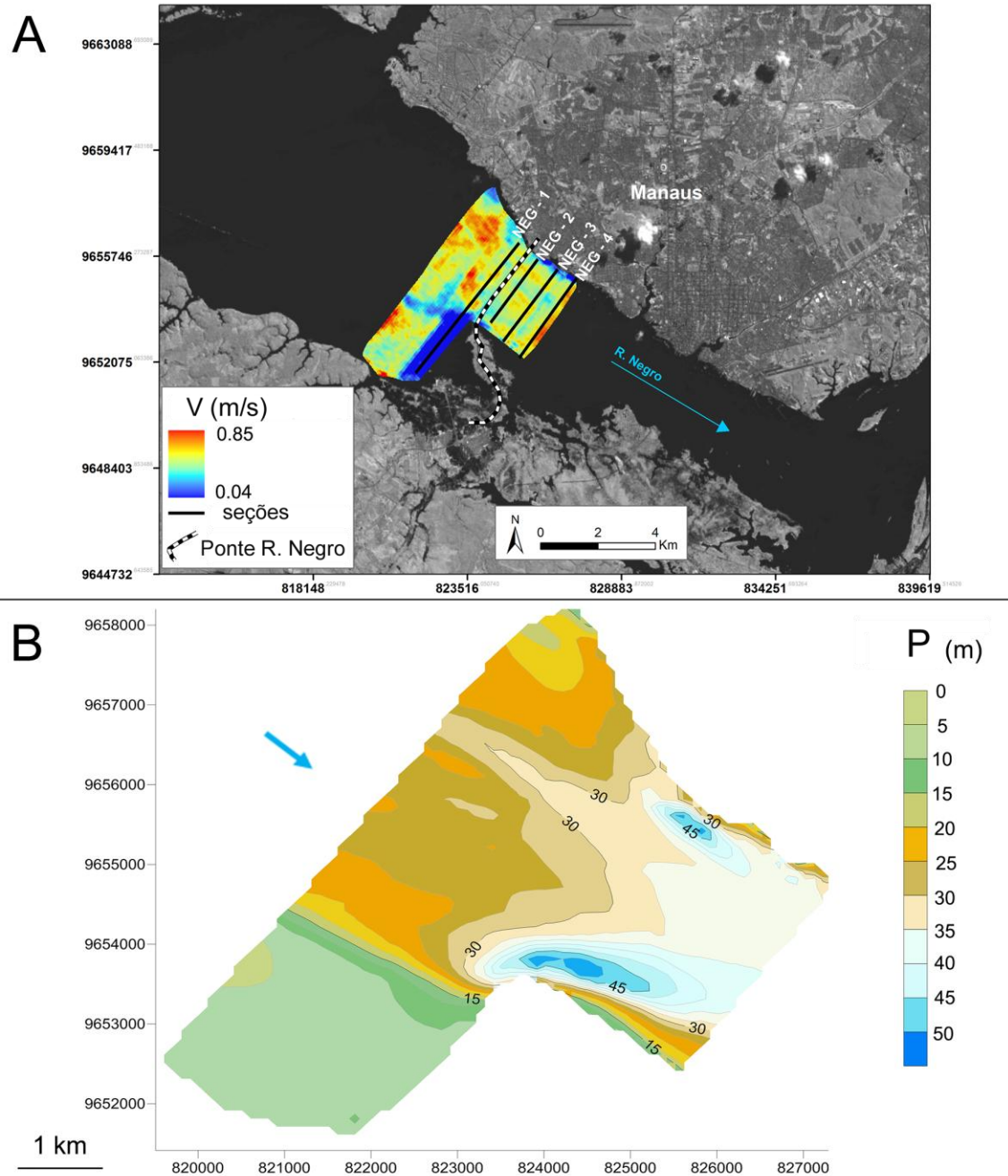


Figura 21. A) Distribuição das velocidades médias da água no Rio Negro nas proximidades de Manaus. Maiores valores correspondem às cores quentes (amarelo claro à vermelho) e menores valores às cores frias (azul escuro à azul claro). Linhas pretas indicam os locais das seções transversais (NEG-1, 2, 3 e 4), retiradas dos dados ADCP e coletados em campo. Imagem base (banda 6 from LANDSAT 8, downloaded from [EROS](#), USGS). B) Mapa batimétrico do Rio Negro, em Manaus.
Org.: Andre Z. A. Nascimento, 2016.

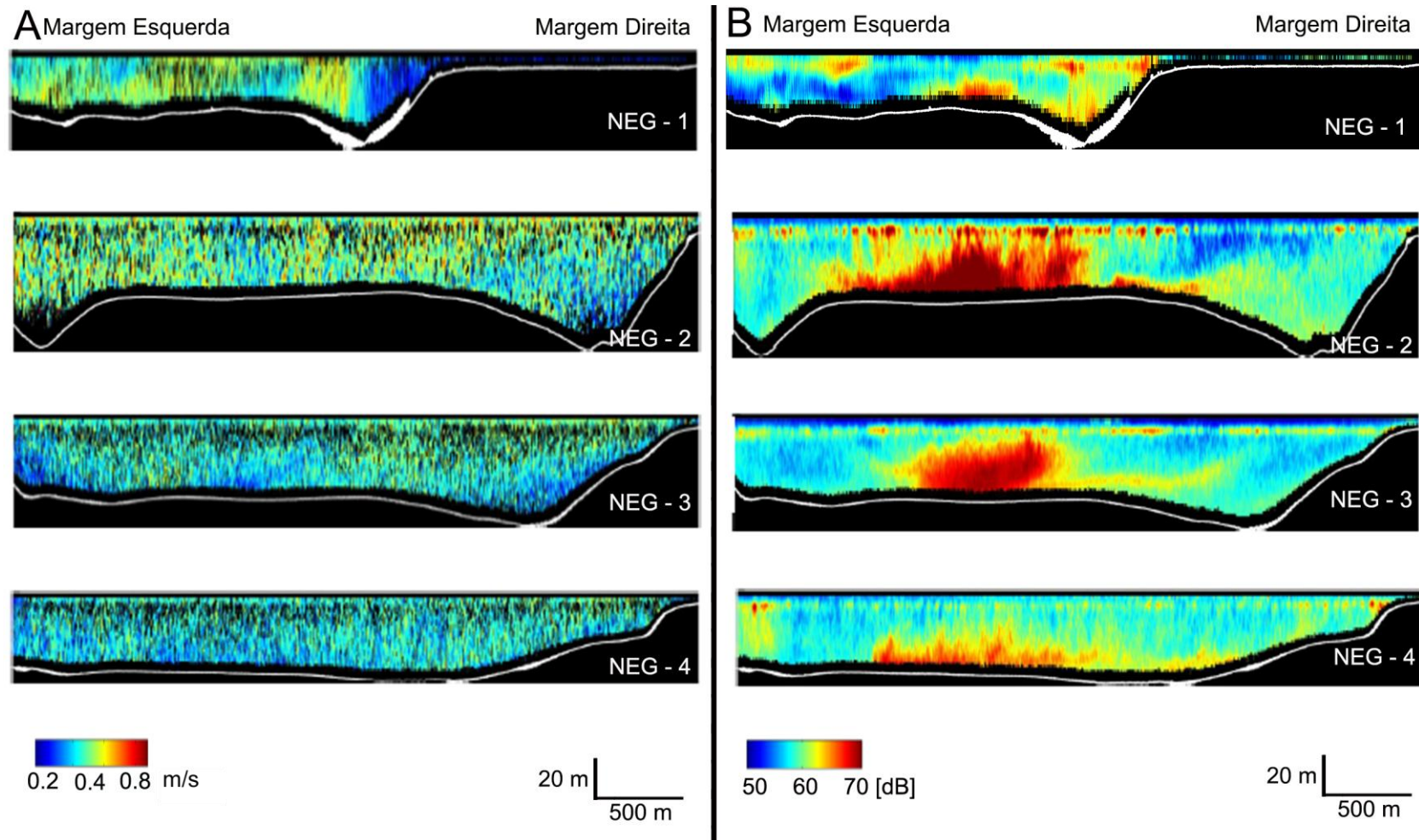


Figura 22. A) Seções transversais com dados de velocidade média da água no Rio Negro; B) Seções transversais com dados de retroespalhamento do sinal no Rio Negro. A localização destas seções é indicada na figura 22A.
Org.: Andre Z. A. Nascimento, 2016.

