

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM**  
**INSTITUTO DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS – IFCHS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGGEOG**

**SANDRÉIA ARAÚJO CASCAES**

**DINÂMICA FLUVIAL E ASPECTOS ANTRÓPICOS NO FURO DO  
PARACUÚBA - IRANDUBA (AM)**

**Manaus-AM**  
**2020**

**SANDRÉIA ARAÚJO CASCAES**

**DINÂMICA FLUVIAL E ASPECTOS ANTRÓPICOS NO FURO DO  
PARACUÚBA - IRANDUBA (AM)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), nível de Mestrado, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre. Área de contração: Domínios da natureza na Amazônia.

**Orientador:** Prof. Dr. Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira

**Manaus – AM  
2020**

### Ficha Catalográfica

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

C336d Cascaes, Sandréia Araújo  
Dinâmica fluvial e aspectos antrópicos no Furo do Paracuúba -  
Iranduba (AM) / Sandréia Araújo Cascaes . 2020  
234 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira  
Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do  
Amazonas.

1. furo . 2. Geomorfologia Fluvial. 3. erosão fluvial. 4. movimento  
de massa. I. Vieira, Antonio Fábio Sabbá Guimarães. II.  
Universidade Federal do Amazonas III. Título



**Poder Executivo**  
**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal do Amazonas**  
 IFCHS/DEGEO/Programa de Pós-Graduação em Geografia  
 Mestrado e Doutorado Conceito 4 CAPES  
 Aprovado pela Resolução Nº 011 – CONSUNI de 11/07/2006  
 Reconhecido através da Portaria Nº 1.077 - MEC, de 31 de agosto de 2012



Ata da Defesa Pública da Dissertação de Mestrado do(a) Senhor(a) **SANDREIA ARAÚJO CASCAES**, discente do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Filosofia, Ciências Humanas e Sociais da Universidade Federal do Amazonas, Área de Concentração em Amazônia: Território e Ambiente, realizada no dia 15 de Dezembro de 2020.

Aos quinze dias do mês de **Dezembro** de dois mil e vinte, às quatorze horas, em sala virtual (Google Meet), realizou-se a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado, intitulada **“DINÂMICA FLUVIAL E ASPECTOS ANTRÓPICOS NO FURO DO PARACUÚBA, IRANDUBA-AM”**, sob orientação do(a) Professor(a) Doutor(a) **ANTONIO FÁBIO SABBÁ GUIMARÃES VIEIRA (PPGEOG/UFAM)**, do(a) aluno(a) **SANDREIA ARAÚJO CASCAES**, em conformidade com o Art. 83 do Regimento Geral de Pós-Graduação da Universidade Federal do Amazonas, como parte final de seu trabalho para a obtenção do grau de **MESTRE EM GEOGRAFIA**, área de concentração em **AMAZÔNIA: TERRITÓRIO E AMBIENTE**. A Banca Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: **Professor(a) Doutor(a) Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira (PPGEOG/UFAM)**, **Professor(a) Doutor(a) Maria do Socorro Bezerra de Lima, Membro Titular (PPGDAP/UFF)** e a **Professor(a) Doutor(a) José Alberto Lima de Carvalho (PPGEOG/UFAM)**. O(A) Presidente da Banca Examinadora deu início à sessão convidando os membros da Banca e o(a) Mestrando(a) a tomarem seus lugares. Em seguida, o(a) Senhor(a) Presidente informou sobre o procedimento do exame. A palavra foi facultada ao(a) Mestrando(a) para apresentar uma síntese do seu estudo e responder às perguntas formuladas pelos Membros da Banca Examinadora. Após a apresentação e arguição pelos Membros da Banca Examinadora, esta reuniu-se onde decidiu, por unanimidade, que o(a) discente foi **“APROVADA”**. A sessão foi encerrada. Eu, Maria das Graças Luzeiro, Secretária do PPGEOG, lavrei a presente ata, que vai assinada por mim, pelos Membros da Banca Examinadora e pelo(a) Mestrando(a). Manaus (AM), 15 de Dezembro de 2020.

Banca Examinadora	Rúbrica	Nota
Prof.Dr. Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira Presidente (PPGEOG/UFAM)		"9,5"
Profa.Dra. Maria do Socorro Bezerra de Lima Membro Titular (PPGDAP/UFF)		"9,5"
Prof.Dr. José Alberto Lima de Carvalho Membro Titular (PPGEOG/UFAM)		"9,5"
Sandreia PPGEOG/UFAM Mestranda	Araújo	Cascaes
		Secretária

Dedico aos meus pais Iremilto Araújo e Rosária Araújo, por tanto amor que os tenho, que mesmo longe sempre se fizeram presentes e ao meu esposo José Cascaes, por me mostrar que não há amor fora da experiência do cuidado.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que me ensinou o valor da espera e o valor da fé; a ele dedico toda minha gratidão!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira, que desde o primeiro contato se mostrou disposto a ajudar, pela sabedoria transmitida sempre de forma simples, direta e cheia de boa vontade que são reflexos de sua paixão por ensinar; tem minha admiração como profissional e como pessoa, minha gratidão pela confiança depositada e por me incentivar a escrever essa parte da minha história;

A Universidade Federal do Amazonas e os docentes do Programa de Pós-Graduação em Geografia que dedicaram um tempo precioso para ensinar, dividindo conosco o conhecimento, maior riqueza que acumulamos na vida;

A minha amada família, meu esposo José Cascaes e meu enteado Igor Souza, meus companheiros de todas as horas, pela compreensão e incentivo durante todo o processo, pelas palavras de incentivo que sempre me fortaleceram e foram fundamentais diante de todas as dificuldades que surgiram;

Agradeço com todo carinho meus familiares, que mesmo distantes de mim sempre me ofereceram palavras e gestos que me motivaram a enfrentar esse desafio;

Aos meus colegas de laboratório e orientação Rose, Gabriela e Ilbson pelo agradável convívio e solicitude. Sobressaio a Kenya de Souza, pelo entusiasmo e constante boa vontade no auxílio com os softwares e o Roberto Epifânio pelo apoio nos trabalhos de campo e com muito carinho a Janara dos Santos, pela amizade e parceria, com a qual dividi algumas angústias e momentos de experiências marcantes no período de mestrado;

A tantos outros amigos e alguns vizinhos que acompanharam e apoiaram essa trajetória.

Aos moradores das Comunidades de Vila Nova e Santo Antônio pela atenção dispensada e de modo especial ao senhor Marcelo Dias e sua esposa Diana Salgado, moradores da Comunidade de Santo Antônio que sempre me receberam com carinho, pela colaboração e boa vontade de sempre nos trabalhos de campo e a Ariane Salgado, pela dedicação no monitoramento dos piezômetros e apoio constante.

A secretaria Graça Luzeiro do Programa de Pós-Graduação em Geografia que com presteza instruiu nossa vida de mestrados.

A Capes, pelo apoio financeiro na concessão da bolsa de estudos.

A todos meu muito obrigado!

*Acredite na força dos seus sonhos. Deus é justo e não colocaria em seu coração um desejo impossível de ser realizado.*

*Paulo Coelho*

## RESUMO

O “Furo do Paracuúba”, localiza-se no município de Iranduba, distante cerca de 28 Km do Porto de Manaus, sendo um importante meio de ligação entre o rio Solimões e o rio Negro e de encurtamento de distâncias, ao servir de rota para as embarcações regionais e expressos (a jato), principalmente durante a enchente. Em face às variadas formas de relações entre a ação humana e o meio natural, o trabalho apresentado tem como objetivo principal analisar a dinâmica fluvial do canal e os processos correlatos, buscando explicar seus principais aspectos hidrodinâmicos, sedimentológicos, geomorfológicos e antrópicos. Para isso, adotou-se os seguintes procedimentos metodológicos: medição da largura; comprimento; índice de sinuosidade; área e mapeamento do uso e cobertura da terra a partir de imagens de satélites da série multitemporal (2006, 2008, 2010, 2016 e 2018), levantamentos batimétricos; testes de velocidade da corrente e coletas de amostras de água; estimativas médias de vazão; concentração de sólidos totais suspensos; descarga sólida; estimativas de transparência e pH da água. Esses dados foram obtidos a partir de três seções transversais (entrada, meio e saída), e são representativos de três períodos do regime hidrológico (início da vazante, extremo da vazante em 2018 e cheia em 2019), além da aplicação de questionários aos donos e/ou proprietários de embarcações que navegam pelo canal; contagens diárias do fluxo de embarcações; verificação da granulometria; densidade real e aparente e porosidade total das amostras de solo coletadas nas margens do canal; testes de resistência à penetração e de infiltração no solo; monitoramento de dois piezômetros instalados nas margens; mapeamento das áreas de erosão e deposição com o uso das imagens de satélites e de cicatrizes de movimento de massa utilizando o VANT-LATOSSOLO e aplicação de questionários aos moradores das comunidades abrangidas pelo furo. Os resultados do estudo permitiram concluir que as constantes ações operadas no canal tanto de ordem natural como humana têm implicado em novos ajustes de sua morfometria, principalmente com o aumento largura e desproporcionais mudanças em seus processos geomórficos, onde a erosão e/ou movimentos de massa (com extensas cicatrizes do tipo escorregamentos rotacionais) ocorrem intensivamente no canal, na sua porção de entrada e meio, em detrimento a deposição na sua parte final, afetando o modo de vida dos moradores e a navegação fluvial.

Palavras - chaves: furo; Geomorfologia Fluvial; erosão fluvial, movimento de massa



## ABSTRACT

The “Furo do Paracuúba” is located in the city of Iranduba, about 28 km far from the Manaus’ Port, as an important connection between the Solimões River and the Negro River and shortening distances, by serving as a route for regional and express vessels (jet), mainly during the flood. Due to the many forms of interactions between human action and the natural environment, the work presented has the main objective of analyzing the fluvial dynamics of the channel and related processes, seeking to explain its main hydrodynamic, sedimentological, geomorphological and anthropic aspects. For this, the following methodological procedures were adopted: width measurement; length; sinuosity index; area and mapping of land use and coverage from satellite images of the multitemporal series (2006, 2008, 2010, 2016 and 2018), bathymetric surveys; chain speed tests and water sample collections; average flow estimates; concentration of suspended total solids; solid discharge; water transparency and pH estimates. These data were obtained from three cross sections (entrance, middle and exit), and are representative of three periods of the hydrological regime (ebb start, ebb end in 2018 and flood in 2019), application of questionnaires to owners and / or vessels owners that navigate the channel; daily vessel flow counts; check of the granulometry; real and apparent density and total porosity of soil samples collected on the banks of the channel; tests of resistance to penetration and infiltration in the soil; monitoring of two piezometers installed on the banks; mapping of erosion and deposition areas using satellite images and mass wasting scars using the UAV-LATOSSOLO and application of questionnaires to the residents of the communities covered by the channel. The results of the study made it possible to conclude that the constant actions operated in the channel, both natural and human, have implied new adjustments of its morphometry, mainly with the increase in width and disproportionate changes in its geomorphic processes, where erosion and / or mass wasting (with extensive scars of the slide rotacional types) occurs intensively in the channel, in its entrance and middle portion, to the detriment of deposition in its final part, affecting the way of life of residents and river navigation.

Keywords: channel; Fluvial Geomorphology; river erosion, mass wasting

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Vegetação na margem do Furo do Paracuúba .....	35
Figura 2 - Solo quaternários- Neossolo Flúvico e solo terciário- Plintossolo.....	37
Figura 3 – Desobstrução, dragagem, limpeza e rebaixamento do Paracuúba; .....	40
Figura 4 - Transporte de carga detrítica e velocidade do fluxo.....	60
Figura 5 - Tipos de Movimentos de Massa - classificação de Varnes (1958) .....	73
Figura 6 - Representação do Índice de Sinuosidade - Dury 1969 .....	85
Figura 7 - Mosaico de imagens de satélites (2006-2018).....	86
Figura 8 - Aquisição de dados batimétricos .....	89
Figura 9 - Teste de velocidade do fluxo da corrente com o uso de corante.. .....	90
Figura 10 - Locais de coleta das amostras de solo .....	93
Figura 11 - Perfis das margens e coleta de material para análise granulométrica.....	93
Figura 12 - Coleta de material no período máximo da vazante.....	94
Figura 13 - Amostras em processo de decantação. Método da EMPRAPA (2017).....	95
Figura 14 - Teste de infiltração na margem esquerda do canal .....	98
Figura 15 - Etapas construtivas e instalação dos piezômetros.....	99
Figura 16 - Garrafa Van Dorn usada para coleta de água .....	102
Figura 17 - Phmêtro de mão e Disco Secchi .....	105
Figura 18 - VANT utilizado no mapeamento das cicatrizes de movimento de massa. ....	107
Figura 19 - Ferramenta Fluxo de trabalho do Argisoft Metashape .....	108
Figura 20 - Matéria sobre continuidade dos serviços de dragagem no canal .....	111
Figura 21 - Furo do Paracuúba - 1953 e 2019 .....	112
Figura 22 - Uso e cobertura da terra em 2006 .....	116
Figura 23 - Uso e cobertura da terra em 2008 .....	117
Figura 24 - Uso e cobertura da terra em 2010 .....	117
Figura 25 - Uso e cobertura da terra em 2016 .....	118
Figura 26 - Uso e cobertura da terra em 2018 .....	119
Figura 27 - Evolução multitemporal do Furo do Paracuúba .....	119
Figura 28 - Furo do Paracuúba e zona de deposição na entrada do rio Janauari .....	120
Figura 29 - Sobreposição de imagens e mudanças nos contornos das margens.....	122
Figura 30 - Representação dos Perfis Batimétricos no início da vazante.....	124
Figura 31 - Margem esquerda e a ação turbulenta da água .....	125

Figura 32 - Representação dos Perfis Batimétricos - extremo da vazante .....	128
Figura 33 - Material residual da margem no sopé da margem.....	129
Figura 34 - Representação dos Perfis Batimétricos - cheia.....	132
Figura 35 - Integração dos perfis batimétricos transversais da entrada do canal .....	137
Figura 36 - Integração dos perfis batimétricos transversais do meio do canal.....	138
Figura 37 - Integração dos perfis batimétricos transversais da saída do canal.....	139
Figura 38 - A ação antrópica nas margens e navegação fluvial .....	
Figura 39 - Embarcação “a jato” trafegando pelo canal.....	148
Figura 40 - Fluxo e intervalo de tempo das embarcações .....	150
Figura 41 -Triângulo Textural – amostras da margem esquerda.....	151
Figura 42 -Triângulo Textural – amostras da margem direita.....	152
Figura 43- Perfil do solo da margem esquerda.....	155
Figura 44 - Perfil do solo da margem direita.....	155
Figura 45 - Barranco com pouca resistência .....	157
Figura 46 - Perfil esquemático do nível piezométrico - Outubro /2018.....	
Figura 47 - Perfil esquemático do nível piezométrico - Novembro /2018.....	172
Figura 48 - Perfil esquemático do nível piezométrico - Dezembro /2018.....	172
Figura 49 - Perfil esquemático do nível piezométrico - Janeiro /2019.....	173
Figura 50 -Perfil esquemático do nível piezométrico - Fevereiro / 2019.....	173
Figura 51 - Perfil esquemático do nível piezométrico - Março / 2019.....	174
Figura 52 - Perfil esquemático do nível piezométrico - Abril / 2019.....	174
Figura 53- Perfil esquemático do nível piezométrico - Maio / 2019.....	175
Figura 54 - Perfil esquemático do nível piezométrico - Junho/ 2019.....	175
Figura 55 - Perfil esquemático do nível piezométrico - Julho / 2019.....	176
Figura 56 - Perfil esquemático do nível piezométrico - Agosto / 2019.....	176
Figura 57 - Perfil esquemático do nível piezométrico - Setembro / 2019.....	177
Figura 58 - Perfil esquemático do nível piezométrico - Outubro/ 2019.....	177
Figura 59 - Dinâmica geomorfológica do Furo do Paracuúba .....	187
Figura 60 - Zonas de erosão e Zonas de deposição no canal.....	188
Figura 61 - Cicatrizes de movimento de massa .....	191
Figura 62 - Localização de cicatrizes de movimento de massa na extensão do canal .	192
Figura 63 - Cicatrizes de movimento de massa do tipo rotacional.....	193
Figura 64 - Vista lateral da superfície de ruptura curva côncava de um movimento de massa. ....	194

Figura 65 - Solapamento na base do barranco.....	195
Figura 66 - Construção ameaçada pelo escorregamento. ....	195
Figura 67- Setores de risco mapeados pela CPRM na Comunidade de Santo Antônio do Paracuúba/2018 .....	197
Figura 68 - Modelagem em 3D do Furo do Paracuúba .....	200
Figura 69 - Ortomosaico do Furo do Paracuúba.....	201
Figura 70 - Residência na margem do canal na enchente e a mesma casa desmanchada por conta da ameaça de escorregamento .....	206
Figura 71 - Igreja ameaçada pelo escorregamento. ....	207
Figura 72 - Escada improvisada no interior da cicatriz de movimento rotacional .....	207

## **LISTA DE MAPAS**

Mapa 1 - Mapa de localização do Furo do Paracuíba.....	22
Mapa 2 - Geologia da área de estudo .....	24
Mapa 3 - Geomorfologia da Área de estudo.....	26
Mapa 4 - Solos da área de estudo e áreas adjacentes.....	38
Mapa 5 - Distância entre os Portos Manaus Iranduba.....	141

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Cotograma do rio Solimões na Estação Manacapuru.....	29
Gráfico 2 - Cotograma do Rio Negro em Manaus.....	31
Gráfico 3 - Perfil batimétrico transversal nº 1a - entrada do canal.....	124
Gráfico 4 - Perfil batimétrico Transversal nº 2a - meio do canal.....	126
Gráfico 5 - Perfil batimétrico Transversal nº 3a - saída do canal.....	127
Gráfico 6 - Perfil batimétrico Transversal nº 1b - entrada do canal.....	129
Gráfico 7 - Perfil batimétrico Transversal nº 2b - meio do canal.....	130
Gráfico 8 - Perfil batimétrico Transversal nº 3b - saída do canal.....	131
Gráfico 9 - Perfil batimétrico Transversal nº 1c - entrada do canal.....	133
Gráfico 10- Perfil batimétrico Transversal nº 2c- meio do canal.....	134
Gráfico 11- Perfil batimétrico Transversal nº 3c- saída do canal.....	135
Gráfico 12- Ponto de vista dos donos e/ou proprietários de embarcações.....	147
Gráfico 13 - Quantitativo de embarcações trafegando no Furo do Paracuúba.....	149
Gráfico 14 - Distribuição dos valores (%) de areia, silte e argila - margem esquerda.....	152
Gráfico 15 - Distribuição dos valores (%) de areia, silte e argila- margem direita....	154
Gráfico 16 - Densidade Real e Aparente – amostras da margem esquerda.....	158
Gráfico 17 - Densidade Real e Aparente – amostras da margem direita.....	159
Gráfico 18 - Porosidade Total – amostras da margem esquerda.....	160
Gráfico 19 - Porosidade Total – amostras da margem direita.....	160
Gráfico 20 - Resistência a penetração – P1.1 e P 1.2.....	162
Gráfico 21 - Resistencia a penetração – P 2.....	163
Gráfico 22 - Taxas de infiltração - P 1.1 e no P1.....	164
Gráfico 23 - Taxas de infiltração - P2.....	165
Gráfico 24 - Nível piezométrico no Pz1 X cotas fluviométricas do Rio Solimões.....	167
Gráfico 25 - Nível piezométrico no Pz2 X cotas fluviométricas do Rio Solimões.....	168
Gráfico 26 - Oscilação do lençol freático no pacote sedimentar.....	
Gráfico 27 - Valores de transparência da água.....	184
Gráfico 28 - Valores de pH da água.....	185
Gráfico 29 - Taxas de erosão e deposição no período de 2006 e 2018.....	189

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados das imagens de satélite selecionadas.....	84
Tabela 2 - Largura do canal (m) em diferentes anos .....	113
Tabela 3 - Valores quantitativos das variáveis morfométricas.....	114
Tabela 4 - Tipos de cobertura na área entorno do canal - 2006 e 2018.....	121
Tabela 5 - Síntese das medições batimétricas e geométricas das seções transversais..	136
Tabela 6 - Tempo gasto X consumo de combustível.....	142
Tabela 7 - Principais mudanças apontadas pelos proprietários entrevistados .....	144
Tabela 8 - Granulometria das amostras de solo das margens.....	152
Tabela 9 - Concentração de sólidos totais suspensos .....	179
Tabela 10 - Correlação da descarga líquida e sólida - início da vazant.....	179
Tabela 11 - Correlação da descarga líquida e sólida - extremo da vazante.....	180
Tabela 12 - Correlação da descarga líquida e sólida - cheia do canal.....	180
Tabela 13 - Valores morfométricos das cicatrizes de MM.....	199
Tabela 14 - Transportes fluviais de pequeno porte.....	204
Tabela 15 - Indicação dos moradores quanto as Terras Caídas.....	205
Tabela 16 - Indicações dos moradores quanto as mudanças que observadas no canal nos últimos anos.....	209

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sinótico dos Tipos de Furos .....	32
Quadro 2 - Identificação dos perfis transversais .....	89
Quadro 3 - Informações sobre os piezômetros instalados .....	100
Quadro 4 - Detalhes do Plano de Vôo .....	106
Quadro 5 - Aspectos socioeconômicos dos moradores.....	203
Quadro 6 - Dificuldades de deslocamento no período de águas baixas apontado pelos moradores. ....	208



## LISTA DE SIGLAS

CPRM- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

Css - Concentração de sólidos totais em suspensão

VANT- Veículo Aéreo Não Tripulado

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Is- Índice de Sinuosidade

l- Largura média

L- Comprimento do canal

LATOSSOLO - Laboratório de Análises e Tratamento de Sedimentos e Solos

MM- Movimentos de massa

MDS – Modelo Digital de Superfície

pH - potencial hidrogeniônico

Pz- piezômetro

Pt -Porosidade total

Q- Vazão, descarga líquida ou débito

Qss – Descarga de sólidos totais suspensos

pH - potencial hidrogeniônico

Pz- piezômetro

Pt -Porosidade total

Q- Vazão, descarga líquida ou débito

Qss - Descarga de sólidos totais suspensos

RP- Resistência do solo á penetração

SPU- Secretaria de Patrimônio da União

USGS – United States Geological Survey

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>22</b>
2.1..Geologia.....	23
2.2..Neotectônica .....	25
2.3..Geomorfologia.....	26
2.4..Hidrografia.....	28
2.5..Clima.....	33
2.6..Vegetação .....	34
2.7..Solos .....	36
2.8..Aspectos Humanos .....	39
2.8.1..Histórico de Ocupação .....	39
2.8.2..Aspectos Populacionais.....	40
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>42</b>
3.1..Os canais fluviais.....	42
3.2..Padrão de canal.....	43
3.3..Processos hidrodinâmicos e a ação fluvial .....	45
3.3.1. Variáveis hidrológicas: fluxos e velocidade da corrente e descarga líquida (vazão) .....	50
3.4.. Processos geodinâmicos fluviais.....	54
3.4.1..Erosão fluvial .....	54
3.4.2..Transporte Fluvial .....	58
3.4.3..Deposição fluvial.....	63
3.4.4 .. Movimentos de massa .....	66
3.4.5..Fatores condicionantes, processos controladores dos movimentos de massa.....	68
3.4.6..Classificações dos movimentos de massa.....	72
3.5..Processos antrópicos.....	77
3.6 Dinâmica fluvial nas proximidades da confluência dos rios Negro e Solimões.....	79
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>82</b>
4.1 Caracterização da morfometria do canal e suas possíveis alterações no período de 2006 a 2018. ....	83
4.2 Descrição dos processos hidrodinâmicos e antrópicos que interferem no desgaste das margens do canal. ....	87
4.2.1 Aspectos hidrodinâmicos.....	87

4.2.2 Aspectos antrópicos.....	91
4.3 Caracterização das propriedades físicas dos solos das margens e dos sedimentos transportados pelo canal. ....	92
4.3.1 Coleta dos solos das margens e frações granulométricas .....	92
4.3.2 Densidade Real, Densidade Aparente e Porosidade Total .....	95
4.3.3 Resistência do solo à penetração .....	96
4.3.4 Atributos hidráulicos dos solos.....	97
4.3.5 Caracterização das propriedades físicas dos sedimentos transportados pelo canal. ....	101
4.3.6 Medição de parâmetros básicos da água .....	103
4.4 Mapeamento das áreas de erosão, deposição e movimentos de massa. ....	105
4.4.1 Erosão e Deposição .....	105
4.4. Movimentos de Massa.....	106
4.5 Tratamento das imagens .....	107
4.6 Influência da dinâmica fluvial na vida dos moradores ribeirinhos das comunidades abrangidas pelo canal.....	109
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>110</b>
5.1 Caracterização morfométrica do canal e suas mudanças de 2006 a 2018.....	110
5.2 Caracterização dos processos hidrodinâmicos e antrópicos que interferem no desgaste das margens do canal.....	123
5.2.1 Processos hidrodinâmicos.....	123
5.3 Perfis transversais do início da vazante no Furo do Paracuúba. ....	123
5.4 Perfis Transversais referentes ao período de máxima da vazante no canal .....	128
5.5 Perfis Transversais referente ao período cheio no canal (30.07.2019) .....	132
5.5.1 Processos Antrópicos.....	140
5.6 Propriedades físicas dos solos das margens e dos sedimentos transportados.....	151
5.6.1 Análise Física dos solos.....	151
5.6.2 Atributos hidráulicos do solo.....	163
5.7 Mapeamento das áreas de erosão, deposição e movimentos de massa nas margens.....	186
5.8 Morfometria das cicatrizes.....	198
5.9 Análise episódios da dinâmica fluvial e as relações com os moradores ribeirinhos das comunidades abrangidas pelo canal. ....	202
5.10 Entrevista com moradores das comunidades locais.....	202
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>211</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>217</b>
<b>7 ANEXO A – Frações de areia .....</b>	<b>230</b>

<b>8 APÊNDICE A – Questionário socioeconômico – Dono de embarcação ou comandante .....</b>	<b>231</b>
--	------------

## INTRODUÇÃO

A Bacia Amazônica abrange um grande conjunto de corpos d'água constituintes da dinâmica do sistema fluvial e responsáveis pela remodelagem do relevo regional. Integram esse mosaico uma gama de canais fluviais como os paranás<sup>1</sup>, furos<sup>2</sup> e igarapés<sup>3</sup>, de formas e tamanhos variados e que mantêm complexas e contínuas interações entre o fluxo de água e de sedimentos, que alteram a morfologia dos ambientes e implicam na organização socioespacial e promovem contínuas modificações na paisagem.

As mudanças em canais fluviais são processos quase que constante em vários lugares do planeta, podendo ser verificadas por causas naturais ou por indução pelo homem. As consequências são diversas, entre as quais incluem alterações no regime de cheias e vazantes, na carga sedimentar, na estabilidade das vertentes e na viabilidade dos canais para a navegação.

Corroborando para o entendimento do funcionamento dos sistemas fluviais e de suas mudanças, a Geomorfologia Fluvial tem se tornado um setor de destaque na ciência geomorfológica, principalmente a partir da década de 70, visto que seus estudos têm adotado uma perspectiva temporal para as mudanças fluviais e se preocupado com as modificações decorrentes da maior atuação do homem sobre o ambiente fluvial, em especial, com modificações pela construção de obras de engenharia ou usos indevidos na bacia hidrográfica (CUNHA, 2015).

No Brasil, há poucos estudos de Geomorfologia Fluvial relativos as bacias de drenagem e canais de pequeno porte. As pesquisas envolvendo os pequenos canais fluviais da Amazônia, como os furos, os paranás e os igarapés no âmbito geomorfológico ainda são muitos escassas, com poucas investigações detalhadas que correlacionam a dinâmica hidrológica e as mudanças morfológicas no decorrer do tempo. Diante da dimensão amazônica, torna-se necessário desenvolver estudos mais

---

<sup>1</sup> Terminologia amazônica de origem indígena que significa o braço de um grande rio, formando uma grande ilha e que quando de menores proporções é chamado de paraná-mirim. Os primeiros são sempre navegáveis e os menores nem sempre permitem a livre circulação das embarcações por ocasião das vazantes (GUERRA e GUERRA, 1997).

<sup>2</sup> Denominação regional amazônica para os braços d'água que ligam um curso d'água a outro ou a um lago, ou ainda pela montante da foz ao curso d'água em que deságua (GUERRA e GUERRA, 1997).

<sup>3</sup> Denominação dada aos pequenos rios, na região Norte (Amazônia), cujo o termo indígena significa "caminho de canoa" (de igara - canoa e pé - trilha, caminho) (GUERRA e GUERRA, 1997).

específicos nesses cursos d'água, para que se entenda melhor o comportamento hidrológico do sistema hidrográfico amazônico.

Como estudo específico relativo a esses ambientes fluviais, merece destaque o trabalho de Pinto (2013), com o mapeamento geomorfológico do Furo do Ariaú no município de Iranduba, através de imagens de radar. Ademais, os trabalhos em sua grande maioria abrangem estudos em trechos do rio Solimões/Amazonas, do Rio Negro ou da região de confluência destes ou ainda de trechos de outros rios amazônicos, como do rio Madeira e do rio Acre, entre os quais, aponta-se alguns que foram essenciais para esta pesquisa e substanciais aos estudos de Geomorfologia Fluvial na Amazônia, como os trabalhos de Lima (1998); Franzinelli (2011); Carvalho (2006, 2012); Magalhães (2011); Bertani (2015); Nascimento (2016); Araújo (2018), Marinho (2019), entre outros.

Ressalta-se que embora esses pequenos canais fluviais amazônicos se estendam por áreas de drenagem relativamente pequenas, torna-se de grande importância o entendimento funcional destes, de seus aspectos hidrodinâmicos e geomorfológicos e das variáveis que implicam na sua condição de equilíbrio. Estes se constituem como agentes participativos no modelado do relevo regional e suas mudanças podem ser observadas a partir de alguns de seus ajustes temporais, como na morfometria, no uso e ocupação da terra e nas feições geomorfológicas que surgem como passar dos anos.

Neste contexto, este trabalho destaca o Furo do Paracuúba <sup>4</sup>, localizado a cerca de 16 km da confluência dos rios Solimões e Negro, uma importante unidade sistêmica da Bacia Amazônica que requisitou e de um estudo mais específico de noção geográfica por apresentar variadas formas de relações entre os processos naturais e antrópicos. O estudo abrange o entendimento de seus aspectos hidrodinâmicos, geomorfológicos, sedimentológicos e antrópicos, tendo em vista que na unidade de recorte verificam-se muitas rachaduras e trincas no solo e nas margens solapadas e próximo às casas, com a presença de cicatrizes evidenciando constantes movimentos de solo em direção ao canal. Além disso, como destaca a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (2018), o Furo do Paracuúba serve de rota para as embarcações regionais e expressos (a jato) que geram fortes ondas, aumentando o poder erosivo do rio.

---

<sup>4</sup>A toponímia Furo do Paracuúba vem da presença de muitas árvores na área adjacente ao canal conhecidas como pracuúbas - *Mora paraensis* Ducke (BRASIL, 1978).

Diante disto, o trabalho objetivou analisar a dinâmica fluvial e os processos correlatos ao Furo do Paracuúba caracterizando sua morfometria e suas possíveis alterações no período de 2006 a 2018; descrevendo os processos hidrodinâmicos e antrópicos que interferem no desgaste de suas margens; caracterizando as propriedades físicas dos solos das margens e dos sedimentos transportados pelo leito do rio; mapeando as áreas de erosão, deposição e movimento de massa nas margens e mostrando a influência da dinâmica fluvial na vida dos moradores ribeirinhos das comunidades abrangidas pelo furo. Nesta perspectiva, este estudo se propôs a explicar os fatores que implicam na morfologia do Furo do Paracuúba, se ocorreram mudanças significativas na sua morfometria no período em análise (2006 a 2019) e as possíveis consequências ambientais e sociais decorrentes para a área de estudo. Para isso, foi de fundamental importância apropriar-se de metodologias científicas capazes de explicar o comportamento dos processos hidrológicos e geodinâmicos para a modelagem do canal e de suas margens a fim de alcançar os objetivos esperados.

Sendo assim, foi necessário o levantamento de imagens de satélites de uma série multitemporal para a análise morfométrica e do uso e cobertura da terra e para o mapeamento das áreas de erosão e deposição no canal; realizou-se levantamentos batimétricos nas seções transversais, medição de largura, estimativas de vazão e de velocidade do fluxo da água, da carga de sólidos totais em suspensão em três períodos hidrológicos do canal (compreendendo o início da vazante e o extremo da vazante em 2018 e o período cheio em 2019); verificou-se a granulometria, a densidade de partículas e densidade do solo e a porosidade total nas amostras de solos coletadas; realizou-se testes de resistência a penetração e de infiltração no solo e o monitoramento do nível piezométrico no pacote sedimentar e mapeou-se as cicatrizes de movimentos de massa nas margens do canal utilizando o VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado). Os resultados foram correlacionados aos dados de cotas diárias e mensais dos rios Solimões e Negro. Além disso, aplicou-se questionários aos comandantes e/ou donos de embarcações e aos moradores das comunidades ribeirinhas assentadas junto às margens do furo.

A célere inter-relação entre os processos naturais e antrópicos que vem se propagando no espaço-tempo neste ambiente, principalmente com a intensificação da navegação fluvial, têm propiciado a existência de uma diversificada paisagem geomorfológica, marcada por um cenário dominado por margens desgastadas, com a presença de extensas cicatrizes nas suas margens, observando-se vários trechos com a

intensa atuação das terras-caídas, fenômeno resultante da erosão fluvial e dos movimentos de massa ou da combinação destes.

Na margem esquerda do Rio Solimões, entre os municípios de Iranduba e Codajás conforme explicita Teixeira (2010), são observados diversos trechos com terras caídas, atingindo dezenas de metros. As cicatrizes que aparecem são caracterizadas por escorregamentos do tipo rotacional, apresentando superfícies de rupturas côncavas que deslocam grande quantidade de material.

A remodelagem da paisagem através do movimento de subida e descida das águas é consequência do caráter dinâmico natural nas várzeas amazônicas. Todavia, os impactos ambientais provocados pela navegação podem aparecer de formas diversas, destacando-se as ondas geradas pelo movimento intenso e frequente de embarcações que provocam uma dinâmica diferente no canal ao se propagarem em direção às margens, promovendo o desgaste destas. A intensificação da perda de material das margens no Furo do Paracuúba pela combinação de variáveis naturais e humanas, além de acarretar problemas ao ambiente, têm afetado o cotidiano das populações ribeirinhas, promovendo a migração e/ou deslocamento dos moradores para áreas consideradas mais estáveis.

Um estudo sob o ponto de vista geográfico neste canal permite vislumbrar e compreender sua reconfiguração e de suas margens numa perspectiva temporal e espacial, podendo ser uma fonte a mais de informações para os estudos de Geomorfologia Fluvial, ampliando assim os conhecimentos sobre os agentes (naturais e/ou humanos) que reconstróem a paisagem e contribuem para a modelagem do sistema hidro-geomorfológico amazônico, constituindo-se também como uma base para discutir o estado de equilíbrio do sistema fluvial. Nessa perspectiva, “o conceito de equilíbrio em geomorfologia significa que os materiais, processos e a geometria do modelado, compõem um conjunto auto regulador, sendo que toda forma é produto entre o ajuste, matérias e processos” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.7)

Ademais, o estudo poderá fornecer subsídios aos programas de apoio as famílias atingidas por eventos sazonais e desastres naturais e também auxiliar com informações pertinentes às instituições responsáveis pela navegação fluvial. Entre as possíveis ações pelas instituições será o desenvolvimento de projetos de sinalização e balizamento e de estudos de impacto ambiental afim de diminuir os impactos gerados pelas embarcações no canal.

Este trabalho está dividido em quatro capítulos: Caracterização da Área de Estudo; Fundamentação Teórica; Metodologia e Resultados e Discussões.

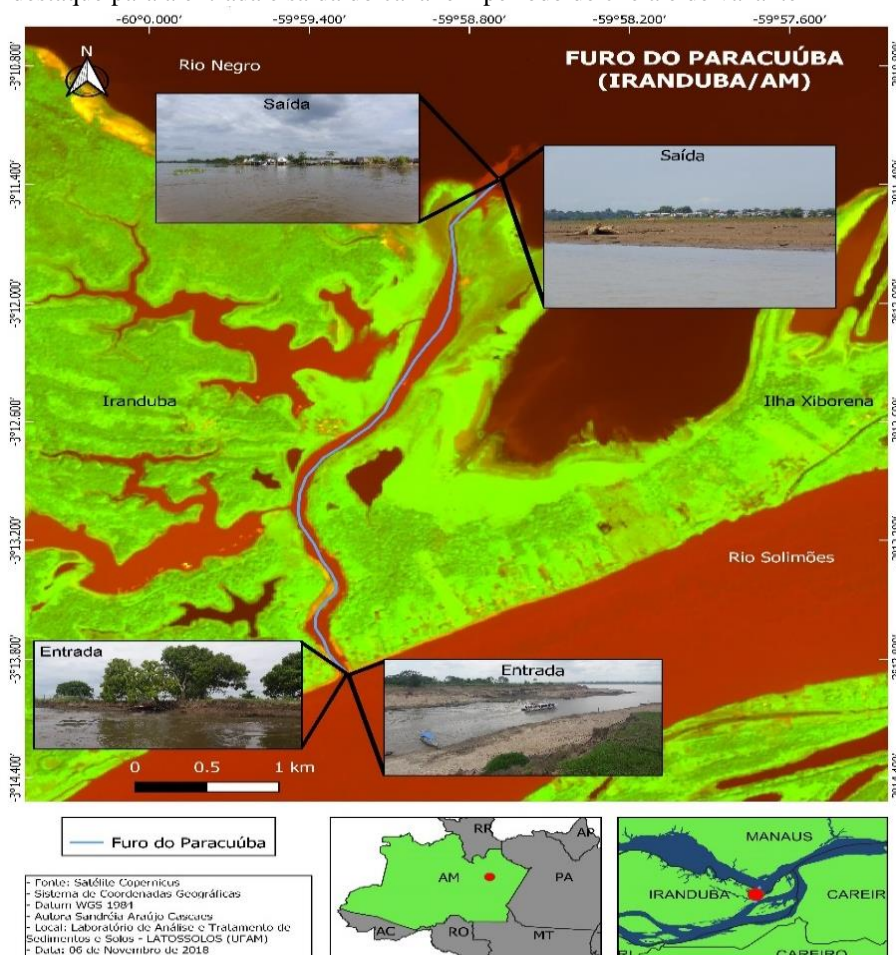


## 2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Furo do Paracuúba está localizado à jusante da sede de Iranduba, mas dentro deste município (**Mapa 1**). Ele liga o rio Solimões ao rio Negro, margeando uma planície de inundação (CPRM, 2018). O acesso a área de estudo é realizado somente por via fluvial. Observações em campo, evidenciaram que o sentido do fluxo da água neste canal segue do rio Solimões (entrada), desaguando no rio Negro (saída).

Este canal encontra-se distante a aproximadamente 28 km do porto de Manaus e a cerca de 16 km da confluência desses dois grandes rios ao se contornar a Ilha Xiborena. Possui uma extensão aproximada de 4,0 Km e é utilizado como rota alternativa à navegação. Abarca duas comunidades ribeirinhas, denominadas Santo Antônio do Paracuúba e Vila Nova.

**Mapa 1** - Mapa de localização do Furo do Paracuúba em Iranduba/AM, com destaque para a entrada e saída do canal em período de cheia e de vazante



Org.: Sandra A. Cascaes, 2018.

Entalhado em um ambiente fluvial de várzea, o canal recebe as águas do rio Solimões e a entrada encontra-se situada entre as coordenadas: Latitude S 03°13'51.5" e Longitude W 059°59'18.6" (margem esquerda) e Latitude S 03°13'48.96" e Longitude W 59°59'12.84" (margem direita). Já a saída do canal encontra-se na Latitude S 03°11'49.68" e Longitude W 59°58'55.38" (margem esquerda) e Latitude S 03°11'50.84" e Longitude W 59°58'48.44" (margem direita).

## 2.1 Geologia

De acordo com o Estudo Prévio de Impacto Ambiental (2012), a litologia de Iranduba é caracterizada em sua maior parte pela Formação Alter-do-Chão, do período Cretáceo Superior, que faz contato pela margem do rio Solimões com o material depositado no Quaternário.

Franzinelli (2011) expõe que a porção sul do município é drenada pelo rio Solimões e este rio, ao longo do seu trajeto percorre em alguns trechos a planície por ele mesmo formada e em outros trechos percorre as margens da planície e das rochas da Formação Alter do Chão. Na margem direita, a montante do encontro das águas está situada na planície de inundação e em sua margem esquerda, na altura de Iranduba e ao oeste da Ilha Xiborena é formada por barrancos<sup>5</sup> vermelhos da Formação Alter-do-Chão, caracterizado pela presença de arenitos grosseiros, alternados por camadas silto-argilosas (FRANZINELLI, 2011). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), esta formação é marcada pela presença de arenitos avermelhados e esbranquiçados, finos e médios; siltitos e argilitos geralmente avermelhados, rosados e ferruginosos; conglomerados lenticulares, mal selecionados, com seixos arredondados a subarredondados.

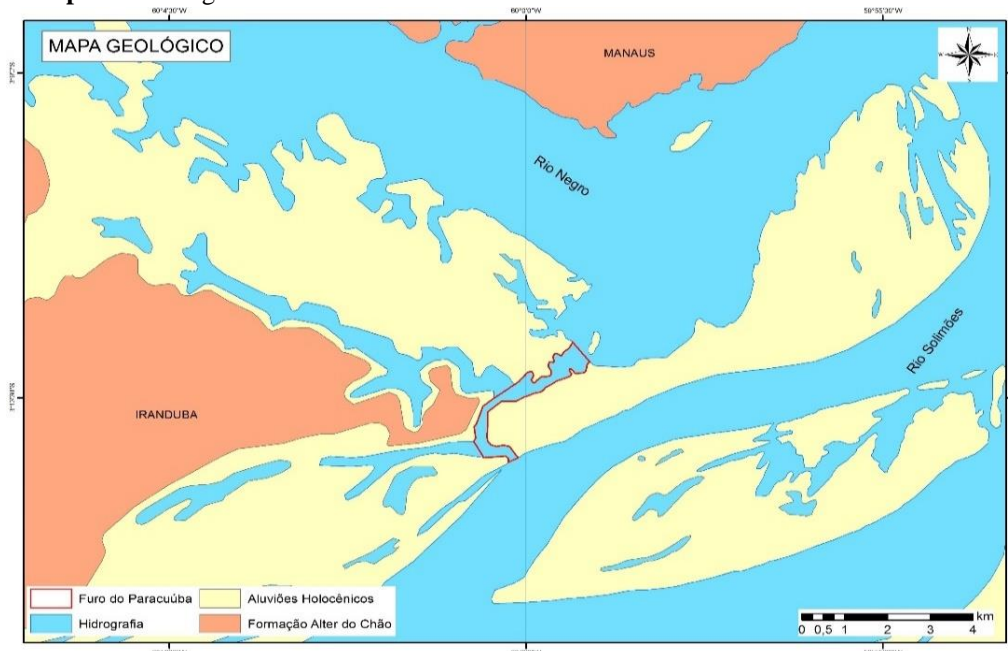
Entretanto, Franzinelli (2011) ressalta que a jusante de Iranduba, onde está inserido a área de estudo, o terraço da Formação Alter do Chão recua dando lugar à várzea. Nesse sentido, Magalhães (2011) destaca que na faixa de transição para a unidade conhecida como planície de inundação, mais precisamente na margem esquerda do rio Solimões, ocorrem os sedimentos quaternários que compreendem às áreas de várzeas, ou seja, zonas muito planas sujeitas a alagamento periódico, onde se processa atualmente deposição sedimentar e onde os processos de erosão fluvial e movimentos de massa são mais comuns.

---

<sup>5</sup> Alves (2013, p. 17) adjetiva o termo como "margens de alta declividade".

Portanto, geologicamente, a área de estudo apresenta aspectos distintos, estando o Furo do Paracuúba inserido em uma área de contato litológico, com a Formação Alter do Chão em um pequeno trecho de sua margem esquerda, contrapondo-se à predominância da unidade litoestratigráfica dos depósitos aluvionares em suas duas margens (**Mapa 2**).

**Mapa 2** - Geologia da área de estudo



**Fonte:** IBGE (2015). **Org:** Sandréia A. Cascaes, 2019.

De acordo com D'Antona *et al.* (2007), os aluviões recentes constituem unidades holocênicas representadas por depósitos aluvionares encontrados às margens dos rios, furos, paranás e em ilhas fluviais. Ainda conforme os autores, no Baixo Rio Negro esses sedimentos depositam-se em patamares representados pela Formação Alter do Chão e formam praias fluviais compostas por areias esbranquiçadas e com boa seleção, já no Baixo Solimões os aluviões encontram-se representadas por siltes, argilas e areias marrom acinzentadas a esverdeadas. Dessa forma, os depósitos resultam da acumulação de sedimentos ao longo da calha e das margens dos cursos d'água constituídos por depósitos de barras de acreção, de diques marginais, de planícies de inundação e depósitos lacustres e flúvio-lacustres, constituindo-se nas áreas de várzeas, sujeitas às inundações periódicas (D'ANTONA *et al.*, 2007).

## 2.2 Neotectônica

O Furo do Paracuúba está localizado nas proximidades da região de confluência entre os rios Solimões e Negro, que segundo Franzinelli (2011) e Igreja (2012) está inserida na faixa neotectônica transcorrente que abrange toda a parte central da Bacia Amazônica de leste para oeste, em que esta faixa representa um importante arcabouço gerado pela neotectônica como dobras, falhas, fraturas e juntas desenvolvidas na parte aflorante da Formação Alter do Chão (multideformada), cretácea, nos lateritos e camadas de solos.