Na seção **NEG-2**, a geometria é semelhante a um platô ladeado por depressões, como uma letra "U" invertida. A largura mede 3Km, o leito do rio apresenta duas áreas com profundidades elevadas, nas extremidades da seção, variaram de 45 a 50m, as velocidades distribuíram-se sem um valor preferencial e variaram de 0,4 a 0,8m/s. Próximo do fundo do canal, à margem direita, as velocidades não passaram de 0,2m/s. Os valores de retroespalhamento do sinal variaram de 65 a 70 [dB]. Os valores mais altos concentraram-se na parte centro-esquerda do canal.

A seção **NEG-3** apresenta uma geometria ainda mais regular que a seção **NEG-2** com largura de 3Km e maiores profundidades na margem direita com 40m. As velocidades distribuem-se de forma mais homogênea que nas seções anteriores com valores que chegam no máximo a 0,4m/s. Valores de retroespalhamento do sinal mais significantes situaram-se na porção centro-esquerda do canal variando de 65 a 70 [dB].

A seção **NEG-4** também apresentou uma geometria bem regular e como uma extensão da seção anterior com largura de 3Km e sem variações abruptas de profundidades que chegaram no máximo à 30m. As velocidades permanecem semelhantes às da seção anterior (NEG-3), variaram entre 0,2 a 0,4m/s. Os valores de retroespalhamento do sinal seguiram significativos próximos ao fundo do canal variando de 65 a 70 [dB].

Nestes resultados, notou-se uma grande irregularidade na distribuição das velocidades causadas por mudanças na forma do leito e do canal (Estreitamento). A concentração de valores elevados de retroespalhamento do sinal próximos do fundo do canal, possivelmente, está associada às turbulências causadas pela mudança no gradiente de declividade do leito do canal. Isso favorece maiores velocidades nas porções mais profundas. Especialmente em pontos onde se encontraram variações importantes na geometria, as velocidades tenderam a ser maiores, bem como a turbulência, gerando ressuspensão de sedimentos depositados no leito e, com isso, maior sensibilidade do ADCP quanto ao retroespalhamento do sinal. No entanto o comportamento é bem mais regular e com uma dinâmica mais suave do que a verificada na área do Rio Solimões em Manacapuru.

6.2. Confluência dos Rios Solimões e Negro

Na região da confluência dos rios Negro e Solimões, nas proximidades da cidade de Manaus, os parâmetros aqui investigados (temperatura, velocidade de corrente, sinal de retroespalhamento e a forma do fundo) apresentam-se bem distintos daquilo que foi encontrado nas seções anteriores de cada rio quando visto individualmente (figura 23A).

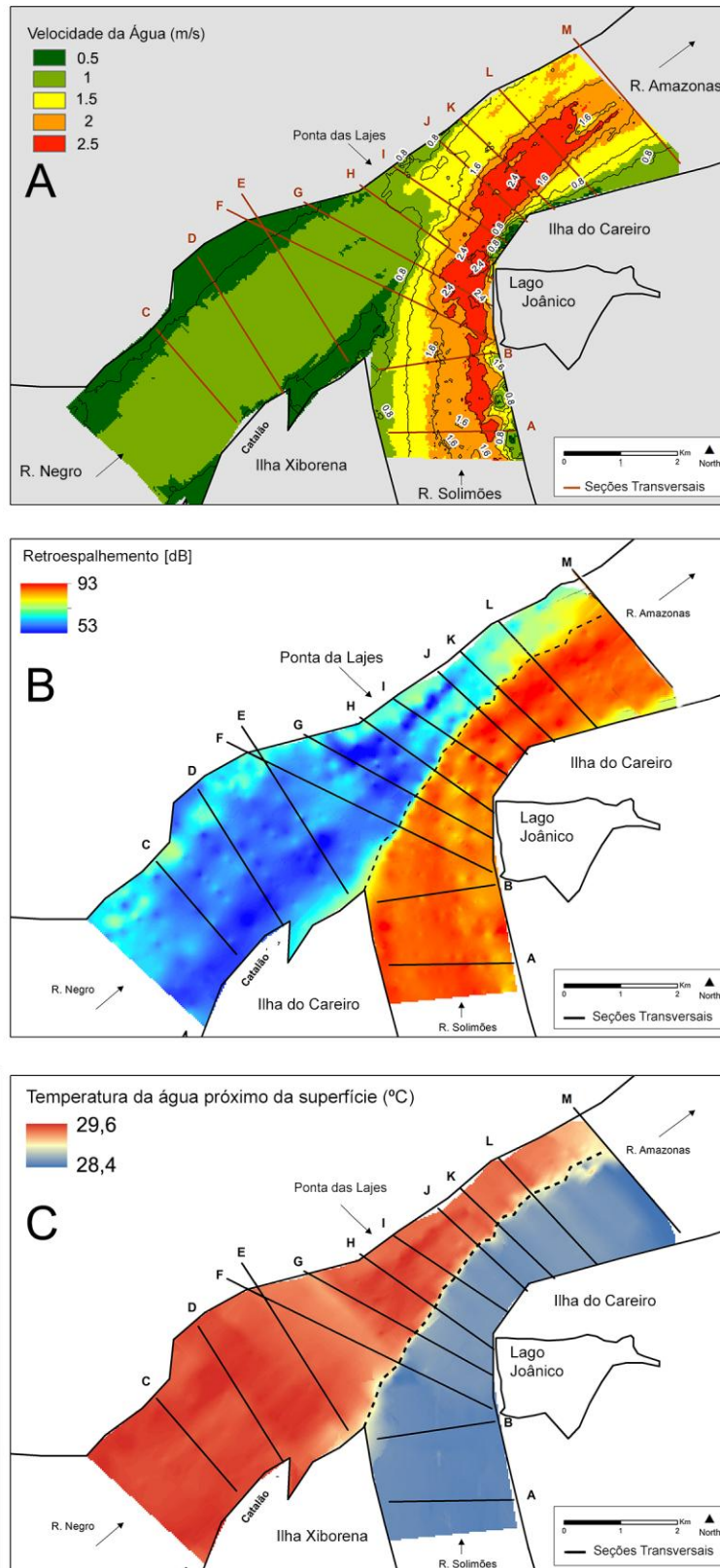


Figura 23. A) Mapa da distribuição das velocidades médias; B) Mapa da distribuição dos valores de retroespalhamento do sinal (média); C) Mapa da distribuição das médias de temperatura da água próxima. Ambos na área da confluência dos Rios Negro e Solimões, usando dados ADCP. Org.: Andre Z. A. Nascimento, 2016.

Nesta região, as maiores velocidades encontradas variaram entre 2 e 2,5m/s (Figura 23A) e se concentraram na região da confluência, na porção correspondente ao Rio Solimões, e depois do encontro dos dois rios permaneceram à direita do canal. O caso do Rio Negro mostra valores bem menores e não superiores a 1m/s. Após a confluência, na margem esquerda, os valores de velocidade média situaram-se por volta de 1,5m/s.

Valores de retroespalhamento do sinal (Figura 23B) que variaram de 90 a 95 [dB] concentraram-se no canal do Rio Solimões, seguindo para a margem direita do canal do Rio Amazonas. Menores valores (53 a 60 [dB]) concentraram-se à esquerda na porção do canal correspondente ao Rio Negro. Percebe-se claramente uma diferenciação entre as águas do Rio Solimões e aquelas do Rio Negro. Como esse tipo de sinal tem relação com a quantidade de sedimento em suspensão na água (RD Instruments, 1996) e já foi verificado na Amazônia (FILIZOLA; GUYOT, 2004; FILIZOLA et al., 2009a; LARAQUE et al., 2009), pode-se inferir que à esquerda do canal do Rio Amazonas existe menor quantidade de sedimentos em suspensão na água do que à direita nessa época.

A diferença de temperatura da água em superfície (Figura 23C) entre as águas advindas do Rio Negro e aquelas advindas do Rio Solimões foi de 1,2° C. Esse contraste permitiu definir bem a interface da mistura entre os dois rios e, além deste, a diferença entre os valores de retroespalhamento do sinal (Figura 23B) corrobora a diferença. O Rio Solimões apresentou temperaturas da ordem de 28,4° C e o Rio Negro valores em torno de 29,6° C. Essa diferença se justifica pela capacidade de absorção a radiação solar (Albedo), maior para as águas pretas do Rio Negro.