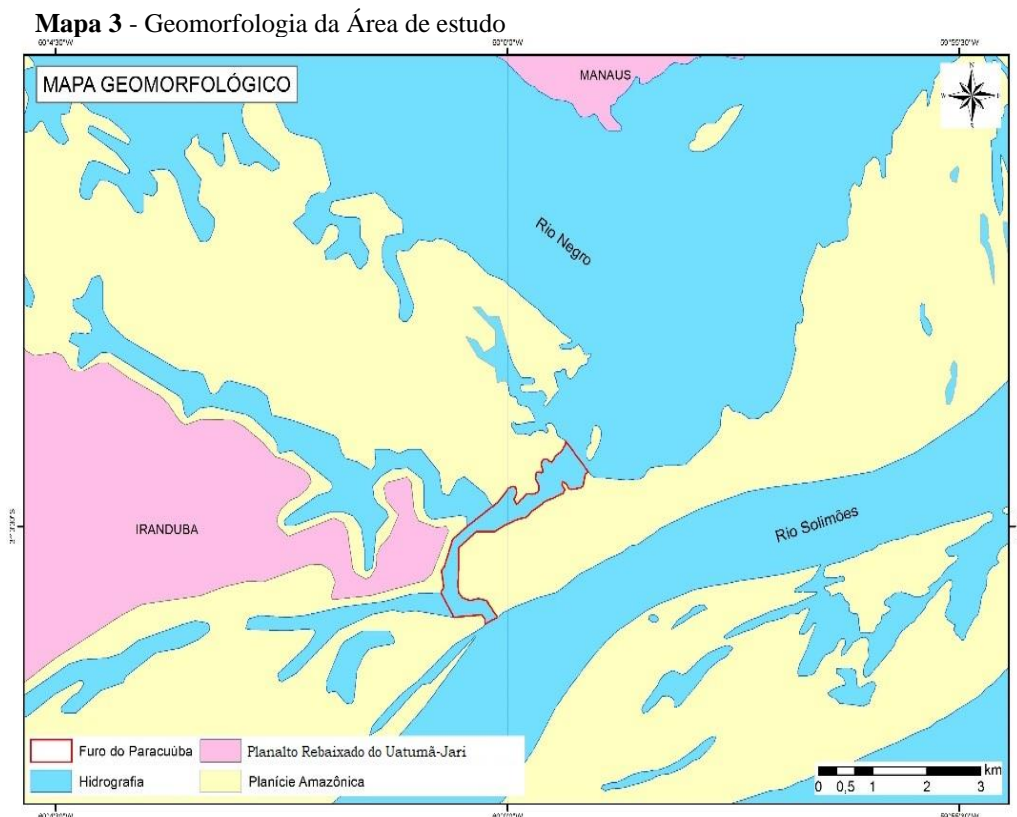
Conforme Igreja (2012), a neotectônica origina formas peculiares de blocos e direciona os cursos dos rios, como o Solimões, que em seu último trecho apresenta a direção N40E, transversal a desembocadura do Rio Negro. Já o Rio Negro, em seu último segmento, desenvolve-se ao longo de um pequeno gráben de direção estrutural N40E e N65W. Na região do “Encontro das Águas” ocorre no cruzamento dos *trends* estruturais N40E e N65W que formam uma importante zona de restrição neotectônica, sendo que essas duas direções governam a faixa central da bacia amazônica, e junto com o *trend* N75E controlam os rombográbens Paciência, Manaus e Careiro, onde ocorre a sedimentação quaternária (IGREJA, 2012).

Na região do Encontro das águas, no último trecho do rio Solimões, a planície holocênica é formada por depósitos de barras, canais, diques e lagos assoreados e na sua margem direita está a ilha do Careiro, extensa ilha fluvial de topografia plana formada por sedimentos recentes, com vastos lagos rasos de forma arredondadas no seu interior (FRANZINELLI e IGREJA, 2011). A Ilha da Xiborena está no interflúvio Negro-Solimões, formada por uma sucessão de bancos alongados, subparalelos a direção do último trecho do rio Solimões, sendo que as depressões entre os bancos da Xiborena são colmatadas e algumas que se encontram ainda em fase de assoreamento têm canais navegáveis durante as cheias (FRANZINELLI e IGREJA, 2011).

Portanto, o arranjo neotectônico controla os cursos de canais, influenciando no fluxo de suas águas e na sua morfologia, nos processos de erosão e deposição, que por sua vez, influenciam nas formas geomorfológicas nas margens dos rios Solimões e Negro. A morfologia do Furo do Paracuúba, conforme denota Igreja (2012), é controlada pelo Romográben Manaus (N40E), delimitado pelos lineamentos Curari e Manaquiri.

### 2.3 Geomorfologia

A respeito da Geomorfologia da Amazônia, a classificação atual proposta pelo IBGE (2010) estabeleceu para o município de Iranduba duas macro compartimentações: o Planalto Rebaixado do Uatumã/Jari e a Planície Amazônica, em sua parte meridional (**Mapa 3**).



**Fonte:** IBGE (2015). **Org:** Sandréia A. Cascaes, 2019.

O Furo do Paracuúba está inserido na faixa de transição entre as duas unidades geomorfológicas, o planalto que margeia boa parte da margem esquerda e a planície que domina a margem direita.

Em síntese, a unidade geomorfológica de planalto segundo o IBGE (2010), apresenta-se com o modelado de dissecação homogênea, caracterizada por dissecação fluvial em litologias diversas que não apresenta controle estrutural marcante, constituindo-se por colinas e interflúvios tabulares. A definição da forma de topo é tabular, marcada por um conjunto de formas de relevo que delineiam feições de rampas suavemente inclinadas e lombadas, geralmente esculpidas em coberturas sedimentares inconsolidadas e rochas cristalinas, indicando eventual controle estrutural e geralmente,

são formadas por vales rasos, apresentando vertentes de pequena e média declividade (IBGE, 2010).

Alves (2013) descreve que na região do baixo Rio Negro, o relevo é composto por interflúvios tabulares e colinas, modelado nos depósitos da Formação Alter do Chão, com altitudes em torno de 150 m, destacando-se como principal agente de drenagem o Planalto Uatumã-Jari. Ainda conforme a autora, este flui na direção NW-SE e recebe alguns de seus principais tributários nas margens direita e esquerda nesse trecho, que apresentam um padrão dentrítico de drenagem. O rio Negro, ao seccionar o Planalto Uatumã-Jari apresenta margens escarpadas, conhecidas como “falésias fluviais”, sendo que apenas em alguns trechos de sua margem esquerda há áreas de acumulação mapeadas como planície aluvial (ALVES, 2013).

Todavia, na porção meridional do município de Iranduba, drenada pelo rio Solimões e onde está a área de estudo, predomina a unidade geomorfológica dos depósitos quaternários da Planície Amazônica. Nascimento *et al.* (1976), usaram o critério hidrológico e classificaram a planície do rio Solimões/Amazonas em “planície fluvial alagada” que condiz com a várzea baixa que em condições normais começa a ser transbordada nos três primeiros meses do ano, e “planície inundável ou de inundação”, classificada como várzea alta, cuja inundação total só acontece durante as grandes enchentes.

A planície fluvial com modelados de dissecação, segundo o IBGE (2010), caracteriza-se como uma área plana resultante de acumulação fluvial, sujeita a inundações periódicas, correspondendo às várzeas atuais.

Representada por planícies de inundação e terraços fluviais muito amplos, por vezes com dezenas de quilômetros de largura, ocorrendo ao longo dos principais canais-troncos da bacia hidrográfica dos rios Negro-Solimões-Amazonas, a planície amazônica é constituída por depósitos sedimentares atuais ou subatuais; os terraços fluviais correlatos ao Pleistoceno Superior e as planícies de inundação, ao Holoceno (LATRUBESSE e FRANZINELLI, 2002).

Christofolletti (1980) definiu a planície de inundação, como a faixa do vale fluvial composta por sedimentos deposicionais aluviais, bordejando o curso de água e, geralmente inundam o leito menor periodicamente e, excepcionalmente, inundado pelas grandes cheias o leito maior do rio. A planície de inundação abriga, no seu interior, um complexo sistema de drenagem com formas deposicionais como ilhas fluviais, barras arenosas, diques marginais, lagos, furos e paranás, que são transbordados parcial ou

totalmente durante o período máximo de cheia, que no rio Solimões/Amazonas acontece normalmente nos meses de junho e julho (CARVALHO, 2006, LATRUBESSE e FRANZINELLI, 2002).

Neste âmbito, o Furo do Paracuúba que revela uma dinâmica fluvial constante, integra-se ao complexo sistema de drenagem da planície de inundação amazônica, interligando dois sistemas fluviais muito importantes: o rio Solimões/Amazonas e o Negro, manifestando fortes inter-relações entre os processos geomorfológicos e hidrográficos.

## **2.4 Hidrografia**

A entrada da área de estudo, margeada pelo baixo curso do rio Solimões, está distante a aproximadamente 16 km da confluência entre os rios Negro e Solimões enquanto sua saída, encontra-se aproximadamente 11 km distante até o encontro das águas. Embora a dinâmica fluvial do furo do Paracuúba seja influenciada pelos dois grandes caudais, o canal recebe o maior aporte de água e na maior parte do ano volumes do rio Solimões, indo desaguar no rio Negro.

No tocante à região da confluência, Igreja (2012) ressalta que os dois grandes rios lutam por mais de 40 km até se misturarem e continuarem seu curso em direção ao Oceano Atlântico. O Rio Solimões chega ao encontro fluindo na planície de inundação (várzea) vigorosamente modelada, e o Rio Negro alcança esse ponto vagarosamente, forçado no vale do seu baixo curso definido destacadamente pela neotectônica quaternária (IGREJA, 2012).

Quanto a diferença do nível de água entre esses rios, Franzinelli e Igreja (2011) esclarecem que esta é governada pela distribuição não uniforme da pluviosidade na Bacia do Amazonas, havendo diferenças no nível de água nas estações de chuva, sendo que diferença de nível do rio Solimões próximo ao encontro das águas chega a 10 m e a do rio Negro alcança 16 m no Porto de Manaus.

Muitos aspectos destes rios podem ser mencionados, entre os quais, de Franzinelli (2011), que aponta que a nascente do Solimões está localizada nos Andes e do Rio Negro, no Escudo das Guianas. Estes rios possuem vastas bacias com características diferentes a respeito do relevo, clima e tipos de rochas que definem a qualidade de suas águas e as cargas sólidas (FRANZINELLI, 2011).

O rio Solimões possui água branca com seus sedimentos em suspensão, devendo a sua cor e aspecto turvo aos sedimentos carregados em suspensão: argila, silte e areia fina em quantidades de 37 mg/l nas épocas de seca [menor nível fluviométrico] e 165 mg/l nas enchentes (SIOLI, 1985).

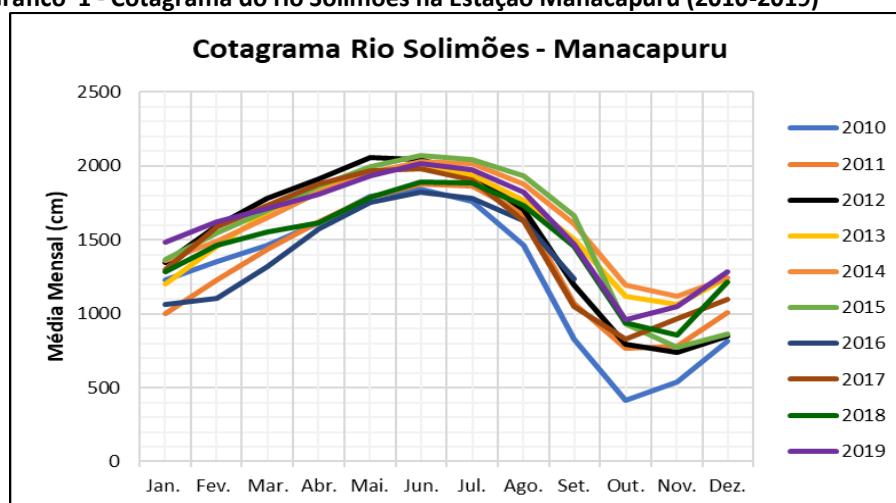
De acordo com Latrubesse (2008), o Rio Solimões/Amazonas, de uma forma geral, apresenta um padrão de canal *anabanching* relativamente simples com baixa sinuosidade sendo que para a maioria dos canais secundários a sinuosidade é maior. Segundo o autor, este rio não se divide em mais de dois ou três canais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

O rio Solimões caracteriza-se como um rio perene, típico rio de planície, apesar de basicamente ser alimentado pelas águas das chuvas, como também é o único rio brasileiro que recebe água oriunda do derretimento da neve da Cordilheira dos Andes (MAGALHÃES, 2011).

Na altura do encontro das águas, o rio Solimões apresenta uma descarga líquida média de 100.000 m<sup>3</sup>/s e uma descarga sólida de 700 x 10<sup>6</sup> mt/ano, ph de 6,2 a 7,2 e temperatura de 29<sup>o</sup>±1<sup>o</sup>C (FRANZINELLI, 2011). Montanher (2016) estimou para o rio Solimões um valor médio de concentração de sedimentos em suspensão de 1881 mg/l<sup>-1</sup> para o período de 21.07.1983 a 01.05.2015 na estação de Manacapuru.

O Rio Solimões na estação de Manacapuru, compreendendo um período de 10 anos apresentou variação de cota comparado ao Rio Negro, com registro de maior cheia do rio de água branca em junho de 2015 e menor nível fluviométrico em outubro de 2010 (**Gráfico 1**).

**Gráfico 1 - Cotograma do rio Solimões na Estação Manacapuru (2010-2019)**



\*Outubro, novembro e dezembro/2016, não há dados disponíveis. **Fonte:** Agência Nacional das Águas - ANA, 2020. **Org.:** Sandreia A. Cascaes, 2020.



Em nível comparativo, o Rio Negro apresenta muitas características distintas, no entanto, também apresenta padrão de canal dominante é do tipo *anabranching*, com destaque para os múltiplos canais de Anavilhanas no seu baixo curso (LATRUBESSE, 2008, MARINHO, 2019).

É um típico rio de águas pretas, que segundo Franzinelli (2011), sua cor marrom avermelhada e sua acidez, é resultante da grande quantidade de ácidos húmicos provenientes da decomposição da matéria orgânica e dos óxidos de ferro dissolvidos. Ainda segundo a autora, na altura do encontro das águas esse rio apresenta um valor de pH de 3,8 a 4,9 e temperatura de  $30^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ .

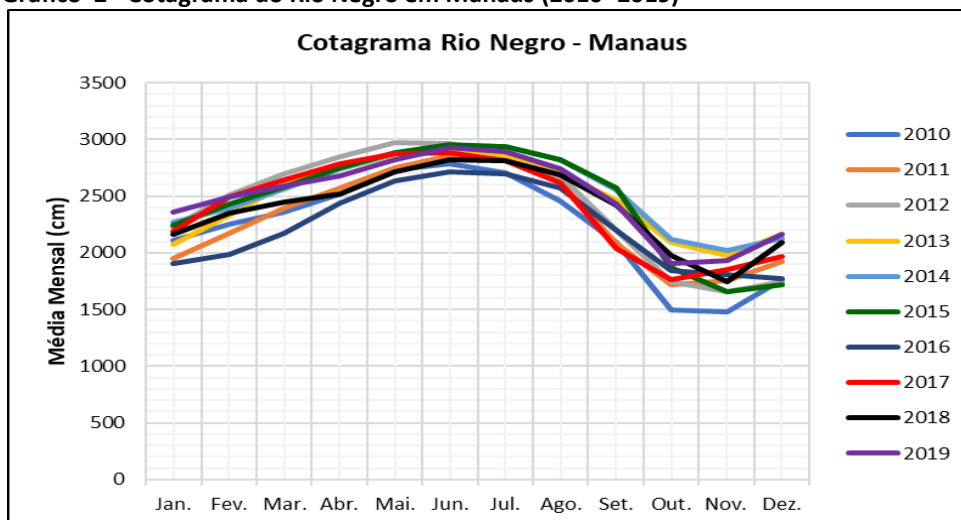
Seu regime hidrológico é do tipo Equatorial, com dois picos máximos de descarga durante o ano, apresentando uma descarga média anual de 29.000 m<sup>3</sup>/s e uma área de drenagem de cerca de 65.900 km<sup>2</sup>, sendo o segundo maior tributário do Amazonas em descarga depois do Rio Madeira com 31.000 m<sup>3</sup>/s, ocupando o 6º lugar do mundo em descarga de água (ALVES, 2013). Apesar da grande descarga líquida este rio transporta pouco material suspenso, em média 08 milhões de ton.ano<sup>-1</sup> para o Rio Amazonas (FILIZOLA e GUYOT, 2009).

Estudos conduzidos por Marinho (2019), mostraram que entre os anos de 2006 e 2017, próximo da foz em Manaus, a descarga líquida média anual do Rio Negro foi de 35.321 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, com mínima de 7.633 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (outubro de 2009) e máxima de 65.510 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (junho 2014), respectivamente, sendo a 11ª menor e 6ª maior cota média mensal registrada no porto de Manaus entre 1902-2017. O estudo também mostrou que para o ano hidrológico de 2016-2017, a média da concentração de sedimentos suspensos (C<sub>ss</sub>) do Rio Negro foi de 3,06 ml/l<sup>-1</sup> com mínimo de 0,29 mg/l<sup>-1</sup> e máximo de 8,48 mg/l<sup>-1</sup>. Durante o período de águas altas e baixas os valores médios são em torno de 3,12 mg/l<sup>-1</sup> e 3,77 mg/l<sup>-1</sup>, respectivamente, e no período de enchente do Rio Negro o valor médio obtido foi de 1,75 mg/l<sup>-1</sup> (MARINHO, 2019).

De forma geral o regime anual, na bacia do rio Negro, apresenta um comportamento regular, com um valor médio de 11 metros em Manaus. Os períodos hidrológicos de enchente ocorrem entre os meses de dezembro-junho, com pico de cheia em julho, vazante entre agosto-outubro e pico da vazante em novembro (MARINHO, 2019).

A cota máxima registrada pelo rio Negro-Manaus, na estação do Porto de Manaus no período (2010-2019) ocorreu em maio de 2012 e a cota mínima para o mesmo período se deu em outubro de 2010 (**Gráfico 2**).

Gráfico 2 - Cotograma do Rio Negro em Manaus (2010- 2019)



Fonte: Porto de Manaus, 2020. Org.: Sandreia A. Cascaes, 2020.

De acordo com Filizola *et al.* (2002), a estação hidrométrica do Porto de Manaus não possui condições ideais para mensurar a descarga do rio Negro, utilizando-se métodos tradicionais. No entanto, é a estação que faz a leitura fluviométrica do Rio Negro de forma mais constante, desde 1902, por isso o uso dos dados dessa estação nesse trabalho. O rio Solimões controla o regime local, cuja a descarga é maior e causa efeito de barramento das águas do Rio Negro. Conforme Franzinelli (2011), esse represamento d'água do curso inferior do Rio Negro e a diminuição de sua velocidade, ocasionam um aspecto de grande lago a esse trecho do rio.

Estudos realizados por Nascimento (2016), revelaram a diferença na velocidade entre os dois rios, podendo-se observar que as maiores velocidades variaram entre 2 e 2,5 m/s, concentrando-se na região da confluência, na porção correspondente ao Rio Solimões e depois do encontro permaneceram a direita do canal. Segundo o autor, o Rio Negro mostrou valores bem menores e não superiores a 1m/s, enquanto depois da confluência, na margem esquerda, os valores de velocidade média situaram-se por volta de 1,5 m/s.

Nesse sentido, Franzinelli e Igreja (2011), ressaltam que as confluências de rios são locais onde muitas vezes ocorrem mudanças repentinas de vazão devido a integração de dois fluxos diferentes, variação da concentração de sedimentos em suspensão e alteração da composição da carga de fundo, geralmente provocando transformações morfológicas no canal resultante.

Engendrados na dinâmica fluvial neste cenário de encontro dos rios aparecem os pequenos canais distinguidos como furos, paranás, igarapés e lagos que contribuem com

a drenagem do sistema fluvial amazônico e que assumem uma grande importância na vida da população ribeirinha.

No que tange a parte correspondente ao objeto desse estudo, e por uma lógica conceitual, cabe mencionar algumas definições de furos, que Le Coint (1903) conceitua como um canal natural estreito, fazendo comunicar dois lagos ou dois rios. Ab'Saber (2003) explica que se trata de um canal fluvial sem corrente própria, que secciona uma ilha fluvial ou interliga componentes intermediários de uma planície de inundação. Na definição de Guerra (1997, p.290), um furo refere-se a uma “denominação regional amazônica para os braços d’água que ligam um curso d’água a outro ou a um lago ou, ainda, pelo montante da foz ao curso d’água em que deságua”.

Na Folha SA-21 Santarém, Nascimento *et al.* (1976, p.166) através do RADAM BRASIL, propuseram a seguinte conceituação para furos: “correspondem a todo canal de drenagem que liga um rio a outro rio, um rio a um lago ou um rio a ele mesmo”. Nesta proposição, os autores estabeleceram uma classificação dos tipos fundamentais de furos (**Quadro 1**).

**Quadro 1** - Sinótico dos Tipos de Furos

TIPO	OCORRÊNCIA	FUNCIONAMENTO
1. Furo em captura	Geralmente em planície fluvial.	Como foz para um ou mais rios que deixam de escoar diretamente para o rio principal.
2. Furo em colmatagem	Em planície fluvial	Como condutor das águas do rio principal para os lagos que se encontram em colmatagem.
3. Furo em vale morto	Em vale fluvial abandonado	Como ligação entre rios e/ou lagos utilizando vale abandonado por ocorrência de captura.
4. Furo em contato litológico	Em áreas de contato litológico	Como ligação entre rios e/ou lagos em áreas de contato litológico, principalmente de aluviões com sedimentos da Formação Barreiras.
5. Furo adaptado à tectônica	Em alinhamentos estruturais	Como ligação entre rios e/ou lagos, adaptando-se a alinhamentos de falhas ou diaclases.
6. Furo ligando lagos	Geralmente em planície fluvial	Como ligação entre lagos.

**Fonte:** Nascimento *et al.* (1976). **Org:** Sândrea A. Cascaes, 2018.

Seguindo esta classificação, a Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental – AHIMOC (2001), definiu o Furo do Paracuúba como sendo um “furo de

colmatagem”. Porém, esse conceito não se aplica ao canal em estudo, uma vez que o conceito teria validade se o furo estivesse transportando água do rio principal, no caso, o rio Solimões para um lago. Apesar do Januari ser chamado de lago, trata-se de um rio com o desenvolvimento de uma ria de foz afogada.

Dentre os conceitos de Nascimento *et al.* (1976), verifica-se que nenhum destes consegue representar o canal em estudo. Portanto, sugere-se uma classificação combinando sua possível origem e sua fisionomia atual, como um “furo de extravasão modificado antropicamente”. Esta classificação proposta parte da observação do registro mais antigo do canal (Item Aspectos Humanos, página 39) que se tem sobre o canal.

Com base nos registros, entende-se que este canal teria tido sua gênese a partir de uma “brecha de extravasão” (denominação de Sternberg (1998, p.95) para designar os pequenos cursos d’água (furos e igarapés) que são nutridos pelos grandes rios e paranás). Todavia, ressalta-se que, ainda que em sua origem fosse uma brecha, o pequeno curso d’água de pouca profundidade ainda não correspondia a um furo, pois não ligava outros canais entre si, passando a ser um furo pela ação humana. Logo, por meio da abertura que afetou o processo natural da passagem da água, o canal expandiu-se lateralmente e longitudinalmente e continua aumentando, ou melhor, extravasando, tornando-se mais longo e extenso a jusante, ligando nos dias atuais o rio Solimões ao rio Negro e não mais ao rio January, o qual passou a ter sua foz represada por esse furo.

## 2.5 Clima

De acordo com Junk (1983), a distribuição anual da precipitação na região Amazônica não é homogênea, bem como em diferentes áreas da Bacia Amazônica. Em consequência disso, o nível dos rios está submetido a fortes oscilações e as chuvas locais não exercem influência sobre os grandes rios, em virtude de integrar num espaço maior o total das chuvas na sua área de captação (JUNK, 1983).

Esta região apresenta o domínio climático mais chuvoso do continente americano e a explicação para o regime dos rios amazônicos está condicionada ao regime pluvial que precipita dentro da bacia, que por sua vez depende dos deslocamentos das massas de ar nesta larga faixa climática (NIMER, 1991).

Fisch *et al.* (1998), salienta que o clima atual da região Amazônica é uma combinação de vários fatores e o aspecto mais importante é a disponibilidade de energia

solar, através do balanço de energia. O IBGE (2010) caracteriza o clima da Amazônia como Equatorial Quente e Úmido, Equatorial Quente e Superúmido e Equatorial Quente Semi Úmido, sendo que a área estudada se encontra no limite do Clima Equatorial Quente e Úmido com o Equatorial Quente e Superúmido, equilibrado pelas alterações da zona de convergência intertropical sobre a atuação dos alísios e as locais de baixas pressões.

A precipitação na parte central da Bacia Amazônica, segundo Marengo e Nobre (2009) ocorre em torno de 2.500 mm/ano, em uma banda zonalmente orientada, estendendo-se até a parte central da Amazônia, marcada por uma estação chuvosa no trimestre março, abril e maio. De acordo com os autores, as médias anuais de temperatura na região central equatorial são elevadas, com médias que ultrapassam os 26-28° C. Manaus possui extremos de temperatura no mês de setembro (27,9°C) e abril (25,8 °C) (MARENGO e NOBRE, 2009).

Concernente às características, as flutuações climáticas da região amazônica produzem efeitos constantes na dinâmica fluvial do sistema hidrográfico, refletindo de muitos modos na paisagem natural, nas margens dos canais fluviais, nas formas de relevo, nos solos e sobretudo na vegetação, que mantém relação intrínseca com o regime climático local.

## **2.6 Vegetação**

A vegetação do município de Iranduba se assemelha de forma geral as feições paisagísticas dos ecossistemas amazônicos. De acordo com o IBGE (2010), predominam na vegetação da Amazônia a Floresta Ombrófila Densa, constituída por grandes árvores nos terraços aluviais e nos tabuleiros terciários, com árvore de porte médio nas encostas fluviais.

Na Amazônia Brasileira, a vegetação é bem diversificada, posto que, também aparecem significativas áreas recobertas pela Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Mista, Savana (cerrado), área de Formação Pioneira, Campinarana e Savana Estépica (IBGE, 2010).

Mais especificamente próximo a área de estudo, predominam a Floresta Ombrófila Densa, destacando-se árvores que são próprias de áreas de várzeas e que inundam todos os anos. Esse tipo de vegetação denominada de mata de várzea, é uma

formação característica da Amazônia e localiza-se em terrenos holocênicos baixos e sujeitos a inundações (Rizzini, 1976, Fortes 2014).

Conforme Junk (1983), nas várzeas a cobertura vegetal depende da idade do ecossistema, da taxa de sedimentação, da textura dos sedimentos, da velocidade da correnteza das águas e da periodicidade das enchentes. O autor destaca que na fase terrestre as áreas de várzeas baixas tendem a ser colonizadas por plantas herbáceas, que são substituídas por aquáticas, quando ocorre a época de cheias e em períodos de seca prolongada, alguns capins poderão se estabelecer, tais como *Paspalum fasciculatum* e *Echinochloa polystachya*. Árvores de porte maior podem também colonizar as várzeas baixas, mas sempre dependentes das condições das enchentes (JUNK, 1983). De modo geral, no entanto, as partes mais altas das várzeas e dos diques naturais e pontilhões de terra são colonizadas por árvores do tipo florestal. Ao longo dessa evolução, as várzeas podem se adensar com espécies adaptadas às enchentes assim eliminando, completamente, as plantas herbáceas (JUNK, 1983) (**Figura 1**).

**Figura 1-** Vegetação na margem do Furo do Paracuúba



**Foto:** Sandreia A. Cascaes (02/08/2019).

As áreas de planície que anualmente são inundadas, na maior parte, não desenvolvem vegetação de porte arbóreo, sendo ocupadas, em geral, por plantas aquáticas flutuantes na cheia e por gramíneas herbáceas no período de vazante (NOVO, 2008).

Fortes (2014) ressalta que as inundações episódicas de grande magnitude, além de possivelmente alterarem a planície de inundação e a morfologia do canal, podem reduzir ou ampliar o canal e/ou destruir a vegetação ciliar. Deste modo, associações

vegetais específicas podem se desenvolver sobre superfícies desnudas (sem vegetação) ou deposicionais recentes. A autora considera que frequentemente a vegetação se diversifica conforme a distância em relação à margem do rio e ao nível topográfico.

Sabe-se que a vegetação tem uma restrita ligação com o solo, e estes são influenciados pela temperatura e outros processos. Desta maneira, a formação, composição, estrutura, textura dos solos exercem grande efeito não somente no desenvolvimento da vegetação, bem como na estabilidade das margens que participam ativamente na dinâmica do canal fluvial.

## 2.7 Solos

As várzeas e as terras firmes constituem duas ordens de paisagens inteiramente diferentes na Amazônia Central, na região próxima a calha do Rio Solimões. Nas várzeas predominam solos mais novos, formados a partir de sedimentos quaternários, em alguns casos apenas sedimentos em processo incipiente de pedogênese e nas terras firmes, os solos são mais evoluídos, formados a partir de sedimentos ou rochas do terciário ou ainda mais antigos (LIMA *et al.*, 2007).

Os Gleissolos e Neossolos Flúvicos representam os solos dominantes da planície aluvial ou várzea amazônica, constituídos por sedimentos fluviais holocênicos. Os Neossolos Flúvicos estão associados principalmente ao dique aluvial (barranco do rio) e às partes mais elevadas do interior da várzea, enquanto que os Gleissolos ocorrem na parte mais interior e mais elevada da várzea, por isso se encontram mais frequentemente saturados ou completamente submersos (TEIXEIRA *et al.*, 2007, GUIMARÃES *et al.*, 2013).

Ainda de acordo com os autores acima mencionados, apesar do potencial para a exploração agrícola, esses solos apresentam limitações de uso manejo, em razão da elevação do lençol freático durante boa parte do ano, sobretudo os Gleissolos, que estão situados nas posições mais baixas da paisagem.

Lima *et al.* (2007) explicam que na constituição granulométrica e textural dos solos da várzea predominam frações mais finas, como silte e argila. A fração de areia é composta principalmente de areia fina. A presença de areia grossa, quando ocorrem, aparecem em percentuais muito baixos. Os percentuais de silte podem representar 50% da composição granulométrica do solo, o que revela o baixo grau de pedogênese deste ambiente. Os baixos percentuais de areia grossa mostram que os cursos d'água são

pouco eficientes no transporte de sedimentos mais grosseiros até a planície de sedimentação. Os sedimentos mais grosseiros ficam mais restritos ao leito menor do rio, formando ilhas e barras alongadas paralelas às margens - extensas barras em pontal ou longos bancos transversais aos rios (LIMA *et al.*, 2007).

Contudo, uma pequena parte do canal está em uma área de contato litológico, onde verifica-se a presença dos Plintossolos desenvolvendo-se sobre a Formação Alter do Chão e os Neossolos Flúvicos, os solos dominantes nas margens do canal (**Figura 2**).

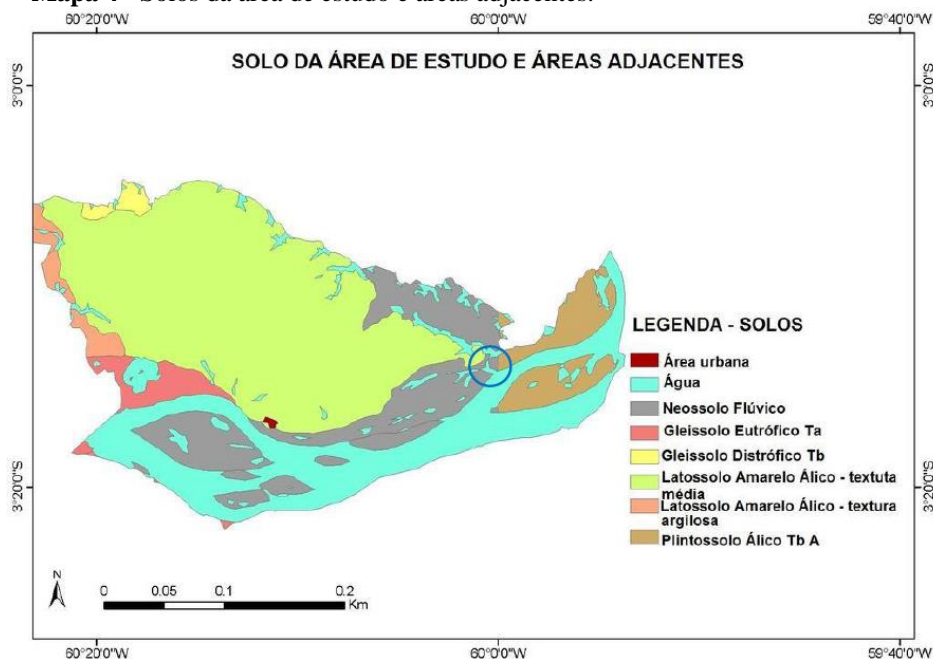
**Figura 2** - Solos quaternários da várzea na entrada do canal – Neossolo Flúvico (A), Solos terciários próximo a saída do canal – Plintossolos (B) da Formação Alter do Chão.



**Foto (A):** Sandréia A. Cascaes, 2018. **Foto (B):** Roberto Epifânio Lessa, 2018. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2018.

Magalhães (2011), estudando os solos e sua suscetibilidade aos processos de terras caídas na Comunidade do Divino Espírito Santo, próximo à área de estudo, concluiu que na região se desenvolvem os Neossolos Flúvicos Tb Eutróficos, com predomínio de características herdadas do material originário da região sub-Andina e Andina, sendo depositados anualmente em forma de colmatagem na planície de inundação. Esse tipo de solo é predominante nas margens do canal (**Mapa 4**). Já os Plintossolos aparecerem como pequenas manchas na porção de saída do canal, não se destacando no mapa abaixo.



**Mapa 4** - Solos da área de estudo e áreas adjacentes.

Fonte: Adaptado de Magalhães (2011).

Os Neossolos Flúvicos compreendem solos minerais pouco desenvolvidos, com reduzido processo pedogenético como consequência de características do próprio material, de sua resistência ao intemperismo ou composição química e do relevo, que podem impedir ou limitar a sua evolução (Teixeira *et al*, 2007). Nessa classe de solos estão incluídos os solos que, no antigo sistema de classificação foram classificados principalmente como Solos Aluviais, ocorrendo principalmente às margens dos rios e lagos associados aos grandes rios. Os que apresentam caráter eutrófico estão associados ao processo de colmatagem de sedimentos ricos do rio Solimões e seus afluentes de águas barrentas (Madeira, Juruá, Purus, etc.) (TEIXEIRA *et al.*, 2010).

Os Plintossolos são solos constituídos por material mineral, de horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário a depender de condições como o início de 40 cm da superfície ou iniciando dentro de 200 quando precedido de horizonte glei ou imediatamente abaixo do horizonte A, E ou de outro horizonte que apresente cores pálidas, variegadas ou com mosqueadas em quantidades abundantes (SANTOS, 2018). O solo apresenta manchas acinzentadas e mosqueadas, embora sua cor de fundo não seja predominante, característicos da área inundável.

Na área de estudo, o uso dos solos para a produção agrícola, a criação de animais e a fixação de moradias possuem condições limitáveis em decorrência da oscilação do nível das águas e sua proximidade com o lençol freático, entretanto, estes fatores não

implicam nas suas condições de fertilidade, permitindo que muitos ribeirinhos desenvolvam suas práticas de cultivo e criação em áreas e culturas selecionadas.

## 2.8 Aspectos Humanos

### 2.8.1 Histórico de Ocupação

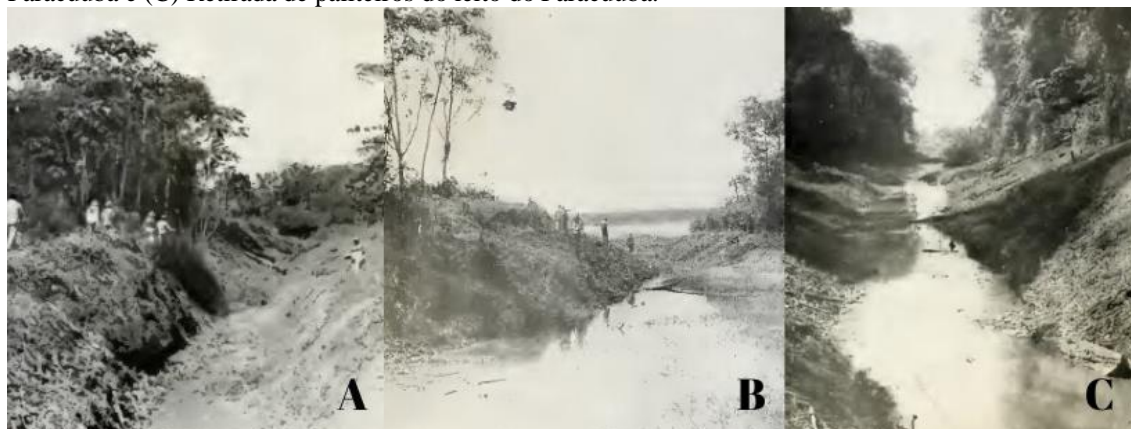
O Furo do Paracuúba territorialmente pertence ao município de Iranduba (IRANDUBA, 2011). Abrange duas comunidades rurais ribeirinhas, a Comunidade de Santo Antônio, localizada na margem esquerda do Baixo Rio Solimões, a montante do furo e a Comunidade de Vila Nova, entre a confluência deste canal com o rio Janauari e o rio Negro. O acesso é realizado apenas por via fluvial.

A fundação e o registro das associações comunitárias nos cartórios de ofício do município de Iranduba são tomadas pela administração local como as datas oficiais de fundação das comunidades. A primeira, conforme o registro no Estatuto da Associação Comunitária desta, foi fundada em 08 de fevereiro de 1997 e a segunda foi fundada em 2000 como prescreve seu Estatuto da Associação de Desenvolvimento Comunitária (IRANDUBA, 2003).

Todavia, nas décadas anteriores, muitas pessoas já haviam chegado e ocupado as margens do canal segundo os relatos de moradores antigos durante a realização desta pesquisa. De acordo com estes, antes do surgimento das comunidades, o canal era bastante estreito, que permitia somente a passagem de canoas. Com o intuito de melhorar o tráfego dos transportes e diminuir a distância para chegar à capital Manaus, foi realizada a primeira escavação por uma empresa contratada pelo governo federal.

Assim, em princípios de agosto de 1947, segundo o Ministério da Aviação e Obras Públicas, através do Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais, o Furo do Paracuúba sofreu uma marcante intervenção humana, quando se realizou uma operação com serviços que consistiram na dragagem do seu leito, alargamento e rebaixamento de sua entrada no Solimões e retificação de determinados trechos (**Figura 3**) (BRASIL, 1950).

**Figura 3** - (A) Desobstrução e dragagem do Paracuúba; (B) Limpeza e Rebaixamento da entrada do Paracuúba e (C) Retirada de paliteiros do leito do Paracuúba.



**Fonte:** Ministério da Aviação e Obras Públicas- Departamento Nacional de Portos e Canais, 1950. **Org.:** Sandreia A. Cascaes, 2019.

A partir desse episódio, mais moradores foram chegando e fixando residências junto às suas margens, principalmente na margem esquerda, a parte mais habitada.

O Furo do Paracuúba apresenta forte correnteza e serve de rota para embarcações regionais e expressos (“a jatos”) que geram fortes “banzeiros”<sup>6</sup> (ondas), aumentando o poder erosivo do canal (CPRM, 2018). Ele permite o encurtamento de distâncias e consequentemente menor custo de combustível para os proprietários de embarcações. Rebelo Filho *et al.* (2017), relatam que durante a estiagem, a utilização do furo torna-se impraticável, mas durante a cheia reduz em 28 km a distância da viagem. Segundo os autores, no período de nível fluviométrico mais baixo, quando surgem as praias no Solimões, por exemplo, há um aumento médio de 20% no consumo de combustível.

De tal maneira, as populações que habitam as margens do canal possuem uma estreita relação, tomando-as como um patrimônio comum. Além de se adaptarem ao ritmo sazonal de cheias e vazantes, lidam com muitas mudanças ano a ano, como as terras caídas, principalmente.

### 2.8.2 Aspectos Populacionais

Segundo o Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, através da Secretaria de Patrimônio da União - SPU, a Comunidade de Santo Antônio do Paracuúba se estende por uma área de 12.086.999,51m<sup>2</sup> (12,08 km<sup>2</sup>), abrigando o número de 131

<sup>6</sup> Movimento das águas na Amazônia gerado por ondas formadas pelo vento ou por embarcações (Carvalho, 2012, Morais, 2013).

famílias e a Comunidade de Vila Nova, possui uma área de 1.134.670,03 m<sup>2</sup> (1,13 km<sup>2</sup>), residindo 50 famílias (BRASIL, 2013).

De acordo com Queiroz *et al.* (2018), as comunidades rurais ribeirinhas do rio Solimões, por habitarem uma área de planície de inundação, adaptaram o seu meio social e os fatores econômicos à dinâmica das águas. Os autores descrevem que as comunidades possuem características de várzea com a tipologia de moradias próprias (as palafitas) e um sistema econômico que tem como principais meios de obtenção de renda a agricultura familiar e a pecuária.

Devido ao assentamento em área de várzea, os terrenos ocupados não podem ser titulados como propriedade particulares, com regras previstas em leis. No entanto, de acordo com a SPU, os moradores das comunidades de Santo Antônio e Vila Nova, juntamente com outras comunidades rurais de Iranduba receberam no dia 10 de agosto de 2012 os Termos de Autorização de Uso Sustentável – TAUS, onde foram entregues 362 documentos aos requerentes.

Em face dessa variedade de fatores e processos que caracterizam a área de estudo, se fez necessário a adoção de metodologias capazes de explicar melhor a intrínseca relação sociedade e natureza, base de estudo da Geografia, buscando compreender melhor como estes se relacionam e interagem de forma conjunta e interferem na dinâmica fluvial no Furo do Paracuúba.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este capítulo contém uma revisão sobre vários aspectos necessários à compreensão do tema aqui abordado, mostrando conceitos relacionados aos sistemas fluviais e aos cursos de água e seu funcionamento hidrodinâmico, com ênfase nos processos fluviais e nas formas geomórficas apropriados nos fundamentos da Geomorfologia Fluvial, bem como os aspectos antropogênicos que potencializam mudanças no canal e atuam na sua dinâmica fluvial.

#### **3.1 Os canais fluviais**

Para Charlton (2008) um canal é um dos subsistemas constituintes do sistema bacia hidrográfica. Suguio e Bigarella (1990), definem um canal como o local por onde o rio, o tronco principal do sistema de drenagem, percorre e por onde a água e os sedimentos escoam, realizando os processos de erosão, transporte e deposição, alternando assim a paisagem por onde passam. Na visão de Guerra (1997), um canal fluvial é o local onde escoam as águas fluviais.

Stevaux e Latrubesse (2017), definem um canal como a estrutura construída pelo rio para otimizar a energia utilizada para o escoamento da água e do material transportado. Segundo os autores, suas dimensões quanto à geometria da seção (largura e profundidade), padrão (arranjo areal dos canais) e perfil longitudinal (pendente) dependem de vários fatores como: das características do fluxo (magnitude, velocidade e regime, do tipo de substrato (rochoso ou aluvial) e também da quantidade do material por ele transportados

Os canais fluviais têm suas peculiaridades quanto a sua fisionomia, ajustando continuamente sua forma por meio de processos erosivos e deposicionais, sempre buscando uma condição de equilíbrio em diferentes escalas temporais. Souza e Cunha (2007) salientam que os canais fluviais são dinâmicos, pois envolvem mecanismos de remoção de materiais, alterando suas margens, devido, principalmente, aos processos erosivos. Para as autoras, o alargamento dos canais fluviais é provocado pelos processos de erosão das margens que estão entre os elementos mais dinâmicos dos canais fluviais. O entendimento sobre seu mecanismo de atuação e a quantificação da magnitude é importante para compreender a evolução dos diversos elementos da dinâmica fluvial (SOUZA e CUNHA, 2007).

Na Amazônia, os tipos de canais fluviais são definidos, além dos cursos principais (os rios), como: furos, paranás e igarapés. Um furo, é um canal sem correnteza própria, que corta uma ilha fluvial, liga rios no meio de planícies, liga rio com lago de várzea, liga um paraná com o rio principal ou com uma depressão de lago de várzea. O paraná é um extenso, largo e profundo braço de rio e pode ser considerado um riacho de dimensão menor (ALVES, 2017). Os igarapés são cursos d'água de primeira, segunda ou terceira ordem, componentes primários de tributação dos rios pequenos, médios e grandes (AB'SABER, 2003).

Estes canais fluviais são dependentes do regime fluvial dos rios principais, transportando partículas em suspensão e de leito, realizando os processos de erosão e deposição e contribuindo na formação dos solos das margens, no escoamento das águas e em toda a dinâmica da paisagem por onde passam. Portanto, são importantes vetores de transformação do sistema hidrogeomorfológico amazônico.

### **3.2 Padrão de canal**

A fisionomia ou arranjo espacial que um canal fluvial exibe ao longo do seu perfil longitudinal resulta de um conjunto de fatores e processos que se dimensionam. De acordo com Christofolletti (1981), os tipos de canais são resultantes dos mecanismos de ajustagem entre variáveis do sistema geomorfológico, constituindo respostas que se somam e se entrosam com as relacionadas à seção transversal e ao perfil longitudinal dos cursos de água. Segundo o autor, cada tipo de canal possui maneiras diferentes de afetar a resistência do fluxo, constituindo um relacionamento acentuado entre a quantidade e características da carga sedimentar disponível e a quantidade e variabilidade do débito, de um lado e a tipologia dos canais de outro.

As características de sinuosidade, grau de entrelaçamento e relação entre largura e profundidade constituem as definições dos padrões de canal. A clássica divisão dos padrão de canais é definida como: canais retilíneos, canais meandrantés ou canais anastomosados.

Os canais verdadeiramente retos, definidos como retilíneos, apesar de raros, existem principalmente quando o rio está controlado por linhas tectônicas, como no caso dos cursos de água acompanhando linhas de falhas (CHRISTOFOLETTI, 1981). Eles ocorrem sobre embasamento rochoso homogêneo (rochas de igual existência), pois em caso contrário o rio fatalmente se desviará em sua trajetória (CHRISTOFOLETTI,

1981). Suguio e Bigarella (1990) discorrem que os canais retilíneos são pouco frequentes quando comparados a outros padrões, possuindo sinuosidade insignificante em relação a sua largura. Todavia, seu talvegue é geralmente sinuoso devido ao desenvolvimento de barras laterais dispostas alternadamente em cada margem.

No que diz respeito ao padrão de canal meândrico, é caracterizado por curvas alternadas ao longo do seu percurso e tendem a ser estreitos, relativamente profundos e com margens estáveis. Esses canais dão origem a uma grande variedade de formas de lagos e depósitos de planície de inundação (NOVO, 2008).

Para o desenvolvimento dos meandros há algumas condições essenciais, entre as quais, Cunha (2015) cita as camadas sedimentares de granulação móvel; coerentes, firmes e não soltas; gradientes moderadamente baixos, fluxos contínuos e regulares; carga em suspensão e de fundo em quantidade mais ou menos equivalentes. Segundo a autora, essas formas meandantes representam um estado de estabilidade do canal, implicando no ajustamento entre variáveis hidrológicas (declividade, largura e profundidade, velocidade dos fluxos, rugosidade do leito, carga sólida e vazão). Cunha (2015) chama a atenção para o fato de que o estado de equilíbrio pode ser alterado pela ocorrência de distúrbio na região, como por exemplo, a atuação do homem.

Stevaux e Latrubesse (2017) classificam os canais meandantes em: a) regulares, quando apresentam certa homogeneidade na morfometria de seus meandros; b) irregulares, quando se alternam meandros de diferentes tamanhos e formas e c) tortuosos, quando exibem alterações na morfologia (trechos meandantes e retilíneos) e na direção geral do escoamento.

Quanto aos canais anastomosados, são caracterizados por exibirem multiplicidade de canais, pequenos e rasos, que se subdividem e se reúnem aleatoriamente, separados por bancos e ilhotas. No período das cheias, muitos dos bancos e ilhotas são submersos, embora o entalhamento fluvial, a fixação da vegetação e a maior retenção de sedimentos possam criar condições para que muitas permaneçam acima de nível das águas (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

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

um canal *anabranching*, considerado bem complexo, posto que apresenta cargas de sedimentos muito baixas, porém, seguindo com as características comuns de canais *anabranching*, possuindo multicanais e trechos com baixas sinuosidades

Fundamentando a classificação, Stevaux e Latrubesse (2017), explicam claramente que existe uma certa confusão na literatura inglesa envolvendo os termos *anastomosing* e *anabranching*, que segundo os autores se estende aos pesquisadores nacionais. Estes destacam que o termo anastomosado é utilizado em alguns trabalhos como um dos seis tipos de padrão *anabranching* (tipo 1). O termo em inglês vem sendo empregado desde o trabalho de Nanson e Kinghton (1996) para designar o padrão multicanal aluvial formado por ilhas estáveis e vegetadas em nível de água de margens plenas.

Segundo Araújo (2018), não se pode atribuir um único tipo de padrão de canal para todo o perfil longitudinal do rio, pois, os padrões variam conforme o trecho e o que ocorre é a predominância de um padrão em um determinado trecho.

Baseando-se nestas premissas, é necessário entender melhor e explicar a inter-relação entre as variáveis hidrológicas, as propriedades geométricas do canal, a carga de material sedimentar e outros elementos que possam implicar no padrão do canal em estudo, estabelecendo relações com as possíveis transformações na sua morfometria.

### **3.3 Processos hidrodinâmicos e a ação fluvial**

O dinamismo da água no ciclo hidrológico e seu percurso até chegar ao leito do rio resulta de vários estágios e é o ponto de partida do processo erosivo. A dinâmica do ciclo hidrológico constitui um sistema complexo, caracterizado pela integração entre processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos, nos quais a água é o agente mais dinâmico dessa interação (MOLINARI, 2007).

É importante observar primeiramente, que o ciclo é condicionado pelas características locais, incluindo o relevo, o clima, a geologia, a vegetação e tipos de solos. Além disso, as atividades antrópicas causam repercussões sobre o meio e a dinâmica. Stevaux e Latrubesse (2017) enfatizam a importância das bacias hidrográficas na circulação da água, sendo um sistema em que a água entra por precipitação e sai por evaporação e por escoamento fluvial.

O funcionamento da dinâmica hidrológica, explicado por Carvalho (2006), ocorre a partir da precipitação da água até chegar ao tronco principal de uma bacia de



drenagem, escoando sobre diversas superfícies, com diferentes tipos de solos, de rochas, de vegetação e percolando subterraneamente, chegando ao rio trazendo as características químicas e físicas por onde passa.

Nas etapas que se sucedem, Vieira (2008) e Guerra (2015) descrevem que durante um evento chuvoso, parte da água cai diretamente no solo, ou porque não existe vegetação, ou porque a água passa pelos espaços existentes na cobertura vegetal. Segundo os autores, uma parte da água é interceptada pela copa das árvores, outra parte volta à atmosfera, por evaporação, e outra chega ao solo, seja por gotejamento das folhas ou escoando pelo tronco (fluxo de tronco ou *stem flow*). A ação das gotas de chuva que caem diretamente ou por meio do gotejamento das folhas causa a erosão por salpicamento (*splash*) (VIEIRA, 2008 e GUERRA, 2015).

Guerra (2015) profere que parte da água que chega ao solo pode ser armazenada em pequenas depressões ou se infiltrar, aumentando a umidade do solo ou abastecendo o lençol freático. Quando o solo não consegue mais absorver água, o excesso começa a se mover em superfície ou em subsuperfície, provocando erosão através do escoamento das águas.

Por isto, a biomassa vegetal tem uma grande importância e participação no dinamismo da água no ciclo. Neste sentido, Botelho e Silva (2011) explicam que a retirada da cobertura vegetal impede que a água da chuva sirva de suprimento para os vegetais, abasteça o lençol freático, recarregue os aquíferos e abasteça os cursos d'água. Os autores também advertem que ao mesmo tempo em que há a diminuição do processo de infiltração há o aumento do escoamento superficial, que aumentará significativamente o volume de água nos rios durante os eventos chuvosos. Além disso, a água também será responsável por perdas de solos por erosão (BOTELHO e SILVA, 2011).

Horton (1933) definiu o termo infiltração para expressar a água que entra no solo ou rochas. Assim, à medida que água infiltra pela superfície, as camadas superiores do solo vão se umedecendo de cima para baixo, alterando gradativamente o perfil da umidade. Naturalmente, a superfície é o primeiro nível a saturar em toda a profundidade. De acordo com Silveira *et al.* (2015), normalmente, a infiltração decorrente de precipitações naturais não é capaz de saturar todo o solo, restringindo-se a saturar, quando consegue, apenas as camadas próximas à superfície, aceitando um perfil típico onde o teor de umidade decresce com a profundidade.

De acordo com Horton (1945), a capacidade de infiltração é comandada principalmente pelas condições da superfície do solo, as quais são alteradas intensamente pelos efeitos da chuva que incluem: compactação da superfície (selamento), quebra das estruturas do solo em frações menores, inchamento das partículas coloidais e transporte de pequenos fragmentos para o interior dos poros maiores.

Nesse âmbito, muitos fatores interferem no estágio da infiltração, dentre os quais destacam-se:

**a) as características do solo** - incluindo a textura, a porosidade e a permeabilidade ou o volume de água que pode ser absorvido pelo solo e a velocidade de movimentação nele – também a estrutura do solo, em que partículas mal agregadas, soltas e abertas promovem rápida infiltração da água; **b) a cobertura vegetal** - que auxilia a infiltração difundindo o fluxo, preservando o solo de estrutura mais aberta; **c) as estruturas biológicas** que aumentam a capacidade de infiltração; **d) características da precipitação** - em que a umidade prévia remanescente de uma chuva anterior, diminui a capacidade de infiltração ou o solo ressequido e endurecido, tem a capacidade de infiltração diminuída (VIEIRA, 2008).

As características da chuva como o volume, a intensidade e a frequência da precipitação são variáveis que influenciam na água que se infiltra no solo. A intensidade da chuva, junto com as demais variáveis do solo, define o que entra e o que excede a capacidade de infiltração. Quando as chuvas são intensas causam maiores impactos em um solo exposto, e os picos de chuva mais prolongados preenchem o potencial de estocagem e eventualmente conduzem os solos a saturação (COELHO NETTO, 2015).

A água precipitada sobre a superfície da terra pode penetrar no subsolo por efeito da capilaridade ou da gravidade. Sendo assim, “enquanto a força gravitacional direciona a água verticalmente no perfil do solo, a força capilar impulsiona a água em todas as direções, especialmente para cima” (COELHO NETTO, 2015, p.118).

Quando atinge as condições de saturação, a água desce pelo solo ou rocha por ação da gravidade até encontrar uma camada impermeável (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017). Como não consegue avançar verticalmente, ela se acumula, formando uma zona permanentemente saturada denominada *zona freática*. A superfície que separa a zona saturada da zona não saturada (zona vadosa ou de aeração), é denominada de superfície freática ou superfície piezométrica (STEVAUX E

LATRUBESSE, 2017). Abaixo dessa superfície, a água nela contida é denominada de água subterrânea ou aquífero.

Ao que diz respeito aos termos superfície freática, superfície livre e nível d'água são sinônimos de lençol freático (FITTS, 2015). Na zona insaturada, os espaços porosos contêm água e ar. As forças capilares atraem a água para as superfícies minerais, fazendo com que as pressões da água sejam menores que a atmosférica, ascendendo verticalmente. Na zona saturada, abaixo do lençol freático, as pressões de água são maiores do que as atmosféricas e os poros são totalmente ocupados com água. Se a água se infiltra ou se torna um fluxo de subsuperfície, depende de vários fatores. A infiltração é favorecida onde existe um solo poroso, permeável e de topografia plana. A água pode ser empurrada para baixo ou ser desviada horizontalmente por camadas de baixa permeabilidade na zona insaturada. Esta água que se move para baixo é conhecida como recarga (FITTS, 2015).

A pressão da água causada pelo peso e a gravidade, provoca a pressão hidrostática. A elevação do nível da superfície piezométrica deixa o barranco pesado pelo saturamento da água no solo (MAGALHÃES, 2011). Como explica Carvalho (2012), o termo hidrostático se refere ao estudo da água em repouso, porém, no caso da geomorfologia fluvial, a pressão hidrostática condiz com a pressão da água no pacote sedimentar causada pelo peso e pela força de gravidade. Por isso, como destaca o autor, quanto maior for o volume de água no solo, maior é a pressão hidrostática e conseqüentemente maior é a capacidade de provocar escorregamento e deslizamento. No caso de uma planície de inundação a pressão hidrostática está relacionada com o volume de água retida no pacote sedimentar e a diferença de nível da água retida em relação ao nível da água do rio. Isto significa dizer, que quanto maior for a diferença do nível da água retida na margem em relação ao nível do rio, maior é a pressão hidrostática e conseqüentemente maior é a capacidade de provocar escorregamento e deslizamento nas margens (CARVALHO, 2012).

Labadessa (2014) destaca que a pressão é fortemente exercida no período cheio, mas é principalmente na vazante que se torna mais perceptível seus efeitos desastrosos sobre as margens, contribuindo para as notáveis rachaduras e trincas nos barrancos. O autor menciona que os rios em regiões úmidas são efluentes e o recebimento de água do lençol freático é um processo natural, entretanto, quando ocorre de forma equilibrada, ou seja, quando a descida de nível do lençol é concomitante ao do curso principal. Porém quando ocorre a descida rápida, facilita e acentua a migração lateral da água no pacote

sedimentar, favorecendo a manutenção de umidade ao longo dos barrancos marginais, aumentando o peso e acentuando os efeitos da gravidade na sustentação das margens já fragilizadas pelos efeitos do solapamento (LABADESSA, 2014).

Em razão da conjunção desses processos e fatores envolvidos na dinâmica fluvial, é importante um entendimento dessa relação entre a infiltração e a pressão hidrostática para o fluxo em subsuperfície. Todavia é importante salientar que alguns fatores já mencionados, contribuem para o predomínio da infiltração ou do escoamento sobre a superfície, que é produzido com o excedente de precipitação em relação a capacidade de infiltração.

Quando a chuva provoca a saturação do solo, cessando a infiltração e permitindo que a água acumulada na superfície do terreno comece a movimentar-se, lavando-a como uma pequena lâmina de água ocorre o escoamento superficial saturado (VIEIRA, 2008). Quando a intensidade da chuva é superior a capacidade de absorção do solo, ocorre o escoamento superficial hortoniano (COELHO NETTO, 2015).

Quando o escoamento da água pelo terreno não segue caminhos preferenciais, têm-se o escoamento difuso. No entanto, quando a água começa a correr por caminhos preferenciais, resulta no que se denomina de escoamento concentrado (VIEIRA, 2008). Vieira (2008) chama a atenção para esse tipo de escoamento, argumentando que sua capacidade erosiva é bem maior do que o escoamento difuso.

Christofolletti (1981), explica que nas bacias hidrográficas, os rios têm importante papel no escoamento das águas. De acordo com o autor, a quantidade total das águas de precipitações que alcançam o canal do rio desenvolve o escoamento fluvial e sua alimentação é decorrente das águas superficiais e subterrâneas. Acrescenta que a relação entre a precipitação e o escoamento varia de uma região para outra dependendo de vários fatores, entre eles, principalmente o recobrimento florestal. A precipitação média anual de cerca de 1000 mm que cai sobre a superfície terrestre emersa, apenas 20% atinge o mar através do fluxo fluvial. A água subterrânea, gradativamente, acaba atingindo os cursos fluviais, mantendo o escoamento durante um certo lapso de tempo (CHRISTOFOLLETTI, 1980; SUGUIO e BIGARELLA, 1990).

Dessa forma, o estudo das variáveis hidrológicas do canal (fluxo e velocidade da água corrente e vazão) são necessários para entendimento de sua relação com outros fatores que influenciam na estabilidade do canal fluvial. Porém, para serem entendidos precisam ser mensurados e compreendidos como interdependentes e sensíveis às alterações provocadas pelas atividades antrópicas.

### 3.3.1 Variáveis hidrológicas: fluxos e velocidade da corrente e descarga líquida (vazão)

Estudos sobre a dinâmica fluvial de cursos d'água são de extrema importância para o entendimento de seu equilíbrio natural ou das alterações por ações antrópicas. Dentre os vários parâmetros de estudos da dinâmica dos processos hidrológicos e da geometria hidráulica em bacias hidrográficas e/ou canais fluviais, pode-se dar ênfase aos que exercem importantes mecanismos realizados pelo rio, em coexistência aos processos de erosão, transporte e sedimentação.

As águas do rio escoam por meio de correntes que permitem o transporte de vários tipos de sedimentos. O movimento ou fluxo da água pode ser laminar ou turbulento, resultantes de duas forças externas: a gravidade e a fricção. No seu trabalho fluvial, o rio transforma através do fluxo das águas, a energia potencial em energia cinética deduzidas as perdas para vencer as forças resistentes ao movimento (fricção) (SUGUIO e BIGARELLA, 1990).

Christofolletti (1980) e Stevaux e Latrubesse (2017) caracterizam o fluxo laminar quando se dá por meio de lâminas delgadas que deslizam suave e paralelamente (sem difusão) umas sobre as outras. Esse fluxo não consegue transportar partículas (areia, silte e argila) em suspensão e quase não é encontrado nos cursos naturais. Quando a velocidade do fluxo ultrapassa um valor crítico, as lâminas de escoamento de água são rompidas e misturadas e o fluxo torna-se caótico, com a formação de redemoinhos (vórtices) e movimentos irregulares, caracterizando o fluxo turbulento. Ainda conforme os autores, a profundidade, a densidade da água, a viscosidade e as irregularidades do canal (rugosidade) e a temperatura são fatores que afetam a velocidade crítica, permitindo que o fluxo laminar se torne turbulento.

Segundo Franzinelli (2011), em regiões de confluências entre rios que integram dois fluxos diferentes, onde variam a concentração de sedimentos em suspensão e há alteração da composição da carga de fundo, constituem áreas suscetíveis a ocorrência de turbulências. As alterações nas características de fluxo junto com a movimentação da carga de fundo nos pontos da confluência, geralmente provocam transformações morfológicas no canal, com formações de cavidades similares a poços e deposição de sedimentos sob forma de barras (FRANZINELLI, 2011).

Sternberg (1998) destaca a ação turbulenta do rio, caracterizando-as como deslocamentos turbilhonares ascensionais, em que o aprofundamento do álveo se dá por

ação vorticiosa, gerada na ascensão de uma massa d'água, considerando o mais importante fenômeno da macroturbulência nos rios. O autor destaca o termo “rebojo” como uma designação popular na região amazônica, referindo-se aos deslocamentos turbilhonares ascensionais que se dissipam à superfície após o movimento rotatório, onde chegam a causar um entumescimento mais ou menos circular observável a olho nu. O autor enfatiza o movimento, destacando que:

A ascensão da água proveniente do fundo do rio mais facilmente se deixa perceber quando a superfície se encontra arrepiada pelo vento; o espasmo forma uma mancha espelhenta – “é um liso” dirá o morador. E não é difícil de advinhar a magnitude da ação erosiva de tais vórtices, pois no corcovo que rompe à tona, se deixam perceber golfadas de água engrossada pelo material arrebatado ao fundo; efêmeras, espamarram-se e seus contornos pronto se dissovem pela difusão dos sedimentos. Para esse aprofundamento do álveo por sucção vorticiosa, Matthes propôs o uso da palavra *kolk*, na acepção original que lhe dão os engenheiros neerlandeses (STERNBERG, 1998, p. 63).

É importante destacar que a velocidade e a profundidade da água são elementos importantes para a determinação do estado de regime turbulento. Esse tipo de fluxo é classificado em duas categorias: a) turbulento corrente - comumente encontrado nos fluxos fluviais; b) turbulento encachoeirado - que ocorre nos trechos de velocidades mais elevadas como nas cachoeiras e corredeiras, com aumento na intensidade da erosão (CRISTOFOLETTI, 1980, SUGUIO e BIGARELLA, 1990).

À medida que se processa o fluxo da água, que não ocorre de forma homogênea no canal fluvial, desenvolve-se a vazão líquida, que também varia por razões específicas. A vazão é compreendida como a principal grandeza que caracteriza um rio. Conforme Novo (2008), a vazão é o resultado do escoamento concentrado de água em canais fluviais, que elaboram as formas de relevo de origem fluvial. O regime hidrológico descreve as mudanças do volume de água que escoam por um canal fluvial ao longo do ano e entre anos sucessivos. Dessa forma, a variação do nível das águas fluviais no decorrer do ano corresponde ao regime fluvial, e o volume de água medido em metros cúbicos por segundo, é o débito, vazão ou módulo fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1980; SUGUIO E BIGARELLA, 1990 e CUNHA, 2015).

A vazão ou descarga de um rio é o volume de água que passa através de uma seção transversal do canal por unidade de tempo. A unidade de medida é geralmente  $m^3/s$  (SANTOS *et al.*, 2001). Portanto, para a medição da vazão é necessário a escolha de uma seção transversal específica, visto que canal continua recebendo contribuição da

bacia hidrográfica ao longo de todo o seu trajeto (SANTOS *et al*, 2001). Assim, por exemplo, na estação hidrometeorológica de Manacapuru, conforme Filizola *et al.* (2009), a descarga do curso principal do Rio Solimões é  $103.000 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$  em uma área de  $2 \times 10 \text{ km}^2$  e é igualmente distribuído ao longo do ano.

De acordo com Oliveira (2012), a variabilidade da magnitude e frequência das vazões podem variar em razão de vários fatores tanto na seção transversal como ao longo do perfil longitudinal. Essa dinâmica do regime fluvial possui importantes relações com a erosão, o transporte da carga sedimentar e a esculturação das propriedades geométricas da seção transversal (OLIVEIRA, 2012).

As inter-relações entre fatores como descarga, carga sedimentar, diâmetro dos sedimentos, declividade, largura, profundidade, velocidade do fluxo e rugosidade do leito constituem a geometria hidráulica de um canal (CUNHA, 2015).

Stevaux e Latrubesse (2017) definiram a geometria hidráulica como uma análise quantitativa das relações entre vazão (considerada a variável independente ou de estado), velocidade das águas, forma do canal, carga sedimentar e declividade, que dela dependem.

Quando a vazão aumenta numa dada seção transversal, ocorre um incremento na profundidade, na velocidade do fluxo, na largura da seção, uma pequena diminuição da rugosidade hidráulica e mudança na declividade superficial da água. Entretanto, a carga de sedimentos suspensão indica a maior alteração, que aumenta rapidamente e em maior proporção que qualquer outra variável (LEOPOLD e MADDOCK, 1953 *apud* OLIVEIRA, 2012).

Nesse sentido, Penteado (1983) enfatiza que à medida que a vazão aumenta em direção à jusante, também aumentam, a profundidade, a largura e a velocidade da corrente. Segundo a autora, os rios se tornam mais largos e mais profundos quando o volume cresce a jusante e a velocidade média também aumenta à jusante. Entretanto, a largura é a que apresenta maior aumento e a velocidade é menor do que das outras variáveis. Com o aumento da profundidade, o fluxo torna-se mais eficiente compensando a diminuição da declividade (PENTEADO, 1983).

Todavia, o fluxo da água e o suprimento de sedimentos em canais aluviais mudam com o tempo, contribuindo para o ajustamento de sua forma por meio dos processos erosivos e fluviais que se desenvolvem no canal. As características da vazão e a resposta hidrológica do rio, de acordo com Dias (2012) influencia nas flutuações da vazão e conseqüente ampliação da área do barranco em contato com o fluxo. Como

explica o autor, quando a vazão atinge todo o limite da calha do rio, denomina-se de nível de margens plenas ou débito de margens plenas. Assim, a flutuação do nível da vazão ao longo do tempo e o contato com maior ou menor porção da margem, dependendo das condições hidrológicas influenciarão nos processos geomórficos que ocorrerão na mesma (DIAS, 2012). Em síntese, o débito das margens plenas, (*bankfull discharge*), segundo Christofolletti (1981) ocorre quando o débito preenche na medida justa o canal fluvial, e acima do qual ocorrerá transbordamento para a planície de inundação.

De tal forma, a velocidade das águas de um rio, de acordo com Cunha (2015), depende de fatores como: declividade do perfil longitudinal, volume das águas, forma da seção transversal, coeficiente de rugosidade do leito e viscosidade da água. Esses diversos fatores fazem com que a velocidade tenha caráter dinâmico ao longo do canal e na própria seção transversal. Modificações como aumento da declividade do perfil do rio e diminuição da rugosidade do leito, com a passagem da draga, são realizadas pelas obras de retificação de canais, com a intenção de acelerar a velocidade das águas (CUNHA, 2015).

Segundo Christofolletti (1980,1981), a velocidade das águas de um rio não é estável, podendo variar muito de um lugar para o outro, no sentido vertical, transversal ou longitudinal. Em um perfil transversal, geralmente, a maior parte da velocidade localiza-se abaixo do nível superficial, enquanto que as áreas de menor velocidade se situam próximas as paredes laterais e ao fundo. Para o autor, as velocidades variam, em sua distribuição conforme a forma e a sinuosidade dos canais.

Charlton (2008), atenta ao fato de que embora haja com frequência uma diminuição da inclinação do canal ao longo de seu comprimento, geralmente a velocidade sofre pouca mudança ou aumenta levemente a jusante. Isso ocorre porque a diminuição no declive a jusante é frequentemente compensada por uma diminuição da rugosidade do canal e aumento da eficiência hidráulica.

Sugio e Bigarella (1990) ressaltam que em canais retilíneos e simétricos, as maiores velocidades ocorrem no centro do canal, diminuindo gradativamente em direção às margens, onde em suas proximidades a diminuição da velocidade ocorre abruptamente, bem como junto ao leito do canal. Segundo estes, na superfície da água, a velocidade é também menor em função do atrito com o ar. Nos rios meandrantos, onde os canais são assimétricos, as maiores velocidades situam-se próximo do banco côncavo, o mesmo ocorrendo a zona de máxima turbulência. Em direção aos bancos



convexos, de menor profundidade, a velocidade e a turbulência decrescem (SUGUIO e BIGARELLA, 1990).

Stevaux e Latrubesse (2017) mencionam que a velocidade também varia ao longo do tempo. Segundo os autores, ao observar o registro da velocidade por um determinado intervalo, constata-se que seu valor oscila cerca de 60% a 70% devido as condições próprias do fluxo turbulento. Para um intervalo de tempo mais longo (semanas ou meses), a velocidade varia com a flutuação da descarga (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

A velocidade do fluxo da corrente pode ser expressa em cm/s, m/s etc, podendo ser medida com o uso de vários instrumentos, entre eles, molinetes, velocímetros ou correntômetros, assim como com a utilização de métodos mais práticos e indiretos, como flutuadores. Disto isto, Cunha (1996), indica que a forma mais simples de se obter medidas de velocidade das águas da superfície de um curso hídrico é utilizando os flutuadores, visto que deslizam na superfície do rio em determinada distância.

### **3.4 Processos geodinâmicos fluviais**

A dinâmica fluvial estabelece que os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos possam ocorrer de forma interdependente e conforme determinadas zonas ao longo do perfil longitudinal dos rios (MARQUES, 2017).

Cunha (2015), também ressalta que a erosão, transporte e deposição, são processos dependentes entre si e resultam não apenas da mudança de fluxo, como também da carga existente. A autora afirma que os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos no leito fluvial modificam-se no decorrer do tempo e são espacialmente definidos pela distribuição da velocidade e da turbulência do fluxo dentro do canal.

Deste modo, a dinâmica atuante nos canais que constituem a rede drenagem do sistema fluvial amazônico é perceptível na paisagem, marcada por essa tríade de processos, os quais se inter-relacionam conjuntamente.

#### **3.4.1 Erosão fluvial**

A erosão fluvial associa-se a dinâmica natural do rio, impulsionada pela força da correnteza das águas fluviais, retirando detritos do fundo e, principalmente das margens

dos rios, promovendo o desgaste na base dos taludes e conseqüentemente o desmoronamento de barrancos (TEIXEIRA, 2010).

Assim, os estudos de erosão fluvial estão intimamente relacionados aos processos de transporte e sedimentação, ocorrendo simultaneamente, ainda que variando de intensidade, ao longo do canal de um rio. Os materiais podem ser removidos por erosão química, como carga dissolvida e erosão física, sob a forma de carga sedimentar. (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

Christofoletti (1981); Suguio e Bigarella (1990) e Stevaux e Latrubesse (2017), descrevem que a erosão fluvial engloba os processos de retirada de detritos do fundo do leito e das margens, destacando que o trabalho de um rio é medido pela quantidade de material que ele é capaz de erodir, transportar e depositar. Segundo os autores, esses fenômenos ocorrem simultaneamente, ainda que variando de intensidade, ao longo do canal de um rio. Conforme Novo (2008), a erosão fluvial pode ocorrer de duas formas:

Os rios podem erodir seus canais verticalmente, aprofundando o talvegue, ou lateralmente, alargando o canal. O processo de aprofundamento do canal é denominado erosão vertical e o de ampliação da largura do leito, erosão lateral. A erosão vertical dos canais aluviais ocorre quando há remoção de areias e cascalhos do leito fluvial. Nos canais escavados em rochas, a erosão vertical ocorre pela abrasão imposta pela carga do leito. A erosão lateral ocorre quando as margens do canal são removidas, geralmente, por solapamento basal e colapso (2008, p. 223).

Nesta lógica, Magalhães (2011) também afirma que a erosão fluvial atua tanto no fundo quanto nas margens do canal, agindo através de atrito mecânico e da reação química, com o auxílio das correntes fluviais na remoção das partículas (silte, areia e argila). A erosão fluvial possui um importante papel na morfodinâmica do canal, removendo de forma lateral as margens do rio, ajudando a ampliar a largura do canal e influenciando em outros processos, como os movimentos de massa das margens (MAGALHÃES, 2011). A erosão das margens, segundo Charlton (2008) é importante no desenvolvimento e evolução de diferentes formas de canais. A migração dos canais fluviais pelas planícies de inundação envolve a combinação da erosão e deposição das margens (CHARLTON, 2008).

Ainda que seja o processo predominante do curso superior (zona de aporte), a erosão atua em todo o canal fluvial, exercendo um importante papel em sua dinâmica. Trata-se de um processo natural e faz parte dos processos fluviais, entretanto, este pode ser acelerado em função de atividades humanas (ARAÚJO, 2018).

Sendo um processo natural importante na dinâmica dos canais fluviais, quando acontece um desgaste exagerado nas margens dos rios, acelerado pela ação humana podem ocorrer danos irreversíveis para esses ambientes.

Por meio de seus processos, a erosão fluvial de acordo com Cristofloletti (1980) e Suguio e Bigarella (1990) é realizada através de processos de corrosão, que abrange todo e qualquer processo de reação química que se verifica entre a água e as rochas que estão em contato; de corrosão ou abrasão, quando há o desgaste pelo atrito mecânico geralmente através do impacto das partículas carregadas pela água; e de cavitação, quando ocorre somente sob condições de velocidade elevada da água, quando as variações de pressão sobre as paredes do canal fluvial facilitam a fragmentação das rochas e/ou solo.

Todos esses processos dependem das variáveis hidráulicas, principalmente das características do fluxo da água e do tipo de carga sólida (PENTEADO,1983).

Vários elementos da hidrodinâmica fluvial destacam-se como fatores desencadeadores dos processos erosivos tanto nas margens como no canal. Alguns autores atribuem de modo especial às partículas sólidas um importante papel no processo erosivo justificando seu efeito abrasivo no desgaste das margens.

Suguio e Bigarella (1990), concedem significativa importância ao poder abrasivo da carga transportada, argumentando que a capacidade de erosão de um rio está mais relacionada com as partículas por ele transportadas do que do volume de água. Desse modo, afirmam que as partículas sólidas se desgastam entre si e exercem ação corrosiva no leito sempre que o material sólido em movimento esteja em contato direto sobre o substrato rochoso. Segundo os autores, quando a energia disponível para o transporte da carga sólida for suficiente, o leito do rio mantém-se em condições estáveis. Porém, a ocorrência de excesso de energia é usada para erodir os lados e o fundo do canal, contribuindo para o aumento de carga a jusante (SUGUIO e BIGARELLA, 1990).

Cunha (2015), advoga que a capacidade de erosão das águas depende da velocidade e turbulência, bem como do volume das partículas por elas transportadas em suspensão, saltação e rolamento.

Na visão de Christofloletti (1981) e Penteado (1983), a carga em solução e suspensão não têm poder abrasivo na erosão das margens, considerando que nas bacias em que o intemperismo mecânico é dominante, os fragmentos maiores influenciam no poder abrasivo e a erosão fluvial é mais eficiente. De acordo com os autores, os rios das regiões intertropicais de florestas, que transportam essencialmente sedimentos finos,

têm fraca competência de erodir e fazer entalhar as rupturas de declive do leito. Agem mais como polimento do que como agente ativo na erosão regressiva dos cursos de água.

Os fluxos hiperconcentrados, definidos como um fluxo bifásico de sedimentos e água, com concentração de sedimentos em suspensão superior a  $300 \text{ kg/m}^3$  ou  $400 \text{ kg/m}^3$  na bacia do meio do rio Amarelo, na China, localizado no Planalto de Loess, de acordo com XU (1999) são considerados o fator responsável pela erosão de alta intensidade e produção de sedimentos na bacia. Segundo o autor, a maior quantidade de carga de fluxo causa maior tensão de cisalhamento do fluxo para uma dada profundidade da água e de energia da encosta. Todavia, uma menor carga de sedimento submerso leva a uma maior capacidade de transporte de sedimentos, ou seja, quando a quantidade da carga de fluxo por partículas grossas são suspensas como a fase sólida, reduz-se o gasto de energia potencial efetiva para o fluxo e a capacidade de transporte de sedimentos é aprimorada. Xu (1999) acrescenta que, ao entrar na faixa de fluxos hiperconcentrados, o gasto de energia diminui e capacidade de transporte de sedimentos aumenta e, portanto, os fluxos hiperconcentrados têm níveis muito altos na capacidade de erosão e transporte. Portanto, a erosão por fluxos hiperconcentrados é considerada um tipo especial de erosão, uma vez que resultam em muitas características de erosão diferente dos que ocorrem em outras regiões (XU, 1999).

Segundo Carvalho (2006, 2012), o processo de erosão de margens é decorrente de alguns fatores, que atuam dentro do canal fluvial, destacando-se a pressão hidrodinâmica, a pressão hidrostática, a neotectônica, os fatores climáticos (chuva e vento), a composição do material das margens e os fatores humanos. Ele menciona que um dos fatores preponderantes à erosão fluvial, consiste no solapamento da parte inferior da margem, que retira o suporte do pacote e o desestabiliza, tendo como um dos agravantes deste processo a passagem de embarcações que impulsionam o poder destrutivo das ondas.

A ação fluvial através do solapamento basal provoca a suscetibilidade dos materiais que compõem as margens aos processos erosivos. Segundo Lima (1998), o material das margens do rio sofre variações no grau de saturação e proporcionam a instabilidade dos agregados. Isto ocorre devido a sazonalidade das águas fluviais, que influenciam na diminuição da coesão e no atrito entre as partículas no aumento da porosidade e diminuição da matriz de sucção. Dessa forma, esses solos são facilmente removidos pela ação do fluxo fluvial em áreas côncavas, além de gerar, uma deformação

da estrutura do material constituinte das margens, gerando planos de rupturas verticais nos barrancos íngremes (LIMA, 1998).

Para Labadessa (2014), os processos erosivos nas margens fluviais são desencadeados pela ação conjunta de vários fatores, entre eles destacam-se: a altura e declividade dos barrancos, a textura e estrutura do solo que compõem as margens, o clima predominante e a geometria hidráulica.

Fontes (2002, p.199) atribuiu a ação dos ventos como um fator que atua de forma indireta na erosão das margens, pois “eles são em parte responsáveis pela formação das ondas e estas, sim, atuam diretamente na remoção de partículas das margens”.

Carvalho (2012), para designar a erosão fluvial lateral na Amazônia utiliza a expressão “terras caídas”. De acordo com o autor, trata-se de uma terminologia regional amazônica utilizada para designar de forma indistinta os desbarrancamentos que ocorrem nas margens do Rio Amazonas e de seus afluentes de água branca, particularmente nos trechos em que os mesmos são margeados pelos depósitos fluviais holocênicos que formam a atual planície de inundação. As "terras caídas", podem às vezes, acontecer em escalas quase imperceptíveis, pontuais, recorrentes e não raro acontecem de forma catastróficas, afetando em muitos casos extensões quilométricas da margem (CARVALHO, 2012).

Neste trabalho, a erosão fluvial, é entendida como um fator que sozinho não é suficiente para explicar as terras caídas que dominam a paisagem no Furo do Paracuúba. As terras caídas são conceituadas como um processo misto de erosão fluvial e movimentos de massa. O mecanismo envolve a remoção das partículas da base do barranco (solapamento basal) que combinado com a ação da gravidade ocasionam sua instabilidade e desprendem grandes massas de terras em direção ao rio.

#### 3.4.2 Transporte Fluvial

Quase simultâneo ao processo de erosão, ocorre o transporte dos sedimentos no canal fluvial, posto que uma parte da carga detrítica dos rios origina-se da ação erosiva que as águas exercem sobre as margens e o fundo do leito e a outra é fornecida pela remoção detrítica das vertentes (ARAÚJO, 2018).

O transporte de sedimentos pelos rios, na visão de Santos *et al.* (2001), também depende dos processos que ocorrem na vertente da bacia e no leito e margens dos rios,

que fornecem material, que por sua vez, depende da energia do fluxo a ser transportado. A combinação dessas variáveis, o fornecimento, de material e energia do fluxo, resulta em um fenômeno com grande variação no espaço e no tempo. Os autores também ressaltam que o transporte de sedimentos é um processo natural que envolve remoção, transporte e deposição de material e contribui para a evolução da paisagem, originando formas geomorfológicas.

Há, portanto, a considerar que o transporte de sedimentos é fundamental nos estudos de Geomorfologia Fluvial, visto que atuam progressivamente na dinâmica dos canais aluviais. Christofolletti (1981), elucida a origem, os fatores e a importância que influenciam no transporte, destacando que:

Uma parcela da carga detrítica dos cursos de água é obtida pela ação erosiva que as águas exercem sobre as margens e fundo do leito. A maior parte, entretanto, é fornecida pela remoção detrítica das vertentes. Por essa razão, desde há muito tempo reconhece-se que o transporte de sedimentos é governado pelos fatores hidrológicos que controlam as características e os regimes dos cursos d'água. Os fatores hidrológicos, cujos mais importantes são a quantidade e a distribuição das precipitações, a estrutura geológica, as condições topográficas e a cobertura vegetal influenciam na formação do material intemperizado na bacia hidrográfica e o carregamento desses materiais até os rios. O fluxo e o transporte de sedimentos constituem respostas aos processos e ao estado de equilíbrio atuantes no sistema fluvial (1981, p.19).

Stevaux e Latrubesse (2017) enfatizam que a carga transportada se origina da bacia de drenagem, de depósitos fluviais prévios (terraços e planícies de inundação) e do fundo e das margens do próprio canal; ela pode ser dissolvida ou ser carga particulada ou clástica, formada por fragmentos de vários tamanhos. Os autores acrescentam que a carga do rio pode ser conduzida para outro rio receptor, para o oceano ou para bacias interiores, no caso de lagos ou bacias endorreicas. Após a erosão, a partícula inicia sua viagem ao longo do canal (transporte) até sua deposição (sedimentação) final no nível de base (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

Assim, a competência e a capacidade do canal são dois aspectos de grande importância no transporte fluvial. Grande parte dos sedimentos formados pela desagregação das margens são transportados pelos rios de várias formas em direção aos mares e oceanos. A quantidade máxima de sólido que um escoamento a superfície livre consegue arrastar ao longo do seu leito refere-se a sua capacidade de transporte, não devendo ser confundida com a competência do escoamento, a qual indica a maior

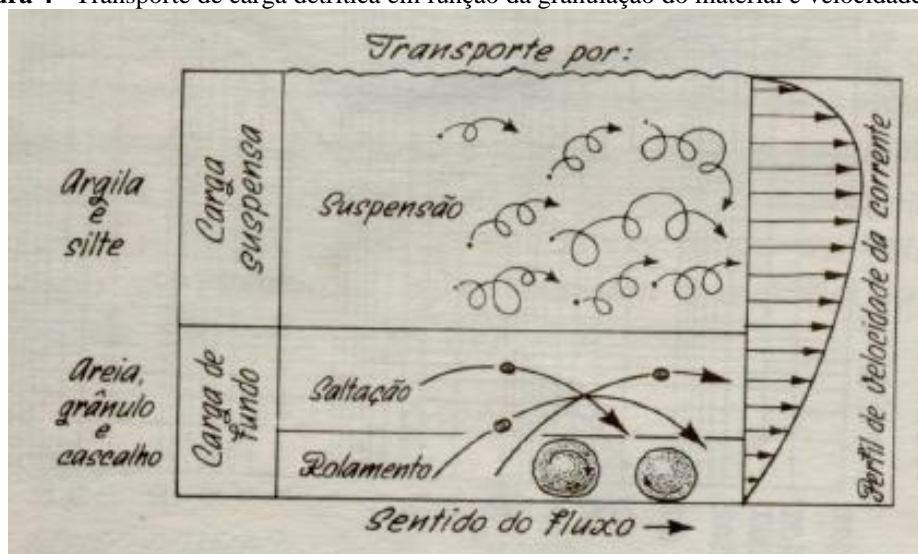
dimensão e tamanho das frações de partículas sólidas que esse pode carrear (BORDAS e SEMMELMANN, 2015, NOVO, 2008).

Segundo Carvalho (2008) *apud* Bartelli (2012), o transporte de sedimentos é processado nos cursos d'água, sendo que ocorre em maior quantidade nas épocas chuvosas. Cerca de 70 a 90% de todo o sedimento transportado ocorre nestes períodos, principalmente nos grandes eventos pluviométricos. A ocorrência de erosão tem papel importante nos parâmetros sedimentares, podendo se processar de diversas formas e depende de algumas variáveis, sendo a principal delas a chuva (CARVALHO, 2008 *apud* BARTELLI (2012)).

Santos *et al.* (2001), salientam que o transporte de sedimentos é governado pelos fatores hidrológicos que controlam as características e o regime do escoamento superficial e também pelas características das partículas que compõem a carga de sedimentos. Nesse sentido, ainda conforme os autores, a capacidade de transporte de um rio depende da velocidade da corrente e granulometria. A velocidade necessária para erodir argilas, devido a maior coesão entre as partículas, é maior que a necessária para erodir areias, apesar de sua menor granulometria (NOVO, 2008).

No transporte, as correntes fluviais carregam a carga sedimentar de diferentes maneiras, conforme a granulação das partículas e as características inerentes às próprias correntes (SUGUIO e BIGARELA, 1990) (**Figura 4**).

**Figura 4** - Transporte de carga detrítica em função da granulação do material e velocidade do fluxo.



Fonte: Suguio e Bigarella (1990).

No processo de transporte fluvial de sedimentos, distingue-se três tipos de carga. Conforme a classificação de Cristofolletti (1981); Suguio e Bigarella (1990) e Stevaux e Latrubesse (2017), as cargas transportadas pelos rios podem ser:

- a) em suspensão (**carga suspensa**), constituída de partículas de granulação reduzida (**silte e argila**), que por serem tão pequenas conservam-se em suspensão na água em fluxo turbulento.
- b) ao longo do leito do rio (**carga de fundo**), formada por partículas maiores com granulações de areia, cascalho e fragmento de rochas que deslizam ou saltam ao longo do leito.
- c) em solução química (**carga dissolvida**), constituintes intemperizados das rochas.

De acordo com Suguio e Bigarella (1990), as cargas suspensas e dissolvida são transportadas na mesma velocidade em que a água flui, assim, a turbulência e a velocidade são importantes para manter os sedimentos em suspensão. Quando a velocidade do fluxo decresce atingindo o limite crítico, as partículas sedimentam. Enquanto isso a carga de leito move-se muito mais lentamente do que a água porque os grãos deslocam-se de modo intermitente (saltação) (SUGUIO e BIGARELLA, 1990). Portanto, “a carga de sedimentos em suspensão e a carga de leito devem ser consideradas na geometria hidráulica, estando relacionadas com a vazão” (CRISTOFOLETTI, 1980, p.73).

Novo (2008), explica que a carga em suspensão é constituída de partículas sólidas, orgânicas e inorgânicas. As partículas inorgânicas em suspensão, geralmente são formadas por siltes e argilas, que devido à dimensão e peso mantêm-se suspensos pela turbulência e pelos vórtices. Partículas de areia também podem ser mantidas em suspensão por correntes fortes, em pequenos períodos de tempo (NOVO, 2008).

Stevaux e Latrubesse (2017), destacam que a carga suspensa é extremamente importante nos processos fluviais e seu conhecimento é imprescindível ao gerenciamento de um rio. Essa carga participa no controle da morfologia e do padrão do canal, da velocidade de migração do canal e das características da planície de inundação, além de interferir na ecologia e no uso da água fluvial (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).



Santos *et al.* (2001), salientam que há boa correlação direta entre a concentração do material em suspensão e o valor da vazão para uma mesma seção transversal. Segundo os autores, a causa principal é que a carga detrítica não provém somente da ação abrasiva do rio sobre o fundo e as margens, mas principalmente da lavagem sobre as vertentes efetuadas pelo escoamento superficial, constatando-se assim, que a maior parte do transporte da carga em suspensão se dá por ocasião das enchentes, o que fica evidente até para o leigo pelo aspecto barrento das águas durante as cheias.

A medição da descarga sólida de um curso d'água é precedida de uma medição de descarga líquida (SANTOS, *et al.*, 2001). A vazão líquida é utilizada no cálculo da descarga sólida, pois essa é obtida multiplicando a concentração de sedimentos na amostra pela vazão líquida. A medição do transporte de sedimentos objetiva determinar a descarga sólida, ou seja, a quantidade de sedimentos que passa em uma seção transversal por unidade de tempo. Embora não exista uma separação clara entre as cargas de leito e cargas em suspensão, divide-se a descarga sólida total em descarga sólida do leito, descarga sólida em suspensão e descarga sólida dissolvida (SANTOS *et al.*, 2001).

Realçando esta relação, Christofolletti (1981) destaca que a quantidade e a concentração de sedimentos transportados possuem relação direta com o débito, visto que com o aumento do débito, há aumento da velocidade do fluxo que cria condições energéticas para que a competência e a capacidade sejam maiores. Supõe-se que com o aumento dos débitos, de acordo com o autor, também haja aumento na granulometria dos sedimentos transportados em suspensão ou como carga do leito, ou que, parcela desta última passe para carga em suspensão. No entanto, não há relação geral entre o aumento do tamanho das partículas do material suspenso e o crescimento do débito fluvial. Como os fatores hidrológicos atuantes nas vertentes controlam o abastecimento detrítico aos cursos de água, a explicação reside na série de processos e não sobre as condições hidráulicas relacionadas com a capacidade fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1981).

A disposição dos sedimentos no canal é variável. Santos *et al.* (2001), esclarecem que a concentração de sedimentos em suspensão em um curso de água varia da superfície para o fundo e de um lado para outro da seção transversal. A concentração varia de acordo com a velocidade da corrente, da disponibilidade de sedimentos e de sua granulometria. Como a velocidade é menor próximo às margens, a concentração também será menor (SANTOS, *et al.* 2001).

A concentração, produção e transporte de sedimentos em suspensão nos ambientes fluviais amazônicos têm sido tema de interesse de pesquisadores, especialmente de estudos voltados para os cursos de água branca. Alguns desses estudos fornecem estimativas da concentração, transporte e descarga sólida em trechos do rio Solimões /Amazonas, como os trabalhos de Filizola e Guyot (2009, 2011), Montanher (2016), Sampaio (2016), e outros que utilizaram metodologias que abrangem ou se baseiam em coletas de campanhas de campo para aquisição de dados, coleta da base de dados da ANA/HiBam e de uso do sensoriamento remoto para geração de modelos de estimativas. Para os canais de águas pretas, destaca-se o estudo de Marinho (2019), que apresenta a variabilidade espacial e temporal da concentração de sólidos em suspensão no baixo Rio Negro, no arquipélago de Anavilhanas, integrando dados hidrológicos, da qualidade da água com de sensoriamento remoto. Todos estes trazem importantes contribuições para literatura amazônica.

Desta maneira, ressalta-se que o transporte da carga sedimentar é extremamente importante nos processos fluviais, na sua morfologia e fisionomia espacial, bem como na ecologia e no uso da água para abastecimento das populações. O entendimento de seus processos explica a dinamicidade e evolução dos canais fluviais.

A velocidade da água é um fator de suma importância no transporte da carga detrítica, pois enquanto o fluxo for intenso estará ocorrendo o transporte, à medida que esse fluxo diminui a deposição inicia. Neste sentido, a deposição começa quando a erosão termina. Portanto, as fases da morfodinâmica do canal estão atribuídas a processos fluviais, dentre eles: descarga líquida dos fluxos, erosão fluvial, transporte de sedimentos e a deposição (MAGALHÃES, 2011).

### 3.4.3 Deposição fluvial

Muitas das formas topográficas dispostas dentro e fora dos canais fluviais são resultantes da sedimentação fluvial por condições diversas, ocasionando mudanças na morfologia dos canais em diferentes escalas temporais. Christofolletti (1981) aclara que:

Nos ambientes aluviais, as formas topográficas resultantes estão intimamente associadas aos processos deposicionais e a caracterização de muitos tipos de formas envolve, implicitamente, as condições de sedimentação e o arranjo estrutural de acamamento sedimentar. Outro grupo de formas topográficas encontra-se ligado aos processos erosivo, atuantes no canal fluvial, resultando do ajustamento das forças exercidas pelo fluxo sobre as formações rochosas encontradas no leito e nas margens (1981, p.210).