O cálculo das velocidades médias de velocidades e vetores de direção do fluxo ao longo de todas as profundidades realizado a partir dos dados ADCP permitiu a identificação tanto da intensidade quanto da direção dos fluxos de corrente ao longo da confluência (Figura 24A). No canal do Rio Solimões, a direção geral da corrente nas seções A e B foram de sul para norte. Na região do encontro, verificou-se que as direções se alteram gradativamente passando a uma orientação de sudoeste para nordeste, principalmente a partir da seção J até a M. A concentração das maiores velocidades, nas primeiras seções (A até I), se deu mais à direita do canal. Após a confluência, especialmente da seção J em diante, há uma migração gradativa mais para região central do canal do Rio Amazonas.

A análise dos resultados de batimetria da área (Figuras 24B e C) permitiu a identificação de feições características de zonas de confluência encontradas nos trabalhos de Best (1987) e Szupiany et al. (2009).

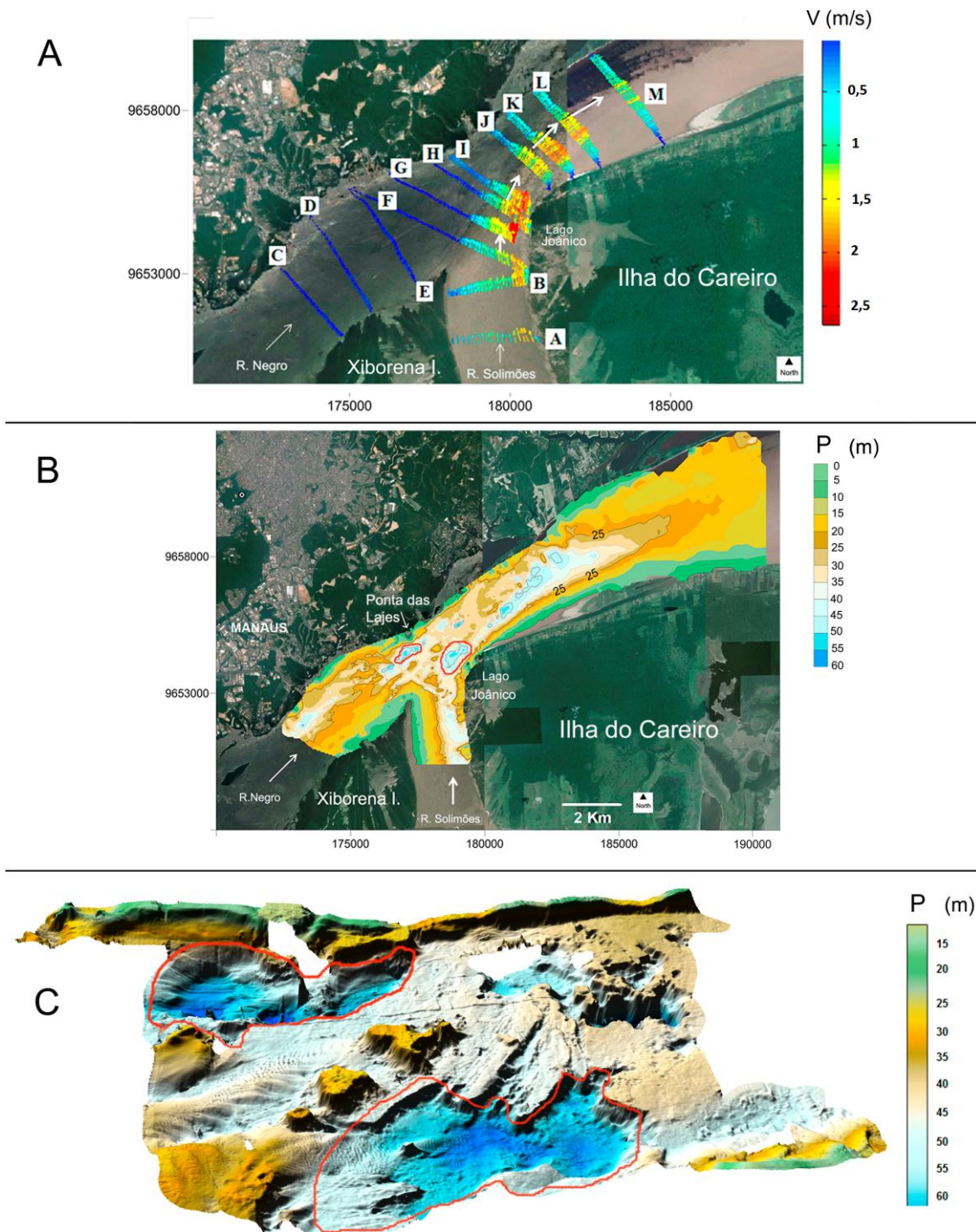


Figura 24. A) Direção dos vetores de velocidade média ao longo de todas as profundidades (*Depth average velocities*) gerados usando o software VMT com dados ADCP. Imagem base retirada do Google Earth; B) Mapa batimétrico da área de confluência onde polígonos em vermelho indicam vales de erosão (*scour depth*), usando dados coletados com ecobatímetro monofeixe; C) Modelo 3D do leito do Rio Amazonas logo após a confluência dos Rios Solimões e Negro onde polígonos vermelhos indicam os mesmos vales de erosão encontrados na figura 24B, com mais detalhe, usando dados coletados com ecobatímetro mulfeixe.

Org.: Andre Z. A. Nascimento, 2016.

A região um pouco a montante da região da confluência o leito do Rio Negro apresenta-se irregular e com profundidades elevadas que chegam a mais de 60 metros. Já o leito do Rio Solimões apresenta-se um pouco mais regular, comportando-se como um plano inclinado transversalmente (da margem esquerda para a margem direita) restrito ao canal, com profundidades que vão desde 5 metros à margem esquerda até 50 metros à margem direita.

Após a confluência (portanto já no Rio Amazonas) percebeu-se, a partir do local denominado de "Ponta das Lajes", um vale de erosão (scour hole) em forma longitudinal e paralela à margem esquerda medindo aproximadamente 58 metros de profundidade. Pelo lado do Rio Solimões, nas proximidades do Lago Joânico, uma feição semelhante com cerca de 52m de profundidade também foi identificada exatamente na porção onde as maiores velocidades de corrente foram identificadas.

Em frente à ilha Xiborena, na zona de encontro das duas águas (Pretas e Brancas), as profundidades são bem baixas e evidenciam o que na literatura se tem convencionado denominar de zona de estagnação do fluxo (SZUPIANY et al., 2009) onde as velocidades baixas e figuras de acumulação em forma de dunas dão indicação de uma área de deposição de sedimentos.

Imediatamente após a confluência, à margem direita do canal do Rio Amazonas, se tem uma região de baixa profundidade que pode ser vista com o que a literatura descreve como sendo uma zona de separação do fluxo, conforme Szupiany et al. (2009). Nesta baixas velocidades associadas correspondem à região de sedimentação, localmente denominada de Costa Terra Nova (Figura 25).

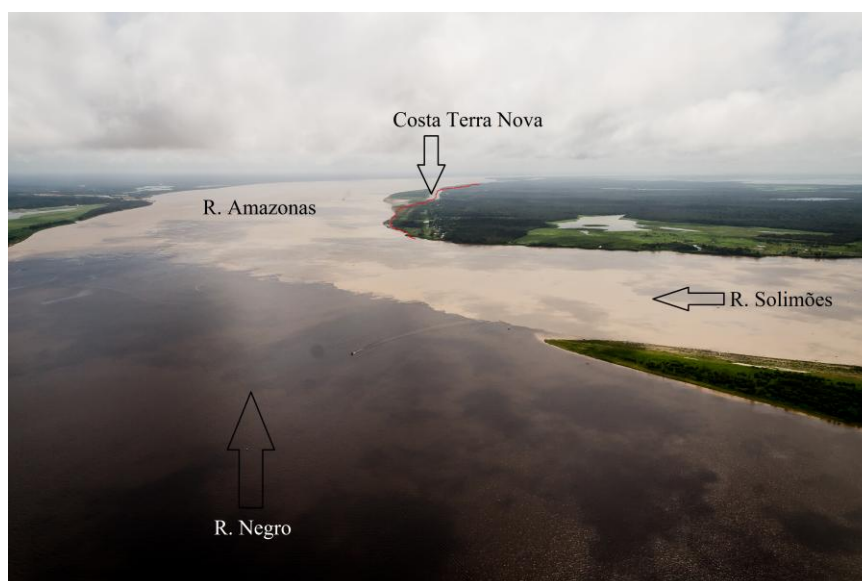


Figura 25: Imagem da confluência dos Rios Solimões e Negro com a linha em vermelho indicando a Costa Terra Nova, na margem direita do Rio Amazonas.

Fonte: Fotografia aérea tirada com apoio do 3º Esquadrão de Helicópteros de Emprego Geral (HU-3) por André Z. A. Nascimento, 2016.

O levantamento com ecobatímetro multifeixe, realizado na zona de confluência, permitiu a construção de um modelo 3D (Figura 24C) que permitiu a visualização de detalhes do leito tais como: vales de erosão, estruturas como lajes e dunas que permitiram confirmar as estruturas identificadas no mapa batimétrico da área (Figura 24B).

Na zona de confluência encontra-se a Ilha Xiborena. É formada por uma sucessão de bancos alongados (FRAZINELLI, 2011) depositados ao longo do tempo (Figura 26) sendo interpretada como uma barra em pontal (*point bar*) Tem como característica cristas superiores separadas por pontos baixos indicando uma possível mudança do ângulo da confluência. (CHALTON, 2008; FRANZINELLI; IGREJA, 2011; FRANZINELLI, 2011). Esta dinâmica continua ocorrendo com novas deposições periódicas (Figura 26).



Figura 26: Imagem da confluência dos Rios Solimões e Negro e a extremidade noroeste da Ilha da Xiborena. Linhas em vermelho indicam sucessão de bancos alongados depositados ao longo do tempo na Ilha da Xiborena. Polígono em vermelho indica deposição atual na margem esquerda do Rio Solimões, na região nordeste da Ilha da Xiborena.

Fonte: Fotografia aérea retirada com apoio do 3º Esquadrão de Helicópteros de Emprego Geral (HU-3) por André Z. A. Nascimento, 2016.

Foi realizado um levantamento que possibilitou identificar as transformações que ocorreram na barra de confluência (Ilha da Xiborena). Mudanças no ângulo da confluência são visíveis quando se compara um mosaico de fotos georreferenciadas (Figura 27A-1) do ano de 1952, com uma imagem de satélite LANDSAT 05 TM mais

atual (Figura 27A-2). São notáveis as transformações que ocorreram (Figura 27A) tanto nas margens da Ilha da Xiborena na extremidade NE, que teve um aumento de área depositada, quanto na Ilha do Careiro, na margem paralela ao Rio Solimões e da Ilha da Xiborena, onde houve uma grande erosão, ocasionado uma perda de aproximadamente 3000 m² de terras.

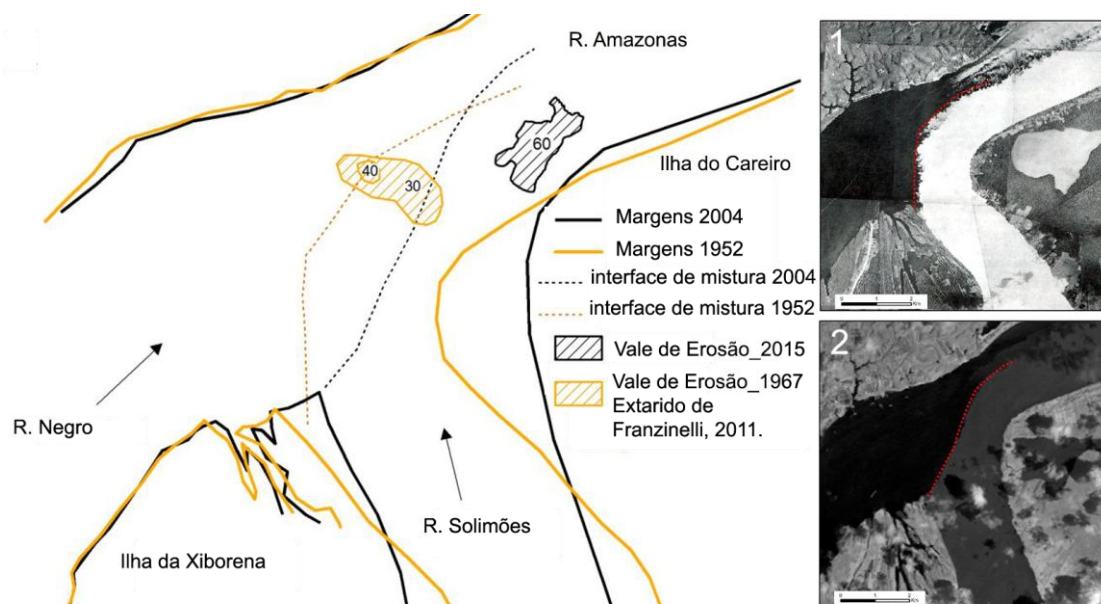


Figura 27: Mapa comparativo das feições geomorfológicas em superfície. A linha marrom claro indica as margens extraídas do mosaico de fotos realizadas por Stenberg em 1953 (Figura 27-1) e a linha preta indica as margens extraídas do satélite LANDSAR 5 em 2004 (Figura 27-2), com aproximadamente o mesmo nível do Rio. Os pontos tracejados em marrom são da interface de confluência do ano de 1953. Os polígonos em marrom indicam os vales de erosão retirados da carta da Marinha de 1967 e os polígonos em preto indicam os vales de erosão identificados em 2015.

Org.: André Z. A. Nascimento, 2016.

As linhas tracejadas nas cores marrom claro e preto (Figura 27A) representam a interface de mistura dos Rios Solimões e Negro, respectivamente nos anos de 1952 e 2015, deixando claro que o ângulo da confluência teve uma mudança significativa de 90° para 100° atualmente.

Os vales de erosões (*Scours Holes*) (Figura 27) identificados nos anos de 2015 neste estudo e os de 1967 através das cartas da Marinha, respectivamente nas cores preto e marrom claro, fornecem uma clara visão da relação que a morfologia do leito possui com as zonas onde concentram as maiores velocidades. Também demonstrou como a mudança do ângulo de confluência possivelmente ocasionou a formação de outro vale de erosão (Figura 24B e C) próximo da interfaces de mistura entre os dois Rios confluentes e associado a áreas com a predominância de leito rochoso, conforme Andrade (2014).

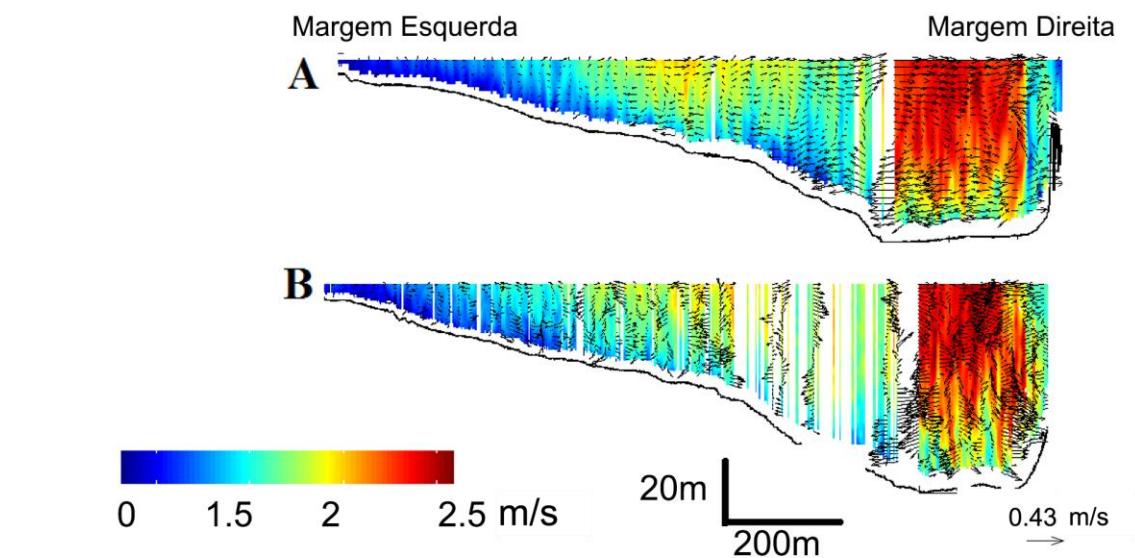
Os perfis transversais (Figuras 28 e 29) possibilitaram a visualização da distribuição das velocidades da corrente, fluxos secundários e do sinal de retroespalhamento na região da confluência. No Rio Solimões, à montante da junção (Figura 28-1) nas seções **A** e **B**, a geometria é bem regular com larguras de 2Km e as maiores profundidades chegando a 50m na margem direita.