Conforme Novo (2008), a deposição da carga sedimentar pode ocorrer em qualquer ponto ao longo do curso de um rio, no entanto, a maior parte do material é depositada nas seções onde o gradiente do canal é pequeno ou onde há grandes mudanças bruscas no gradiente, na profundidade e na velocidade do escoamento.

As partículas de sedimentos são depositadas quando há uma redução na competência e capacidade do fluxo. O processo ocorre em uma escala muito pequena e envolve grãos individuais, embora as formas deposicionais possam ser observadas em uma ampla gama de escalas espaciais, desde as menores formas de leito para vastas várzeas e deltas (CHARLTON, 2008). Para Stevaux e Latrubesse (2017), a sedimentação é mais um estágio do processo fluvial:

Durante o percurso do rio, a carga transportada pode depositar-se em qualquer momento ou local desde que a velocidade do fluxo seja inferior à velocidade crítica de transporte. Uma vez depositado, o sedimento pode novamente ser erodido e colocado em transporte no canal. A velocidade de deposição está fortemente relacionada ao tamanho da partícula, de modo que a deposição se dá em geral de forma gradativa e seletiva, iniciando-se pelas partículas mais grossas, à medida que a velocidade de fluxo se reduz (2017, p.43).

Christofolletti (1981), classifica os tipos de depósitos sedimentares existentes na planície de inundação em três grupos principais:

- a) depósitos em canais fluviais: são os depósitos sedimentares formados pela atividade do fluxo em canais aluviais, incluindo a sedimentação defasada da carga detrítica, os cordões marginais convexos, os bancos detríticos centrais e os depósitos de colmatagem de canais;
- b) depósitos nas margens: são os depósitos formados nas margens dos canais fluviais e produzidos durante os períodos de transbordamento. Nesta categoria estão incluídos os diques marginais e os depósitos de recobrimento;
- c) depósitos nas bacias de decantação: são os depósitos sedimentares compostos por sedimentos muito finos, formados quando os transbordamentos inundam as depressões localizadas além dos diques marginais. Incluem os depósitos das bacias de inundação e os pantanais (1981, p. 212).

Para Novo (2008), os depósitos fluviais de acordo com o local em que ocorrem podem ser de dois tipos: 1) Depósitos de canal, que podem ser: a) transitórios, quando há acumulações deixadas no leito fluvial entre dois episódios sucessivos de variação na vazão do rio, que são removidas assim que a capacidade de transporte é recuperada, b) intermitentes, sendo movimentados mais esporadicamente por requerem maior

competência fluvial do que os transitórios, c) de preenchimento, sendo encontrados tipicamente em canais inativos, como meandros abandonados que recebem sedimentos durante o período de enchente. 2) Depósitos de planície de inundação, que incluem os depósitos atuais e os da planície aluvial. Incluem aqueles que se localizam próximo ao canal fluvial, como os diques marginais, os depósitos de transbordamento e os depósitos de rompimento.

De acordo com Suguio e Bigarella (1990), os depósitos aluvionares resultam de processos de acreção lateral e acreção vertical. Dos primeiros resultam as barras de meandro, as barras de canais e as ilhas aluvias. A acreção vertical é responsável pelos depósitos dos diques marginais, das crevassas e das bacias de inundação.

Nesse sentido, Cristofolletti (1981), descreve que os depósitos de justaposição lateral surgem pela migração do canal fluvial, e os materiais que o formam são da carga do leito. Segundo o autor, o processo é muito ativo, principalmente nas margens convexas das curvas meândricas. Esse tipo de depósitos não registra o levantamento altitudinal da planície de inundação, mas assinala o remanejamento e a redistribuição dos sedimentos disponíveis. Quanto aos depósitos originados pela justaposição vertical ocorrem pela sedimentação da carga detrítica em suspensão sobre a planície de inundação, fora do canal fluvial, quando dos transbordamentos e indicam o levantamento altitudinal da planície de inundação (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Quanto ao modo de deposição, Suguio e Bigarella (1990) classificaram as unidades morfológicas aluvionares, em dois tipos:

1. Depósitos formados por sedimentos atuantes dentro do canal, classificados em:
  - a) Depósito de barra de meandro – que são constituídos de sedimentos arenosos, siltico-argilosos ou conglomeráticos, pobremente selecionados;
  - b) Depósito de barras longitudinais e transversais – ocorrem em rios anastomosados provenientes de carga de fundo e são depositados em fases de escoamento rápido.
2. Depósitos que ocorrem fora dos canais, classificados como:
  - a) Diques naturais - dizem respeito aos cordões sinuosos grosseiramente triangulares em secção transversal e que tem maior altura perto da margem do canal, onde formam bancos íngremes e altos, de onde afinam para a planície de inundação, sendo mais desenvolvidos nos bancos côncavos. São as feições mais proeminentes da planície de inundação, podendo se estender por centenas e milhares de metros ao longo do canal (Stevaux e Latrubesse, 2007).

- b) Depósito de Planície de Inundação origina-se por um processo semelhante ao da formação dos diques naturais. A deposição envolve 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, formando um depósito aluvionar.

Estas classificações mencionadas, trazem uma grande contribuição para a compreensão dos processos de deposição e ajustes que ocorrem no canal e permitem explicar melhor os processos que envolvem suas formações e suas relações com a hidrodinâmica do canal.

Saindo um pouco dessa tríade de processos (erosão, transporte e deposição), mas não tão distantes desses, destacamos os movimentos de massas. Esses, apesar de serem frequentemente associados aos processos que ocorrem nas encostas, também podem ocorrer nas margens de canais fluviais, porém, em se tratando de processos que ocorrem nas margens de cursos d'água são vistos de forma incipiente na literatura.

#### 3.4.4 Movimentos de massa

Na Amazônia, os movimentos gravitacionais de massa em coexistência com a erosão fluvial provocam mecanismos de instabilidade das margens dos rios, potencializados pela ação antrópica. O fenômeno das Terras caídas, dos desmoronamentos ou desbarrancamentos são resultantes da combinação dos processos, caracterizando-se como feições marcantes e modeladoras da paisagem ribeirinha regional.

Bandeira *et al.* (2018), garante que as terras caídas na Amazônia é um fenômeno diferente dos processos erosivos em outros rios brasileiros, porque está associado não apenas à erosão lateral, mas também com os movimentos de massa de moderada e grande extensão, que causam deslizamentos de terra e solapamento.

O fenômeno terras caídas tem particularidades inerentes as condições morfológicas do extenso rio Amazonas, que são caracterizados por grandes movimentos gravitacionais de massa, com características semelhantes aos que ocorrem nas regiões montanhosas do Brasil. Assim, o fenômeno terras caídas estão relacionadas à remoção de material de fundo e dos bancos dos rios através da abrasão e corrosão. Também está associado com os processos

de enfraquecimento, escorregamento e rastejo, que, por sua vez, tem suas próprias características (BANDEIRA, et. al, 2018, p.06).

O conceito de movimento de massa concede a gravidade o principal agente de deflagração de material das encostas, que no contexto amazônico combina-se com a erosão fluvial e outros fatores para deslocar massas de terra nas margens dos rios. De acordo com Selby (1990), os movimentos de massa que também são denominados de desgaste de massa (*mass wasting*), são processos naturais e induzidos, responsáveis pela modelagem da paisagem como um sistema controlado por processos exógenos. É o movimento de solo e/ou rocha, sob a influência da gravidade, sendo um movimento coletivo de material, sem a ação direta da água ou do gelo (SELBY, 1990).

Para Penteado (1983, p.100) “os movimentos de massa, lentos ou rápidos, são provocados por atividade biológica ou por processos físicos resultantes de condições climáticas, mas a ação da gravidade é o fator principal”. Embora o gelo ou a água auxiliem como lubrificantes, reduzem o coeficiente de fricção (PENTEADO, 1983).

Embora nesse processo a água em movimento esteja excluída, em contrapartida, sua presença exerce uma função importante, pois reduzirá o coeficiente de fricção e aumentará o peso da massa intemperizada preenchendo os espaços entre os poros (SELBY, 1990).

Apesar destes autores não considerarem a água como principal agente deflagrador dos movimentos de massa, destacam que ela é um fator importante, pois atua como lubrificante que reduz a fricção. Acrescentam que, a carga sedimentar de um rio pode chegar ao canal ou ser transportada pelo canal por movimento em massa, onde a água não atua propriamente como agente de transporte, mas como lubrificante (água intersticial) e o deslocamento do material dá-se unicamente por ação da gravidade, a única força importante (PENTEADO 1983, STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

A ação das correntes fluviais, através do solapamento da base dos barrancos agem em coexistência com a ação da gravidade acentuando a fragilidade das margens aluviais e provocando deslocamento de material em direção ao canal. Nesta proposição, esses processos se assemelham aos processos que ocorrem em encostas. Molinari (2007) descreve que a principal característica dos processos de movimentos de massa é o destaque simultâneo de certa massa bem definida de solo ao longo de uma superfície de ruptura, em que o material removido se precipita encosta abaixo através da ação da água e da força gravitacional sendo diretamente condicionado por sua fluidez e pela forma da encosta.

O IBGE (2009) enfatiza a contribuição dos dois elementos, a água e a ação da gravidade. Os movimentos de massa ou gravitacionais correspondem a remoção e o transporte vertente abaixo, das formações superficiais e do material rochoso sob influência da gravidade. O deslizamento e o fluxo desses materiais devem-se à posição instável na vertente e às forças gravitacionais, mas o movimento de massa é intensificado pela ação da água (IBGE, 2009).

Segundo Lima (1998), assim como ocorre nas encostas, os materiais presentes nos barrancos estão submetidos a um jogo de forças em diferentes inclinações, mantendo-os em equilíbrio, expressos pela Lei de Coulomb. Estão envolvidas nesse processo as forças de cisalhamento e as forças de resistência ao cisalhamento. Segundo autora, a primeira é gerada a partir da interação entre a força gravitacional, a carga sobrejacente e a declividade do terreno. Enquanto a força de resistência ao cisalhamento é influenciada pelas características intrínsecas dos materiais constituintes do barranco, que permitem a coesão e o ângulo de fricção interno.

Sendo assim, Lima (1998) destaca que o teor de umidade é uma importante variável na compreensão dos movimentos de massa, pois, à medida que o material se torna mais úmido, diminuem as pressões de sucção (ou seja, a coesão aparente) e a fricção, provocando a diminuição na resistência como um todo no material. Assim, a saturação do material ao gerar pressões poro positivas, diminuem a coesão e/ou fricção do material, promovendo o colapso deste (LIMA, 1998).

Pode-se dizer então, que há vários mecanismos que atuam no desencadeamento dos movimentos de massa. Neste trabalho, são elucidadas questões sobre os principais fatores da dinâmica fluvial que causam os movimentos de massa, buscando-se fundamentalmente espacializar esses tipos de feições geomorfológicas na área de estudo, entender as contribuições das ações antrópicas para a deflagração das massas e as contribuições das feições para as mudanças morfométricas do canal, bem como entender de que maneira afetam o modo de vida das populações ribeirinhas que habitam suas margens.

#### 3.4.5 Fatores condicionantes, processos controladores dos movimentos de massa

A compreensão dos fatores e dos processos controladores dos movimentos de massa é uma importante base teórica para os estudos de planejamento, previsão das áreas suscetíveis e na ocupação das encostas e barrancos.

De acordo com Rodrigues (2014), os processos constituintes das Terras Caídas relacionam diretamente os movimentos de massas que ocorrem nas margens dos rios e suas origens têm causas diversas. Para que esses processos de mobilização de massas aconteçam, três características devem ser observadas: a constituição dos materiais da vertente; o grau de declividade e estabilidade da vertente e o volume de água presente na estrutura (RODRIGUES, 2014).

Lima (1998) relaciona alguns fatores que contribuem para a deflagração dos movimentos de massa, envolvendo o conteúdo de água e as características minerais da argila (principalmente a montmorilonita), as condições de rupturas dos materiais, as discontinuidades dos minerais ao longo dos perfis, a morfologia das encostas, os fatores climáticos, a cobertura vegetal, a variação do nível das águas do rio e a erosão fluvial no sopé de encostas e margens. Molinari (2007) aponta outros fatores, os geológicos-geotécnicos, englobando as características lito-estruturais, as fraturas subverticais e falhamentos tectônicos e a ação antrópica como acelerador da dinâmica dos processos naturais, aumentando assim incidência de movimentos de massa.

Magalhães (2011) destaca que a susceptibilidade do solo à movimentos de massa depende de suas propriedades. As mais significativas são a textura, estrutura, porosidade, densidade do solo, coesão, minerais de argila, quantidade de matéria orgânica e o conteúdo de água no solo. Conforme a autora, essas propriedades podem alterar o seu comportamento físico e mecânico pela excessiva quantidade e permanência da água no solo.

Na visão de Vargas (2015), a maioria dos eventos de movimentos de massa ocorre devido ao intemperismo (físicos e/ou químicos) devido ao enfraquecimento geral criado na rocha superficial, o que a torna mais suscetível à atração da gravidade. O intemperismo age em materiais de superfície, desgastando vertentes e fornecendo matéria-prima para erosão, transporte e deposição (VARGAS, 2015).

É pertinente destacar que o trabalho de desgaste dos barrancos pela ação erosiva da água, ao remover seus materiais, contribuem para a diminuição da resistência do solo. Sendo assim, é coerente dizer que as terras caídas ocorrem pela combinação da erosão fluvial lateral e dos movimentos gravitacionais de massa.

Lima (1998) e Magalhães (2011) afirmaram em seus trabalhos que a erosão fluvial através do solapamento basal (gerado pela remoção das partículas pouco coesas) age como desencadeador dos movimentos de massa em uma planície de inundação, sendo responsável pela instabilidade dos barrancos e pela evolução do relevo regional



através do recuo lateral de suas margens. Desse modo, a ação dos mecanismos da erosão fluvial é um dos fatores desencadeadores dos movimentos de massa (LIMA, 1998, MAGALHÃES, 2011).

Segundo Sternberg (1998), na Amazônia esse processo ocorre durante a época de cheias dos rios, mas a magnitude de seu efeito é ocasionada durante a vazante, a qual é pronunciada por meio de fendas na superfície do solo. Guimarães *et al.* (2019) destacam que podem ser identificados dois tipos de movimentos de massa numa planície de inundação. O primeiro ocorre na subida do rio ou cheia, onde as correntes fluviais removem as partículas de solo do sopé das margens, através do solapamento basal, dessa maneira é ocasionada a perda de coesão do pacote. Com o aumento da força de cisalhamento e diminuição da resistência ao cisalhamento, o pacote se desequilibra e fragmenta-se. O segundo tipo de movimento ocorre no período seco, caracterizado pela diminuição do nível piezométrico, isto produz uma mudança física e mecânica do solo ocorrendo processos como a elevação da umidade do solo, diminuição da matriz de sucção da coesão aparente e fricção entre as partículas (GUIMARÃES, *et al.*, 2019).

Carvalho (2006) explica que, quanto maior for o volume de água no solo, maior é a pressão hidrostática e conseqüentemente maior é a capacidade de provocar escorregamento e deslizamento. Deste modo, este fenômeno acentua a migração lateral da água no pacote de solo aluvial, favorecendo a manutenção de umidade ao longo dos barrancos marginais, aumentando o peso e acentuando os efeitos da gravidade sobre as margens, já fragilizadas pelos efeitos do solapamento. Perdem a sustentação, desencadeando efeitos assustadores (LABADESSA, 2014; GUIMARÃES *et al.* 2019).

Silva *et al.* (2014), também estudaram o Furo do Paracuúba e mencionaram o papel das embarcações para erosão e da ação gravitacional na deflagração das margens. Segundo os autores, a velocidade da água geradas pelas embarcações, formando fortes banzeiros apresentam maior poder erosivo por corrasão e corrosão, devido ao violento choque contra a base das paredes das margens através do processo hidrodinâmico. O solapamento basal induz ao processo de deslizamento da margem e as bordas do barranco sofrem uma pressão gravitacional por não possuir apoio e acabam por se soltar e demoram em direção ao rio (SILVA *et al.*, 2014).

Para Carvalho (2006), Magalhães (2011) e Frota Filho e Vieira (2012), o grande tráfego de embarcações de diversos portes que trafegam pelos rios Solimões/Amazonas criam pequenas ondas que solapam as margens, desencadeando um processo chamado de erosão marginal. Além do solapamento basal, há outro fator preponderante para o

desencadeamento das terras caídas, que é o desnível piezométrico. Os autores atestam que isso ocorre predominantemente no período da vazante, ou seja, quando a descida do teor e água no pacote não acompanha a velocidade de descida natural do nível do rio, e esta diferença piezométrica faz com que o solo, se separe, criando movimentos de massa de grandes magnitudes. E quando mais rápida a descida do nível do rio, maior a incidência de terras caídas (CARVALHO, 2006; MAGALHÃES, 2011 e FROTA FILHO e VIEIRA, 2012).

A pluviosidade, além de condicionante, também pode ser considerada como principal agente deflagrador imediato dos movimentos de massa. Estudos realizados por Gouvea *et al.* (2017), buscaram estabelecer uma relação entre extremos de precipitação e a ocorrência de deslizamentos de terra na Bacia do rio Itajaí no período de 1995-2013. Os autores constataram que 42,7% dos casos de deslizamentos de terra ocorreram em dias de chuva extremos, sendo que 94% dos casos, os extremos de chuva foram precedidos por dias consecutivos de chuva. O estudo mostrou que os maiores registros de extremos ocorreram nos anos de 2001, 2008, 2011 e 2013.

A morfologia de encostas de acordo com Guidicini e Nieble (1976) *apud* Lima, (1998) é outro condicionante importante a ser considerado, visto que pode influenciar direta ou indiretamente no desencadeamento dos movimentos de massa. De forma direta, pode ser observada através da equação de Coulomb, onde o aumento do ângulo do barranco, implica na diminuição do fator de segurança, aumentando a força de cisalhamento e diminuindo o auxílio que a força normal dá para a resistência.

A cobertura vegetal é um agente que mantém o equilíbrio das vertentes. Nesse sentido, “a vegetação atua no sentido de favorecer a estabilidade das encostas, através do esforço mecânico (raízes) e redistribuição da água de chuva, diminuindo e retardando a infiltração desta no terreno, além de protegê-lo contra a erosão” (IPT, 1991, p.27).

Pinto *et al.* (2013), analisando as pesquisas que embasaram seu trabalho, constatou que os condicionantes utilizados que se repetem com maior frequência foram: a declividade (92%), a forma das vertentes (55%), a litologia (53%), a cobertura vegetal (53%) o uso da terra (47%) e altitude (47%).

Ressalta-se que embora os episódios de movimentos de massa sejam normalmente associados a ação da gravidade como principal elemento deflagrador nas encostas, nas planícies de inundação este elemento é combinado à ação das correntes fluviais e a outros fatores conforme descritos, imprimindo nas margens dos rios extensas cicatrizes que modelam o relevo.

Alguns critérios podem ser utilizados para a diferenciação dos movimentos de massa, variando com os diversos fatores ou condições físicas dos locais onde ocorrem, inclusive em ambientes fluviais.

#### 3.4.6 Classificações dos movimentos de massa

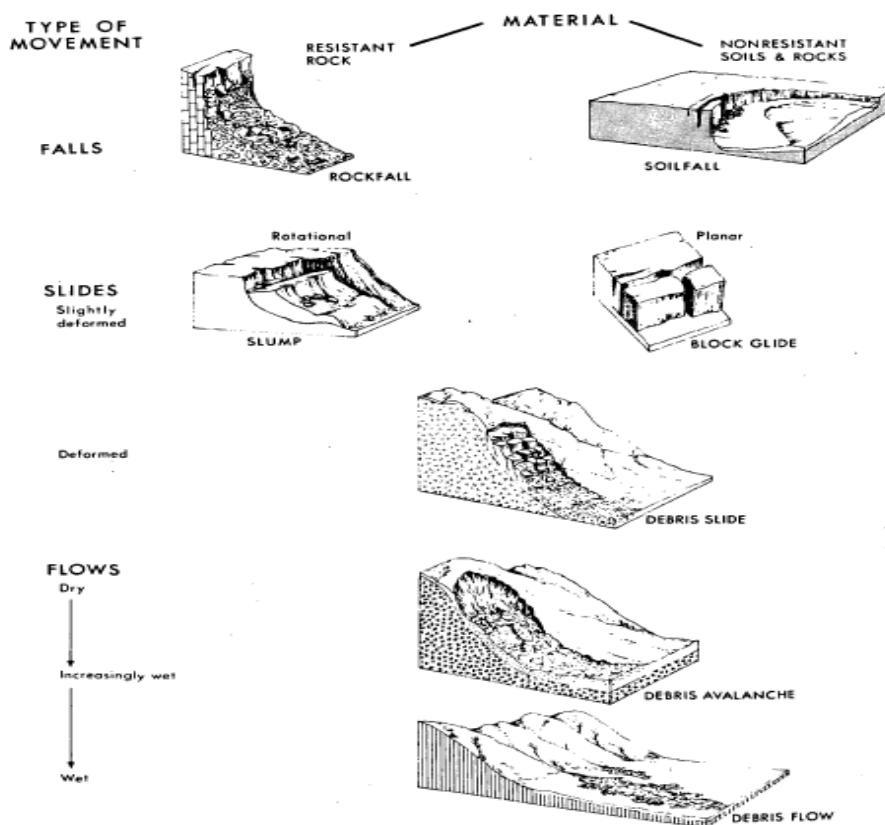
Conforme Fernandes e Amaral (2017), existem na natureza vários tipos de movimentos de massa, envolvendo uma grande variedade de materiais, processos e fatores condicionantes. Desse modo, para a distinção das perdas de massa e os tipos deve-se utilizar os seguintes critérios: a velocidade e o mecanismo do movimento; o material; o modo de deformação; a geometria da massa movimentada e o conteúdo de água (SELBY, 1990)

Molinari (2007), ressalta que a tipologia e as características dos movimentos de massa são:

condicionados por relações complexas entre topografia, estrutura geológica, espessura das formações superficiais de encostas (solo, depósitos de alterações), circulação das águas e ação humana. No entanto, a feição resultante (cicatriz) pode apresentar morfologia variada, determinando, portanto, uma tipologia (2007, p. 69).

Selby (1990) estudou a classificação de outros autores, porém considerou que a terminologia 'deslizamento de terras' é a mais comumente usada. Esta pesquisa seguirá a mesma linha de pensamento de Selby (1990), que classifica os movimentos de massa em quatro grande grupos: quedas (*falls*), escorregamentos (*slumps*) e fluxos (*flows*) e os rastejos (*creep*) (**Figura 5**).

**Figura 5** - Tipos de Movimentos de Massa de acordo com a classificação de Varnes (1958) apud Selby (1990).



Fonte: Selby (1990).

- **Rastejos (*creep*):** movimento lento e descendente do solo ou rocha, que geralmente é imperceptível, exceto para observações de longa duração. Trata-se de um processo episódico que depende dos movimentos de elevação e sedimentação no solo produzidos por ciclos de umedecimento e secagem nos ambientes com variações sazonais (SELBY, 1990).

O movimento é quase viscoso, ocorrendo sob tensão de cisalhamento suficiente para produzir deformação permanentes e pequenas, que resultam em discretas falhas. A água intersticial e/ou a absorvida contribuem para o rastejo, principalmente por deformação, abrindo a estrutura dentro e entre os grãos minerais e reduzindo o atrito dentro da massa do solo (SELBY, 1990).

Embora possam ocorrer em profundidades de até 10 m, são mais marcados no metro superior da maioria dos solos. A diminuição de temperatura e umidade nas profundidades não são restrições suficientes para a ocorrência dos movimentos de rastejos, bem como, as direções e taxas e movimento são variáveis, pois, as propriedades dos solos mudam tanto verticalmente como lateralmente (SELBY, 1990).

Algumas evidências em campo podem indicar a ocorrência de rastejo, incluindo a curvatura do afloramento, curvatura de uma árvore, inclinação de estruturas, acumulações de solo, estruturas ascendentes, fissuras no solo (SELBY, 1990).

Esses movimentos gravitacionais, de acordo com Fernandes e Amaral (2017), se caracterizam como uma transição tênue para os escorregamentos. São movimentos lentos, contínuos (não limitáveis no tempo) e de menor importância econômica. Envolvem uma complexidade nos diversos processos de transportes (movimentos individuais de partículas na superfície do terreno, movimentos descendentes das camadas mais superficiais do solo e da rocha, entre outros (FERNANDES e AMARAL, 2017).

- **Quedas (*falls*):** geralmente envolvem pequenas quantidades de material, porque as encostas íngremes em materiais fracos são necessariamente muito curtas. São geralmente resultado do solapamento da parede de uma encosta por um rio ou pela ação das ondas. Também são facilitadas pelo intemperismo e pela abertura de fissuras como resultado de umedecimento e secagem (SELBY, 1990).

Fernandes e Amaral (2017), denominam como quedas de blocos, favorecidas pela presença de descontinuidade na rocha, como fraturas e bandamentos composicionais, bem como pelo avanço do intemperismo físico e biológico.

- **Escorregamentos (*slides*):** caracterizam-se como movimentos rápidos do material constituinte das encostas, de duração relativamente curta, com plano de ruptura bem definido (SELBY, 1990). Stevaux e Latrubesse (2017) destacam que o escorregamento ocorre com os materiais em estágio de semidesagregação, em que água atua como lubrificante. Os autores acrescentam que para que haja a ocorrência do escorregamento, é necessário que exista, no interior ou na base do material uma superfície impermeável na qual possa haver acúmulo de água para lubrificação e fazer com que o bloco se desloque por gravidade.

Quanto à forma do plano de ruptura, os escorregamentos subdividem-se em: translacionais e rotacionais (SELBY, 1990), tal como descritas pelo autor a seguir:

- Escorregamentos translacionais – são a forma mais comum de deslizamento de terra nos solos. São mais rasos e possuem superfície de ruptura plana, essencialmente retos. Podem ter alguma curvatura e ocorrer o movimento rotacional. Conforme o grau de deformação do material do solo e o teor de água da massa deslizante, há distinção entre escorregamentos de detritos, avalanches de detritos e fluxos de detritos. Com o aumento do declive pela deformação do material e o teor de água da massa deslizante,

o deslizamento de terras pode se tornar uma avalanche de pequenos blocos e detritos com um fluxo completamente liquefeito, quando a base da massa do fluxo desce para o rio. Os escorregamentos translacionais ocorrem quase sempre durante chuvas intensas, como resultado da percolação profunda da água. A intensidade e duração podem elevar o lençol freático próximo a superfície do solo ou preencher rachaduras de tensão pré-existentes.

Podem estar associados a fatores naturais como a erosão basal provocada pelo rio ou a fatores artificiais como cortes de estradas. Segundo Fernandes e Amaral (2017), no geral, são compridos e rasos, na grande maioria das vezes com profundidades do plano de ruptura entre 0,5 m e 5,0 m e ocorrem geralmente durante períodos de intensa precipitação.

- Escorregamentos rotacionais – Geralmente são mais profundos e com planos de rupturas curvos. Ocorrem sob condições inteiramente naturais, com o solapamento da encosta, enfraquecida pela ação do rio ou das ondas (SELBY, 1990).

De acordo com Fernandes e Amaral (2017), entre as condições mais favoráveis à geração desses movimentos destaca-se a presença de solos espessos e homogêneos, sendo comuns em encostas compostas por material de rochas argilosas como argilitos e folhelhos. São muitas vezes induzidos pelos cortes nas encostas, sejam artificiais (implantação de estradas) ou naturais (erosão fluvial).

- **Fluxos (*flows*):** ocorrem quando detritos grosseiros, rochas de grãos finos ou argila são liquefeitos. Nesse tipo de movimento de massa, as elevadas chuvas e a saturação do solo tornam o material movimentado como um fluido viscoso. Os termos "fluxo de detritos", "fluxo de terra" e "fluxo de lama" são usados para distinguir essas três classes de material. Vários fatores podem contribuir para o desenvolvimento de fluxos, como: a remodelagem de solos durante escorregamentos; a presença de argilas com altos limites de líquido em áreas onde as chuvas são altas; a presença de solos com baixos limites de líquido em áreas de baixa pluviosidade - em tais solos é necessária pouca água para fazer o solo se comportar como um líquido; a presença de solos com tecidos abertos resultantes da floculação durante a deposição; ou o derretimento do gelo do solo (SELBY, 1990).

Lima (1998), classificou os movimentos de massa mais expressivos nos barrancos do rio Acre, em Rio Branco, os quais são conhecidos como desbarrancamento, desabamento ou desmoronamento, concluindo que a dinâmica fluvial através do solapamento basal é o principal mecanismo responsável não só pelo desencadeamento

dos processos, mas também pela evolução do relevo regional através do recuo lateral de suas margens.

A literatura aponta discussões a respeito da instabilidade dos barrancos na região amazônica e nesta perspectiva muitos autores consideram as “terras-caídas” como movimentos de massa, sendo a erosão basal o principal fator desencadeador das feições geomorfológicas.

Magalhães (2011), estudou o processo de terras caídas na Comunidade do Divino Espírito Santo em Iranduba e concluiu que terra caída é um processo natural que corresponde a distintos movimentos de massa. A autora identificou na sua área de estudo os seguintes tipos de movimento de massa: escorregamento rotacional e queda em bloco, que agem em diferentes períodos do regime do rio (cheia e vazante).

Rodrigues (2014), discorre sobre os processos de terras caídas no alto curso do rio Solimões e os fatores desencadeadores que repercutem na morfodinâmica fluvial. Segundo o autor há uma variabilidade de processos relacionados à erosão fluvial e à movimentação de massa que podem ser inclusos na expressão “Terras Caídas”. Sendo assim, o autor considera que os processos constituintes das Terras Caídas relacionam diretamente os movimentos de massas e têm origem diversas, relacionados principalmente à dinâmica fluvial, mas também a fatores climáticos, neotectônicos e antrópicos. Os processos que compõem as Terras Caídas relacionam-se intimamente com a morfodinâmica regional e, atuam de forma incisiva e constante nas estruturas das paisagens fluviais no Alto Solimões (RODRIGUES, 2014).

Nascimento e Simões (2017, p. 233) reconhecem que “as ‘terras-caídas’ são formas de instabilidade decorrentes de processos geodinâmicos externos que podem associar-se em uma mesma unidade de paisagem diferentes tipos de movimentos de massa gravitacionais”.

De acordo com Bandeira *et al.* (2018), o fenômeno das terras caídas é distinto nos rios da Amazônia e diferentes de processos erosivos de outros rios brasileiros, porque está associado não apenas à erosão lateral, mas também com os movimentos de massa de moderada e grande extensão, que causam desmoronamento de terras, solapamento, escavamento e grandes deslizamentos. Ainda segundo os autores, a destruição causada pelas terras caídas pode ocorrer quando o rio está completamente cheio e/ou quando o nível da água está subindo ou descendo.

Tendo em vista os argumentos expostos sobre a ação conjugada dos processos de erosão fluvial e movimentos de massa para a ocorrência do fenômeno terras-caídas,

cabe explicitar algumas questões conceituais. Primeiramente lembrar que a erosão consiste na desagregação e transporte de partículas, enquanto os movimentos de massa, são os deslocamentos de blocos de rochas ou de solo através do seu principal agente, a gravidade. Isto consiste em dizer que, no caso dos rios, a erosão consiste em desgastar o material basal, mas não realiza deslocamento da massa que está na parte superior, sendo acionado pela gravidade e a pressão hidrostática da água presente no solo.

Os processos que envolvem o desencadeamento das terras caídas são variados e o entendimento sobre o papel da erosão fluvial e dos movimentos de massa é de suma importância nesta pesquisa, uma vez que estes processos geodinâmicos se constituem em uma forma de desgaste das margens dos rios e são responsáveis pela remodelagem da paisagem geomorfológica. Para isto, é importante estabelecer relações e compreender se estes atuam como processos independentes ou mesmo de uma combinação entre ambos, levando-se em conta que a ocupação e a transformação causada pelo homem também potencializa o desgaste das margens, deixando-as mais frágeis e sensíveis à ação natural.

### **3.5 Processos antrópicos**

As mudanças nos canais fluviais e nas planícies de inundação são operadas em diferentes escalas espaciais e temporais, impondo novas feições geomorfológicas herdadas da dinâmica natural e antrópica nesses ambientes. Muitas vezes, as atividades humanas abreviam o tempo e intensificam os processos naturais. Rodrigues (2014, p. 05) sobressai: “[...] o homem também atua na conformação das paisagens locais, ainda que sua condição como agente modificador não se iguale a dinâmica dos processos naturais, próprios de uma região tão grandiosa quanto a amazônica”.

Por isso, não menos importante é a atenção que se deve atribuir ao aspecto antrópico nas mudanças dos canais fluviais. Conforme expressa Cunha (2015, p.237): “nos últimos três séculos, as atividades humanas têm aumentado sua influência sobre bacias de drenagem e, por conseguinte, sobre os canais constituintes”.

A modificação ou metamorfose fluvial é um processo quase que constante em todos os rios do planeta, podendo ser induzido tanto por causas naturais, como mudanças climáticas, tectonismo e alterações autóctones do sistema, quanto por causas induzidas pelo homem, como a impermeabilização de bacia hidrográfica urbana, construção de barragem e transposição de fluxo (STEVANUX e LATRUBESSE, 2017).



Desse modo, as mais profundas alterações em canais fluviais pelas atividades humanas acontecem principalmente quando se inicia a ocupação, intensificadas pelas obras de engenharia e também pelo transporte fluvial (RODRIGUES, 2014). O autor também advoga que os indícios e evidências de alterações nas condições naturais desses ambientes demonstram as ameaças e os riscos que muitas vezes estão sujeitos, tornando-se preocupantes apenas quando há ocorrência de eventos destrutivos. No entanto, o homem não é apenas um elemento atuante, pois ao mesmo tempo sofre as consequências das reestruturações das paisagens nas quais ele se encontra. Um exemplo disso é quando há ocorrência das Terras Caídas em áreas habitadas, quando o homem é atingido por seus efeitos (RODRIGUES, 2014).

As obras em canais fluviais referem-se principalmente a programas de canalização dos rios. O termo canalização é usado para abranger todos os procedimentos de engenharia dos canais fluviais, com a finalidade de controlar as cheias, melhorar a drenagem, manter as condições de navegabilidade e reduzir a erosão das margens (KELLER, 1976; BROOKS, 1985 *apud* CRISTOFOLETTI, 2015).

Cunha (2015, p. 243) chama atenção ao fato de que "a passagem da draga, aprofundando o canal, provoca o abaixamento do nível de base, favorecendo a retomada erosiva nos afluentes". Essa mudança induzida no canal afeta em maior ou menor intensidade na dinâmica fluvial, visto que tais intervenções abruptas causam mudanças no nível de base e conseqüentemente para os processos nas vertentes (CUNHA, 2015). Dessa forma, as mudanças acarretam muitas consequências, onde:

a alteração da direção do nível de base determina a natureza erosiva ou de agradiação que se instalará no rio, no entanto, a magnitude da mudança parece ser muito mais importante. Em face de de um pequeno rebaixamento do nível de base, o canal pode ajustar-se apenas aumentando a rugosidade do leito ou mudando sua morfologia. Já uma subida de grande magnitude é compensada por uma provável incisão, e a depender da grandeza da subida, pelo completo rejuvenescimento da rede de drenagem. A taxa de mudança (velocidade), por sua vez, controla o tipo de adaptação do canal. Reduções rápidas do nível de base promovem a incisão vertical do canal, ao passo que mudanças mais lentas induzem a migração lateral do canal (YOXALL, 1969; WOOD; ETHERIDGE e SCHUM, 1992 *apud* STEVAUX E LATRUBESSE, 2017: p. 235).

Além de outras atividades que acentuam ou reproduzem os processos naturais, o transporte fluvial, principalmente de cargas pesadas e de lanchas rápidas contribuem para causar a erosão nas margens dos canais. No Furo do Paracuíba, inúmeras embarcações trafegam diariamente, seja para escoamento da produção agrícola, para o

turismo ecológico ou pelo encurtamento de distâncias. Carvalho (2012), analisando a ação das embarcações para a erosão das margens do Rio Amazonas, observou que os barcos regionais e os navios tem contribuído com o aumento do solapamento das margens. Segundo o autor, a revolução que vem acontecendo com o transporte fluvial de passageiros e de carga têm seu preço. Se por um lado esses barcos velozes estão encurtando distância e tempo, estão também provocando problemas sociais e ambientais, pois o volume de água deslocado por um barco entre 50 e 60 km/h é grande, levantando muitas ondas e contribuindo com a erosão lateral através do solapamento das margens. Além disso, o novo modelo de transporte está oferecendo riscos de vida e prejuízos aos moradores ribeirinhos e para pequenos barcos e canoas que se encontram próximo às margens (CARVALHO, 2006).

Labadessa (2014) também enfatiza que o constante deslocamento das embarcações de vários tamanhos e potências potencializam os efeitos erosivos, que quando atracam e saem dos portos, promovem a incidência constante de banzeiros, associando-se a isto como fator agravante a ação natural dos ventos e à redução ou supressão da cobertura vegetal.

Atividades humanas que implicam na retirada da vegetação, como o desenvolvimento de práticas agrícolas indevidas, também podem influenciar direta ou indiretamente nos processos fluviais e provocar um estado de desequilíbrio nos rios, o que requer interpretações cuidadosas para não criar possíveis generalizações.

### **3.6 Dinâmica fluvial nas proximidades da confluência dos rios Negro e Solimões.**

A literatura regional apresenta alguns trabalhos dos últimos anos, enfatizando a dinâmica fluvial do ponto de vista geomorfológico da região da confluência entre os rios Solimões e Negro, que abarca a área de estudo. Sendo assim, são trabalhos fundamentais para o entendimento dos processos que regem a dinâmica do sistema amazônico, possibilitando o desenvolvimento de estudos mais específicos nas subunidades.

Franzinelli (2011), investigou a morfologia do leito do Rio Amazonas, na confluência entre os rios Solimões e Negro e a evolução das formas do leito. Correlacionou os perfis batimétricos obtidos das Cartas Náuticas da Marinha do Brasil dos anos de 1978, 1988 e 1998 e observou que o ângulo do encontro dos rios é definido pela neotectônica. A autora constatou que a barra da confluência, Ilha da Xiborena, a leste da área de estudo, é constituída por bancos alongados e seu conjunto se apresenta

com aspecto de leque, com o ápice na margem do Rio Negro e abertura na margem do rio Solimões. Seu trabalho, também mostra que a Ponta do Catalão, extremidade da barra de confluência entre os rios Negro e Solimões teve aumento da superfície e variações na forma, com deslocamento para sudeste, permitindo verificar mudanças ocorridas no leito do Rio Amazonas por erosão e deposição. A autora destaca uma considerável modificação na localização e profundidade do suco de erosão de lavagem (scour- profunda escavação central), atingindo a profundidade máxima a 1,5 a 2 vezes a profundidade média dos tributários na área de encontro. Franzinelli (2011) também mostrou a irregularidade do leito do Rio Amazonas em seu trecho inicial, a deposição de sedimentos na margem direita e a formação de barras longitudinais no centro do canal, a 15 km da confluência.

Pacheco *et al.* (2012), estudaram a Geomorfologia Fluvial do Rio Solimões/Amazonas, no sudoeste do Careiro da Várzea, compreendendo o período de 1948 a 2011 e a relação com o modo de vida do povo do Distrito do Curari. Constataram que na década de 1940-50 este rio modelava a área do Curari com leques de restingas/depósitos laterais e nas décadas de 1970-90 houve intenso processo de erosão fluvial e no final de 1990-2011 desenvolve-se o processo deposicional. Os autores concluíram que o rio para manter seu equilíbrio trabalha sua tríade – erosão, transporte e deposição. Entretanto, essa dinâmica fluvial causa desconforto para a população que precisa desenvolver estratégias para adequação do seu modo de vida com o ambiente.

Nascimento (2016) através de seus estudos, buscou explicar as complexas relações dinâmicas que ocorrem na região da confluência entre os Rios Solimões e Negro, caracterizando a hidro geomorfologia de ambos os rios. Ele identificou as características da morfologia do leito e das zonas de fluxo na área de estudo.

Araújo (2018) analisou as mudanças ocorridas no trecho do Rio Amazonas, entre a ilha do Careiro e a Costa do Varre Vento, no período de 1998 a 2017. Uma parte de sua área de estudo, o trecho da Costa do Jatuarana, está localizada a jusante da confluência dos Rios Negro e Solimões/Amazonas. Através dos perfis batimétricos, do sensoriamento remoto e da visão sistêmica dos componentes da natureza, a autora buscou compreender a dinâmica fluvial no trecho em questão e os resultados desse processo. O perfil transversal no trecho nas proximidades da Costa da Jatuarana indicou a presença de um extenso depósito de canal na margem esquerda e no interior do canal. Conforme Araújo (2018), possivelmente esse depósito tenha sido originado a partir do Farolete Moronas, que é um indicativo de afloramento rochoso, estendendo-se até o

final da Ilha da Terra Nova. Constatou a formação de outro depósito na Ilha da Eva, que devido sua evolução forçou o talvegue a se deslocar para a margem direita e que devido esta dinâmica neste trecho do Rio Amazonas, pode vir a apresentar empecilhos a navegação, principalmente aos navios de grande calado.

O processo deposicional vem atuando intensamente no interior do canal, alterando inclusive sua geometria. Apesar do resultado da análise multitemporal ter apontado a predominância de erosão em relação a deposição, este último processo é intenso neste trecho estudado (ARAÚJO, 2018).

Santos (2018) realizou estudos na área de confluência entre os rios Negro, Solimões e Amazonas. A autora constatou as mudanças na morfometria, em particular na inflexão do ângulo de confluência nesta área de estudo. Destacou a contradição que envolve perdas de terras na Costa do Rebojão pelos processos erosivos, cuja a expressão maior são as terras caídas, destacando maiores níveis de pressão e velocidade e, também o ganho de terras na Costa da Terra Nova e Ilha do Xiborena pela deposição que a própria dinâmica possibilita.

Bertani (2015) estudou uma área no baixo rio Solimões contendo uma grande concentração de rias fluviais, o qual objetivou reconstituir a dinâmica fluvial no tempo e no espaço e analisou os fatores que levaram ao estabelecimento dessas feições nessa área. Para isto, utilizou produtos e técnicas de sensoriamento remoto aplicados à caracterização geomorfológica e morfoestrutural da área. Concluiu que movimentações tectônicas durante o Quaternário são determinantes na distribuição das rias fluviais na área de estudo, sugerindo que deformações tectônicas podem ter tido papel fundamental no estabelecimento destas feições que tipificam grande parte dos sistemas de drenagem amazônicos.

O aumento do número de publicações abordando temas relacionados a dinâmica fluvial têm contribuído para a caracterização geomorfológica da região amazônica. Contudo os estudos sistemáticos e detalhados dos cursos d'água de menores escalas que compõem a rede drenagem amazônica, os furos, os paranás, os igarapés e os lagos e suas unidades geomorfológicas ainda são poucos investigados com a finalidade de produzir dados e gerar informações, pautando-se em sua maioria em informações secundárias. Por isso necessitam ser ampliados, considerando-se que a dinâmica fluvial desses ambientes permite detalhar de forma mais completa os estágios de evolução do pujante sistema.

#### 4 METODOLOGIA

O instrumento teórico metodológico adotado nesta pesquisa consiste na abordagem sistêmica, a qual está ligada à discussão do estudo integrado da paisagem.

A pesquisa percorreu três etapas importantes: o **trabalho de gabinete**, os **trabalhos de campo** e os de **laboratório**.

A primeira etapa teve início com as pesquisas bibliográficas e documentais, seguida da sistematização e análise dos dados de fontes primárias e secundárias. Para compreender melhor os processos que se desenvolvem no Furo do Paracúba, foi imprescindível o levantamento e revisão bibliográfica de bases teóricas e conceituais da literatura nas áreas da Geomorfologia, Geomorfologia Fluvial, Hidrologia e demais trabalhos articulados e desenvolvidos referentes à temática central da pesquisa. Para isto, foram fundamentais o apoio de materiais publicados em livros, artigos, dissertações e teses condizentes com o problema em estudo. Neste contexto, dialogou-se com as referências teóricas de: Christofolletti (1980,1981); Selby (1990); Suguio e Bigarella (1990); Cunha (1996, 2015); Lima (1998); Sternberg, (1998); Santos *et al.* (2001); Teixeira et al., (2007); Carvalho (2006, 2012); Vieira (2008); Novo (2008), Filizola e Guyot (2011); Franzinelli (2011); Magalhães (2011); Franzinelli e Igreja (2012); Coelho Netto (2015), Montanher (2016); Fernandes e Amaral (2017); Stevaux e Latrubesse (2017); Araújo (2018), entre outros.

Após a realização do levantamento bibliográfico, foram adquiridas imagens de satélites da série Landsat e Oli 8 para a elaboração do material cartográfico. A análise dos dados primários de vazão, velocidade média da corrente, profundidade, sólidos totais suspensos, piezometria e infiltração e das feições geomorfológicas do canal são correlacionadas as cotas diárias e/ou mensais do rio Solimões e do rio Negro para o período estudado.

As atividades de trabalhos de campo para a coleta de dados, informações e entrevistas foram programadas em períodos alternados e de acordo com o regime hidrológico dos rios, considerando-se principalmente o regime de cotas do rio Solimões, que conforme dito anteriormente, é o principal rio que drena o canal em estudo, portanto, exerce influência maior na dinâmica fluvial do canal. Basicamente, estas atividades compreenderam a coleta de amostras de solos e de água, testes de infiltração e penetração dos solos, a aquisição de imagens da área com o uso do VANT (Veículo Aéreo não Tripulado), os levantamentos batimétricos, os ensaios de velocidade média

da corrente, a instalação e o monitoramento dos piezômetros e aplicação de questionários e entrevistas semiestruturadas.

O tratamento e análises do material coletado em campo, a compilação dos dados, a geração de gráficos, tabelas e mapas constituíram a etapa desenvolvida no Laboratório de Análises e Tratamento de Sedimentos e Solos - LATOSSOLO, do Departamento de Geografia da UFAM.

Para melhor concepção e direcionamento dos estudos, a metodologia empregada está organizada com bases nos objetivos da pesquisa, com procedimentos e técnicas específicos a cada um conforme se observa a seguir.