As velocidades da corrente apresentam maiores valores na margem direita e da ordem de 2,5 m/s. Ocorrem núcleos com velocidades secundárias nas proximidades da margem direita com registros em torno de 0,43m/s. Nestas seções, os fluxos secundários helicoidais acabam formando vetores em várias direções ocasionando perda do sinal Doppler. Possivelmente isto ocorre devido ao fato de que o Rio Solimões, nessa área, está no ápice de uma curva, com todo o fluxo do canal se comprimindo na margem côncava. Isso forma o fluxo helicoidal descrito na literatura por Suguio e Bigarella (1990) e Charlton (2008).

Na seção **C**, a geometria é regular com largura de 2Km e maiores profundidades na margem esquerda do canal medindo 60m. A velocidade da corrente é maior nas proximidades da margem direita variando de 0,4 a 0,8m/s. Os fluxos secundários são bastante regulares. Nas seções **D** e **E**, a geometria dos canais é mais irregular e a largura é respectivamente 2,5 e 2Km. As profundidades tendem a diminuir na seção **E** de 60 para 40m. Os fluxos secundários apresentam-se de forma bastante desordenada possivelmente pela irregularidade do leito do canal e pela mudança brusca de profundidades nessa região (Figura 28-2).

Ao longo da interface da confluência nas seções **F** e **G** (Figura 29A e B), a geometria é bastante irregular. As larguras medem, respectivamente, 4,5 e 3,7Km e as profundidades variam muito apresentando duas áreas com grandes desníveis: uma na margem direita medindo 50m e outra na região centro-esquerda com 60m. As maiores velocidade da corrente e do retroespalhamento do sinal continuam nas proximidades da margem direita variando, respectivamente, de 2,5 a 3m/s e de 90 a 100 [dB]. Observa-se fluxos secundários divergentes no contato entre as duas massas de água oriundas dos rios confluentes e fluxos secundários regulares originários do fluxo de águas do Rio Negro e fluxos secundários com movimentos helicoidais localizados próximo da margem esquerda do Rio Amazonas.

1



2

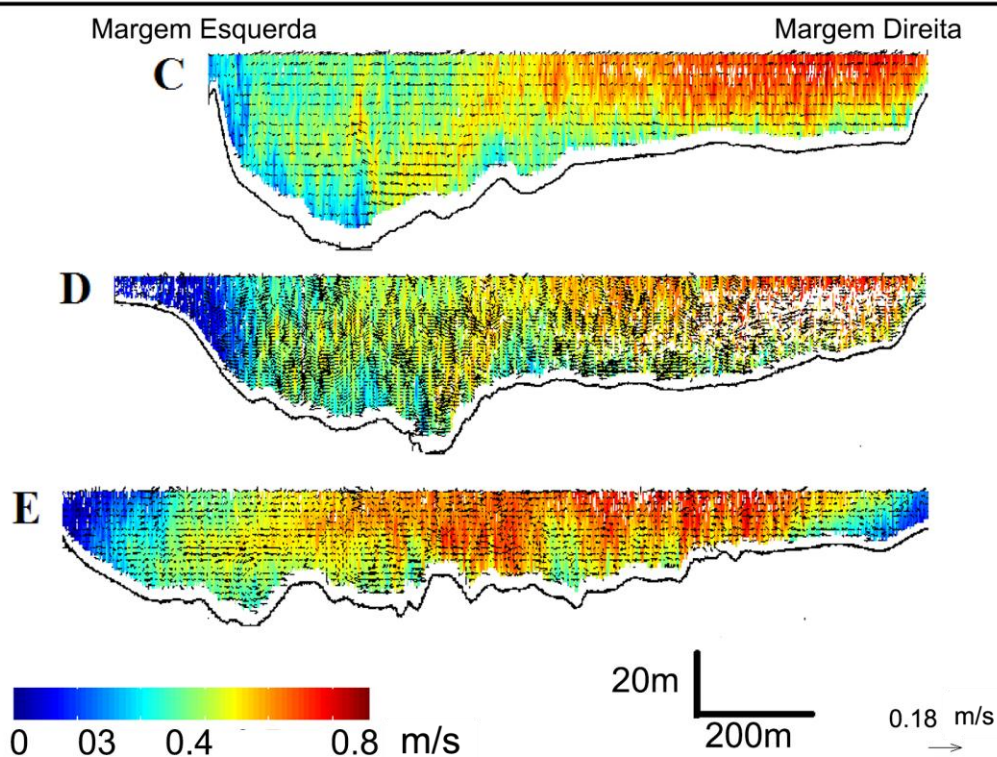


Figura 28. 1) Velocidade da corrente (menores valores em azul escuro e maiores em vermelho) e fluxos secundários (setas pretas) no Rio Solimões antes da confluência. 2) Velocidade da corrente (menores valores em azul escuro e maiores em vermelho) e fluxos secundários (setas pretas) no Rio Negro antes da confluência, usando *ADCP transects points*. A localização destas seções é indicada nas figuras 23 e 24A. Org.: André Z. A. Nascimento, 2016.

Nas seções **H** e **I** (Figura 29A e B), a geometria segue sendo irregular tendo uma redução na largura do canal cujas medidas são, respectivamente, 2,6 e 2,4Km e profundidades que chegam a 60m. As maiores velocidades da corrente, que variam de 2 a 3m/s, continuam concentradas nas proximidades da margem direita das seções. Os maiores valores de retroespalhamento do sinal variam de 85 a 100 [dB] e concentram-se

do centro até a margem direita destas seções sendo que, próximo do fundo, é possível observar valores elevados que estão gradativamente adentrando por de baixo das regiões que apresentam valores menores que variam de 60 a 70 [dB] nas proximidade da margem esquerda. Ou seja, as águas do Rio Solimões, mais densas, durante o processo de mistura se posicionam por debaixo daquelas do Rio Negro, conforme descrito por Laraque et al. (2009). Os fluxos secundários continuam irregulares, apresentando movimentos circulares próximos da margem direita, na seção **H**, e na zona de deflexão, na seção **I**. Nas seções **J** e **K** a geometria continua irregular. A largura do canal para as duas seções é 2Km. As profundidades continuam elevadas. Na seção **J**, os maiores valores estão na margem direita com 50m e na seção **K**, na região centro-esquerda, com 60m. As maiores velocidades que variam de 2 a 3m/s se concentram na porção centro-direita do canal.

Os maiores valores de retroespalhamento do sinal, que variaram de 85 a 100 [dB], tendem a adentrar mais o canal, passando do centro para a esquerda da seção, e ficando, aproximadamente, a 400m da margem esquerda. Próximo ao fundo do canal os maiores valores continuam adentrando para esquerda das seções. A zona de deflexão nestas seções não é bem definida o que caracteriza uma influência das velocidades da corrente do Rio Solimões, que se deslocaram para o centro do canal do Rio Amazonas, sendo visível a zona de aceleração do fluxo (BEST et al., 1987; SZUPIANY et al., 2009) na interface da confluência. Nestas seções os fluxos secundários concentram-se nas proximidades da margem direita do canal.

A jusante, seções **L** e **M**, a geometria é um pouco mais regular. As larguras medem respectivamente 2 e 2,8Km e profundidades elevadas diminuem com áreas próximo da margem direita do canal medindo entre 40 e 45m. As velocidades da corrente na seção **L** continuam com os mesmos valores que as seções anteriores, localizadas na região centro-direita. Na seção **M**, as velocidades da corrente têm uma leve diminuição passando a medir 2,5m/s e concentram-se no meio do canal.

Os maiores valores de retroespalhamento do sinal, que se apresentam com os mesmos valores que as seções anteriores, continuam avançando para a margem esquerda. Próximo do fundo, valores que variam de 85 a 90 [dB] adentram as porções perto da superfície, que apresentam valores que variam de 60 a 70 [dB]. Esta característica ocorre desde a seção **H** e pode estar associada a mudança de direção do fluxo da corrente e valores altos de velocidades que as águas do Rio Solimões apresentam. Os fluxos divergentes diminuem nestas últimas seções caracterizando uma zona de normalização do fluxo.

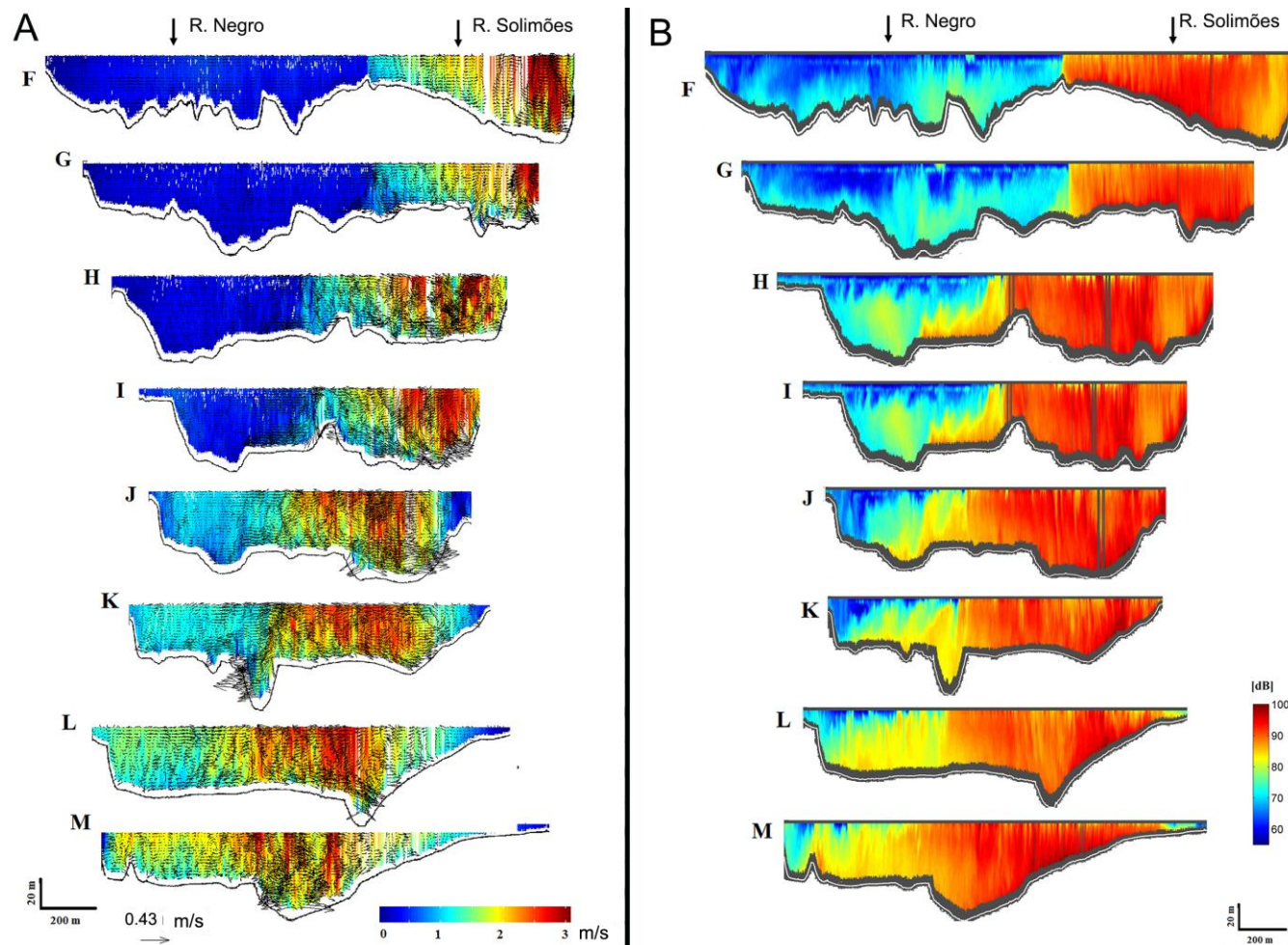


Figura 29. A: Seções transversais com dados de velocidade da corrente (menores valores em azul escuro e maiores em vermelho), e fluxos secundários (setas pretas). B: Seções transversais com dados de retroespalhamento do sinal (menores valores em azul escuro, maiores em vermelho). Ambos usando dados ADCP. A localização destas seções é indicada na figuras 23 e 24A.

Org.: Andre Z. A. Nascimento, 2016.

O que se observa nesta análise é a grande irregularidade existente na morfologia do leito na região da confluência e a contrastante diferença entre as variáveis hidrológicas dos Rios Solimões e Negro. Isso proporciona a identificação de características que são herdadas de cada rio na interface da confluência tendo como resultado diversos fatores que interagem para que a zona de mistura entre os dois rios tenha a configuração que se apresenta com características muito semelhantes às descritas em outros ambiente, controlados ou não (BEST et al., 1987; SZUPIANY et al., 2007; SZUPIANY et al., 2009; RILEY et al., 2015) Pode se localizar de forma aproximada essa interface caracterizada por contrastes de valores de velocidades médias, temperatura da água em superfície e intensidade do retroespalhamento do sinal (Figura 23A, B e C).

Porém, ao olhar com mais detalhe dentro de cada seção (Figura 29B), é possível observar que menores valores de retroespalhamento do sinal concentram-se perto da superfície e, logo abaixo, têm-se outros valores maiores. Essa particularidade também foi observada por Laraque et al. (2009). O ângulo da confluência e as diferenças nas velocidades, descargas, densidade e temperatura fazem com que as águas do Rio Solimões corram por debaixo das do Rio Negro.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No canal do Rio Solimões, à montante da confluência, a distribuição de velocidades médias de corrente é bem delimitada com variações entre 2,5 a 3m/s e retroespalhamento do sinal variando entre 80 a 95 [dB]. A morfologia do leito é caracterizada por desníveis que podem estar associados à lineamentos tectônicos que ocorrem na área. Há uma pequena associação entre os lugares onde ocorrem maiores profundidades com valores elevados de velocidades e os valores baixos de retroespalhamento do sinal na margem esquerda do canal podem estar associados à contribuições do Rio Manacapuru. Outra característica interessante são os valores elevados de retroespalhamento do sinal nas seções transversais logo após a redução das profundidades na área levantada associado ao revolvimento do sedimento do leito, conforme observado por Filizola et al. (2009a).

No canal do Rio Negro, à montante da confluência, a distribuição de velocidades médias de corrente é irregular com variações entre 0,04 a 0,85m/s e valores de retroespalhamento do sinal variando entre 80 a 95 [dB]. A morfologia do leito é bastante regular à montante da Ponte Rio Negro com algumas variações bruscas nas proximidades da Ponte Rio Negro associadas a lineamentos tectônicos que ocorrem na área. Ocorre uma associação da irregularidade na distribuição das velocidades com a forma do leito e do canal. Existe um "estreitamento" do canal do Rio Negro à jusante da Ponte Rio Negro. Além disso, os valores elevados de retroespalhamento do sinal nas seções estão associados com mudanças no gradiente de declividade do leito do canal.

As características descritas acima revelam como são distintos estes dois grandes sistemas fluviais, Rios Solimões e Negro. Além disso, possibilitaram melhor entendimento das inter-relações que ocorrem entre os processos hidrológicos e geomorfológicos à montante da confluência.

As observações realizadas na região da junção dos Rios Solimões e Negro corroboram para o que Riley et al., (2015) e Riley e Rhoads (2012) explicam através de seus estudos. Trabalhos realizados em confluências em canais sinuosos começaram a revelar os efeitos da curvatura do canal sobre as dinâmicas que ocorrem nas confluências. Além disso, a mudança na barra de confluência observada neste estudo mudou completamente a configuração do leito, sendo isso fruto da grande carga de sedimentos em suspensão transportado pelo Rio Solimões e das mudanças dos fluxos da água nesta região, que é extremamente complexa e dinâmica.

Dentre as distintas regiões de fluxos encontradas em confluências descritas por Szupiany et al. (2009), identifica-se algumas delas na região de estudo (Figura 30A): uma possível região de fluxo uniforme no Rio Solimões antes da confluência; uma zona de fluxo uniforme no Rio Negro antes da confluência; uma zona de estagnação do fluxo na extremidade NE da Ilha da Xiborena que configura regiões com baixa profundidades (Figuras 24B e 30B); uma zona de deflexão de fluxo, logo após uma região de altas velocidades; uma zona de separação do fluxo; e, ao final, tem-se a zona de recuperação do fluxo. A localização dessas regiões fora embasada nas observações realizadas através das diversas metodologias empregadas. O uso do software VMT foi importante para a visualização das informações adquiridas através do uso do ADCP, abrindo espaço para novas possibilidades de análises em regiões de confluência de grandes Rios.