#### **4.1 Caracterização da morfometria do canal e suas possíveis alterações no período de 2006 a 2018.**

Tomando como base a análise morfométrica para as bacias de drenagem, um estudo iniciado por Horton (1945), buscou-se caracterizar neste trabalho apenas as variáveis morfométricas possíveis de serem adaptadas aos canais fluviais, estabelecendo relações com sua evolução multitemporal a partir do uso e cobertura da terra, uma vez que influenciam na dinâmica fluvial. Sendo assim, os aspectos morfométricos podem servir para as interpretações hidrodinâmicas e geomorfológicas, possibilitando interpretações sobre a gênese e a dinâmica atual (morfofodinâmica) do sistema bacia hidrográfica (RODRIGUES e ADAMI, 2005).

A análise multitemporal, de acordo com Roza *et al.* (2005) é uma boa ferramenta para identificar as mudanças dos sistemas fluviais, e os dados adquiridos devem ser nas mesmas condições, na mesma época em relação ao período do ano e que possuam mínimas variações entre as cotas do corpo d'água.

Para tal propósito metodológico, primeiramente foi necessário levantar uma série histórica de imagens de satélites da série *Landsat 5* sensor TM (*Thematic Mapper*) e *Landsat 8* sensor OLI, compreendendo um intervalo de 13 anos (2006-2018). Vale destacar, que se optou por imagens com menor cobertura de nuvens para melhor interpretação da área em estudo.

O sistema de coordenadas geográfica aplicado no conjunto de dados foi o *Universal Transverse Mercator* (UTM), Zona 20S, Datum SIRGAS 2000. As imagens selecionadas estão na órbita 231, Ponto 62 e foram adquiridas de forma gratuita na

plataforma do site do Departamento dos Estados Unidos (*USGS- United States Geological Survey*), conforme a descrição no **Tabela 1**.

**Tabela 1** - Dados das imagens de satélite selecionadas para estudo

<b>Imagem</b>	<b>Orbita /Ponto</b>	<b>Data</b>
Landsat TM 5	231/62	02/09/2006
Landsat TM 5	231/62	30/06/2008
Landsat TM 5	231/62	27/10/2010
Landsat OLI 8	231/62	27/07/2016
Landsat OLI 8	231/62	19/09/2018

**Fonte:** USGS. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

Em termos da análise morfométrica que inclui um estudo analítico e a mensuração de algumas variáveis para comparação entre os anos estudados, estas foram calculadas através da ferramenta “calculadora de campo” no software *Qgis* 3.10.3. Os parâmetros geométricos estudados consistem na medida de área, largura média, comprimento e índice de sinuosidade do canal.

- Parâmetros geométricos

- a) **Área (A)**

Consistiu na mensuração de toda a área abrangente do canal (A), projetada em plano horizontal, calculando-se a largura x comprimento, representada em ha.

- b) **Largura média (l)**

Consistiu na medição da largura da superfície da camada de água que recobre o canal em três seções transversais: entrada, meio e saída a partir das imagens de satélites dos diferentes anos. Os valores obtidos permitiram calcular a largura média do canal para cada ano em análise.

- c) **Comprimento do canal (L)**

É a distância da foz até a nascente mais distante da mesma. Considerou-se a extensão do canal medida da sua extremidade de entrada (Rio Solimões) até sua extremidade na saída (Rio Negro).

- d) **Índice de Sinuosidade (Is)**

Estimou-se o comprimento verdadeiro do canal com a distância vetorial (em linha reta) entre dois pontos extremos deste. Onde aplicou-se a seguinte equação:

$$I_s = L/D_v$$

onde:

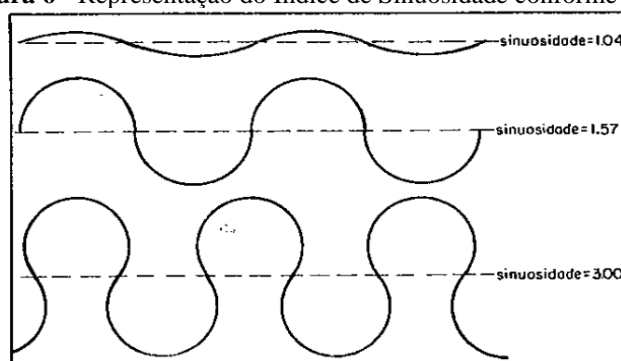
$I_s$  = Índice de sinuosidade

$L$  = Comprimento verdadeiro

$D_v$  = Distância vetorial

Segundo Dury (1969) *apud* Christofoletti (1980), considera-se um canal meândrico quando o índice é igual ou superior a 1,5 (**Figura 6**).

**Figura 6** - Representação do Índice de Sinuosidade conforme Dury (1969)



Fonte: Christofoletti (1980).

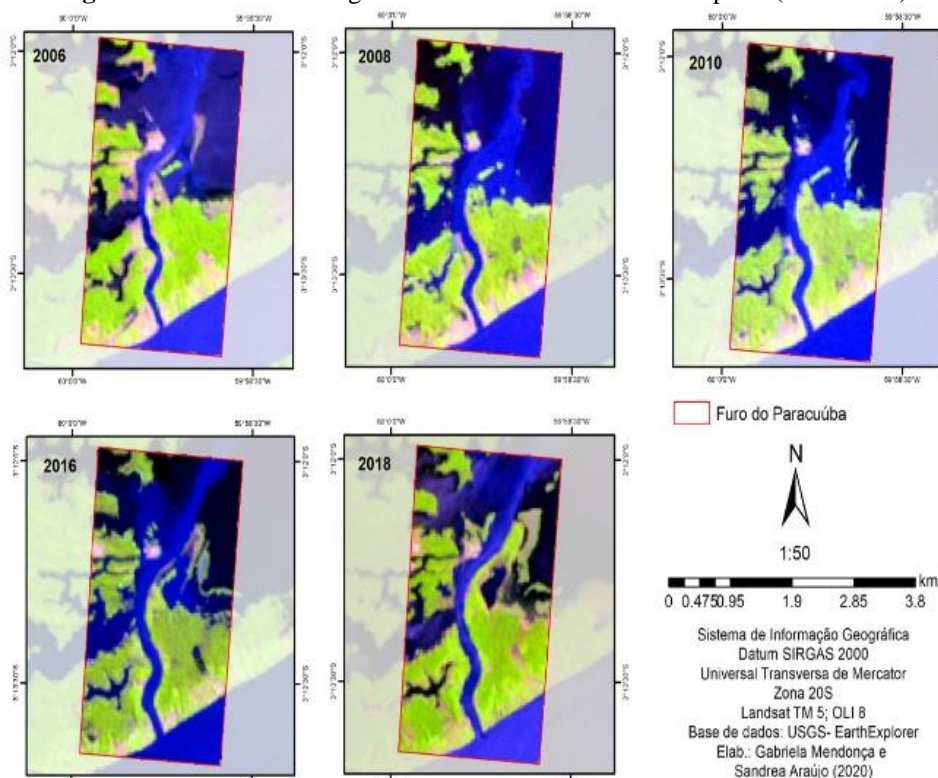
A partir dos valores de  $I_s$  é possível atribuir uma classificação do padrão de canal do furo do Paracuúba, como retilíneo, meandrante, anastomosado.

Em relação a análise multitemporal quanto ao uso e cobertura da terra, realizou-se a interpretação visual e individual das imagens e posteriormente a classificação supervisionada no Sistema de Informação Geográfica (SIG). A classificação é um tratamento de pixel por pixel de forma supervisionada das imagens de satélites.

Realizada a classificação, gerou-se os mapas de comparação de Uso e Cobertura da terra para verificar as transformações das margens fluviais do canal em estudo. A identificação das classes foi embasada no Sistema de Classificação da Cobertura e do Uso da Terra proposto pelo Manual Técnico do Uso da Terra (IBGE, 2006) a partir da indicação de 3 (três) classes: hidrografia; solo exposto e vegetação. A primeira refere-se às áreas que representam os corpos d'água, a segunda as áreas antropizadas e a terceira representa as áreas de vegetação. Na **Figura 7** é apresentado o mosaico de imagens conforme os limites da área de estudo, tratadas no software *Arcgis* e utilizadas para a morfometria do canal e mapeamento de uso e cobertura da terra.



**Figura 7 -** Mosaico de imagens de satélites da série multitemporal (2006-2018).



**Fonte:** USGS- Earth Explorer, 2020. **Org.:** Gabriela Mendonça e Sandréia A. Cascaes, 2020.

A análise das variáveis morfométricas do canal foram correlacionadas à sua evolução espacial através do Mapa de Uso e cobertura da terra, visando comparar as principais mudanças no furo nos últimos 13 anos e as áreas que mais sofreram alterações. Para dar suporte a esta metodologia, utilizou-se os valores de cota média dos rios Solimões e Negro no período abrangente. Os dados hidrológicos relacionados ao rio Solimões foram obtidos no site da ANA-Agência Nacional das Águas, mais especificamente da Estação Fluviométrica de Manacapuru (Código da Estação:14100000) e os dados de cota do Rio Negro buscou-se as informações no site do Porto de Manaus ([www.portodemanau.com.br](http://www.portodemanau.com.br)).

Para gerar o mapa que indica a mudança de contorno do canal, sobrepôs-se o mapa elaborado de erosão e deposição (2006-2018) com o contorno do canal das plantas batimétricas disponibilizadas pela AHIMOC (2001). A instituição governamental realizou neste ano o serviço de levantamento topo-batimétrico determinando o contorno da margem e este trabalho foi realizado para subsidiar estudos de implantação de balizamento e serviços de dragagem no canal. O projeto não teve continuidade de acordo com informações da administração da instituição na cidade de Manaus.

Cabe mencionar que a análise morfométrica nesta pesquisa não se constitui num fim, mas num meio complementar de explicar as interações que ocorrem entre vários elementos da paisagem geográfica neste subsistema. Por meio da análise multitemporal é possível que se compreenda mais claramente a evolução do canal, correlacionando sua dinâmica fluvial a outros fatores que contribuem para as mudanças, especialmente os hidrodinâmicos, os geodinâmicos e os antrópicos. Porém, também se faz necessário julgar que esses fatores não devem ser tomados isoladamente, sendo importante abordar o conjunto de processos que envolvem a busca de equilíbrio do canal em sua dinâmica espaço-temporal.

#### **4.2 Descrição dos processos hidrodinâmicos e antrópicos que interferem no desgaste das margens do canal.**

A descrição dos aspectos hidrodinâmicos/hidrológicos compreende basicamente os dados gerados por observações em campo que envolvem principalmente os processos relacionados ao escoamento fluvial. Os dados diários de velocidade do fluxo da corrente, vazão líquida e das variáveis geométricas (largura, profundidade e área) foram estimados nas seções transversais e tomados como representativos para cada um dos três diferentes períodos do ano hidrológico do canal (vazante e extremo da vazante (2018) e cheia (2019)).

Além desses dados, também buscou-se estabelecer relações com os fatores antrópicos atuantes no canal, que consiste em analisar a importância do canal como via fluvial e relacionar o fluxo de embarcações que utilizam o canal e suas implicações para o aceleração do desgaste das margens, bem como sua contribuição para o surgimento das cicatrizes erosivas e de movimentos de massa.

##### 4.2.1 Aspectos hidrodinâmicos

###### 4.2.1.1 Medição da largura das seções transversais

Trata-se da largura da superfície de água recobrindo o canal (CHRISTOFOLLETI, 1980). Esta variável medida nas seções transversais foi obtida através do software *Google Earth Pro*, por meio da ferramenta "régua", em metros. O resultado foi comparado ao resultado final obtido junto ao perfil transversal do canal.

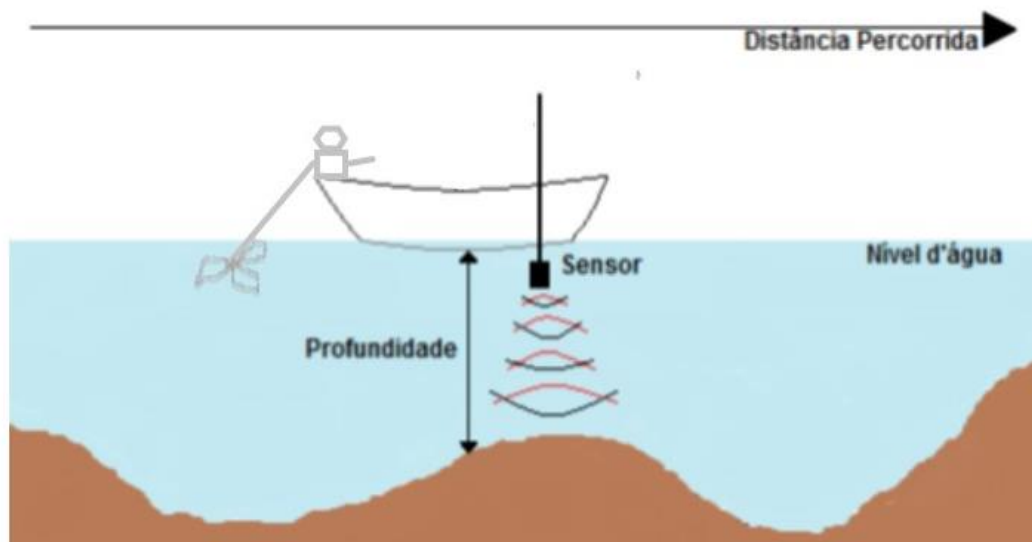
#### 4.2.1.2 Levantamento Batimétrico

Escolheu-se três seções transversais do canal: entrada e saída (extremidades) e a porção central, que correspondiam aos trechos com maior ocorrência de cicatrizes erosivas e de movimentos de massa, e trechos de deposição sedimentar (na porção final). Os nove perfis transversais do leito foram construídos a partir dos dados de profundidade captados pelo ecobatímetro digital da marca Raymarine, modelo L365 disponível no Laboratório de Geografia Física da UFAM.

A ecobatimetria é um método, de acordo com Santos *et al.* (2001) para medir a profundidade da água pela medida do intervalo de tempo necessário para que ondas sonoras emitidas pelo aparelho viagem a uma velocidade conhecida até o leito do rio, onde são refletidas e voltem até o equipamento. Segundo os autores, uma de suas vantagens é de poder ser utilizado em praticamente todas as situações de velocidade, permitindo o levantamento de corredeiras.

Nesta pesquisa realizou-se três atividades de campo para as medições batimétricas. A primeira coleta de dados ocorreu no período da vazante (13.08.2018), a segunda no período de menor nível fluviométrico (10.11.2018) e a terceira no período de cheia do canal (30.07.2019). Foram necessários o uso de uma embarcação com motor de popa, um ecobatímetro e um cronômetro.

Sendo assim, adaptou-se a metodologia aplicada por Araújo (2018), onde o ecobatímetro foi preso a uma embarcação através de uma peça de madeira na posição vertical para que o sensor ficasse submerso a uma profundidade de aproximadamente 40 cm da lâmina d'água (**Figura 8**). A embarcação era movimentada a uma velocidade entre 5 a 7 km/h durante o percurso de uma margem a outra do canal. A cada 5 segundos que se deslocava, anotava-se as profundidades correlatas exibidas no aparelho receptor.

**Figura 8** - Aquisição de dados batimétricos

Fonte: Adaptado de ARAÚJO, A.G.S., 2018.

Com esses dados, foi possível elaborar no *Software Office Excel* os perfis transversais das seções escolhidas e nomeá-los (**Quadro 2**). Os perfis transversais foram analisados a cada período, depois comparados os diferentes perfis em um mesmo período e posteriormente, os gráficos (a cada 3), foram sobrepostos e integrados no *Excel* para comparação das mesmas seções, mas em períodos diferentes.

**Quadro 2** - Identificação dos perfis transversais

<b>Períodos hidrológicos / seções</b>	<b>entrada</b>	<b>meio</b>	<b>saída</b>
início da vazante	1a	2a	3a
extremo da vazante	1b	2b	3b
cheia	1c	2c	3c

Org.: Sandreia A. Cascaes, 2019.

Buscando dessa maneira conhecer a morfologia do leito do canal, os perfis batimétricos foram correlacionados aos valores de cota diária dos rios Solimões e Negro para a data do teste.

#### 4.2.1.3 Velocidade do fluxo da corrente

Para medir a velocidade do fluxo, foi adotado o método do flutuador, conforme a indicação de Cunha (1996, p.160). A autora explica que “a velocidade da corrente é medida em metros por segundo (m/s) por tratar-se de uma relação entre distância percorrida (espaço) e o tempo de percurso ( $V= D/T$ )”.

Para a realização deste procedimento, os mesmos foram executados nas mesmas datas dos levantamentos batimétricos e foram escolhidos trechos retilíneos, com pouca turbulência, sem redemoinho e obstáculos, conforme sugerem Stevaux e Latrubesse (2017). De acordo com os autores, é importante usar como flutuadores objetos que não tenham volume emerso muito grande, uma vez que podem sofrer ação do vento, falseando assim a velocidade medida.

Nos testes realizados durante três atividades de campo, foram feitas três medições em cada trecho do canal, resultando na velocidade média da corrente ou fluxo da água. A distância percorrida foi determinada em 30 m (**Figura 9**).

**Figura 9** - Teste de velocidade do fluxo da corrente com o uso de corante. Foto (A): Despejo do corante no canal; Foto (B): flutuador acompanhando a velocidade do fluxo da água em uma seção transversal.



**Fonte:** Trabalho de Campo 2018. **Org.:** Sandreia A. Cascaes, 2019.

Os dados de velocidade média da corrente para um dado trecho do rio foram utilizados no cálculo de vazão líquida ( $Q$ ), combinado com outras variáveis geométricas da seção: largura e profundidade média.

#### 4.2.1.4 Vazão líquida, descarga ou débito ( $Q$ )

A medida de vazão líquida foi efetuada por métodos que se baseiam na relação da velocidade do fluxo com a área do canal. Os procedimentos utilizados são indiretos e foram executados em diferentes períodos de regime do rio (vazante, menor nível fluvial e pico máximo da cheia), utilizando-se o flutuador combinado com o ecobatímetro.

Desta maneira, as medidas das variáveis geométricas: profundidade, largura e velocidade do fluxo da corrente, conforme os procedimentos descritos acima foram correlacionadas para assim se obter a vazão média líquida na seção transversal e no canal. Esses dados foram comparados aos dados hidrológicos de vazão do rio Solimões e Negro, estimados na literatura.

A vazão é o produto da área do canal pela velocidade do fluxo, expressa em  $m^3/s$ . O cálculo baseou-se na equação descrita por Stevaux e Latrubesse 2017:

$$Q = v A$$

onde:

$Q$  = vazão

$v$  = velocidade média

$A$  = área da seção

A área da seção canal corresponde ao produto de sua largura por sua profundidade média, expressa pela equação ( $A = w d$ ), onde:

$A$  = área da seção transversal

$w$  = largura

$d$  = profundidade média.

Os dados de vazão diária são representativos dos períodos hidrológicos e foram correlacionados aos dados Concentração de sólidos totais suspensos (C<sub>ss</sub>) para obter-se as estimativas de descarga sólida do canal, conforme descrito mais adiante na página 100.

#### 4.2.2 Aspectos antrópicos

A ação do homem entendida como um fator evidente no desgaste das margens e nas mudanças do canal foi estudada a partir da seguinte situação: o tráfego de embarcações que navegam pelo furo provoca ondulações, as quais causam o solapamento das margens. E maior será o impacto, quanto maior for a velocidade, a frequência e intensidade das embarcações pelo canal. Como parte deste objetivo, procurou-se estimar, verificar e entender a importância deste furo como via de navegação e o fluxo das embarcações neste.

Não havendo um levantamento por parte da Capitania dos Portos de Manaus sobre o tráfego das embarcações que navegam no canal em estudo, adotou-se nesta pesquisa o método amostral para estimar o quantitativo médio de embarcações trafegando pelo canal, sendo valores representativos para os dois períodos (vazante e enchente). A variação diária dos pontos de atracamento destas dificulta o levantamento geral, optando-se pela amostragem.

#### 4.2.2.1 Entrevista com donos de embarcações/comandantes e contagem do número de embarcações.

Na metodologia utilizada, além das observações diretas em campo e das entrevistas informais, foram aplicados 12 questionários com questões abertas e fechadas aos proprietários e/ou comandantes de embarcações (**Apêndice A**) que ficam frequentemente ancoradas no Porto da Manaus Moderna e cuja a modalidade utilizada é do tipo lanchas à jato e barcos de médio porte. Estes transportes fluviais estão regularizados junto à Capitania dos Portos para a navegação. Os entrevistados concordaram em conceder suas opiniões sobre o que lhes foi perguntado.

Realizou-se também a contagem do quantitativo de embarcações que trafegavam na via em um dia específico do período de vazante e outra contagem em um dia específico do período da enchente, num tempo estimado de três hora. Os valores obtidos serviram para calcular a média do intervalo de tempo entre uma embarcação e outra, estimar a frequência média do fluxo nos dois momentos do regime hidrológico e comparar a frequência destes transportes pelo canal nos dois momentos da contagem e assim entender as relações da intensidade das ondas nas margens do canal.

Todos esses dados obtidos pela contagem foram tabulados e organizados em tabelas e gráficos no *Microsoft Office Excel*.

### **4.3 Caracterização das propriedades físicas dos solos das margens e dos sedimentos transportados pelo canal.**

#### 4.3.1 Coleta dos solos das margens e frações granulométricas

A coletas das amostras de solo foram feitas em duas atividades de campo, a primeira no dia 23.10.2018 e a segunda no dia 28.10.2019, ambas em períodos de vazante. Em cada perfil foram abertas trincheiras no barranco vertical conforme a variação visual da composição em diferentes profundidades. Em seguida realizou-se as coletas totalizando 11 amostras, sendo 8 na margem esquerda e 3 na margem direita, visando identificar se haviam diferenças na composição dos solos. Os locais de onde os materiais das margens foram coletados estão representados na **Figura 10**:

**Figura 10** - Locais de coleta das amostras de solo



**Fonte:** Google Earth, 2020. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2020.

O 1º perfil localizado na coordenada Latitude S 03°13'46.8'' e Longitude W 059° 59'2.13'' possuía altura de 14,60 m com variação da coleta entre 0,50 e 13 m e o 2º perfil localizado na coordenada Latitude S 03°13'44.42" e Longitude W 59°59'16.45" com altura de 2,5 m (**Figura 11 e 12**),

**Figura 11** - Perfis das margens: margem esquerda (A) e margem direita (B) e de coleta de material para análise granulométrica nas margens do canal



**Fonte:** Trabalho de campo, 2018/19. **Foto** (A e B): A.F.S.G. Vieira, 2018 e 2019. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2020.



**Figura 12** - Coleta de material da margem no período máximo da vazante (23.10.2018)



**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018. **Foto:** Janara dos S. Tavares, 2018.

No trabalho em campo foi verificada a textura, com a separação de seus constituintes minerais, através da sensação tátil, friccionando as amostras entre os dedos e realizada a comparação visual das cores de solos de acordo com o método convencional da Carta de Munsell, um método muito utilizado na pedologia, porém considerado não preciso e subjetivo. O Sistema de Munsell leva em consideração a classificação das cores de acordo com a matiz (cor espectral dominante) o valor (tonalidade da cor) e o croma (intensidade da saturação). Em sequência, as amostras foram encaminhadas e posteriormente tratadas no LATOSSOLO, obedecendo os procedimentos descritos Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2017) para análise granulométrica.

A quantificação das frações granulométricas de argila e silte foi obtida através de ensaio de pipetagem e as frações grosseiras (areia total) realizou-se através do ensaio de peneiramento. A **Figura 13** mostra o processo de tratamento no laboratório das primeiras amostras de campo.

**Figura 13** - Amostras em processo de decantação. Método da EMPRAPA (2017).



**Foto:** Sandréia A. Cascaes, 2018.

Transcorrido esses procedimentos foram realizados os cálculos de identificação do percentual das frações granulométricas e as classes texturais, utilizando-se o Triângulo Americano do *U.S. DEPT. AGRICULTURE*. Segundo Magalhães (2011, p. 62), é importante considerar que “a identificação da classe textural do solo é de extrema importância, pois implica mudanças em suas propriedades físicas, ocasionando a susceptibilidade do solo a processos de erosão nas margens e movimentos de massa”.

#### 4.3.2 Densidade Real, Densidade Aparente e Porosidade Total

Para a determinação da Densidade de partículas ( $D_p$ ), Densidade do solo ( $D_s$ ) e Porosidade total ( $P_t$ ), utilizou-se os métodos correlativos da EMBRAPA (2017).

Para a  $D_p$  foi necessário obter o volume da massa da amostra e depois o volume de sólidos presentes. Utilizou-se um balão volumétrico de 50 ml e álcool etílico. Conforme a Embrapa (2017, p.77), “A determinação do volume da amostra é obtida por meio da medida da diferença entre o volume de um líquido necessário para preencher um recipiente calibrado vazio e o volume do líquido necessário para completar o volume do recipiente contendo a amostra seca”. Para o cálculo utilizou-se a seguinte equação:

$$D_p = m_a / (V_T - V_U)$$

Onde:

$D_p$  = densidade de partículas em  $g.cm^3$

$m_a$  – massa da amostra seca a  $105^\circ C$  em g.

$V_T$  = volume total aferido do balão, em ml.

$V_U$  = volume utilizado para completar o balão com a amostra, em ml.

Os métodos empregados para a determinação da  $D_s$  consistiram na determinação da massa e o volume da amostra do solo. Utilizou-se um balão volumétrico pesado e depois anotou-se os valores de amostra de terra seca ao ar (TFSA). Calcula-se Densidade do solo a partir da seguinte fórmula:

Densidade do solo ( $g/cm^3$ ) =  $a / b$ . Onde:

$a$  = peso da amostra seca a  $105^\circ C$

$b$  = volume da proveta

A porosidade total ( $P_t$ ) de cada amostra foi obtida calculando-se o volume de vazios no solo, utilizando-se da seguinte fórmula:

$$PT (\%) = [(D_p - D_s) / D_p] \times 100$$

Onde:  $D_p$  é a Densidade de partículas e  $D_s$  é a densidade do solo.

#### 4.3.3 Resistência do solo à penetração

Para analisar a resistência física dos solos a penetração (RP) é necessário considerar sua reação com a pressão do penetrômetro em suas camadas. Deste modo, foram realizados os testes de resistência do solo nos mesmos dias da coleta de material com o uso do equipamento convencional denominado penetrômetro de impacto estilo Stolf. O equipamento foi utilizado contando o número de batidas para cada cinco centímetros que a haste penetra no solo.

Realizou-se no primeiro campo os testes em dois pontos da margem esquerda, P1.1- (Latitude S  $03^\circ 13' 46.1''$ S e Longitude W  $059^\circ 59' 21.7''$ ) e P1.2- (Latitude S  $03^\circ 13' 46.2''$  e Longitude W  $059^\circ 59' 21.6''$ ), compreendendo três ensaios para cada ponto. No segundo campo, foi escolhido apenas um ponto da margem direita, o P2- (Latitude S  $03^\circ 13' 44.41''$  e Longitude W  $59^\circ 59' 16.39''$ ), desenvolvendo-se três ensaios para a verificação de resistência à penetração. Ambos os testes foram realizados sempre em 3 pontos, fazendo uma triangulação ao redor do ponto de infiltração e próximos aos perfis de coleta dos solos escolhidos, com exceção do P1.2. Os resultados de avaliação de

RP (resistência a penetração) são representados em gráficos, com valores em MPa (medida Pascal). Na análise, os valores de RP são correlacionados aos resultados de densidade do solo e a infiltração.

#### 4.3.4 Atributos hidráulicos dos solos

##### 4.3.4.1 Infiltração da água no solo

Com a finalidade de avaliar a relação da infiltração com os atributos físicos dos solos e o nível piezométrico foram realizados dois experimentos em períodos de vazante, perfazendo dois perfis das margens do canal, com expressivas ocorrências de cicatrizes erosivas e de movimentos de massa. O primeiro no mês de outubro de 2018, na margem esquerda e o segundo no mesmo mês do ano seguinte, na margem direita. No primeiro experimento, escolheu-se dois pontos para a realização dos testes, o P 1.1 e o P1.2, próximos de onde foram instalados os piezômetros a serem monitorados e no segundo realizou-se apenas um teste, representado pelo P.2, localizado na mesma direção do primeiro, na margem oposta.

Cabe ressaltar que os testes de infiltração foram realizados nos mesmos dias em que os solos foram coletados, entretanto, no P1.2 (distante a 45 m da margem esquerda) não houve coleta de material sedimentar. Por isto, as taxas médias de infiltração foram correlacionadas apenas a densidade do solo e a porosidade total do material coletado nos pontos P1.1 e no P2. Quanto aos níveis piezométricos, os dados de infiltração foram correlacionados aos níveis do P1.1 e do P1.2, que são os mesmos locais de instalação dos piezômetros.

Sendo assim, para estimar a velocidade de infiltração foi necessário o uso do cilindro de anel simples, o infiltrômetro de Hills como mostra a **Figura 14**, que foi introduzido no solo a 5 cm de profundidade e preenchido com água. Na sequência, iniciou-se a leitura na régua (mm) a cada 1 minuto. Os testes finalizavam quando o valor da leitura da água infiltrada se repetia pelo menos três vezes após ter completado as 20 leituras iniciais. Desta forma, Brandão *et al.* (2003) esclarece que a velocidade de infiltração é considerada constante.

**Figura 14** - Teste de infiltração na margem esquerda do canal



**Foto:** Sandréia A. Cascaes, 2018.

A partir destes testes foram elaborados gráficos contendo o comportamento da infiltração expresso em mm/1minuto. A análise dos dados utilizou os valores de taxa inicial e a taxa final, comparando-os. Para verificar se houve uma boa correlação entre a entrada de água no solo e o tempo decorrido, considerou-se neste trabalho, os gráficos com significância estatística de  $r^2 > 0,514$  proposto por Rogerson (2012) *apud* Limberger (2015).

#### 4.3.4.2 Nível piezométrico no pacote sedimentar

Visando compreender a vulnerabilidade dos solos aos processos de erosão e movimento de massa, o estudo buscou investigar o nível do lençol freático dentro do pacote sedimentar por meio do monitoramento semanal de dois piezômetros instalados em dois pontos na margem esquerda do canal, no núcleo da Comunidade de Santo Antônio do Paracuúba.

Magalhães (2011, p.71) explica que “o termo piezômetro é usado para indicar um dispositivo que é selado no interior do subsolo para responder à variação da pressão do subsolo através da altura de coluna d’água no tubo ao redor dele”.

É importante ressaltar que a pressão hidrostática exercida pela água dentro do pacote não é mensurada neste trabalho, porém seu mecanismo é muito utilizado nas

discussões associando-se a oscilação do nível freático e o nível de cota do rio Solimões, o rio que exerce maior influência no local de instalação dos piezômetros.

O acompanhamento do experimento teve início em outubro de 2018 e se estendeu até outubro de 2019, compreendendo um ano de monitoramento. Entretanto, nos meses de junho e julho de 2019, as leituras foram suspensas devido os instrumentos terem ficado submersos em razão da elevação do nível das águas na área de estudo.

Para este fim, foram instalados dois piezômetros do tipo Casagrande e adaptados a metodologia proposta por Freitas e Schietti (2015). Conforme as indicações das autoras, a confecção manual foi realizada antes da ida a campo, e para isto, utilizou-se tubos de PVC (policloreto de vinil) de 6 cm de diâmetro para cada instrumento. Na parte inferior destes (correspondente a 30 cm) foram feitos furos. Esta porção do tubo foi envolto em uma tela (tipo mosquiteiro) a qual serviu como filtro para impedir a entrada de sedimentos no tubo, mas permitir a entrada da água do lençol. A perfuração do solo até o nível freático foi executada com um trado holandês (**Figura 15**).

**Figura 15** - Etapas construtivas e instalação dos piezômetros



**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2019. Confecção dos furos no tubo pvc (A); Envolvimento da tela de proteção nos furos, presos por braçadeiras (B); Perfuração manual com trado holandês no solo para instalação do tubo (C); Ajustes do tamanho do tubo em campo (D); Piezômetros devidamente instalados a 15 m distante da margem (Pz1) e 45 m distante (Pz2) (E).

Os piezômetros foram identificados com numeração específica e instalados em profundidades e distancias diferenciadas da borda marginal, com a mesma altura acima da superfície. O **Quadro 3** especifica estas informações.

**Quadro 3** - Informações sobre a localização e características dos piezômetros instalados

Identificação e numeração	Profundidade do cano dentro do solo (m)	Distância da margem (m)	Altura acima do solo (m)
Pz1	4,20	15	1m
Pz2	3,10	45	1m

**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018. **Org.** Sandréia Cascaes, 2018.

Para a proteção da extremidade superior dos tubos utilizou-se uma tampa em pvc. A leitura do nível da água era realizada 1 vez a cada semana e para isso utilizava-se uma vara de madeira fina, a qual era introduzida no piezômetro até o nível do lençol, para se obter a altura do nível freático. Esses valores foram transferidos e sistematizados no *Software Office Excel* e a partir destes obteve-se uma média mensal para gerar os gráficos do Pz1 e do Pz2, o gráfico de sobreposição de ambos e os treze modelos esquemáticos representativos da oscilação do lençol freático produzidos no *Software Corel Draw*.

Os níveis freáticos foram correlacionados às cotas mensais do rio Solimões conforme o período de monitoramento (outubro de 2018 a outubro de 2019). A correlação com os dados do Solimões, deve-se a proximidade do local de instalação sofrer ação direta deste rio. Os dados secundários de cotas diárias e médias mensais foram obtidos no site da ANA por meio do banco de dados do sistema Hidroweb, através da Estação Fluviométrica de Manacapuru (Código 14100000). Ressalta-se que as falhas de cotas diárias que não estavam disponíveis nas planilhas das séries históricas foram preenchidas a partir da média resultante da soma do valor de cota do dia antecedente com o dia posterior. Os valores médios de cota mensais que também não constavam, foram obtidos com base na soma dos valores diários disponibilizados mês a mês, seguindo a metodologia da ANA, que divide os valores somados pela quantidade de dias de leituras. Na sequência, foram elaborados os gráficos que demonstram o comportamento da variável flúvio na área de estudo, sendo fundamentais na análise e comparação da oscilação da água no canal e no pacote sedimentar.

Os valores médios mensais de janeiro de 2010 a dezembro de 2019 também serviram para elaborar o gráfico de cota do rio Solimões juntamente com o gráfico de cota do rio Negro disponibilizado no site do Porto de Manaus. Estes, são apresentados no item 1.4 da Caracterização de Área.

Contudo, as médias mensais dos índices pluviométricos não foram possíveis de serem correlacionadas, devido ao INMET disponibilizar apenas dados dos últimos 365

dias da Estação Manacapuru e os dados encontrados no site da ANA foram encontradas mais falhas do que dados, por isso não foram utilizados.

#### 4.3.5 Caracterização das propriedades físicas dos sedimentos transportados pelo canal.

##### 4.3.5.1 Quantificação da Concentração de sólidos totais suspensos (C<sub>ss</sub>) e Descarga de sólidos totais em suspensão (Q<sub>ss</sub>).

Objetivou-se estimar a concentração e a descarga, ou seja, a quantidade de sólidos totais (suspensos e dissolvidos) que passam em uma seção transversal e no canal por unidades de tempo pela respectiva vazão líquida e entender as relações que o volume transportado desempenha nos processos de erosão e movimentos de massa.

Os procedimentos foram realizados nas mesmas datas dos levantamentos batimétricos e tiveram início com a coleta de amostras representativas de água nas seções transversais em três momentos: início da vazante, extremo da vazante e cheia no canal, totalizando 9 amostras coletadas. Para isto, os amostradores não devem tocar o leito do rio para não contaminar a amostra com sedimento de arraste, nem provocar a agitação do material decantado no fundo (Santos *et al.*, 2001). As amostras foram obtidas de forma a representar a média de Concentração de sólidos totais suspensos (C<sub>ss</sub> = mg L<sup>-1</sup>) medidas em toda as seções para cada período.

Na amostragem em profundidade, de acordo com Santos *et al.* (2001), o amostrador é deslocado ao longo da vertical de amostragem com uma velocidade a mais constante possível. Foi utilizada a garrafa "*Van Dorn*", um equipamento de pvc rígido, com duas extremidades lacradas por tampas de borracha fortes e flexíveis (**Figura 16**).

As amostras foram coletadas interrompendo o fluxo livre da água em seu interior através do fechamento das aberturas das extremidades quando se impulsionou os gatilhos presos nas tampas com o lançamento de um peso que permitiu a coleta em profundidade a 1m da lâmina de água. Após a captação de cerca de 1000 ml de água, os volumes foram armazenados em garrafas plásticas com identificação dos pontos da coleta e suas respectivas profundidades.



**Figura 16** - Garrafa *Van Dorn* usada para coleta de água no período da vazante



**Foto:** Sandreia A. Cascaes, 2018.

Uma vez coletadas, as amostras foram levadas ao laboratório LATOSSOLO, onde a quantificação da C<sub>ss</sub> foi feita pelo método da evaporação. Para isto, baseou-se no procedimento indicado por Santos *et al.* (2011: p. 241), em que os autores explicam que “isto é feito evaporando-se toda a água da amostra e pesando o resíduo sólido. A razão entre a massa desse resíduo e a massa da amostra constitui a “concentração de sólidos totais”. O procedimento no laboratório consistiu em agitar o líquido armazenado e coletar 3 amostras de 20ml de cada garrafa, as quais foram levadas à estufa a uma temperatura de 105° C para que ocorresse a evaporação da água e restasse apenas a amostra de sedimentos. Ao final, as amostras foram devidamente pesadas e determinada a média de C<sub>ss</sub>.

Conforme Montanher (2016, p. 352) “como os tipos de sedimentos (composição, densidade, forma) e a hidrodinâmica fluvial variam localmente, o ideal é que cada estação possua uma equação ajustada”. Após determinada a concentração média de sólidos totais suspensos, realizou-se o cálculo da descarga sólida. Para isto ajustou-se a equação proposta por Filizola e Guyot (2011). A descarga de sólidos totais suspensos foi obtida

por meio da multiplicação da média da  $C_{ss}$  ( $\text{mg/l}^{-1}$ ) pela vazão líquida  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}^{-1}$ ). Esta relação é representada pela seguinte equação:

$$Q_{ss} = C_{ss} (Q), \text{ onde:}$$

$Q_{ss}$ - Descarga sólida suspensa

$C_{ss}$ - Concentração de sólidos suspensos

$Q$ - vazão líquida média do canal

Esse valor de descarga sólida representativo de cada período hidrológico calculado em segundos foi posteriormente multiplicado para a estimativa do transporte em diferentes unidades de tempo (minuto, hora, dia, mês e ano). Os resultados obtidos são comparados aos valores apresentados em trabalhos relacionados ao rio Solimões e rio Negro para os sedimentos em suspensão.

Cabe ressaltar que embora fosse mais adequado utilizar apenas o material em suspensão, cuja concentração é obtida através da filtragem da água com a utilização de filtros especiais, onde a carga dissolvida não é retida, optou-se pelo uso da concentração de sólidos totais suspensos, devido a não disponibilidade dos filtros no laboratório de análise.

#### 4.3.6 Medição de parâmetros básicos da água (transparência e potencial hidrogeniônico - pH).

##### 4.3.6.1 Transparência da água (cm).

Existem vários métodos para medir a transparência da água, tais como sensores de luz, retroespalhamento e o tradicional disco de secchi. Os dados dessa variável neste trabalho, foram obtidos *in situ* na mesma data do levantamento batimétrico e da coleta de água, utilizando o disco.

Santos *et al.* (2001), explicam que o disco possui 30 cm de diâmetro, com quatro quadrantes pintados alternadamente de branco e preto e preso em uma corda graduada. Com ele, determina-se a profundidade de secchi mergulhando o disco na água e anotando a profundidade quando deixa de ser visível.

Sendo assim, o operador deve ficar posicionado de maneira que a visão fique vertical ao eixo central do disco em local com pouca agitação da água, preferencialmente à sombra. Em seguida, o disco é submerso no local de medida até seu desaparecimento.

A profundidade limite em que se pode ver o disco é a transparência da água (SANTOS, *et al.*; 2001).

Os valores obtidos em campo foram registrados em cm e tabulados por meio do programa Microsoft Office Excel, para a organização dos dados em planilhas e cálculo dos valores médios em cada seção transversal. Comparou-se os valores de transparência entre as seções e entre os períodos hidrológicos, correlacionando os resultados aos valores médios de  $C_{ss}$  e comparando-os aos valores apresentados na literatura para o rio Solimões e para o rio Negro.

#### 4.3.6.2 pH (Potencial Hidrogeônico)

Foram analisadas em laboratório o pH das amostras de água coletadas com o uso do pHmetro de mão. Durante o procedimento foi verificado de acordo com a escala logarítmica de pH a presença de íons de hidrogênio ( $H^+$ ), abrangendo a faixa de 0 a 14 com valores inferiores a 7 indicando condições ácidas e superiores a 7 demonstrando condições alcalinas (Fundação Nacional de Saúde- FUNASA, 2014) e quando o valor for igual a 7 representa neutralidade (ANA, 2017).

Os valores foram organizados no *Microsoft Office Excel* e depois gerado um único gráfico abrangendo todos os dados. Em seguida comparou-se os resultados nas diferentes seções transversais e a cada período hidrológico em análise.

Na **Figura 17** são apresentados os instrumentos utilizados para a verificação da transparência e do pH das amostras.

**Figura 17** - Phmêtro de mão utilizado em laboratório (Foto A) e Disco Secchi utilizado para análise da transparência da água em trabalho de campo (Foto B)

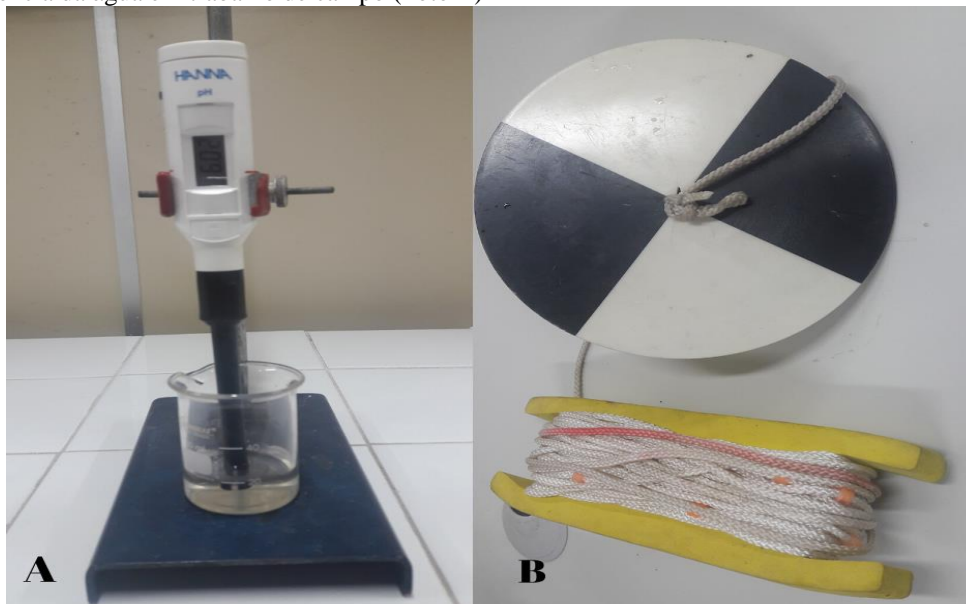


Foto e org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

#### **4.4 Mapeamento das áreas de erosão, deposição e movimentos de massa.**

##### **4.4.1 Erosão e Deposição**

Para a análises relacionadas a erosão e deposição no canal utilizou-se a mesma série multitemporal de imagens selecionadas para a análise morfométrica e mapeamento do uso e cobertura da terra, entre as quais em sua maioria são do período de vazante, condizentes aos anos de 2006, 2008, 2010, 2016 e 2018.

As imagens de período de nível baixo da água geralmente favorecem a identificação e o mapeamento das feições através das imagens de satélites. A várzea na seca, expõe os bancos de areia e as áreas erodidas na cheia anterior. No entanto, é um tanto complicado adquirir imagens sem nuvens e com as cotas fluviométricas com valores próximos. Além disso, o canal em estudo corresponde a uma área relativamente pequena, tornando complexo a visualização de feições geomorfológicas específicas nas suas margens, pois ao aproximar-se destas, perde-se a qualidade da resolução correspondente a 30 m.

Neste procedimento, priorizou-se pela sobreposição da imagem mais antiga (2006) e a mais atual (2018) devido a maior notoriedade nas mudanças temporais no intervalo de 13anos, resultando no mapa das feições geomorfológicas para o período.

As atividades de campo, com observações diretas corroboraram para a fase de interpretação das informações referentes às áreas de erosão e deposição e para a validação

do mapeamento final das formas geomorfológicas, levando-se em conta as áreas com atuação mais intensa dos processos fluviais, os elementos, a localização, a forma, a textura, a cor, o tamanho e as tonalidades visuais.

Também foi estimado o cálculo das áreas (m<sup>2</sup>) de erosão e deposição no software ArcGiz e calculadas as taxas anuais (m<sup>2</sup>/anos) representadas no gráfico elaborado no Microsoft Office Excel.

#### 4.4.2 Movimentos de Massa

O recobrimento da área de estudo e o mapeamento das cicatrizes de movimentos de massa condiz a data de 28.10.2019 e contou com o uso do VANT para a captura de imagens de alta resolução espacial, disponível no LATOSSOLO. De acordo com Roberto (2013), o uso de veículos aéreos não tripulados (VANT's) é considerado atualmente como uma técnica promissora e flexível para obtenção de imagens aéreas e monitoramento para desastres naturais, posto que, possuem maior flexibilidade de resolução temporal e grande nível de detalhamento nas imagens obtidas, além de possibilitar a integração dos dados em ambiente SIG e a construção de mosaicos da área avaliada.

No software PIX4D, a aeronave foi ajustada quanto as características do voo (altitude, velocidade, inclinação da câmera, tipo de malha e abrangência da área) e em seguida foi realizada a captura das imagens. Os detalhes do plano de voo são demonstrados no **Quadro 4**:

**Quadro 4** - Detalhes do Plano de Voo

<b>Aplicativo</b>	Pix4D capture	<b>Arquivo</b>	Paracuúba
<b>Tipo de Grid</b>	Grid	<b>Dimensões</b>	187 x 454 m
<b>Overlap</b>	80% (72%)	<b>Angulo da Câmera</b>	90°
<b>Altitude voo</b>	100	<b>Percurso</b>	37862m <sup>2</sup>
<b>Tempo de voo</b>	10m29s	<b>Imagens adquiridas</b>	114
<b>GSD planejado</b>	4.38 cm/pixel	<b>Localização</b>	-3.229636° -59.988162°

Fonte: Software Pix4D, 2019. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2020.

O VANT utilizado neste trabalho é conectado a um controle remoto, sendo que também foi utilizado um dispositivo androide, os quais serviram de interface entre o VANT e o operador, para execução dos planos de voo (**Figura 18**). O equipamento possuía carga útil e suficiente para recobrir toda a extensão do canal e cumprir a missão previamente planejada.