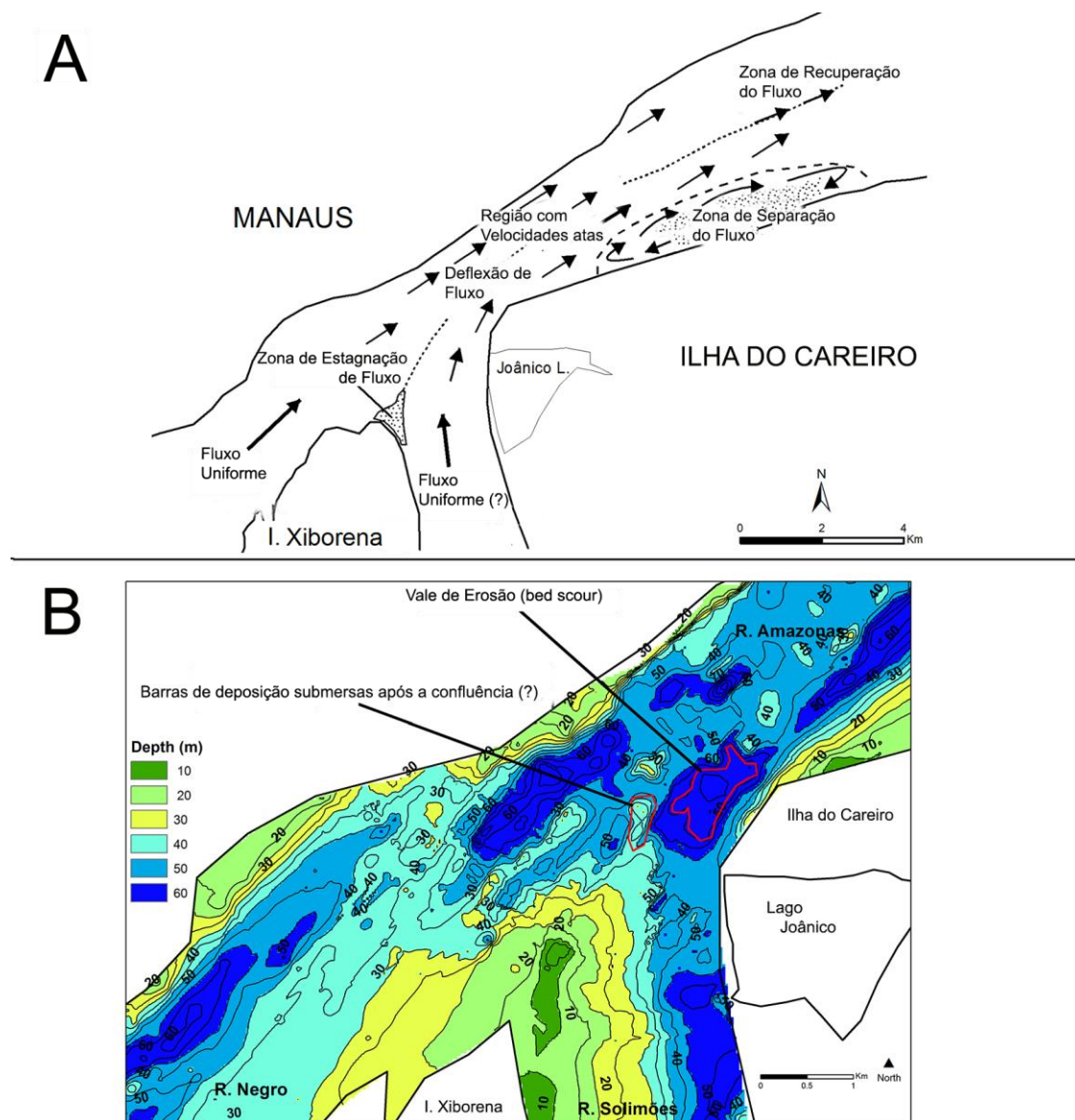


Figura 30. A) Padrões de fluxo encontrados na confluência dos Rios Solimões e Negro; B) Características da morfologia do leito na região da confluência dos Rios Solimões e Negro.
Org.: André Z. A. Nascimento, 2016.

Em relação à morfologia do leito e a interação que ocorre com as diferentes zonas de fluxo, foi identificada, na área de estudo, uma região onde ocorre um vale de erosão (*bed scour*) associado às regiões onde existe a deflexão do fluxo e também altas velocidades. Possivelmente, ocorre uma zona de deposição em barra submersa após a junção dos dois canais (Figura 30B). Todas estas características foram descritas na literatura por Best e Ashworth (1997) e Szupiany et al. (2009).

Dessa forma conclui-se que o esforço deste levantamento de caráter descritivo possibilitou o emprego de diferentes metodologias para a compreensão das complexas dinâmicas que ocorrem em confluências de dois grandes Rios Amazônicos. Foi de fundamental importância para o melhor entendimento das inter-relações entre os processos hidrológicos e geomorfológicos e também abriu espaço para o emprego da ciência interdisciplinar intitulada "hidro-geomorfologia" colaborando para a valorização do patrimônio natural-cultural que é o Encontro das Águas dos Rios Solimões e Negro, um fenômeno único no mundo.

8. REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. F. P. Geofísica Aplicada ao Estudo da Confluência dos Rios Solimões e Negro. 2015. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Geofísica) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 2014.

BEST, J. L. Flow dynamics at river channel confluences: implications for sediment transport and bed morphology. In *Recent Developments in Fluvial Sedimentology*: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Special Publication, nº 39, p. 27-39, 1987.

BEST, J. L. Sediment transport and bed morphology at river channel confluences. *Sedimentology*. nº 35, p. 481-498, 1988.

BEST, J. L. ASHWORTH, P. J. Scour in large braided rivers and the recognition of sequence stratigraphic boundaries. *Nature*, v. 387, n. 6630, p. 275–277, 1997.

BRISTOW, C. S. BEST, J. L. ROY, A. G. Morphology and facies models of channel confluences. *Spec. Publs Int. Ass. Sediment*, v. 17. p. 91-100, 1993.

CHARLTON, R. Fundamentals of fluvial geomorphology. Taylor & Francis e-Library, 2008. 483 p.

CHOW, V. T. Handbook of applied hydrology. New York: McGraw-Hill, 1959.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia Fluvial. São Paulo: Edgard Blucher. vol. 1. 1981.

DE SERRES, B. ROY, A. G. BIRON, P. M. BEST, J. L. Threedimensional structure of flow at a confluence of river channels with discordant beds. *Geomorphology*, n. 26, p. 313-335, 1999.

FILIZOLA, N. O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Bacia Amazônica brasileira. Brasília, DF: ANEEL, 1999.

FILIZOLA, N. GUYOT, J. L. The use of Doppler technology for suspended sediment discharge determination in the River Amazon. *Hydrology Sciences*. v. 49, p. 143–154, 2004.

FILIZOLA, N. GUYOT, J. L. Suspended sediment yields in the Amazon basin: an assessment using the Brazilian national data set. *Hydrological Process*. v. 23, p. 3207 – 3215, 2009.

FILIZOLA, N. et al. Study of the variability in suspended sediments discharge at Manacapuru, Amazon river, Brazil. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, v. 16, n. 2, p. 93–99, 2009a

FILIZOLA, N. et al. The Rio Negro and Rio Solimões confluence point – hydrometric observations during the 2006/ 2007 cycle. *River, Coastal and Estuarine Morphodynamics*. RCEM 2009, n. 1964, p. 1003–1006, 2009b

FERNANDEZ, O. V. Q. Relações da geometria hidráulica em nível de margens plenas nos córregos de Marechal Cândido Rondon, região oeste do Paraná. Geosul, Florianópolis, v. 19, n. 37, p. 115-134. 2004.

FIELDING, C. R. Sedimentology and stratigraphy of large river deposits: recognition in the ancient record, and distinction from “incised valley fills. In: Gupta, A. (Ed.), Large Rivers: Geomorphology and Management. John Wiley & Sons, pp. 97–114. 2007.

FRANZINELLI, E. Características morfológicas da confluência dos rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil). Revista Brasileira de Geociências, p. 587-596, 2011.

FRANZINELLI, E. IGREJA, H. Ponta das Lajes e o Encontro das Águas , AM. A Formação Alter do Chão como moldura geológica do espetacular Encontro das Águas Manauara. Sítios geo ed. Brasília: [s.n.], 2011.

GAMARRO, P. E.. Medidores Acústicos Doppler de vazão. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2012. 164 p.

GEOLEVEL. Batimetria. Disponível em: http://www.geolevel.com.br/page_id=529. Acesso em: 11 maio de 2016.

GOERL, R. F. KOBAYAMA, M. Processos e aplicações hydrogeomorphology : principles , concepts , processes and applications. v. 2, p. 103–111, 2012.

IRIONDO, M. H. Geomorfologia da planície Amazônica. Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil: p. 323-348, 1982.

JANSEN, J. NANSON, G. Anabranching and maximum flow efficiency in Magela Creek, northern Australia. Water Resources Research v. 40. 2004.

KNIGHTON, D. Fluvial Forms and Processes — A New Perspective. Arnold, London. p. 383, 1998.

LANDIM, P. M. B. Análise estatística de dados geológicos. 2. Ed. Rev. e Ampl. – São Paulo: Editora UNESP, 2003. 253 p.

LANE, S. N. PARSONS, D. R. BEST, J. L. ORFEO, O. KOSTASCHUK, R. A. HARDY, R. J. Causes of rapid mixing at a junction of two large rivers: Río Paraná and Río Paraguay, Argentina. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, v. 113, n. 2, p. 1–16, 2008.

LARAQUE, A. GUYOT, J. L. FILIZOLA, N. Mixing processes in the Amazon River at the confluences of the Negro and Solimões Rivers, Encontro das Águas Manaus, Brazil. v. 3140, p. 3131–3140, 2009.

LATRUBESSE, E. Patterns of anabranching channels: The ultimate end-member adjustment of mega rivers. Geomorphology, v. 101, n. 1-2, p. 130–145, 2008.

LATRUBESSE, E. FRANZINELLI, E. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brasil. Geomorphology, v. 44, n. 3, p. 241-257, 2002.

LATRUBESSE, E. FRANZINELLI, E. The late Quaternary evolution of the Negro River, Amazon, Brazil: Implications for island and floodplain formation in large anabranching tropical systems. Geomorphology, v. 70, n. 3-4, p. 372–397, 2005.

LATRUBESSE, E. STEVAUX, J. C. SINHA, R. Tropical Rivers. *Geomorphology* v.70. p. 187–206, 2005.

MEADE, R. H. RAYOL, J. M. CONCEIÇÃO, S. C. NATIVIDADE, J. R. G. Backwater effects in the Amazon river basin of Brazil. *Environmental Geology and Water Sciences*. Vol. 18, N. 2. p. 105-114, 1991.

MERTES, L. MEADE, R.H. Particle Sizes of sands collected from the bed of the Amazon River and its tributaries in Brazil during 1982-84. U.S. Geological Survey Open-file Report, v. 85-333, p. 16, 1985.

MERTES, L. DUNNE, T. MARTINELLI, L. Channel floodplain geomorphology along the Solimões–Amazon River, Brazil. *Geological Society of American Bulletin* v. 108, p. 1089–1107, 1996.

MIALL, A. D. The Geology of Fluvial Deposits. *Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*. Springer-Verlag. p. 582, 1996.

MORIZAWA, M. Streams: Their dynamics and Morphology. McGraw-Hill Book Company, New York. 1968. 210 p.

NANSON, G. CROKE, J. A genetic classification of floodplains. *Geomorphology* v. 4, p. 459–486, 1992.

PARSONS, D. R. BEST, S. N. LANE, R. A. KOSTASCHUK, R. J. HARDY, O. ORFEO, M. L. AMSLER. R. N. SZUPIANY. Large River Channel Confluences, in *River Confluences, Tributaries and the Fluvial Network* (eds S. P. Rice, A. G. Roy and B. L. Rhoads), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. 2008. 178 p.

PARSONS, D.R. JACKSON, P. R. CZUBA, J. A. ENGEL, F. L. RHOADS, B. L. OBERG, K. A. BEST, J. L. MUELLER, D. S. JOHNSON, K. K. RILEY, J. D. Velocity Mapping Toolbox (VMT): a processing and visualization suite for movingvessel ADCP measurements. *Earth Surface Processes and Landforms*. v. 38. p. 1244–1260, 2013.

PINHEIRO, A. N. D. V. Integração de métodos sísmicos aplicada ao o estudo da confluência dos Rios Negro e Solimões (AM). 2015. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Geofísica) Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. 2015.

RD INSTRUMENTS. Acoustic Doppler current profiler: Principles of operation, a practical primer. (second edn). RDI. San Diego, California, USA. 1996.

RD INSTRUMENTS. Acoustic Doppler Solutions 2003 WinRiver User's Guide International Version. P/N 957-6171-00. [S.l: s.n.], 2003. v. 00.

RHOADS, B. L. RILEY, J. D. MAYER, D. R. Response of bed morphology and bed material texture to hydrological conditions at an asymmetrical stream confluence. *Geomorphology*, v. 109, n. 3-4, p. 161–173, 2009.

RHOADS, B. L. KENWORTHY, S. T. On secondary circulation, helical motion and Rozovskii-based analysis of time-averaged twodimensional velocity fields at confluences. *Earth Surface Processes and Landforms*. v. 24. P. 369–375, 1999.

- RHOADS, B. L. KENWORTHY, S. T. Flow structure at an asymmetrical stream confluence. *Geomorphology*, v. 11, n. 4, p. 273-293, 1995.
- RILEY, J. D. RHOADS, B. L. Flow structure and channel morphology at a natural confluent meander bend. *Geomorphology* 163: 84–98. DOI: 10.1016. 2012
- RILEY, J. D. et al. Influence of junction angle on three-dimensional flow structure and bed morphology at confluent meander bends during different hydrological conditions. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 40, n. 2, p. 252–271, 2015.
- SANTOS, I. et al. *Hidrometria Aplicada*. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba. 2001. 372p.
- SCHEIDEGGER, A. E. Hydrogeomorphology. *Journal of Hydrology*, n. 20, p. 193-215, 1973.
- SERRES, B. et al. Three-dimensional structure of flow at a confluence of river channels with discordant beds. 1999.
- SIDLE, R. C. ONDA, Y. Hydrogeomorphology: overview of an emerging science. *Hydrological Processes*, n. 18, p. 597-602, 2004.
- SIOLI, H. *The Amazon. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1984. v. 56. (Monographiae Biologicae).
- SOMBROEK, W. Spatial and Temporal Patterns of Amazon Rainfall. *Journal of the Human Environment*, v. 30, n. 7, p. 388–396, 2001.
- STERNBERG, H. *A água e o homem na várzea do Careiro*. Coleção Friedrich Katzer. [S.l: s.n.], 1998
- STEVAUX, J. C. The upper Paraná River (Brasil): Geomorphology, sedimentology and paleoclimatology. *Quatern, Intern*. v. 21. p. 134-137, 1994.
- STEVAUX, J. C. et al. Flow Structure and Dynamics in Large Tropical River Confluence: Example of the Ivaí and Paraná Rivers, Southern Brazil. *Geociências*, v. 28, n. 1, p. 5–14, 2009.
- SUGUIO, K. BIGARELLA, J. J. *Ambientes Fluviais*, 2ªed. Florianópolis: U.F.S.C. – Universidade Federal do Paraná, 1990.
- SUGUIO, K. *Geologia Sedimentar*. São Paulo: Blucher, 2003.
- SZUPIANY, R. N. et al. Morphology , flow structure , and suspended bed sediment transport at two large braid-bar confluences. v. 45, n. May, p. 1–19, 2009.
- SZUPIANY, R. N. et al. Comparison of Fixed- and Moving-Vessel Flow Measurements with an aDp in a Large River. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 133, n. 12, p. 1299–1309, 2007.
- TUCCI. C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 3ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2002.

THIAGO FILHO, G. S. CARVALHO A. N. V. CAETANO G. T. DOS SANTOS. R. M. O uso do ADCP em pequenos e médios cursos d'água, 1999. Grupo de trabajo sobre hidromecánica, Montevideo, Uruguay, 11-14 de maio de 1999.

WOOD, T. M. GARTNER, J. W. Use of acoustic backscatter and vertical velocity to estimate concentration and dynamics of suspended solids in Upper Klamath Lake, south-central Oregon: Implications for *Aphanizomenon flos-aquae*, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report. 2010.