**Figura 18** - VANT utilizado no mapeamento das cicatrizes de movimento de massa- modelo *Phanton 4*.



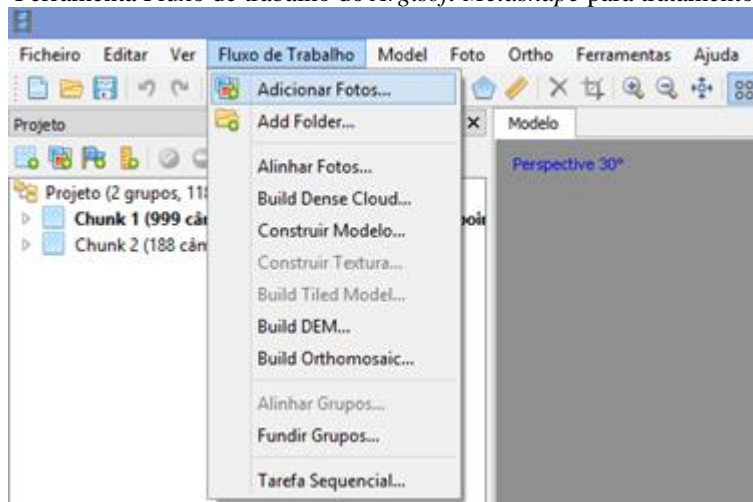
**Foto:** Sandréia A. Cascaes, 2019.

Como não existe uma metodologia consolidada sobre o uso das imagens de VANT, o procedimento seguiu inicialmente os mesmos procedimentos que se utiliza nas imagens de satélites.

#### **4.5 Tratamento das imagens**

Foi utilizado o software *Argisoft Metashape Professional* (versão de teste), disponível no LATOSSOLO para complementar o tratamento das imagens capturadas pelo VANT. O *Argisoft Metashape Professional* é um programa que realiza processos fotogramétricos de imagens, capaz de gerar dados em 3D. Com os registros obtidos durante o sobrevoo na área de estudo, foi possível fazer sobreposições entre as imagens, nos permitindo a reprodução de modelos do terreno. O programa possui uma ferramenta chamada “fluxo de trabalho” onde partiu o tratamento das imagens, que após selecionadas e enviadas para o *Argisoft* passou por 6 etapas (**Figura 19**).

**Figura 19** - Ferramenta Fluxo de trabalho do *Argisoft Metashape* para tratamento das imagens



**Fonte:** Argisoft Metashape Professional - versão teste, 2019.

De um modo geral, as etapas executadas condizem em:

1) Alinhamento das fotos: ocorre o processo chamado “fototriangulação” onde é determinada as coordenadas do terreno em relação a um referencial de terreno;

2) *Build dense cloud* (construção de nuvem densificada): o *software* aumenta a quantidade de pontos na nuvem de pontos, diminuindo os espaços vazios para maior qualidade de representação da área mapeada;

3) Construir modelo 3D: representa a forma fiel do terreno mapeado tridimensionalmente;

4) Construção da textura: melhora o aspecto visual do modelo aplicando uma textura.

5) *Build DEM*: construção do Modelo Digital de Elevação, gera representações em 2D em formato de imagem do MDS (representação do modelo digital da superfície) e MDT (modelo digital de terreno) é possível gerar curvas de nível.

Com as imagens foi gerado o modelo MDS que representa “a superfície do terreno acrescida de quaisquer objetos existentes sobre ela e que influenciem no valor da refletância do pixel. Ou seja, se existirem árvores e construções, a superfície representada refere-se ao topo das mesmas” (CRUZ *et al.*, 2011: p. 5464).

6) *Build orthomosaic*: geração do mosaico de ortofotos. Inicialmente foi realizado o processo de ortorretificação das imagens, onde as feições são projetadas como escala constante, não representando deslocamentos devidos ao relevo e a inclinação da câmera.

Com as imagens devidamente corrigidas o software desenvolveu o mosaico das ortofotos e criou um único produto. Na verificação das imagens foi possível classificar as cicatrizes com base nas suas formas geométricas e superfície de ruptura de acordo com

Selby (1990) e compará-las ao tipo de movimento de massa presentes na área de estudo com o auxílio das ferramentas do próprio *Argisoft* tais como: régua, linha e marcadores.

Em seguida, verificou-se a área de abrangência das cicatrizes de movimentos de massa ( $m^2$ ), calculando-se o comprimento, largura e altura. Esses dados, juntamente com suas respectivas coordenadas geográficas foram organizados em tabelas no *Microsoft Office Excel*.

Ao final, procedeu-se a análise dos resultados e conclusões.

#### **4.6 Influência da dinâmica fluvial na vida dos moradores ribeirinhos das comunidades abrangidas pelo canal.**

Para esta finalidade foram aplicados 24 questionários (**Apêndice B**) aos moradores das comunidades ribeirinhas abrangidas pelo Furo do Paracuúba, sendo 12 aos residentes na Comunidade de Vila Nova e 12 aos comunitários de Santo Antônio. As entrevistas informais com os moradores durante as atividades de campo, foram fundamentais para compreensão e análise da relação destes com o canal e suas margens e como a dinâmica afeta a vida destes ribeirinhos. As entrevistas tiveram livre anuência dos moradores que responderam aos questionamentos.

Os dados socioeconômicos e demais respostas dos questionários foram tabulados e serviram para gerar tabelas e gráficos no *Microsoft Office Excel*, visando correlacionar o contexto socioeconômico desses moradores, suas ideias quanto aos processos e mudanças que se desenvolvem no canal (natural e antrópica), dificuldades e aspirações e as implicações que a erosão fluvial e os movimentos de massa nas margens acarretam nas suas vidas.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A dinâmica fluvial do Furo do Paracuúba pode melhor ser entendida a partir da caracterização da sua morfometria, dos seus processos hidrológicos, antrópicos e geodinâmicos. Neste capítulo, serão analisados e discutidos os resultados da pesquisa como respostas aos objetivos propostos e resultantes da efetivação dos trabalhos de campo e laboratório, para que se possa compreender melhor a dinâmica fluvial nessa unidade sistêmica, abrangendo tanto o canal fluvial quanto as suas margens.

Devido ao canal ser margeado nas extremidades pelas águas dos dois importantes sistemas fluviais, o rio Solimões e o rio Negro, suas cotas são tomadas como referências nas análises. Todavia, enfatiza-se que o rio Solimões é o principal responsável pela dinâmica fluvial do Furo do Paracuúba, que obedece a seu regime de cota. Por isto, a régua do Solimões é tomada como principal referência nas análises, sempre comparando a cota do rio de água preta.

Na confluência com o rio Negro, onde está a saída deste curso d'água, as águas brancas produzem o efeito barramento hidráulico, efetivando a sua maior influência sobre o canal de estudo, o que não descarta a importância do rio Negro na dinâmica deste. Sendo assim, justifica-se a não instalação de uma régua no canal, que deveria ser realizada durante a vazante, o que demandaria a espera por um novo período hidrológico de descida das águas, optando-se pelo andamento da pesquisa devido ao prazo de sua execução.

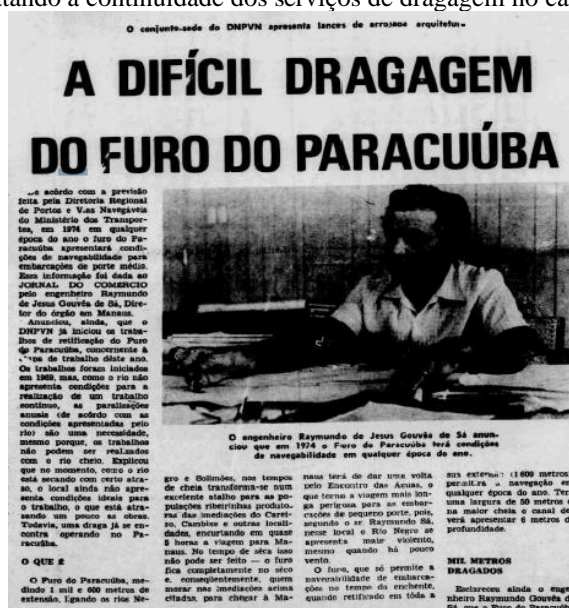
Por tais razões, é importante entender os fatores dominantes para as alterações na morfologia do canal e descrever de que forma os processos e mudanças influenciam na vida das populações ribeirinhas assentadas em suas margens.

### **5.1 Caracterização morfométrica do canal e suas mudanças no período de 2006 a 2018.**

Este objetivo permite compreender a dinâmica do canal a partir da análise de sua morfometria e das mudanças em suas margens através do uso e cobertura da terra, por meio do mapeamento da área no contexto de uma série histórica utilizando imagens de satélites, com intervalo de 13 anos. A evolução espaço temporal tem desencadeado muitos efeitos sobre a dinâmica geomorfológica e sobre a modelagem da paisagem, sua análise é fundamental para compreender o equilíbrio dinâmico e a atual fisionomia fluvial do furo.

Conforme já descrito no 1.8.1 (Histórico da Ocupação), o Furo do Paracuúba passou por transformações antrópicas que causaram mudanças diretas na sua dinâmica hidrológica natural. A primeira que se tem registro, foi em 1947, com a realização dos serviços de dragagem do leito, alargamento e rebaixamento da entrada (voltada para o rio Solimões) e também sua retificação em determinados trechos. No entanto, os serviços não foram concluídos neste ano, sendo postergados para anos posteriores, havendo paralisações anuais em razão das condições apresentadas pelo rio, de acordo com informações do engenheiro-diretor da Diretoria Regional de Portos e Vias Navegáveis do Ministério dos Transportes conforme informa a matéria divulgada no Jornal do Comércio (Figura 20).

Figura 20 - matéria relatando a continuidade dos serviços de dragagem no canal do Furo do Paracuúba



Fonte: Jornal do Comércio, 1971.

A Figura 21 mostra o canal em seu aspecto predominantemente natural e bastante estreito após seis anos desta intervenção e sua configuração nos dias atuais.

**Figura 21** - Furo do Paracuúba no ano de 1953 (Foto A) e no ano de 2019 (Foto B).



**Fonte:** IBGE, 1953 (A); **Fonte:** VANT-LATOSSOLO, 2019 (B).

Os impactos sobre o canal ainda são contínuos, tanto pela ação natural quanto pelas embarcações que navegam ao utilizarem a via como uma opção de ligação e encurtamento de distâncias entre os rios Solimões e Negro. Para entender as alterações ocorridas na sua morfologia é importante analisar o arranjo atual de sua morfometria, uma vez que o canal vem ajustando suas formas em diferentes escalas temporais.

Nesta perspectiva, Stevaux e Latrubesse (2017), elucidam que o primeiro dos conceitos fundamentais dos estudos fluviais é a escala espaço temporal e as variáveis afetadas a essa escala. Assim, destacam que as variáveis de pequena extensão espacial possuem pequena extensão temporal e desta forma, uma forma de leito, que se dimensiona entre centímetros ( $10^{-2}$ ) e dezenas de metros ( $10^1\text{m}$ ), tem uma dimensão temporal que se define entre dias ( $10^{-2}$ ) e meses ( $10^1\text{anos}$ ).

A morfometria do canal apresenta-se em estado de mudança temporal e ajuste, com os processos de erosão e deposição atuando na modificação da forma deste. As comparações entre as variáveis geométricas permitem analisar seu comportamento em resposta as alterações impostas no decorrer do tempo.

Por meio da morfometria, alguns aspectos geométricos do canal foram analisados numa dimensão temporal. A variável largura ( $l$ ) medida nas três seções transversais do curso d'água nos diferentes anos em análise, revelou que a entrada e a porção do meio do canal são os trechos que mais apresentaram variação de medida, com acréscimos e decréscimos, enquanto que a porção da saída apresentou contínuo aumento nos anos subsequentes (**Tabela 2**).

**Tabela 2** - Largura do canal (m) em diferentes anos

Anos	Entrada	Meio	Saída
2006	108,18	139,18	123,86
2008	106,29	171,71	283,61
2010	128,51	213,93	296,57
2016	137,37	180,38	337,75
2018	182,17	188,29	311,31

Fonte: Qgiz 3.10.3. Org.: Sandréia A.Cascaes, 2019.

A largura é uma variável que tende a aumentar seus valores em direção a jusante. Fato este identificado nos anos de 2008, 2010, 2016 e 2018. A exceção é verificada no ano de 2006, quando a porção do meio do canal se apresentava mais larga. O valor da largura média no ano de 2008 era esperado devido a imagem adquirida ser de um período de cheia.

Constatou-se que a largura média aproximada do canal tem se modificado constantemente, com um aumento de cerca de 103,50 m de diferença entre os anos de 2006 e 2018. Estas medidas indicam mudanças ocorridas no leito e nas margens, demonstrando que o rio vem ampliando a largura do canal, marcado pela erosão lateral intensa através do solapamento e/ou desbarrancamento das margens.

Conforme se evidenciou “*in locu*”, a ação erosiva e os processos decorrentes de movimentos de massa são mais intensos nas porções de entrada e meio do canal (zona de aporte e zona de transferência). Isto pressupõe o aumento da vazão líquida nos últimos anos e de sua carga sedimentar, ocasionando um efeito determinante na sua diminuição para a jusante. Novo (2008), enfatiza que o fluxo da maioria dos rios aumenta para a jusante e também a sua carga, diminuindo a sua capacidade erosiva. Se por qualquer razão ocorre a diminuição do fluxo ocorre a deposição.

Além da largura, que representou maior aumento, outras variáveis morfométricas do perfil longitudinal do canal têm se modificado nesse intervalo de 13 anos. A **Tabela 3** demonstra os valores médios das variáveis no período analisado e permite comparar as mudanças ocorridas nos anos estudados

**Tabela 3** - Valores quantitativos das variáveis morfométricas do canal no período de 2006 a 2018

Variáveis/Ano	2006	2008	2010	2016	2018	Variação (2006-2018)	%
Largura média (m)	123,7	187,2	213,0	218,5	227,2	103,5	83,6
Comprimento (Km)	2,59	2,59	2,54	2,58	3,16	0,57	22
Índice de sinuosidade	1,16	1,19	1,15	1,14	1,12	0,1	-3,4
Área (ha)	98	107	135	139	140	42,0	42

Fonte: Qgiz 3.10.3. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

Próximo a foz, na saída do canal, o fluxo é fortemente influenciado pela dinâmica da confluência com o rio Negro. Neste trecho, verifica-se o barramento hidráulico que as águas do canal providas do Solimões provocam no local, causando o surgimento de um ambiente de deposição de sedimentos. Desta forma, vem ocorrendo o acréscimo de terras principalmente junto a margem direita e com isto a mudança de direção do curso d'água, ou seja, o furo está aumentando de extensão/comprimento (L) e mudando a direção do seu curso antes do encontro com o rio Negro no sentido N/NE.

Conseqüentemente, o Furo do Paracuúba tende a se tornar mais comprido, conforme se evidenciou *in locu* nos períodos de nível mais baixo das águas, apesar de que essa variável mensurada por meio das imagens de satélites não demonstrou mudanças muito significativas de aumento, em torno de 22%.

No período analisado, o Índice de Sinuosidade - Is indicou uma pequena oscilação, porém sempre exibindo baixa sinuosidade (menor que 1,5). O Is encontrado nesse estudo foi muito próximo a 1,0 apontando tendência retilínea, o que pode induzir a maior velocidade da água, maior transporte e menos sedimentos acumulados no canal.

A literatura aponta que a sinuosidade de um canal é influenciada pela carga de sedimentos, a compartimentação litológica, a estruturação geológica e a sua declividade. Quando o Is possui valor próximo a 1,0 os canais apresentam tendência retilínea e tendem a ser tortuosos com valores superiores a 2,0, enquanto que os valores intermediários indicam formas transicionais (HORTON, 1945).

Araújo (2018) ressalta que não se pode atribuir um único tipo de padrão de canal para todo o perfil longitudinal do rio, visto que os padrões variam conforme o trecho. Diante disso, o que ocorre é a predominância de um padrão em um determinado trecho. Diante desta proposição, as observações em campo durante a pesquisa nos permitem dizer que o Furo do Paracuúba, nos segmentos da entrada e do meio do canal apresenta fisionomia do tipo meandrante e no segmento da saída, a retilinidade, que correspondente

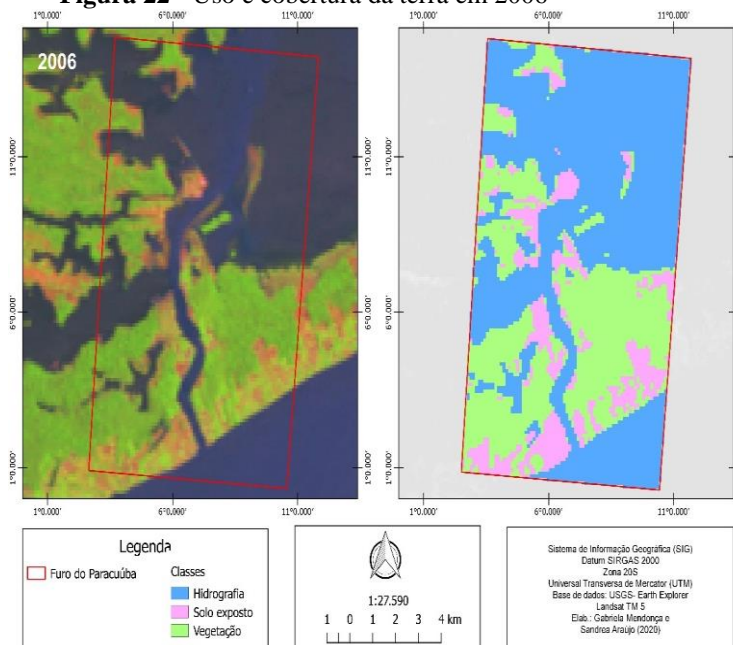
a baixa sinuosidade conforme indicada nas medições das imagens de satélites em período de vazante.

Quanto a área, entre 2006 e 2018, houve um aumento de 42 hectares, o que corresponde uma média 3,2 ha, mostrando-se proporcional ao aumento da largura e comprimento.

Diante disso, é importante enfatizar que o fluxo das águas em um canal, tem importante participação nas suas mudanças morfométricas, que não ocorrem de forma homogênea e mudam com o tempo, inter-relacionados com os processos de erosão, deposição e transporte que se desenvolvem temporal e espacialmente.

Em termos de uso e cobertura da terra no período em análise, constatou-se um aumento das áreas de solo exposto e das áreas de vegetação na área do entorno do canal, de 2006 a 2018. Esta última, sempre aparece mais concentrada na margem direita e na porção central do canal, onde se observa nos dias atuais a menor presença de moradias. Nas partes onde o solo aparece descoberto são as áreas com maior ocorrência dos processos erosivos e das cicatrizes de movimentos de massa, principalmente na margem esquerda do canal, onde encontram-se os maiores adensamentos das duas comunidades ribeirinhas abrangidas pelo furo, caracterizado pela intensa supressão das matas ciliares.

Os resultados da classificação supervisionada para o ano de 2006 mostra o entorno do canal marcado por uma fisionomia contraposta em suas margens. A classe vegetação é dominante na extensão da margem direita, enquanto na margem esquerda, predomina o processo de antropização (**figura 22**).

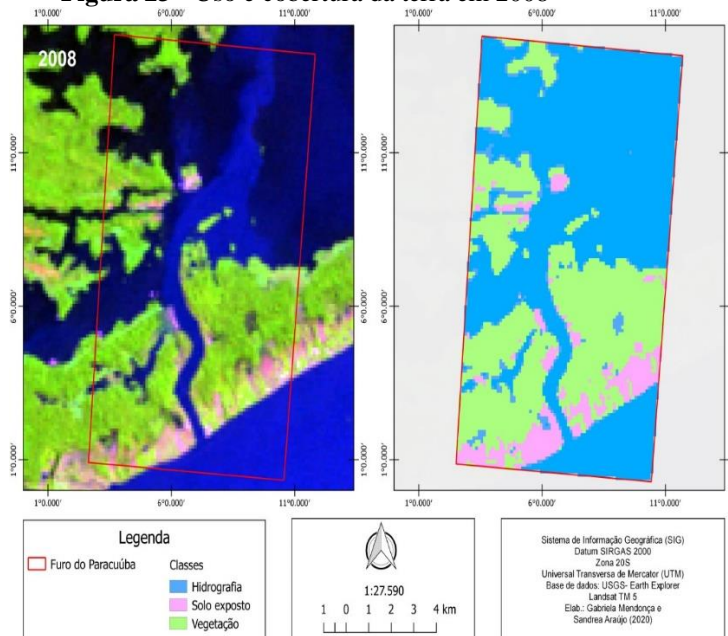
**Figura 22 - Uso e cobertura da terra em 2006**

**Fonte:** USGS Earth Explorer, 2020. **Org.:** Gabriela Mendonça e Sandréia A. Cascaes, 2020.

A cota dos rios referente a data desta imagem é de 12,93 m para o Rio Solimões e 23,30 m para o rio Negro. Neste período o uso da terra era mais significativo comparado aos dias atuais, marcado pelo desenvolvimento de atividades de subsistência concentrados nos núcleos das comunidades ribeirinhas.

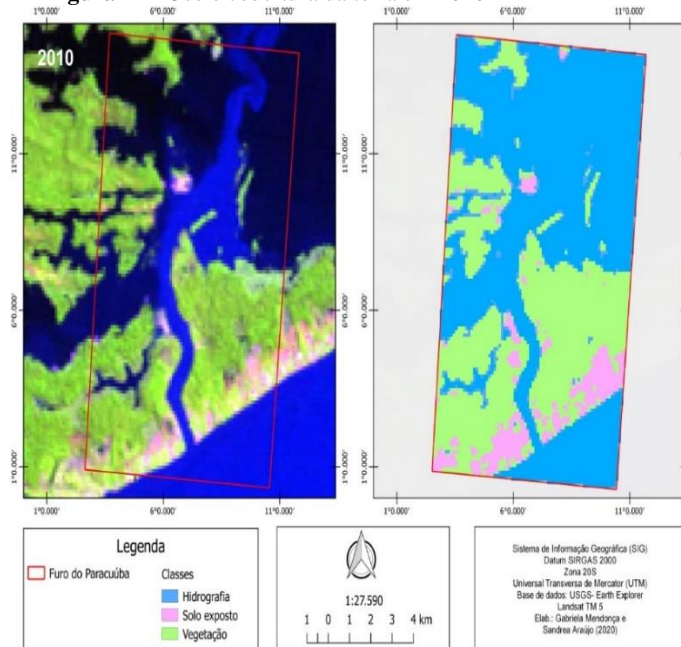
Em 2008, devido a cobertura de nuvens, a única imagem disponível é referente ao período cheio do canal, onde o rio Solimões registrava a cota na data da imagem disponível de 18,74 m e o Rio Negro a cota de 28,57 m. Nesta, verifica-se uma redução do solo exposto em ambas as margens, principalmente na saída do canal e mais especificamente na margem esquerda próximo a Comunidade de Vila Nova, onde a classe vegetação sobressai. No mesmo trecho, porém, na margem oposta a redução de solo exposto também é visualizada (**Figura 23**).

Esta perda pode estar associada ao fato de que o avanço da água, principalmente pelas cotas elevadas do Rio Negro, provoca distorções na classificação das áreas de solo exposto, deixando a vegetação mais evidente. Na porção de entrada não há significativas mudanças de cobertura e uso da terra.

**Figura 23 - Uso e cobertura da terra em 2008**

**Fonte:** USGS Earth Explorer, 2020. **Org.:** Gabriela Mendonça e Sandréia A. Cascaes, 2020

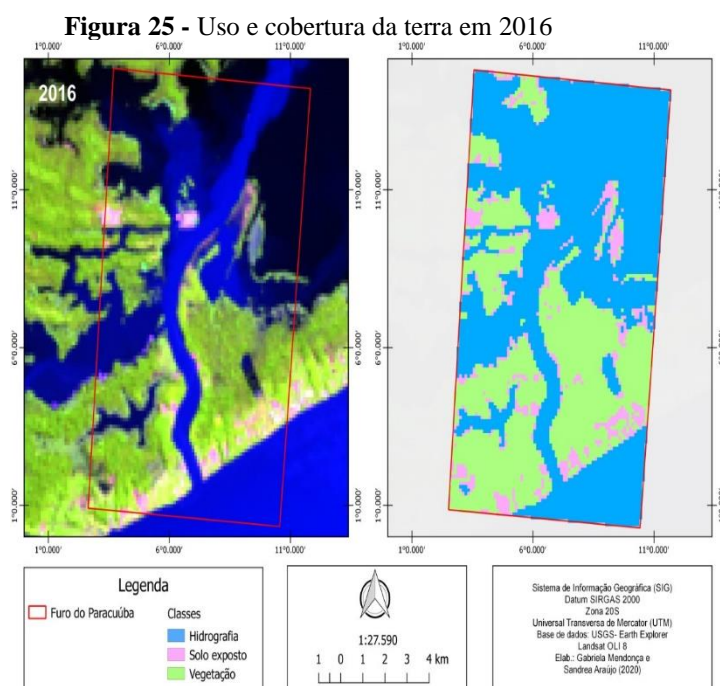
Para o ano de 2010, a imagem disponível é do período da vazante, com a cota diária do rio Solimões de 3,79 m e do rio Negro de 13,70 m. Na imagem é possível notar que não houveram muitas mudanças no que tange a ganhos de terras na extremidade de saída do canal e as classes solo exposto e vegetação tiveram pequenas alterações. Porém na sua parte central, em sua margem direita, houve um pequeno crescimento da classe vegetação, com a presença de pequenas manchas indicando a presença de solo exposto (Figura 24).

**Figura 24 - Uso e cobertura da terra em 2010**

**Fonte:** USGS Earth Explorer, 2020. **Org.:** Gabriela Mendonça e Sandréia A. Cascaes, 2020.



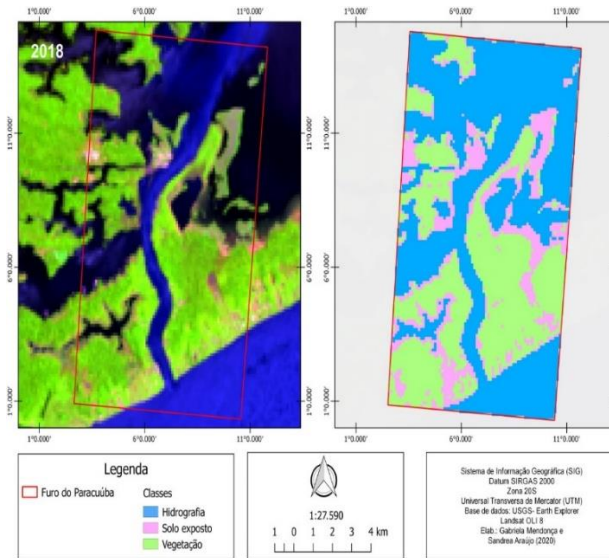
Para o ano de 2016, a imagem corresponde ao período do início da vazante, onde a cota diária do rio Solimões para a data da imagem era de 17,51cm e do rio Negro constava em 26,74 cm. Nesta, observa-se uma ligeira mudança em toda a extensão do canal, principalmente na porção da entrada e entorno, onde houve diminuição de solo exposto, reduzida provavelmente devido a erosão e movimentos de massa, deixando a classe de vegetação mais evidente. A perda de terras provavelmente implicou no desenvolvimento das práticas agrícolas. Na extremidade da saída do canal, na margem direita, houveram ganhos de terras, com o aumento da deposição sedimentar nesta parte, marcada pela formação de praias fluviais (**Figura 25**).



**Fonte:** USGS Earth Explorer, 2020. **Org.:** Gabriela Mendonça e Sandréia Cascaes

No ano de 2018, observa-se na imagem adquirida, uma mudança mais expressiva na extensão do canal. Na sua saída, tanto na margem direita quanto na esquerda, observa-se o aumento do acúmulo de sedimentos, que estão se consolidando com a fixação de uma cobertura de gramíneas nas novas terras. Na entrada, na margem direita, também há um aumento da área com vegetação e na margem esquerda e entorno, a classe solo exposta aparece mais evidente, com destaque para as bordas do lago que fica ao fundo da comunidade de Santo Antônio (**Figura 26**). A data da imagem adquirida é referente ao período da vazante, com a cota do Rio Solimões de 14,36 m e do Rio Negro de 23,93 m.

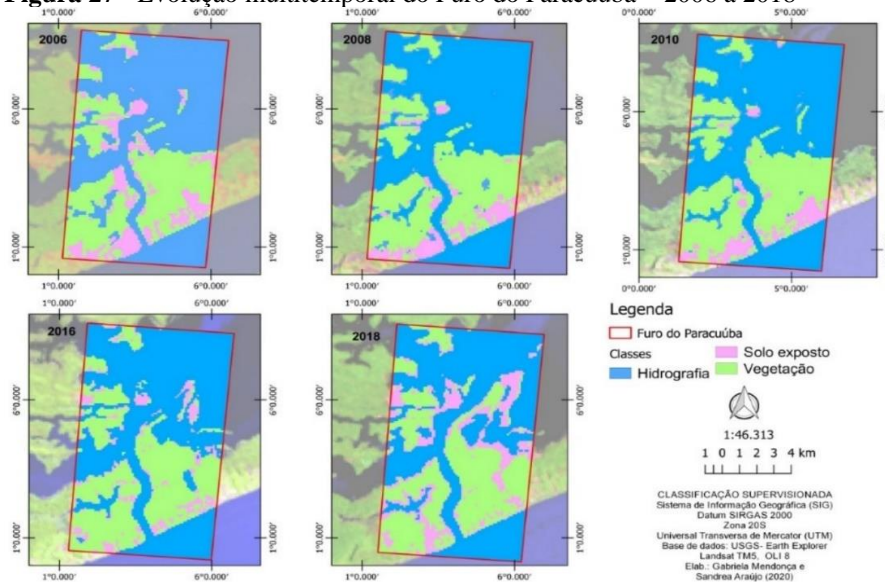
**Figura 26 - Uso e cobertura da terra em 2018**



**Fonte:** USGS Earth Explorer, 2020. **Org:** Gabriela Mendonça e Sandréia A.Cascaes, 2020.

As imagens do período de 2006 a 2010 permitem verificar que o canal não sofreu muitas modificações em relação ao ganho de terras na sua foz e houveram pequenas alterações nas classes. Porém, a partir do ano de 2016 a 2018 nota-se que o canal ficou mais comprido, estendendo seu curso em direção ao encontro com o Rio Negro no sentido N/NE. Isto demonstra, como foi comentado anteriormente, que nesses últimos anos a acreção lateral de sedimentos descarregados pelas águas do rio Solimões têm aumentado junto à borda do canal, na sua porção de saída, mais precisamente na margem direita (Figura 27).

**Figura 27 - Evolução multitemporal do Furo do Paracuúba – 2006 a 2018**



**Fonte:** USGS Earth Explorer, 2019. **Org.:** Gabriela Mendonça e Sandréia A. Cascaes, 2020.

Analisando em detalhe as áreas que mais sofreram modificações, verifica-se que a saída do canal é visualmente a porção que apresentou notáveis mudanças na morfometria e na cobertura do solo. Também se observa que até possivelmente o ano de 2010, o Furo do Paracuúba desaguava no rio Janauri, este último por sua vez mantinha conexão fluvial direta com o Rio Negro.

O Rio Janauari é um corpo d'água com aproximadamente 13 km de comprimento, alcançando até 90 m de largura no seu trecho mais amplo. Localiza-se à margem direita do Rio Negro, com uma área total de 9 mil hectares e faz parte da Área de Proteção Ambiental - APA Encontro das águas, constituída pela lei municipal número 041/2000. Configura-se um importante elemento geográfico de uso comum entre os comunitários, que também o utilizam para atividades de pesca de subsistência.

Conforme se evidencia na imagem de 2018, neste rio vem se acelerando o processo de colmatação sedimentar na sua foz, resultante dos sedimentos descarregados pelo furo nesta localidade. Nas imagens capturadas pelo VANT é possível observar de forma melhor a zona de deposição na entrada do rio Janauari (**Figura 28**).

**Figura 28** - Canal do Furo do Paracuúba e zona de deposição na foz do rio Janauari (em segundo plano), indicando a evolução de uma ria de foz afogada



Fonte: VANT- LATOSSOLO (2019).

Com o efeito de barramento na foz do Rio Janauari, tendenciosamente vem se desenvolvendo um rio de foz afogada ou uma ria fluvial represada na planície de inundação e o canal do Paracuúba em seu trecho final, está mudando a direção do seu curso antes do contato com o rio Negro.

Por uma questão conceitual, cabe mencionar que uma ria fluvial é definida como “lagos de formato alongado que são originados pelo barramento de canais fluviais em seu baixo curso ou alargamento súbito de vales fluviais” (TRICART,1997; AB’SABER, 2003). Na presente pesquisa, conforme já proposto no Item 1.4 da Caracterização de Área, o canal em estudo é classificado como um “furo de extravasão modificado antropicamente”.

Logo, o canal do Paracuúba liga diretamente os rios Solimões e Negro, e o Rio Januari deságua neste. Especula-se que as modificações nas estruturas tectônicas da região de estudo estejam contribuindo na modificação do relevo, que por sua vez tem provocado mudanças no curso dos rios da área adjacente e a migração de canais, sendo necessário estudos mais específicos abrangendo a localidade.

Neste aspecto, Bertani (2015), estudou parte do baixo Solimões e médio rio Madeira, utilizando técnicas de sensoriamento remoto para a caracterização geomorfológica e morfoestrutural das áreas. No baixo Solimões, o autor verificou que a orientação geral das rias fluviais, incluindo-se as grandes quebras de caráter eminentemente ortogonal em suas morfologias, possuem direção similar aos grandes sistemas de falhas nessa região (BERTANI, 2015).

Ao analisar os mapas conjuntamente, nota-se que a hidrodinâmica e os processos fluviais atuantes no canal têm modificado sua fisionomia na busca pelo equilíbrio natural. A análise temporal das alterações morfométricas revelam que os ganhos e perdas de terra tem contribuído para importantes mudanças na organização socioespacial dos moradores das comunidades localizadas as margens do furo (**Tabela 4**).

**Tabela 4** - Tipos de cobertura na área entorno do canal em 2006 e 2018

Ano	Água (Km <sup>2</sup> )	Floresta (Km <sup>2</sup> )	Solo exposto (Km <sup>2</sup> )
2006	4.689	2.672	1.067
2018	4.190	2.828	1.410

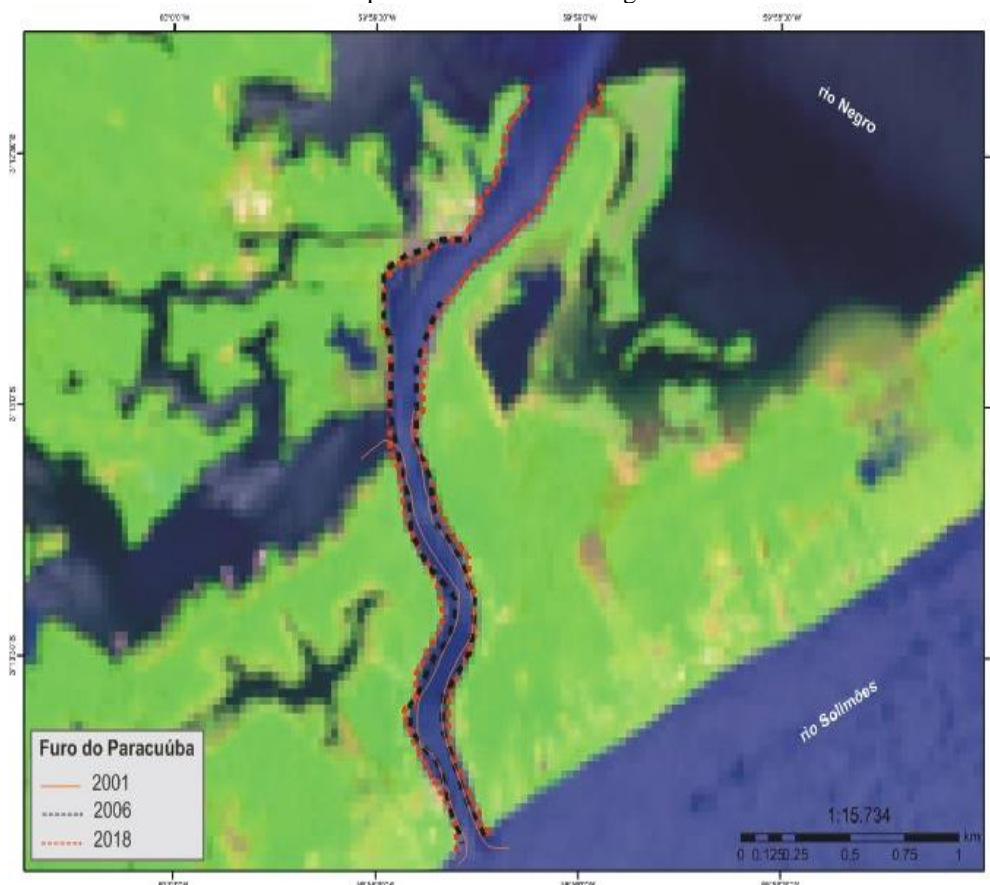
**Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2020.

Ao analisar as imagens de satélites, associando-as às observações em campo, verificou-se que na margem direita do canal quase não há moradias. Isto condiz com as informações dos moradores sobre a ocupação das margens, ao citarem a migração de muitos ribeirinhos, principalmente desta margem para outras localidades, em decorrência das ameaças por riscos de desmoronamento (quando provocado por forte chuva, na forma

de avalanche) ou desabamento (por queda livre e pela ação abrasiva do banzeiro na base do barranco), colocando em risco a segurança dos moradores.

Para tornar mais evidente a visualização de como tem evoluído as mudanças da direção e contorno deste curso d'água, após a descrição morfométrica e de uso e cobertura do solo é apresentado o contorno do canal para o ano de 2001, utilizando a base da AHIMOC e os contornos das imagens de satélites de 2006 e de 2018, evidenciando assim, o aumento de sua largura e comprimento. (**Figura 29**).

**Figura 29** - Sobreposição de imagens dos anos de 2001, 2006 e 2018, indicando mudanças nos contornos a partir da erosão das margens.



**Fonte:** AHIMOC (2001); USGS (2020). **Org.:** Gabriela Mendonça e Sandréia A. Cascaes (2020).

Cabe ressaltar que se optou por utilizar o contorno do canal traçado pela AHIMOC em virtude de estender a comparação para uma maior dimensão temporal, posto que, as imagens de satélites disponíveis e anteriores a 2006, não apresentaram uma boa resolução espacial. Este órgão em parceria com a Universidade Federal do Amazonas realizaram uma inspeção das condições de navegabilidade do canal em abril de 2001, visando a implementação de um Projeto de Preservação do Furo do Paracuúba. Entre as ações previstas, foi realizado o levantamento do topo batimétrico em dezembro do mesmo ano,

cujo relatório foi disponibilizado a essa pesquisa pela atual representante do órgão na cidade de Manaus. O projeto não teve continuidade em razão das mudanças nas normativas e estrutura organizacional deste órgão subordinado ao DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes).

## **5.2 Caracterização dos processos hidrodinâmicos e antrópicos que interferem no desgaste das margens do canal.**

### 5.2.1 Processos hidrodinâmicos

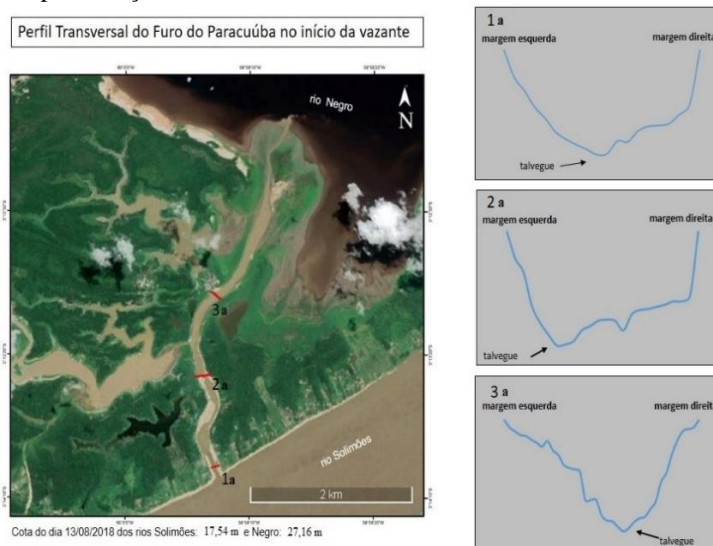
#### 5.2.1.1 Análise Batimétrica

Nesta pesquisa foram realizados nove levantamentos batimétricos com o intuito de investigar a geometria de fundo do canal, uma importante variável para o entendimento dos processos erosivos das margens e de sua dinâmica fluvial. Estes levantamentos foram realizados nas seções transversais no início e no extremo da vazante no ano de 2018, e na cheia do canal no ano de 2019. Para isto, tomou-se como referência a direção da drenagem da água, observada durante toda a realização da pesquisa, que frequentemente é movimentada do rio Solimões em direção ao rio Negro. Ressalta-se que esta constatação sobre a direção do fluxo da água também está descrita no relatório da CPRM (2018) relativo aos riscos de movimentos de massa, enchentes e inundações em Iranduba, mais especificamente no Furo do Paracuúba.

## **5.3 Perfis transversais do início da vazante no Furo do Paracuúba.**

O primeiro levantamento batimétrico foi realizado no dia (13.08.2018), período de início da vazante, com a cota diária do rio Solimões de 17,54 m e do Rio Negro de 27,16 m, onde foram traçados os perfis transversais nº 1a, 2a e 3a conforme representação na **Figura 30**.

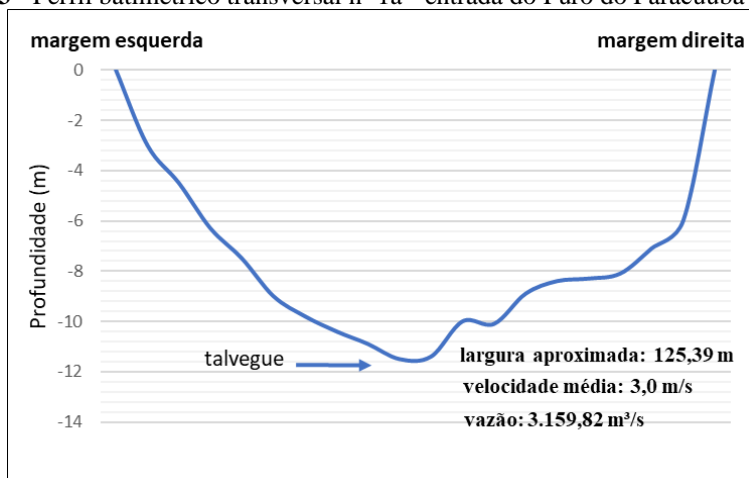
**Figura 30** - Representação dos Perfis Batimétricos nº 1a, nº 2a e nº 3a no início da vazante



**Fonte:** Google Earth Pro, 2019 **Org.:** Gabriela Mendonça e Sandréia A.Cascaes, 2019.

O perfil batimétrico transversal nº1a (**Gráfico 3**), realizado na entrada do canal foi traçado da margem direita (Lat. S 03°13'51.5", Long. W 059°59.18.6") para a margem esquerda (Lat. S 03°13'.49.90" Long. W 059°59'14.7"). A largura aproximada alcançada pelo Furo do Paracuúba neste trecho foi de 125,39 m. O talvegue encontra-se localizado mais ao centro, a uma profundidade de 11,5 m. Na configuração geométrica o leito apresenta-se estabilizado e com pouca assimetria. Na borda direita, o canal encontra-se margeado por uma superfície exposta ondulada de solo residual, erodido ou desgastado pela erosão fluvial combinado ao movimento de massa, paralelo a uma extensa cicatriz.

**Gráfico 3** - Perfil batimétrico transversal nº 1a - entrada do Furo do Paracuúba em 13.08.2018



**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2018.

Nesta seção transversal, o fluxo da água é muito turbulento e este fato é comprovado pela ocorrência das maiores velocidades no centro do canal indo em direção a margem esquerda, onde também aparecem cicatrizes de movimento de massa. A

velocidade máxima quando ocorre na parte central, tende a diminuir em direção às margens. Conforme Stevaux e Latrubesse (2017, p.108), “a velocidade varia transversalmente ao canal e os valores mais elevados se encontram em suas porções mais centrais à medida que o efeito do atrito da água sobre as paredes torna-se menos efetivo”. Deste modo, o material que está sendo erodido da encosta da margem esquerda, parcialmente desmatada, vai se depositando junto a margem oposta, somando-se aos sedimentos do solo residual.

Na margem esquerda o ligeiro aumento de energia, provoca um fluxo caótico de redemoinhos (vórtices), resultante de movimentos inversos de duas correntes (**Figura 31**). Neste trecho, a energia mais elevada gera um fluxo turbulento e a vorticidade das águas, facilitando a erosão do barranco fluvial e favorecendo sua ruptura por movimento gravitacional devido à perda da sustentação basal.

**Figura 31** - Margem esquerda na entrada do canal e a ação turbulenta da água - um dos principais fatores responsáveis pela erosão e movimento de massa durante a vazante



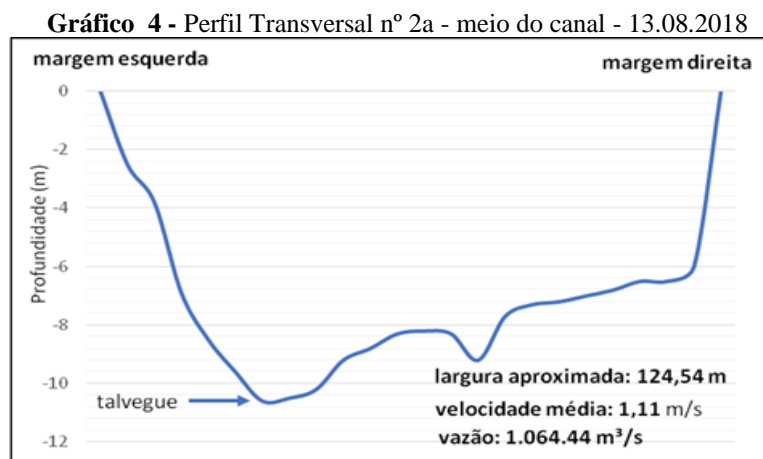
**Foto:** Sandréia A. Cascaes, 2018.

O dado de velocidade média da corrente estimado nesta seção foi de 3,0 m/s e a profundidade média de 8,4 m. Assim, a média de volume de água que passava nesta seção correspondeu a aproximadamente 3.159,82 m<sup>3</sup>/s, um fluxo muito eficiente que se constitui como um importante elemento para a intensidade dos processos erosivos e dos movimentos de massa nesta seção e também para sua esculturação geométrica.

O perfil batimétrico transversal nº 2a (Lat. S 03°12'56.25", Long. W 059°59'23.93") traçado da margem esquerda para a direita (Lat. S 03°12'55.35", Long. W 059°59'27.85"), relativo ao meio do canal (**Gráfico 4**), mostra o talvegue aprofundado em direção à margem esquerda, atingindo 10,6 m para uma largura aproximada de 124,54 m, apresentando uma geometria de fundo parecida com a anterior, mas com a diferença da posição do talvegue e maiores profundidades próximas a margem esquerda. A

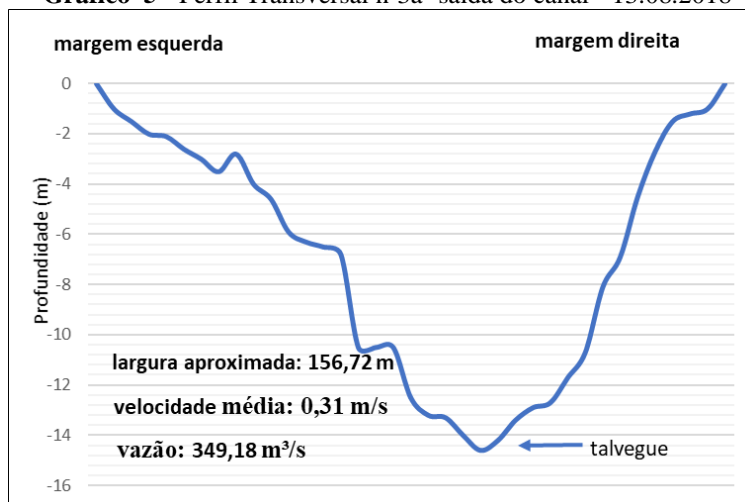


superfície de fundo canal é interrompida na sua parte central por um pequeno depósito de canal em formação, onde a velocidade do curso d'água desacelera, indicando a existência de uma seção transversal mais rasa comparada as demais seções estudadas neste período.



A vazão média líquida nesta seção atingiu  $1.064,44 \text{ m}^3/\text{s}$ , associada a uma velocidade média da corrente de  $1,11 \text{ m/s}$  e profundidade média de  $7,7 \text{ m}$ . Verifica-se portanto, que a velocidade das águas varia ao longo do canal fluvial, posto que, na seção do perfil nº 1a, as maiores profundidades ocorrem no centro do canal, naturalmente exigindo maior velocidade, contrapondo-se nesta situação, onde a velocidade da corrente se ajusta a menor profundidade. Essa redução ocorre devido as forças de fricção entre a água do fluxo e o fundo do canal.

O perfil transversal nº 3a (**Gráfico 5**), encontra-se localizado na saída do canal e se estende da margem direita (Lat. S  $03^{\circ}12'42.26$ , Long. W  $059^{\circ}59'.13.14''$ ) transversalmente para a margem esquerda (Lat. S  $03^{\circ}12'39.4$ , W  $059^{\circ}59'16.3$ ) e mostra o canal mais largo, com aproximadamente  $156,72 \text{ m}$ . Tendo em vista que neste perfil, onde o canal se encontra mais largo é quando o talvegue encontra-se a uma profundidade mais elevada em relação aos outros trechos, com  $14,6 \text{ m}$ . O fundo apresenta-se mais assimétrico em relação as demais seções, mostrando, que na margem esquerda, a calha do rio apresenta uma elevação, ou seja, a presença de um depósito de acreção vertical, em virtude da redução da competência e da capacidade do fluxo, forçando o talvegue a se encaixar quase no centro. Possivelmente, a acreção lateral tem resultado do acúmulo de sedimentos finos provindos da carga suspensa transportada pelo rio.

**Gráfico 5** - Perfil Transversal nº3a- saída do canal - 13.08.2018

**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2018.

Esta seção exibe profundidade média de 7,2 m, velocidade média do fluxo da água estimada em 0,31 m/s e vazão líquida média de 349,18 m<sup>3</sup>/s, sendo os dois últimos os menores valores comparados aos outros dois segmentos analisados. Diante disso, nota-se que as forças de gravidade do fluxo da água que escoam no canal a jusante diminuem e as forças de fricção aumentam em razão do atrito com o material depositado. Contudo, observa-se que há variação da distribuição de energia dentro do canal, indicando menor gasto neste segmento (a saída), que apesar de apresentar-se mais largo do que os outros trechos, sua capacidade de transporte diminuiu, o que implica no aparecimento de uma zona de agradação na margem esquerda.

As análises batimétricas neste período de início da vazante demonstraram que o canal apresentava as seguintes médias aproximadas: largura 135,5 m, profundidade 7,7m, velocidade 1,47 m/s e vazão média do canal de 1.524,50 m<sup>3</sup>/s. Comparando os perfis transversais neste período, o nº 1a e nº 2a apresentaram uma configuração de fundo aproximada e o perfil nº 3a se mostrou mais assimétrico. No entanto, os perfis nº 1a e nº 3a se assemelharam quanto a posição do talvegue, dispostos próximos ao centro do canal, não apresentando altas quedas e subidas de nível de uma margem a outra. Somente o perfil nº 2a, se apresentou mais profundo em direção da margem esquerda.

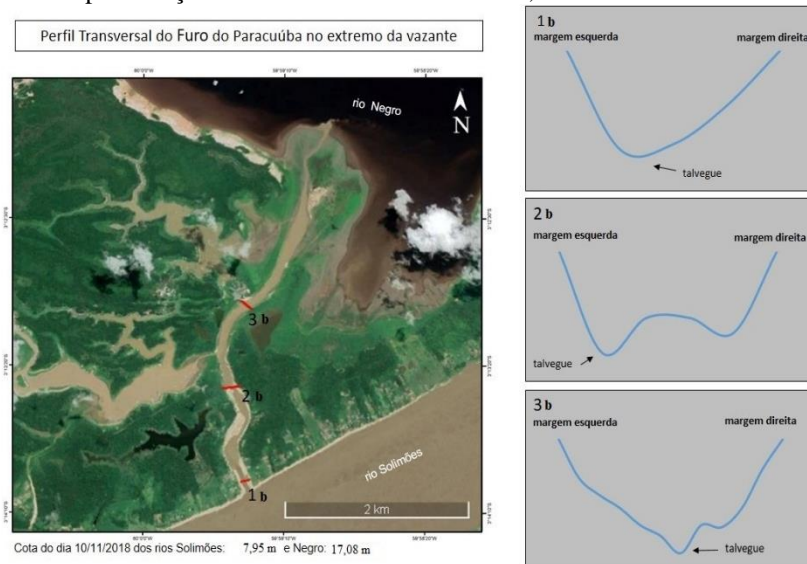
É importante destacar que os valores médios de profundidade, velocidade e vazão decresceram de montante a jusante do canal, com exceção da largura média aproximada que se apresentou maior no perfil nº 3a, seguidos do perfil nº 1a e 2a. Também cabe ressaltar que normalmente, a descarga líquida de um canal aumenta de montante para a jusante. Entretanto, observou-se por meio da medição de vazão medido a jusante neste

período e neste ponto, que os valores de vazão foram inferiores em relação a montante. Este fato pode ser explicado devido à dinâmica de transferência de água para dentro do canal, onde possivelmente o rio Solimões e o rio Janauari transferiram baixos volumes de água para a saída.

#### 5.4 Perfis Transversais referentes ao período de máxima da vazante no canal (10.11.2018)

O segundo levantamento batimétrico foi realizado no dia (10.11.2018), período em que a cota diária do rio Solimões estava muito baixa, 7,95 m, com uma grande diferença de nível comparado ao rio Negro, o qual se encontrava com cota de 17,08 m. Os perfis transversais nº 1b, nº 2b e nº 3b foram traçados conforme representação na **Figura 32**.

**Figura 32** - Representação dos Perfis Batimétricos nº 1b, nº 2b e nº 3b no extremo da vazante



**Fonte:** Google Earth Pro, 2019. **Org.:** Gabriela Mendonça e Sandréia A. Cascaes, 2019.

O perfil transversal nº1b (**Gráfico 6**), a montante (traçado da margem esquerda - Lat. S 3°13'50.33"S e Long. W 59°59'14.83" para a margem direita Lat. 3°13'51.58"S e Long. 59°59'17.82") exibe o canal com largura em torno de 99,7 m, apresentando seu leito muito raso e tendenciosa regularidade métrica de fundo, com a permanência do solo residual na margem direita. Neste trecho a profundidade não alcança dois metros, sendo a maior de 1,8 m, onde se posiciona o talvegue.

**Gráfico 6** - Perfil Transversal nº 1b - entrada do canal - 10.11.2018

**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2018.

Neste trecho, a velocidade da erosão é nítida tanto na margem esquerda como na direita, principalmente nas partes mais côncavas das margens. Na margem direita, verifica-se que solo residual que se encontra no sopé, de resquício da margem, continua sendo erodido, conforme evidenciado no primeiro levantamento batimétrico. O material dificulta ainda mais a passagem de embarcações combinado com a redução do volume de água neste período. (**Figura 33**).

**Figura 33** - Material residual da margem na entrada do canal.

**Foto:** Sandréia A. Cascaes, 2018.

Neste período de final da vazante, estimou-se que nesta seção passavam em média  $26,91\text{m}^3/\text{s}$  de água, ou seja, uma baixa vazão comparada ao período em que se iniciava a descida da água, cujo o fluxo era 117 vezes superior ( $3.159,82\text{ m}^3/\text{s}$ ). A velocidade média da corrente também caiu de  $3,0\text{ m/s}$  para  $0,18\text{ m/s}$ . Portanto, a energia gasta pelo canal

neste período é bem menor, que reduz sua competência e capacidade para transportar sedimentos.

O perfil transversal nº 2b (**Gráfico 7**), do meio do canal, traçado da margem esquerda (Lat. S 3°12'55.72", Long. W 59°59'23.91") para a margem direita (Lat. 3°12'55.19" S, Long. 59°59'27.94") também mostrou o leito muito raso e o fundo com perfil pouco assimétrico. Entretanto, destaca-se a evolução do depósito de canal ao centro, conforme demonstrado no perfil nº 2a. A largura exibida nesta seção para este período foi de 126 m. O talvegue encontrava-se posicionado mais próximo da margem esquerda do que da margem oposta, atingindo uma profundidade de 2,0 m com um ligeiro deslocamento de sua posição em relação ao perfil nº 2a traçado no período de início da vazante.

**Gráfico 7 - Perfil Transversal nº 2b- meio do canal -10.11.2018**



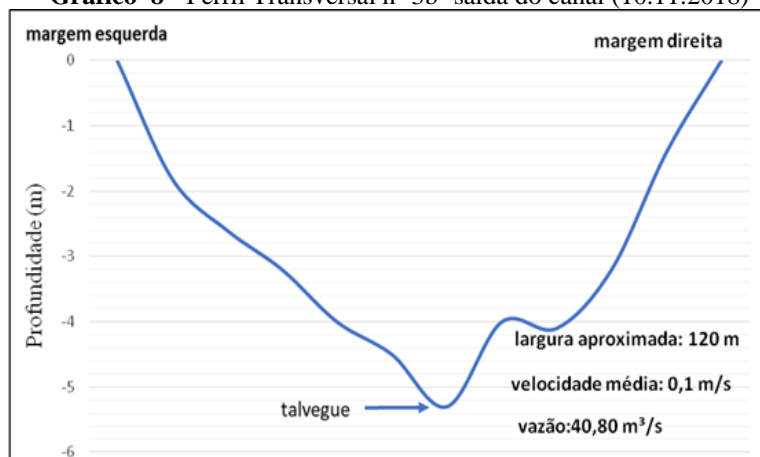
**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2018.

Neste trecho, o canal apresentava profundidade média de 1,6 m, velocidade média da corrente de 0,71 m/s e vazão líquida média de 143,13 m<sup>3</sup>/s, com uma grande diferença da vazão registrada no período de início da vazante (perfil nº 2a - 1.064.44 m<sup>3</sup>/s). Observa-se que neste perfil, as maiores velocidades encontram-se próximas as margens do canal diminuindo na sua parte central, o que contribui para a evolução do depósito de canal, com forma alongada e ondulada, gerado em decorrência da baixa velocidade e turbulência do fluxo.

Em relação ao perfil batimétrico transversal nº3b (**Gráfico 8**) realizado próximo da saída do canal, margem esquerda ( Lat. S 3°12'40.14", Long. W 59°59'17.35") para a margem direita ( Lat. S 3°12'43.49", Long. W 59°59'15.26"), o canal possuía uma largura aproximada de 120 m, onde não há muita dissimetria de fundo e o talvegue mantém-se mais profundo e ajustado ao centro, atingindo maior profundidade em relação aos outros trechos neste período, com 5,3 m. Nesse período há pouca variação de profundidade

próximo as margens, com o crescimento da deposição nesta porção de extremidade do canal.

**Gráfico 8 - Perfil Transversal nº 3b- saída do canal (10.11.2018)**



**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018. Org.: A autora, 2018.

Neste perfil a profundidade média foi de 3,4 m e a velocidade média da corrente estimada foi mínima, em torno de 0,1 m/s e a vazão média líquida foi de 40,80 m<sup>3</sup>/s. Desse modo, todos os valores das variáveis geométricas diminuíram consideravelmente comparados ao perfil nº 3a, no início da vazante.

Neste período em que o canal se encontrava muito raso, apresentou largura média aproximada de 115,23 m, profundidade média de 2,1 m, velocidade média da corrente de 0,99 m/s e vazão média líquida de 70,23 m<sup>3</sup>/s. Os perfis transversais revelaram que o canal apresentava geometria de fundo pouco irregular, estando as maiores profundidades voltadas para a margem esquerda, com exceção do perfil nº 3b, que apresentou maior velocidade média e profundidade na porção central.

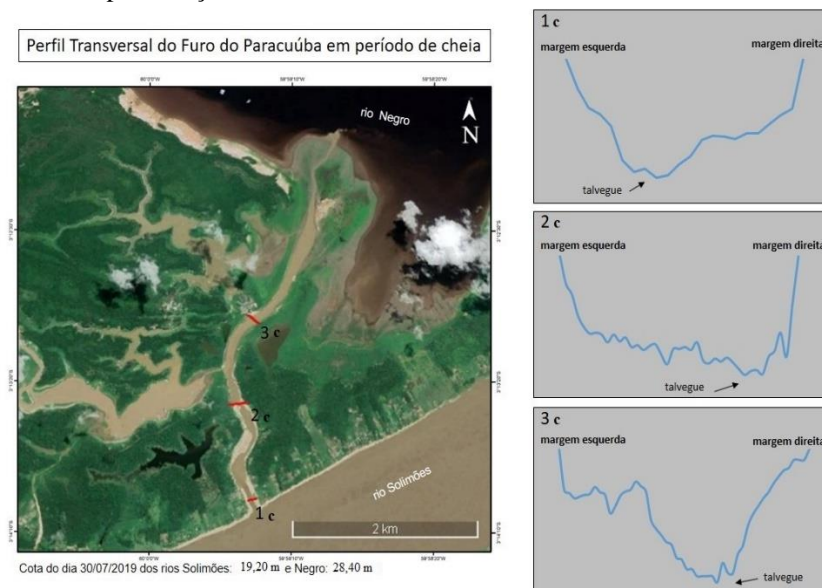
Ao comparar-se os perfis nº 1b, nº2b e nº3b, observa-se que a largura média aproximada, a velocidade média e a profundidade média são muito variáveis no sentido da entrada para a saída do canal, cabendo ao perfil nº 2b maiores valores de largura e vazão líquida. Quanto ao perfil nº 3b, foi o que registrou maior valor de profundidade média no valor de 3,4 m.

De modo geral, neste período a saída de água do canal foi maior do que a entrada, tendo em vista que na sua parte inicial, a vazão líquida foi menor (26,91 m<sup>3</sup>/s) ao compararse aos valores da saída (40,80 m<sup>3</sup>/s). Enfatiza-se, portanto, que geralmente a jusante é a direção normal por onde corre o fluxo da água de um canal fluvial, onde outros canais contribuem para o seu fluxo. Nesse caso, as águas do rio Solimões e do rio Janauari provavelmente contribuíram com maior volume a ser escoado no furo do Paracuúba.

## 5.5 Perfis Transversais referente ao período cheio no canal (30.07.2019)

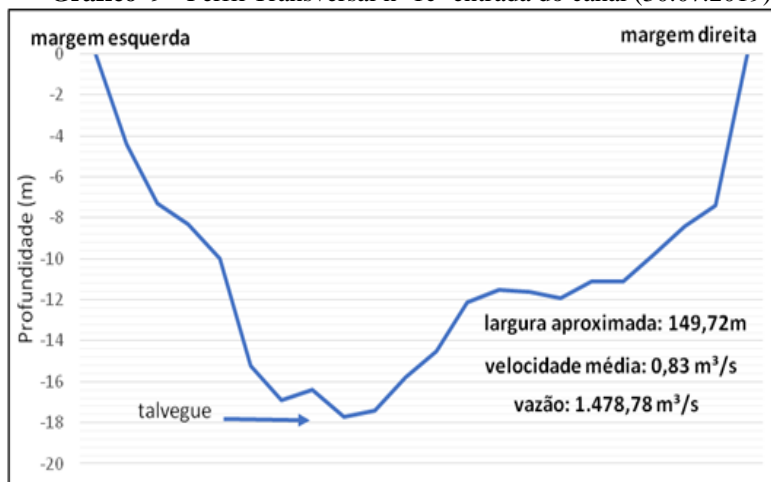
O terceiro levantamento batimétrico foi realizado no dia (30.07.2019), período em que o canal encontrava-se no seu regime de cheia, com a cota diária do Rio Solimões de 19,20 m e do Rio Negro de 28,40 m, onde foram traçados os perfis transversais n° 1c, n° 2c e n° 3c representado na **Figura 34**.

**Figura 34** - Representação dos Perfis Batimétricos n° 1c n° 2c e n° 3c do canal do Paracúba na cheia



**Fonte:** Google Earth Pro, 2019. **Org.:** Gabriela Mendonça e Sandréia A.Cascaes, 2019.

O perfil batimétrico transversal n°1c (**Gráfico 9**), corresponde a entrada do canal, traçado da margem direita (Lat. S 03°13'49.52", Long. W 059°59.14.16") para a margem esquerda (Lat. S 03°13'51.82", Long. W 059°59.18.49"). Nesta seção o canal exibia a largura aproximada de 149,72 m e o talvegue encontrava-se tendenciosamente para a margem esquerda, a uma profundidade de 17,7 m, registrando-se a maior profundidade entre todos os nove levantamentos batimétricos realizados nesta pesquisa. O talvegue se encaixou mais próximo da margem esquerda, em decorrência da presença do solo residual na margem direita do canal.

**Gráfico 9** - Perfil Transversal nº 1c- entrada do canal (30.07.2019)

**Fonte:** Trabalho de Campo, 2019. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2019.

Neste perfil a profundidade média obtida foi de 11,9 m, a velocidade média estimada foi de 0,83 m/s, onde passavam um volume de água de 1.478,78 m<sup>3</sup>/s, ou seja, uma vazão líquida aproximadamente duas vezes menor comparado ao período em que a água do rio estava começando a descer e 55 vezes maior comparada de extremo da vazante. Isto reflete na menor velocidade do fluxo de água também neste período de cheia, considerando que no início da vazante, a energia gasta pelo rio era maior e com um fluxo mais turbulento. Entretanto, ao se comparar com o perfil nº 1b, onde a cota do rio estava muito baixa, a velocidade exibida na cheia foi maior, ou seja, a velocidade do fluxo da água é proporcional a vazão na seção transversal.

O perfil batimétrico transversal nº 2c (**Gráfico 10**) foi realizado no meio do canal, margem direita (Lat. S 03°13'14.64" Long. W 59.59'18.97") e margem esquerda (Lat. S 03°13'15.45" Long. W 59°59'26.29"). No local, a seção apresentava variação de profundidade e pouca simetria no fundo, apresentando por volta de 154,35m de largura. Neste período, o talvegue encontrava-se rebaixado próximo a margem direita, a uma profundidade de 12,4 m. A configuração de fundo neste perfil aparece bem diferente dos perfis nº 2a e nº 2b apresentados anteriormente, onde o depósito em formação constatado nos levantamentos anteriores aparece mais suavizado em decorrência do maior volume de água.



**Gráfico 10** - Perfil Transversal nº 2c - meio do canal (30.07.2019)

**Fonte:** Trabalho de Campo, 2019. **Org.** Sandréia A. Cascaes A autora, 2019.

Nesta seção transversal, a velocidade média da corrente foi estimada em 0,43 m/s, demonstrando que o maior uso de energia pelo canal está em direção a margem direita. Estimou-se que passam por segundo neste trecho 623,88 m<sup>3</sup>/s de água. Assim, houve um menor volume de água passando na seção comparado ao período de início da vazante (perfil nº 2 a) e maior comparado ao extremo da vazante no canal (perfil nº 2b).

Condizente ao perfil batimétrico transversal nº 3c (**Gráfico 11**), traçado na saída do canal, da margem direita (Lat. S 03°12'35.03", Long. W 59°58'32.79") para a margem esquerda (Lat. S 03°12'40.19", Long. W 59°59'19.32"), a seção transversal apresentava por volta de 245,38 m de largura, maior medida para esta variável em relação aos nove perfis traçados nos diferentes regimes do canal. O perfil de fundo mostra o leito assimétrico, oscilando entre pequenas e médias profundidades, com o talvegue localizado a 15,2 m e posicionado quase ao centro do canal, com um ligeiro deslocamento em direção a margem direita. Nota-se a presença do depósito de acreção lateral junto a borda marginal esquerda, conforme evidenciado nos perfis nº 3a e nº 3b, mas com a superfície mais irregular.

**Gráfico 11** - Perfil Transversal nº 3c- saída do canal (30.0.7.2019)

Fonte: Trabalho de Campo, 2019. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

A velocidade média da corrente nesta seção foi estimada em 0,36 m/s, valor mais próximo de quando o rio estava vazando. A média de profundidade na seção foi de 7,8 m e a vazão líquida média foi de 686,81 m<sup>3</sup>/s, volume superior aos perfis nº 3a e 3b ( 349,18 e 40,80 m<sup>3</sup>/s, respectivamente).

As análises batimétricas no período cheio, demonstram que o canal apresentava as seguintes médias aproximadas: largura 183,15 m, profundidade 9,7 m, velocidade 0,52 m/s e vazão média de 899,34 m<sup>3</sup>/s. Ao comparar-se esses perfis transversais (nº 1c, nº 2c e nº 3c) observa-se uma configuração de fundo muito diferente dos outros períodos hidrológicos analisados. Isto demonstra que na elevação das águas no canal, a dinâmica hidrológica é mais intensa. A posição do talvegue varia entre as seções transversais entre as margens e o centro. O canal apresentava-se mais largo, aumentando os valores de montante em direção a jusante. O inverso ocorreu com a velocidade média do fluxo da corrente e profundidade média, com declínio de montante para a jusante. A vazão líquida variou, com maior e menor valor na entrada e no meio, respectivamente.

Os dados compilados na **Tabela 5**, permitem observar os valores médios obtidos nos nove levantamentos batimétricos realizados no canal e comparar as variações nas diferentes seções transversais e nos diferentes períodos hidrológicos do rio, tomando como base as cotas dos dois rios que margeiam as extremidades do canal, o Solimões e o Negro.

**Tabela 5** - Síntese das medições batimétricas e geométricas das seções transversais

<b>INÍCIO DA VAZANTE NO CANAL - 13.08.2018</b>							
<b>Perfis</b>	Largura aprox. (m)	Profundidade média (m)	Velocidade média (m/s)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Profundidade do talvegue (m)	Cota diária (m)	
<b>n° 1a</b>	125,39	8,4	3,0	3.159,82	11,5	Solimões	Negro
<b>n° 2a</b>	124,54	7,7	1,11	1.064,44	10,6	17,54	27,16
<b>n° 3a</b>	156,72	7,2	0,31	349,18	14,6		
<b>EXTREMO DA VAZANTE NO CANAL- 10.11.2018</b>							
<b>n° 1b</b>	99,7	1,5	0,18	26,91	1,8	7,95	17,08
<b>n° 2b</b>	126	1,6	0,71	143,13	2,0		
<b>n° 3b</b>	120	3,4	0,1	40,80	5,3		
<b>PERÍODO DE CHEIA DO CANAL- 30.07.2019</b>							
<b>n° 1c</b>	149,72	11,9	0,83	1.478,78	17,7	19,20	28,40
<b>n° 2c</b>	154,35	9,4	0,43	623,88	12,4		
<b>n° 3c</b>	245,38	7,8	0,36	686,81	15,2		

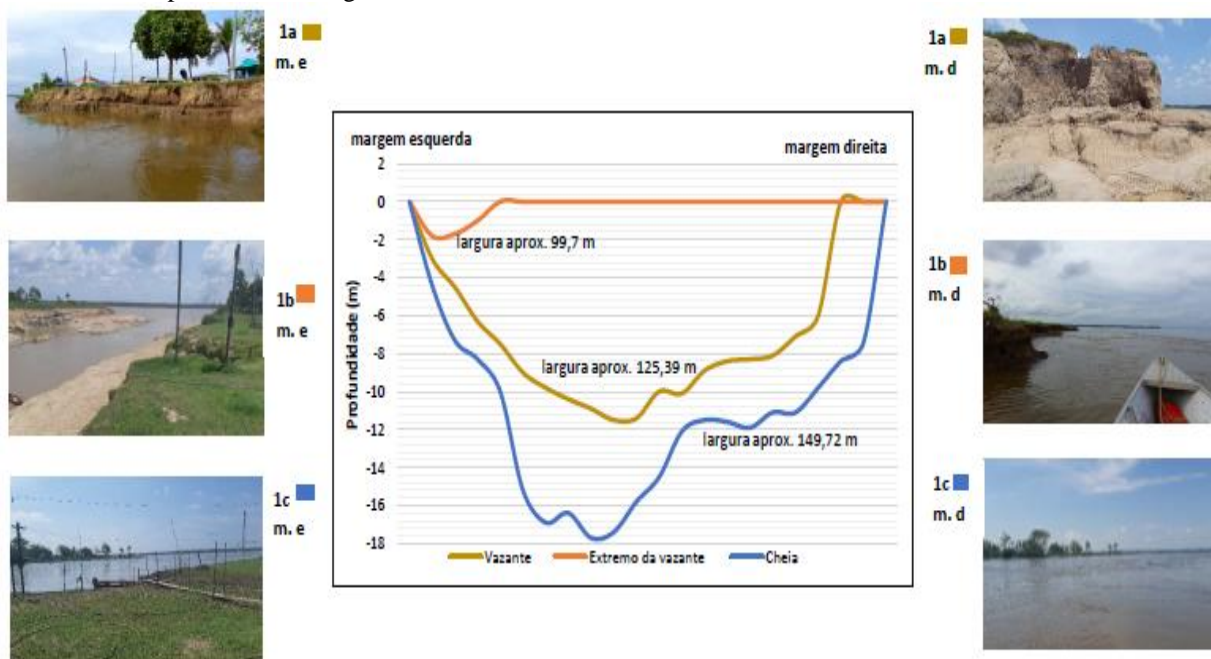
Fonte: Trabalho de Campo, 2018/2019. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

Visando estabelecer uma análise comparativa entre os perfis das mesmas seções transversais, mas em diferentes períodos hidrológicos e correlacionar as possíveis alterações, os gráficos foram sobrepostos e combinados os perfis: n° 1a, 1b e 1c (entrada do canal), n°2a, 2b e 2c (meio do canal) e n° 3a, 3b e 3c (saída do canal).

Sendo assim, no trecho inicial do canal, o rio Solimões ao adentrar o furo dá início a seu trabalho de erosão, transporte e deposição, desenvolvendo influência direta na direção do fluxo da água e no regime hidrológico do canal. Com a integração dos gráficos dos perfis n° 1a, 1b e 1c- da entrada do canal (**Figura 35**), observa-se que neste trecho, durante o período cheio, o canal se encontrava mais assimétrico e mais profundo. Quanto a posição do talvegue, no início da vazante, este se encontrava na parte central, já nos períodos de extremo da vazante e da cheia divagou em direção a margem esquerda.

É possível observar nas fotos, o cenário de uma paisagem muito dinâmica neste trecho do canal, principalmente quando o nível fluviométrico se encontra muito baixo. Na porção da entrada, devido a ação do desbarrancamento da margem direita e esquerda, resultantes da combinação da erosão e movimento de massa, grande quantidade de material se precipita no leito do rio, somados ao solo residual da margem e favorecendo dessa forma a formação de bancos de areia neste trecho, que por ser bastante extenso e acentuado afunila o canal de navegação.

**Figura 35** - Integração dos perfis batimétricos transversais n° 1a, 1b e 1c (entrada do canal ) para os diferentes períodos hidrológicos do Furo do Paracuúba



**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018/2019. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

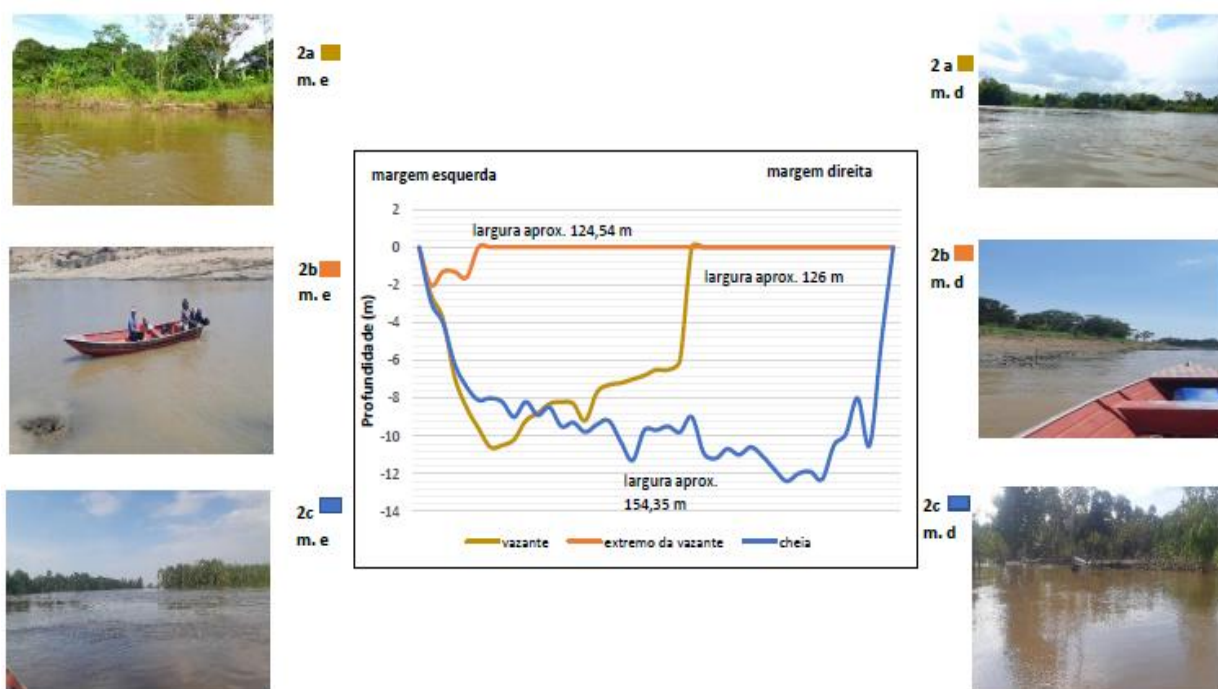
Os perfis (n°1a e 1c), referentes ao início da vazante em 2018 e cheia em 2019 respectivamente, com diferença de cota do Rio Solimões de 1,66 m, são os que apresentaram os maiores valores de vazão e velocidade média da corrente em cada período, cabendo ao primeiro perfil os maiores valores dessas duas variáveis entre todos os nove perfis batimétricos realizados. Isto posto, observa-se que nos períodos em que o canal se apresentava com maiores volumes de água, foram quando a dinâmica na entrada se deu de forma mais intensa. No entanto, o perfil n°1b, do período de águas baixas, foi o responsável pelo menor volume de água passando na seção transversal na porção do meio do canal.

Em relação aos perfis integrados da porção do meio nos diferentes períodos hidrológicos, n° (2a, 2b e 2c) (**Figura 36**), verifica-se que as menores profundidades do talvegue registradas foram nesse trecho, variando entre 2,0 m (no extremo da vazante) e 12,4 m (na cheia). No período que as águas começavam a baixar (perfil n° 2a) e no período de extremo da vazante (perfil n° 2b), o talvegue se encontrava posicionado em direção à margem esquerda, visto que na sua parte central o depósito em formação é mais evidente quando o volume de água se reduz. Entretanto, no período cheio (perfil n° 2c), há uma marcante mudança na posição do talvegue, no qual aparece deslocado em direção a margem direita, revelando uma seção mais assimétrica e com maior profundidade.

O caráter dinâmico nesta seção transversal, entre outros fatores, é nitidamente influenciado pelo grande volume das águas e a velocidade do fluxo da corrente. Conforme

se verifica entre os períodos, foi no início da vazante (perfil 2a) que apresentou a maior velocidade média da corrente e maior vazão líquida, considerando-se esse trecho como de forte turbulência. No perfil nº 2b, devido a presença do depósito em formação no centro do canal, apresenta menor gasto de energia, uma vez que a geometria da seção é um importante fator regulador da velocidade, o que neste caso, tende a diminuir em virtude do baixo volume de água e da maior rugosidade do leito, embora esta elevação do relevo fluvial se apresente suave. A assimetria do perfil nº 2b também altera a eficiência da velocidade, pois trata-se de uma configuração de fundo com variação de profundidades e maior rugosidade.

**Figura 36** - Integração dos perfis batimétricos transversais 2a, 2b e 2c (meio) em diferentes períodos hidrológicos do Furo do Paracuúba



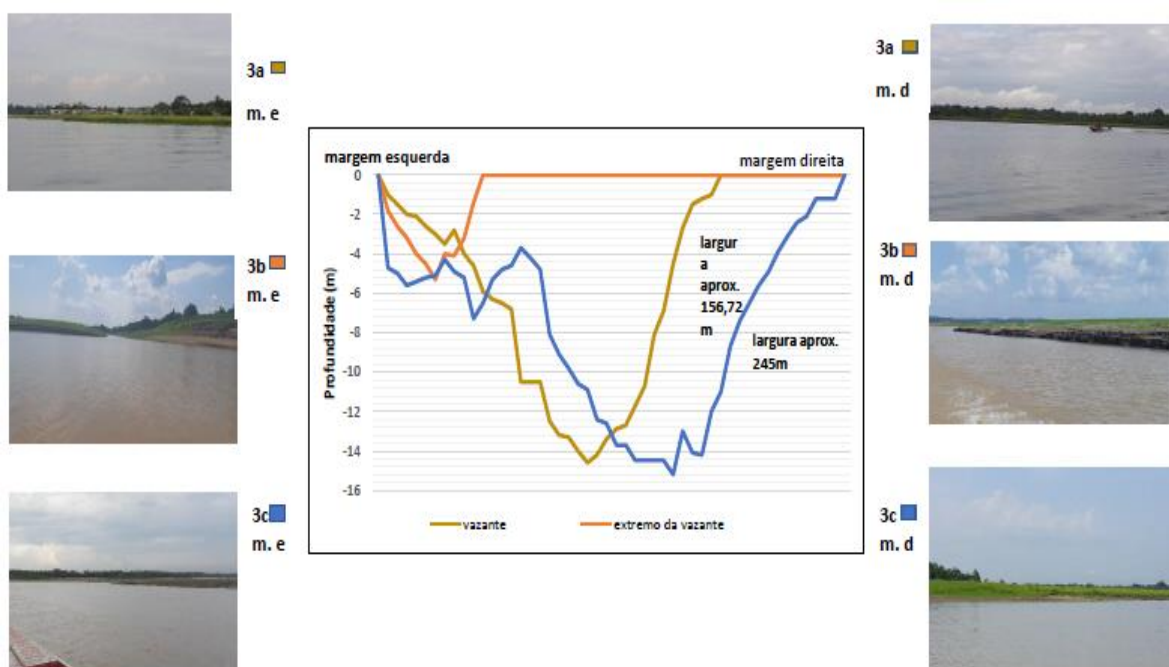
**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018/2019. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2019.

A geometria de fundo do segmento da saída do canal, representada pela integração dos perfis nº3a, 3b e 3c (**Figura 37**), mostrou que este trecho é o mais assimétrico e mais largo do canal e onde se registrou a maior profundidade, no período cheio, atingindo 15,2 m. O talvegue manteve-se posicionado ao centro em todos os três períodos hidrológicos, com uma ligeira inclinação em direção a margem direita no período cheio.

O volume de água que passa na seção transversal é maior no período cheio (perfil nº3 c) e menor no período de águas baixas (perfil nº3a). Estes dois perfis exibiram valores de profundidades parecidas, no entanto, o perfil nº 3b exibiu a maior profundidade em relação as outras seções analisadas no mesmo período de extremo da vazante.

Há uma diferença mínima de profundidade do talvegue nesta seção comparada a batimetria de agosto de 2018. As maiores profundidades encontram-se no centro e próximo a margem direita. Neste trecho do canal, próximo a margem esquerda vem ocorrendo o desenvolvimento do processo deposicional evoluindo para a parte central. Este fato é mencionado em relatos dos donos de embarcações, que afirmam que a formação dos bancos de areia por deposição sedimentar neste trecho da saída do canal, principalmente no período de vazante têm dificultado a navegação.

**Figura 37** - Integração dos perfis batimétricos transversais n°3a,3b e 3c (saída) em diferentes períodos hidrológicos do Furo do Paracuúba



**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018/2019. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019

A análise batimétrica permitiu verificar que a cheia é período responsável pela maior dinamicidade da geometria de fundo nas seções transversais do canal. Além do volume e da profundidade serem as variáveis mais expressivas do período, observou-se que a velocidade média da corrente é variável dependente da quantidade de água que passa na seção, ou seja, do volume em  $m^3/s$ . Os valores obtidos para velocidade média da corrente entre os diferentes períodos de regimes hidrológicos variaram entre 0,18 a 3,0 m/s na extremidade de entrada do canal, voltada para o rio Solimões, e valores entre 0,1 a 0,36 m/s na extremidade de saída para o rio Negro. Silva *et al.* (2014) também realizaram teste de medição da velocidade da água no canal em estudo no período de cheia máxima e obtiveram a média para o canal de 0,98  $m^3/s$ . De acordo com Filizola (2009), a velocidade média da água no baixo curso do rio Solimões é de 1,25 m/s e no

curso inferior do Rio Negro, próximo a confluência, apresenta uma velocidade média em torno de 0,4 m/s.

Conforme Nascimento (2016), no canal do rio Solimões, a montante da confluência, a distribuição da velocidade média da corrente varia entre 2,5 a 3,0 m/s e no canal do rio Negro, a montante da confluência variam entre 0,04 a 0,85 m/s. Isto posto, os valores obtidos para velocidade média da corrente nas extremidades estão próximos dos estudos nas áreas adjacentes ao canal.

A entrada, ao receber o aporte de água do Solimões e a saída ao despejar o volume no rio Negro, são as partes mais dinâmicas do canal fluvial, onde os sedimentos trazidos pelo rio Solimões são depositados por acreção lateral, dispostos na porção do meio e retrabalhados nas margens, principalmente na saída.

Verificou-se que a margem esquerda e o centro do canal, nas seções de entrada e meio, é onde se registraram as maiores profundidades, com exceção da seção de perfil nº2c (meio), quando na cheia o talvegue encontrava-se deslocado para a margem direita. Entretanto, o processo é inverso no trecho da saída do canal, junto a margem esquerda, onde vem ocorrendo deposição de sedimentos.

Pela análise, verificou-se que o rio descreve maior pressão hidráulica na margem esquerda, causando um intenso processo de erosão combinado aos movimentos gravitacionais de massa. Uma das razões para que o processo erosivo seja mais acentuado na entrada e no meio se deve ao formato de curva do canal nos referidos trechos, sendo as partes mais côncavas, onde o fluxo da água acontece com maior intensidade.

Embora exista uma pequena diferença de localização entre os pontos da entrada, do meio e da saída do canal escolhidos para a realização dos testes, e também as diferenças de cotas fluviométricas entre um período e outro, é possível observar que os nove perfis transversais ao representarem a geometria de fundo do Furo do Paracuúba revelam que o canal ajusta sua morfologia constantemente na busca por equilíbrio fluvial, onde os processos fluviais imprimem uma dinâmica fluvial intensa e constante, resultando numa variação de medidas hidrológicas e geométricas.

#### 5.5.1 Processos Antrópicos

Como explicar qual a importância do Furo do Paracuúba para a navegação e de que forma a ação humana através do fluxo de embarcações contribui para o desgaste de suas margens?

De acordo com o relatório de inspeção da AHIMOC (2001), este canal tem grande importância a navegação por encurtar a distância hidroviária, em 20 km, entre o rio Solimões (a montante - entrada do furo) e Manaus. O intervalo de tempo em que o furo é utilizado para a navegação varia de ano para ano, tendo oscilado nos últimos anos entre 5 e 8 meses/ano.

Com o propósito de correlacionar a utilização da via fluvial ao desgaste das margens, foram aplicados nesta pesquisa questionários aos comandantes e/ou donos de embarcações que aportam frequentemente no porto da Manaus Moderna. Também se realizou minuciosamente a contagem das embarcações que trafegavam pela via em dois dias distintos, a primeira na vazante e a segunda no período da enchente com o propósito de se obter uma média diária do fluxo de embarcações.

#### 5.5.1.1 Entrevista com os proprietários e/ou comandantes de embarcações

É importante enfatizar que apesar de um grande número de embarcações utilizarem o Furo do Paracuúba para encurtar distancias e economizar gastos, nem todas as embarcações que navegam seguindo suas rotas normais no sentido para o rio Solimões utilizam este canal como passagem.

Por isso, devido a inconstância da rota dos navegantes das pequenas embarcações motorizadas que utilizam o canal, optou-se por aplicar os questionários destinados aos “proprietários e/ou donos de embarcações” somente àqueles cuja modalidade utilizada é do tipo lanchas a jato e barcos de médio porte (aplicou-se 9 e 3 questionários, respectivamente) e que estão regularizados junto à Capitania dos Portos e utilizam o canal com maior frequência. Essas embarcações têm motores com potências que variam entre 160 a 600 HPs e desenvolvem velocidades de 40 a 80 km/h (**Figura 38**).

**Figura 38** - A ação antrópica nas margens fluviais a partir da navegação fluvial



Foto (A): Sandréia A. Cascaes, 2018. Foto (B): Roberto Epifânio, 2018



Os dados da pesquisa incluindo as embarcações menores serão apresentados e discutidos no item que trata dos resultados do questionário aplicado aos moradores das comunidades abrangidas pelo canal, a ser discutido mais adiante (Item 4.5).

As viagens percorridas pelos entrevistados que utilizam o furo como via de acesso são em sua maioria realizadas diariamente, equivalente a 67% do total; e para que aqueles que usam o canal em dias alternados somam cerca de 25%, e somente 8% que utilizam o furo com menor frequência e somente nos períodos de cheia.

Essa modalidade de transporte fluvial de pequena e média distância, denominados regionalmente como “barcos de linhas” ou “recreio” ou “lanchas a jato”, tem como destino final outros municípios do Amazonas, como: Manaquiri, Carauari, Coari, Itamarati, Careiro da Várzea e Caapiranga, além de diferentes localidades próximas a Manaus e Iranduba. Por causa da localização geográfica, com poucas exceções, a origem das linhas dessas embarcações é da mesma localidade onde residem os encarregados do transporte, correspondente a 67%.

Por isso, ao analisar a natureza das respostas nas questões abertas, evidenciou-se que o Furo do Paracuúba é bastante reconhecido pelos navegadores como uma importante via de acesso que promove o encurtamento da distância percorrida entre os rios Solimões e Negro. Segundo estes, ao contornarem o canal pelo encontro das águas durante o período em que o rio está em seu nível mais baixo, precisam lidar com viagens mais demoradas e mais onerosas, posto que, o consumo de combustível aumenta consideravelmente, que de acordo com as respostas dos encarregados pelas embarcações, mostradas na **Tabela 6**, variam de 15min a 2 horas, bem como o aumento da despesa com combustível até chegarem aos seus destinos finais, sendo acrescidos cerca de 10 a 100 litros.

**Tabela 6** - Tempo gasto X consumo de combustível acrescidos nas viagens contornando o Furo do Paracuúba pelo Encontro das águas dos rios Solimões e Negro, de acordo com os entrevistados.

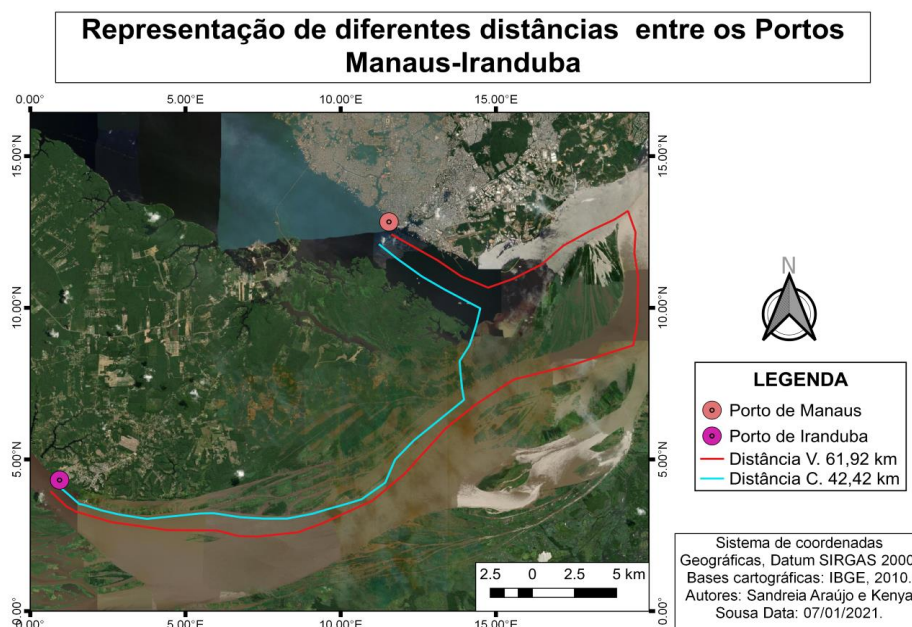
<b>Ordem</b>	<b>Tempo (min./hora)</b>	<b>Combustível (l)</b>
<b>1</b>	1:00-2:00	50
<b>2</b>	02:00	20
<b>3</b>	00:15-00:30	10
<b>4</b>	00:40	50
<b>5</b>	01:00	100
<b>6</b>	00:30	50
<b>7</b>	00:40	30
<b>8</b>	00:30-00:40	20
<b>9</b>	01:30	50

<b>10</b>	00:40-00:45	50
<b>11</b>	01:00	100
<b>12</b>	01:00	50

**Fonte:** Trabalho de Campo, 2019. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2019.

Essa relação varia entre uma embarcação e outra, a depender da potência do motor. Quanto a distância em quilômetros, os entrevistados não conseguiram indicar a diferença entre percursos para se chegar a um determinado ponto, na vazante ou na cheia. Por isso, foram estimadas as distâncias nos diferentes períodos do regime hidrológico (**MAPA 5**). Ao sair do Porto de Manaus com destino ao Porto de Iranduba, contornando o canal pelo o encontro das águas, no mês de outubro de 2020, durante o ápice da vazante, a distância percorrida gira em torno de 61,92 km, enquanto que, durante a cheia, quando o canal se encontra bastante navegável, no mês de junho de 2020, são gastos aproximadamente 42,42 km.

**Mapa 5** - Distância em quilômetros entre os Portos Manaus-Iranduba seguindo diferentes percursos.



**Fonte:** Google Earth Pro, 2021. **Org.:** Sandréia A. Cascaes e Kenya Souza, 2021.

As estimativas de tempo e consumo de combustível baseiam-se nas experiências adquiridas pelas viagens ao longo dos anos, que conforme alguns entrevistados, já ocorrem há anos ou até mesmo desde que eram crianças e para outros com tempo que variam entre 5 e 30 anos. Esse tempo de vivência tem permitido aos navegadores notarem muitas mudanças que vem ocorrendo no canal e na paisagem ao longo dos anos. Nos seus

níveis de entendimento, as principais mudanças referem-se ao alargamento do canal, ao aumento das terras caídas nas margens, a presença de troncos de árvores, ao surgimento de praias, a obstrução de trechos no período baixo do rio (que para alguns está ocorrendo na entrada, para outros no meio e outro na saída), ao aumento da velocidade da correnteza, a diminuição da profundidade, a mudança de direção do canal e o aumento da profundidade na opinião de outro (**Tabela 7**). Ressalta-se que entre os doze entrevistados, alguns apontaram mais de uma mudança.

**Tabela 7** - Principais mudanças apontadas pelos doze entrevistados nos últimos anos

Nº	Indicações	nº de respostas	%
<b>1</b>	Alargamento do canal	8	66,7
<b>2</b>	Terras caídas nas margens	7	58,5
<b>3</b>	Troncos de árvores no canal	3	25
<b>4</b>	Surgimento de praias	2	16,67
<b>5</b>	Acúmulo de terra na entrada	2	16,67
<b>6</b>	Acúmulo de terra no meio	2	16,67
<b>7</b>	Acúmulo de terra na saída	1	8,4
<b>8</b>	maior velocidade da correnteza	2	16,67
<b>9</b>	menor profundidade	2	16,67
<b>10</b>	mudança de direção do canal	1	8,4
<b>11</b>	maior profundidade	1	8,4

Fonte: Trabalho de Campo, 2019. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2020.

Muito embora os dados batimétricos que foram levantados em campo nesta pesquisa sejam relacionados a apenas um ano hidrológico (compreendendo o início da vazante, extremo da vazante e cheia) e os problemas apontados pelos proprietários e/ou comandantes sejam relacionados a observações de um tempo mais prolongado, é pertinente notar que há uma correlação quanto a questão do acúmulo de sedimentos e a formação de bancos de areia na saída e na parte central do canal, entre outros problemas. No relatório da AHIMOC (2001), também se mencionou que nos períodos mais secos, o Furo do Paracuúba apresenta-se seco nas extremidades e com águas represadas no seu interior, habitualmente denominados de “poços”. No leito são encontrados uma grande quantidade de troncos encalhados, contribuindo no processo de assoreamento devido as favoráveis condições de depósitos entre eles. Em alguns trechos, as margens mostram taludes instáveis com sinais de contínuo processo de desbarrancamento provocados pelas cheias (AHIMOC, 2001).

Por tais razões, e embora seja uma preocupação pretérita, os navegantes relatam que tem aumentado os cuidados ao trafegar pela via fluvial devido suas condições de

navegabilidade, principalmente no período de águas baixas quando as árvores que descem junto com as margens destruídas e encalham nas áreas de menor profundidades, dificultam e provocam um grande perigo para as viagens.

As principais dificuldades apontadas pelos entrevistados com relação à navegação no período de menor nível fluviométrico descrevem a mudança da rota pelas embarcações e a mudança de direção do canal em decorrência da presença de praias ou bancos que atrapalham seu percurso. Logo, na saída (trecho considerado por eles como entrada a parte que está votada para rio Negro), a formação desses bancos de areia tem causado o “encalhamento” das embarcações, obrigando-os a contornarem o canal pelo encontro das águas, conforme o relato de um dos entrevistados:

“Na alagação, a correnteza do Solimões, traz areia para o Rio Negro aí forma os bancos. Esse ano [2019], já fizemos a rota pelo encontro das águas um mês e pouco porque estava muito seco” (proprietário de lancha a jato, 2019).

Identificados que estes transportes fluviais estavam registrados junto à Capitania dos Portos de Manaus, entidade que exerce o controle e a fiscalização sobre as embarcações que trafegam na região do baixo Amazonas, procurou-se saber com os entrevistados sobre quais as exigências ou recomendações da autarquia quanto ao tráfego dessas embarcações pelo canal em qualquer um dos períodos de variação do regime hidrológico.

Orientações sobre os perigos a navegação na época da vazante, por razões variadas, incluindo o intenso rebojo<sup>7</sup> em alguns trechos e praias no canal foram apontadas por 25 % dos entrevistados como uma recomendação da capitania. Entretanto, 8,3% disseram que não há quaisquer cobranças ou orientações, outros 25% disseram que dificilmente a lancha da fiscalização está no local e que quando isso ocorre, despacham notificações aos navegadores pelo excesso de velocidade. Sobre este aspecto, 41,7%, disseram que a capitania orienta para que no período cheio a velocidade não seja excedida, posto que o banzeiro ajuda a destruir as casas junto as margens.

Com isto, se confirmou que a fiscalização ocorre apenas esporadicamente e que não há orientações regulamentadas pelas entidades que administram as hidrovias aos operadores das embarcações que trafegam no canal. Conforme os donos e encarregados,

---

<sup>7</sup> Funil d'água ou redemoinho causado pela força d'água como chamam as populações ribeirinhas

isto somente acontece de forma mais severa quando ocorrem casos de acidentes durante o percurso.

Em vista desses argumentos, procurou-se Capitania Fluvial da Amazônia Ocidental – Marinha do Brasil para informações acerca da quantidade de embarcações, das notificações e dos possíveis acidentes ocorridos no Furo do Paracúba. As informações obtidas foram de que não há um levantamento específico relativo a este canal e que tão somente ocorre a verificação com as embarcações que são despachadas no porto fiscalizando a tripulação, a carga, o número de passageiro e o destino final. Os encarregados dos despachos pela Capitania responderam ser opcional a rota a ser seguida pelas embarcações, afirmando não ser obrigatório o uso deste canal como via fluvial.

Em relação aos motivos citados quando se perguntou aos proprietários sobre a ocorrência de acidentes com seus próprios transportes, 41,7% disseram que os acidentes já ocorridos eram relacionados aos obstáculos presentes no canal, como bancos de areia, pedras, troncos de árvores, entre outros. Para 8,3%, os acidentes sofridos tinham haver com problemas mecânicos da própria embarcação. E a maioria (50%), responderam que nos percursos das viagens pelo canal ainda não haviam ocorridos acidentes com seus transportes, posto que averiguam constantemente os obstáculos e por isso redobram os cuidados, mudando a rota pelo encontro das águas quando o canal se encontra muito raso.

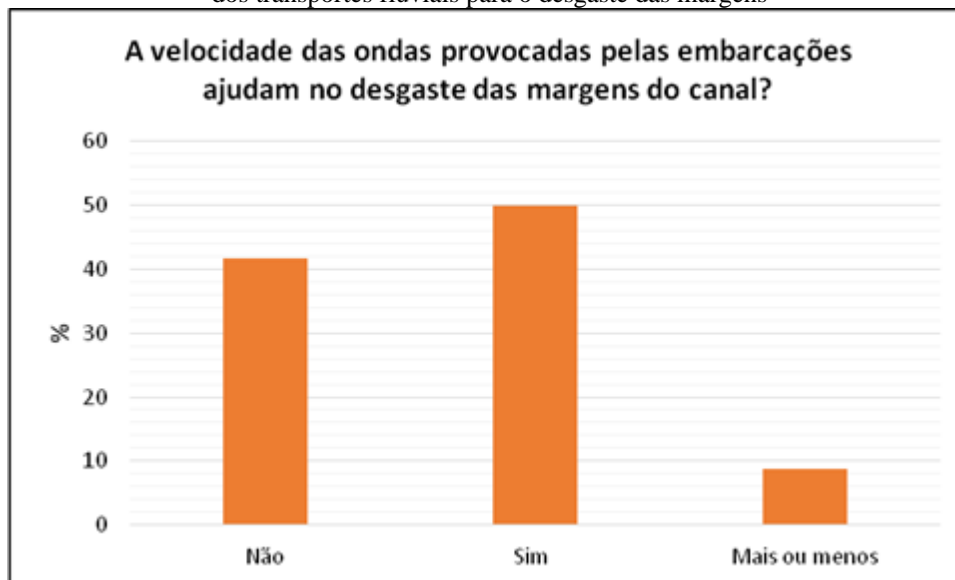
Carvalho (2012), ressalta que os naufrágios de embarcações no rio Amazonas causados por esbarroamento com troncos foram muito comuns até aproximadamente a década de 1970 e que a partir dessa década os acidentes com tronco de árvore foram diminuídos na medida em que os barcos regionais, principalmente os barcos de recreio passaram a ser equipados com instrumentos de navegação como o sonar e pelo fato de que as margens dos rios passaram a ser melhor conhecidas pelos comandantes.

Na época da cheia, devido ao alto nível das águas, a travessia pelo furo torna-se mais intensa e com isso crescem os problemas de segurança gerados por essas embarcações aos ribeirinhos que habitam as margens do furo. A alta velocidade, além de causar o desgaste das margens causam transtornos constantes aos moradores conforme seus relatos nas entrevistas a ser discutido no item 4.5

A respeito dos problemas, 50% dos proprietários e/ou comandantes concordaram que a velocidade das ondas provocadas pelos banzeiro ajudam a desgastar as margens, provocando desmoronamentos ou desabamentos de terras. Esse entendimento não foi aceito por 41,7%, visto que nos seus pontos de vista, os desabamentos só ocorrem por conta da própria velocidade das águas do rio, considerada muito forte no canal. Desse

modo, justificam o fator natural “correnteza” como responsável decisivo. Apenas um entrevistado (8,7%), respondeu mais ou menos ao questionamento (**Gráfico 12**).

**Gráfico 12** - Ponto de vista dos donos e/ou proprietários de embarcações quanto a contribuição dos transportes fluviais para o desgaste das margens



Fonte: Trabalho de Campo, 2019. Org.: Sandrêia Cascaes, 2019.

Na opinião de um entrevistado, o desmoronamento é causado principalmente porque o furo é um canal recente: “O furo é novo e antes era somente um rêgo e que por conta de ter um solo novo o canal ainda está se expandindo e por isso que para o rio Negro não acontecesse isso” (Comandante de embarcação, 2019).

O objetivo deste trabalho não se trata em analisar os processos físicos gerados pelas ondas resultantes da passagem das embarcações pelo Furo do Paracuúba (**Figura 39**), mas tão somente discutir os efeitos da navegação, os períodos de maior fluxo pelo canal e seus potenciais impactos para o desgaste das margens. Do ponto de vista técnico é realmente difícil e custoso monitorar e mensurar a pressão hidráulica gerada pelos banzeiros resultantes das altas velocidades das embarcações para o desgaste das margens. A dinâmica destas ondas desde a sua propagação até a chegada as margens dependem dos mecanismos e fatores que atuam de forma conjunta, envolvendo entre outros, as características da coluna d’água e dos tipos de embarcações que trafegam no canal por um longo período, gerando assim diferentes padrões de ondas.

**Figura 39** - Embarcação “a jato” trafegando pelo canal.



**Foto:** Capturada pelo VANT- LATOSSOLO, 2019.

Embora a ação das ondas dos transportes fluviais não seja um fator que atua isoladamente ou diretamente na erosão lateral ou movimentos de massa, pôde-se observar durante toda a realização desta pesquisa, um fluxo contínuo de embarcações que deslocam constantemente as massas de água, exercendo pressão nas paredes dos barrancos, através da ação dos mecanismos de abrasão e/ou cavitação alterando a dinâmica natural do fluxo. Neste sentido: “A cavitação ocorre somente sob condições de velocidade elevada da água, quando as variações e pressão sobre as paredes do canal facilitam a fragmentação das rochas. A corrosão ou abrasão, ocorre quando há o desgaste pelo atrito mecânico geralmente através do impacto das partículas carregadas pela água” (CHRISTOFOLETTI, 1981, p. 236).

Portanto, a ação antrópica não pode ser desconsiderada, pois à medida que as embarcações favorecem o poder abrasivo da água, o desgaste das margens é facilitado, ainda que com pouca intensidade sobre os materiais que a compõem.

#### 5.5.1.2 Contagem do número de embarcações que trafegam pelo canal

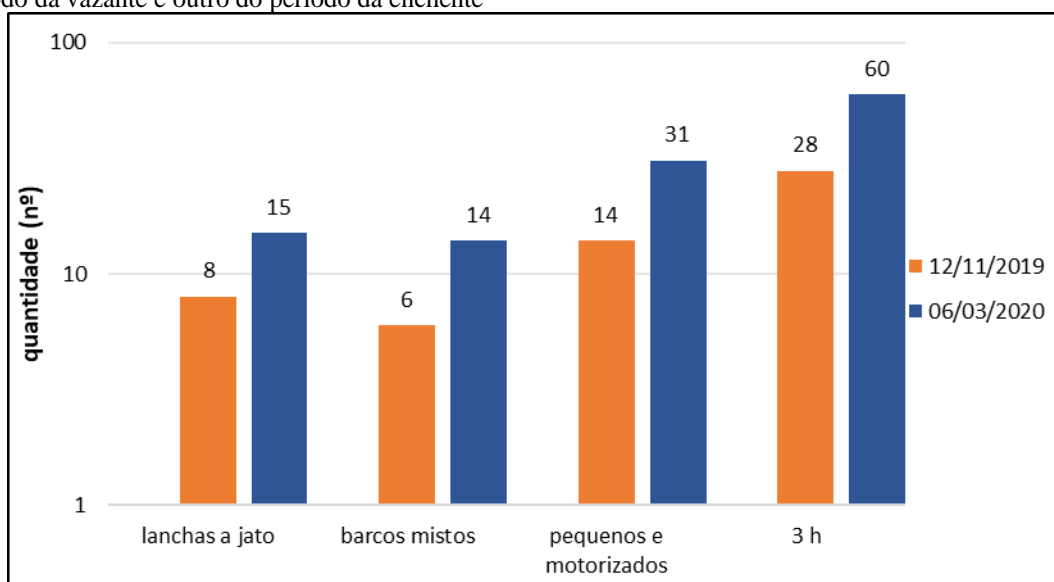
Uma observação mais direta visando a quantificação desse fluxo de embarcações pelo Furo do Paracuúba foi realizada *in locu* durante dois momentos de regime hidrológico do canal, (vazante e enchente), que embora envolvam um período de tempo relativamente curto, contabilizado durante 3 horas a cada contagem, as estimativas médias diárias servem como um parâmetro simples de comparação entre os períodos de

maior utilização do canal como via de acesso e para as análises baseadas na importância da via fluvial e na interpretação do fator humano para a modificação dessa importante unidade sistêmica.

Com base na contagem, os dados sugerem que no período da enchente é proeminente a quantidade de embarcações que utilizam o canal como via de acesso. Nesse período, o itinerário das viagens se reduz, proporcionando maior economia de tempo e combustível conforme já apresentado e discutido anteriormente. De acordo com os dados da contagem, a média diária de embarcações no período cheio foi de 115% a mais do que no período da vazante.

Na contagem foram incluídas as embarcações de diferentes modalidades, entre lanchas a jato, barcos mistos (de médio porte e empurradores) e pequenos barcos movidos a gasolina ou a diesel (rabetas, voadores) registrando-se durante as 3 horas um quantitativo de 28 embarcações trafegando no dia 12.11.2019 (vazante) e 60 embarcações no dia 06.03.2020 (enchente) (**Gráfico 13**).

**Gráfico 13** - Quantitativo de embarcações que trafegavam pelo Furo do Paracuúba em um dia específico do período da vazante e outro do período da enchente



**Fonte:** Trabalho de Campo 2019/2020. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2020.

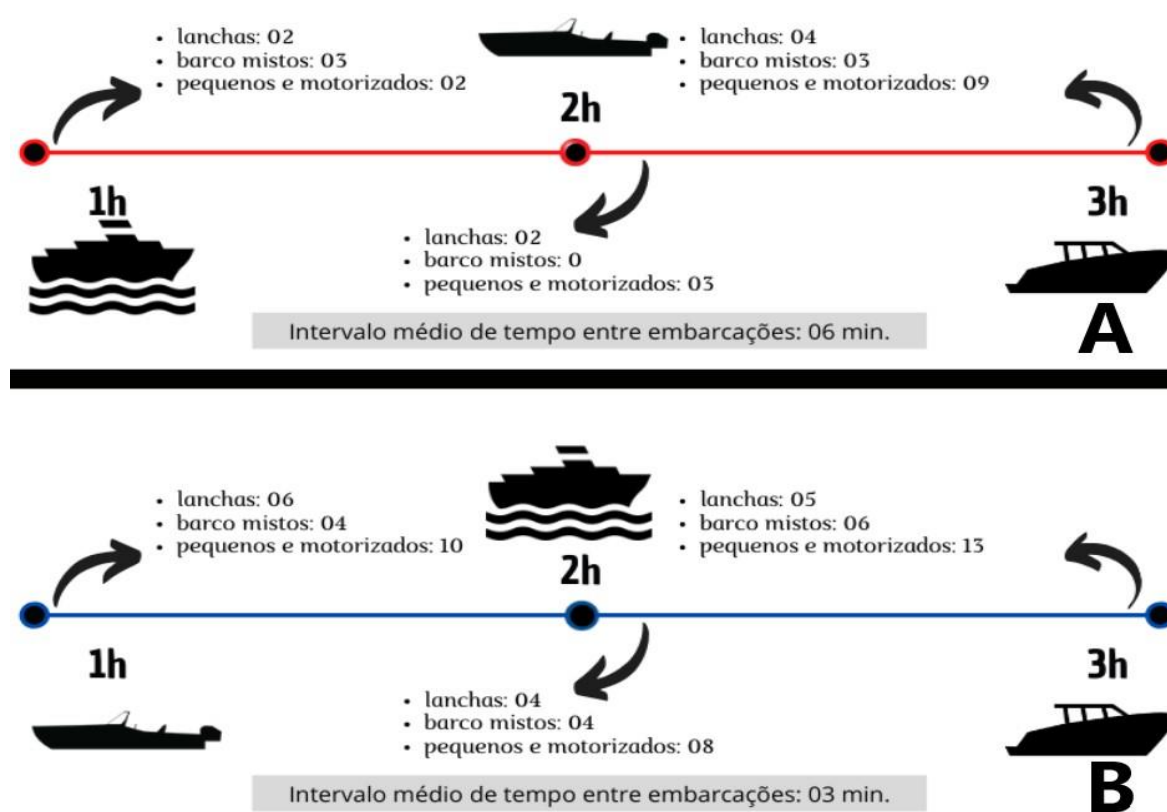
Nas contagens, registrou-se o quantitativo de embarcações que passavam no canal a cada 1 hora (totalizando 3 horas). Na vazante foram contabilizadas: 1º hora = 07; 2º hora = 05, 3º hora = 16. Na enchente contou-se: 1º hora = 20; 2º hora = 16, 3º hora = 24. Posteriormente foram estimadas as médias do intervalo de tempo da passagem entre uma embarcação e outra no trecho em que se fazia a contagem. Com isto, registrou-se que no



primeiro levantamento (na vazante), a média do intervalo de tempo da passagem entre as embarcações no trecho observado, foi de 6 minutos. E no segundo levantamento (enchente), a média foi de 3 minutos (**Figura 40**). Por esta razão, fica claro que o fluxo natural da água é afetado pelas embarcações com maior frequência e menor intervalo de tempo, no período da enchente. Os efeitos erosivos são significativamente potencializados pelo constante deslocamento das embarcações de vários tamanhos e potências, promovendo a incidência constante dos banzeiros, que associados como à ação natural dos ventos e a redução ou supressão da cobertura vegetal, tornam-se fatores agravantes (LABADESSA, 2014).

É neste período de enchente, que segundo os moradores, o órgão de regulamentação à navegação oferece um pouco mais de atenção devido as possibilidades de acidentes, orientando para a redução das velocidades e sem quaisquer normas impostas aos navegadores.

**Figura 40** - Fluxo e intervalo de tempo das embarcações trafegando no canal a cada uma hora, no período da vazante (Foto A) e no período da enchente (Foto B)



Fonte: Trabalho de campo, 2020. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2020.

A dinâmica gerada pelas embarcações, principalmente no período de águas altas, desenvolve banzeiros com altura, comprimento e celeridade muito mais elevados devido os menores empecilhos no canal nesse período (como exemplo os bancos de areia) pelos altos calados. A sucessiva propagação dos banzeiros provoca consequências negativas, sendo a principal a intensificação da erosão das margens. Carvalho (2012, p.116), destaca as contradições resultantes do crescimento das embarcações regionais nos rios amazônicos: “Se por um lado esses barcos velozes estão encurtando distâncias e tempo, estão também provocando problemas sociais e ambientais, pois o volume de água deslocado por um barco a 50, 60 km/h é grande, levantando muitas ondas e provocando solapamento das margens”.

A velocidade das embarcações acarreta implicações as populações que habitam essas margens, despertando uma preocupação contínua com as ondas geradas devido à instabilidade das margens e de suas casas, ficando sob riscos constantes com o movimento intenso e a pressão gerada pelos banzeiros. Os moradores relatam que por vezes, utilizam suas canoas e botes para construir provisoriamente uma espécie de paredão nas margens, com o intuito de reduzir o atrito dos banzeiros, evitando o balanço das casas e inundação de seus plantios.

Contudo, é válido ressaltar que o solapamento pelos barcos regionais nas margens não é um fator isolado da dinâmica fluvial, estando associados às características do fluxo da água e dos materiais que a compõem. Estes últimos, dependem das características físicas, químicas, mineralógicas e hidráulicas do solo que alteram o seu comportamento físico e mecânico.

Nesta pesquisa, as propriedades físicas e hidráulicas do solo constituem importantes dados para entendimento dessa inter-relação de fatores.

## **5.6 Propriedades físicas dos solos das margens e dos sedimentos transportados pelo canal.**

### 5.6.1 Análise Física dos solos

#### 5.6.1.1 Granulometria

Os solos, em sua fase sólida, contêm partículas de diferentes tamanhos em proporções variadas. A análise granulométrica do solo permite determinar a proporção de seus constituintes (areia, silte e argila) que podem indicar a susceptibilidade aos processos de erosão, movimentos de massa, transporte e sedimentação. Os resultados obtidos para

a granulometria do perfil da margem esquerda (amostras 1-8) e margem direita (amostras 9-11) do canal em estudo são representados na **Tabela 8**:

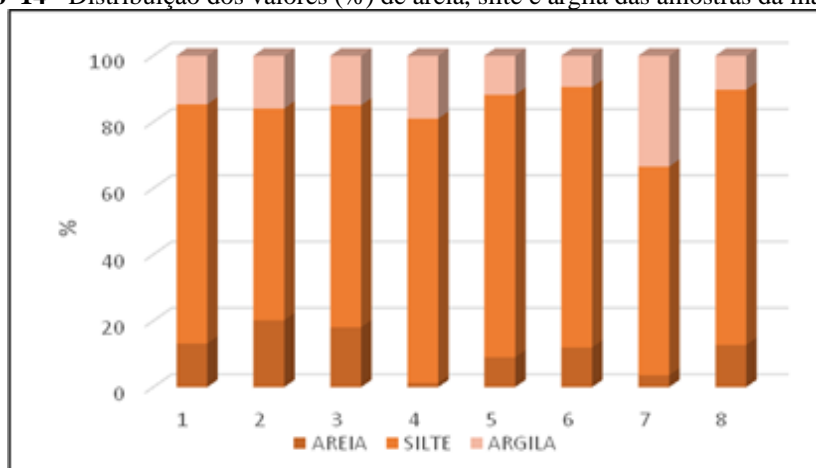
**Tabela 8** - Granulometria das amostras de solo das margens do Furo do Paracuúba

Composição granulométrica (g/%)								
Amostras	Prof. (m)	Areia		Silte		Argila		Classe textural
		g	%	g	%	g	%	
<b>margem esquerda</b>								
1	0,50	2,63	13,15	14,43	72,15	2,94	14,70	Franco siltoso
2	1,30	4,04	20,20	12,77	63,85	3,19	15,95	Franco siltoso
3	1,80	3,62	18,10	13,39	66,95	2,99	14,95	Franco siltoso
4	2,50	0,24	1,20	15,96	79,80	3,80	19,00	Franco siltoso
5	3,00	1,80	9,00	15,84	79,20	2,36	11,80	Franco siltoso
6	3,80	2,40	12,00	15,71	78,55	1,89	9,45	Franco siltoso
7	5,00	0,72	3,60	12,59	62,95	6,59	33,45	Franco argilo siltoso
8	13,00	2,55	12,75	15,4	77,00	2,05	10,25	Franco siltoso
<b>margem direita</b>								
9	0,0	5,07	25	12,3	62	2,6	13	Franco siltoso
10	1,5	0,94	1,0	14,74	77	4,3	22	Franco siltoso
11	2,5	0,55	1,0	16,19	82	3,25	17	Franco siltoso

Fonte: Trabalho de Campo, 2018/2019. Org.: Sandreia A. Cascaes, 2019.

Esses resultados mostram que no perfil da margem esquerda predominam as frações de silte, variando entre 62,95 a 79,8 %. Em seguida encontra-se a porção argila com valores entre 9,45 a 33,45% sobrepondo-se aos menores valores da fração areia, com percentuais variando entre 1,20 a 20,20 %. A areia muito fina apresentou maiores teores, como consta na no **ANEXO A**. O **Gráfico 14** exhibe os percentuais de areia, silte e argila das amostras da margem esquerda, onde o maior percentual de areia se encontram nas amostras 2 e 3. O percentual de silte apresenta grande relevância em todas as amostras. O maior percentual de argila encontra-se na amostra 7.

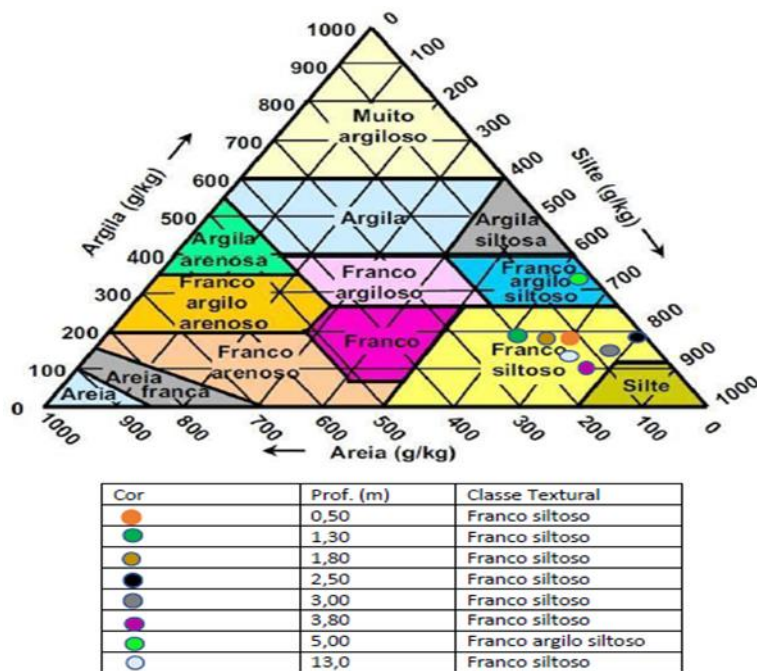
**Gráfico 14** - Distribuição dos valores (%) de areia, silte e argila das amostras da margem esquerda



Fonte: Trabalho de Campo, 2018. Org.: Sandreia A. Cascaes, 2020.

Com base no cruzamento dos percentuais das amostras verificou-se a predominância da classe textural franco siltosa, com uma pequena variação intercalada nos 5 m, onde a amostra 7 exibiu a classe Franco Argilo-Siltosa (**Figura 41**):

**Figura 41:** Triângulo Textural – amostras da margem esquerda

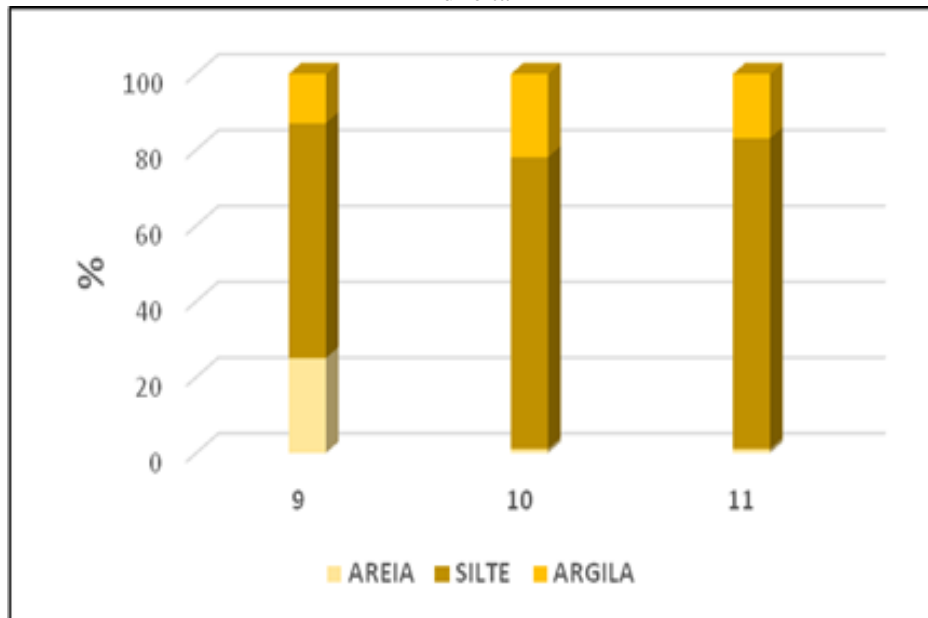


**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

Em referência aos dados do perfil da margem direita conforme mostrados na Tabela 9, os resultados também apresentaram a mesma sequência de distribuição das frações da margem oposta. A maior porção foi de silte, variando entre 62 a 82%, seguido da fração de argila, com variação entre 13 a 27% e a menor proporção de areia, com variação entre 1 a 25%. Os dados mostram que os maiores percentuais da fração areia se encontravam na superfície superior nos primeiros 10 cm do solo, reduzindo com o aumento da profundidade e indicando a maior concentração de areia fina conforme indicação no **Anexo A**.

O **Gráfico 15** exibe os percentuais de areia, silte e argila das amostras da margem direita, onde a amostra 9 apresentou grande diferença no percentual de areia, contrastando com as amostras 10 e 11 que apresentaram valores muito baixos dessa fração. Os percentuais de silte foram significantes em todas as amostras, com destaque para as amostras 9 e 11. O maior percentual de argila se encontra na amostra 10.

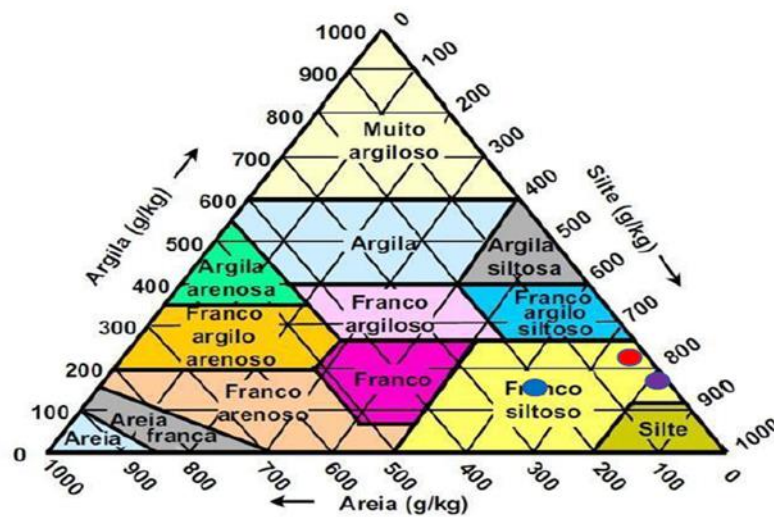
**Gráfico 15** - Distribuição dos valores (%) de areia, silte e argila das amostras da margem direita



Fonte: Trabalho de Campo, 2019. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2020.

Os percentuais para esta margem indicaram que não há variação na classe textural, com predominância da classe franco-siltosa em todas as amostras (**Figura 42**).

**Figura 42:** Triângulo Textural – amostras da margem direita

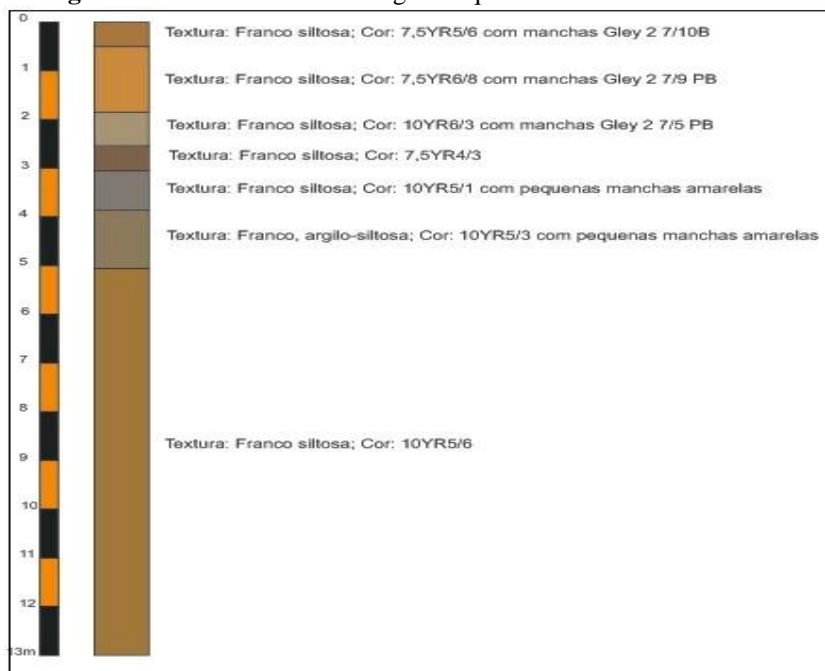


Cor	Prof. (m)	Classe Textural
● (Vermelho)	0,50	Franco siltoso
● (Roxo)	1,30	Franco siltoso
● (Azul)	1,80	Franco siltoso

Fonte: Trabalho de Campo, 2019. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

Na **Figura 43** é representado o perfil do solo da margem esquerda, demonstrando as classes texturais das oito amostras coletadas e suas cores nas profundidades do barranco de altura de 14,60 m.

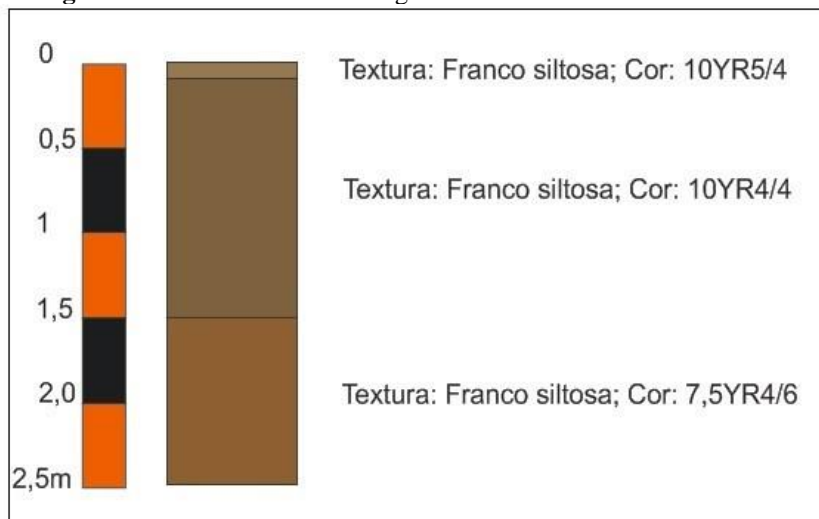
**Figura 43-** Perfil do solo da margem esquerda do canal- 23/10/2018



**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018. **Org.:** A. Fabio Sabbá G. Vieira, 2020.

Na **Figura 44** é representado o perfil do solo da margem direita, demonstrando as classes texturais das três amostras coletadas e suas cores nas profundidades do barranco de altura de 2,5 m.

**Figura 44 -** Perfil do solo da margem direita do canal- 28/10/2019



**Fonte:** Trabalho de Campo, 2019. **Org.:** A. Fabio Sabbá G. Vieira, 2020.

Os resultados granulométricos para a área de estudo estão em conformidade com as características dos tipos de solos mencionados na literatura. Lima *et al.* (2007), descreve que nas várzeas predominam as frações mais finas, silte, argila e areia fina. Em geral, a areia grossa quando presente aparece em percentuais muito baixos. Segundo os autores, os percentuais de silte podem representar mais de 50% da composição granulométrica de um solo, o que significa baixo grau de pedogênese deste. Os Neossolos Flúvicos apresentam classes texturais que variam de franco, franco argilo siltoso, argilo siltosa e franco-siltosa. Por serem considerados solos mais novos, também são menos estruturados, sendo por isso, mais susceptíveis aos processos de erosão (LIMA *et al.*, 2007).

As cores identificadas nas oito amostras da margem esquerda, de acordo com a Tabela de Cores (*Munsell Soil Color Chart*) apresentaram pequena variação de tonalidades e saturação, com matizes 7,5 YR e 10 YR e a presença de manchas gley, manchas 7,5 YR 6/8. As três amostras da margem direita exibiram os matizes 10 YR e 7,5 YR (**Anexo B**). Os matizes 10 YR a 7,5 YR com cromas baixos, normalmente iguais ou inferiores a 4, podendo atingir 6, no caso de matiz 10 YR constituem características dos neossolos, segundo o IBGE (2007).

A análise granulométrica nas duas margens indica uma mínima diferença na composição. Constatou-se que o silte exerce maior influência nas propriedades físicas dos solos, apresentando uma média porção de argila e baixos teores das frações de areia, sobressaindo-se a areia fina. Este resultado condiz com os estudos de Souza (2007), que ao analisar a composição granulométrica dos solos de comunidades de várzea do rio Solimões, mais especificamente na Comunidade de Nossa Senhora do Baixio, próxima a área de estudo, evidenciou o predomínio da classe textural franco-siltosa em profundidades, definida pelo predomínio das frações de silte, seguido de argila e areia na sua composição granulométrica.

As texturas do tipo franco-siltosa expressas por valores elevados de silte tendem a reduzir a resistência dos materiais e gerar índices de vulnerabilidade à erosão/movimentos de massa pela ação da água. Com a subida do nível da água, a suscetibilidade do material tende a sofrer desmoronamento, desabamento, escorregamentos entre outros processos ocasionados pela pressão hidrodinâmica (**Figura 45**).

**Figura 45** - Barranco com pouca resistência

Foto e org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

Esses resultados caracterizam os solos das margens do Furo do Paracuúba como Neossolos Flúvicos, condizentes com os estudos realizados por Magalhães (2011) na Costa do Iranduba, banhada pelo rio Solimões. A autora destaca que essa classe de solos normalmente apresenta teores altos de silte e areia muito fina e são frequentemente eutróficos. Ela concluiu que o material em sua área de estudo é pouco coeso e tende a facilitar a ação da erosão fluvial nas margens, além de oferecer menor resistência ao cisalhamento, tanto na margem como no pacote, o que provoca a instabilidade do barranco.

Nos estudos realizados por Freitas (2009), identificou-se a predominância da textura franco siltosa na margem direita do médio Solimões na região de Coari. De acordo com a autora, as condições evidenciaram a instabilidade do material sedimentar da várzea, determinada por valores elevados valores de silte, areia fina e muito fina. Esta constituição física definiu um material tipicamente friável, mediante a ação erosiva da água superficial e subsuperficial favorecendo a erosão lateral e o solapamento das margens, pela ação dos banzeiros nos rios (FREITAS, 2009).

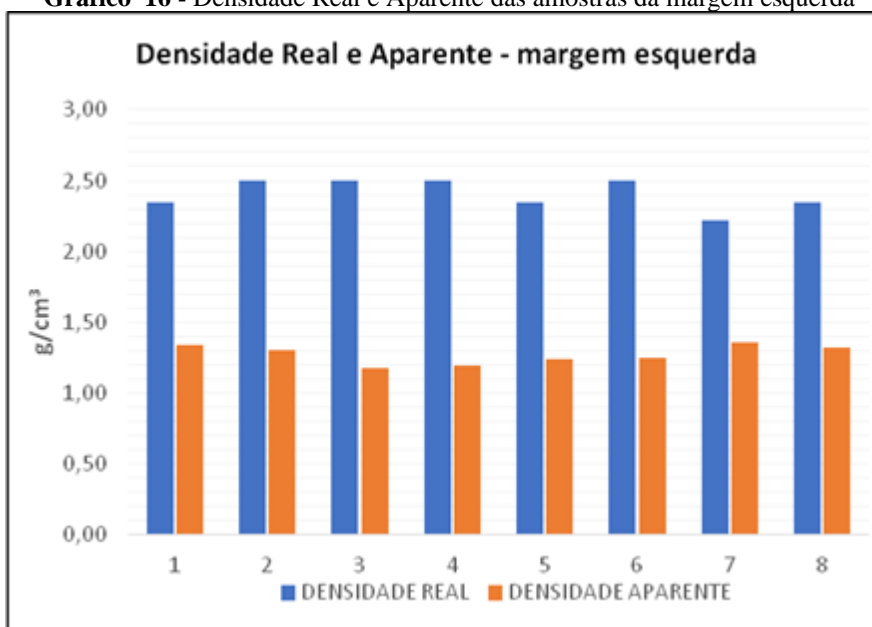
#### 5.6.1.2 Densidade de partículas ( $D_p$ ) e Densidade do solo ( $D_s$ )

Nos testes realizados em laboratório com as amostras da margem esquerda, verificou-se que não há grande variação de  $D_p$  e  $D_s$  entre as amostras (**Gráfico 16**). Para os resultados de  $D_p$  os valores ficaram entre 2,22 e 2,50 g/cm<sup>3</sup>. De acordo com Lepsch (2011), mais frequentemente em solos minerais e com baixos teores de óxidos de ferro, os valores de  $D_p$  giram em torno de 2,6 g.cm<sup>-3</sup>, isto porque essa densidade é próxima da de muitos minerais comuns no solo, como a do quartzo (2,65 cm<sup>-3</sup>) e da caulinita (2,6 cm<sup>-3</sup>).



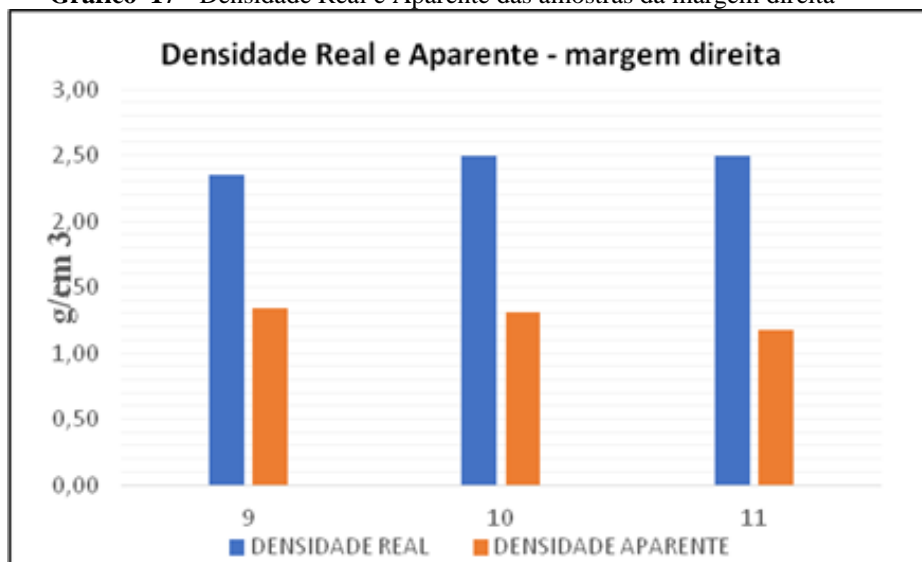
Para os valores de  $D_s$  também não houveram grandes variações na margem esquerda. Quanto maior a  $D_s$ , maior a dificuldade das águas se infiltrarem nos solos, aumentando, dessa forma o escoamento superficial. Ela varia quase sempre entre 0,8 e 2,0  $\text{g}/\text{cm}^3$ , sendo que a literatura geomorfológica aponta valores menores que 1,3  $\text{g}/\text{cm}^3$  como baixos e valores maiores que 1,6  $\text{g}/\text{cm}^3$  como alto, outros valores são intermediários (GUERRA e BOTELHO, 1996). Os resultados de  $D_s$  encontrados nessa pesquisa exibiram o menor valor entre 1,17  $\text{g}/\text{cm}^3$  a 1,35  $\text{g}/\text{cm}^3$ , sendo assim considerados baixos.

**Gráfico 16** - Densidade Real e Aparente das amostras da margem esquerda



Fonte: Trabalho de Campo, 2018. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2018.

A  $D_p$  e a  $D_s$  para as amostras da margem direita também não apresentaram significativas variações (**Gráfico 17**). Os valores indicados para  $D_p$  encontram-se entre 2,35  $\text{g}/\text{cm}^3$  a 2,50  $\text{g}/\text{cm}^3$ , valores muito próximos obtidos na margem oposta. A  $D_s$  das amostras para esta margem apresentou-se entre 1,17  $\text{g}/\text{cm}^3$  a 1,34  $\text{g}/\text{cm}^3$ , valores quase semelhantes aos resultados de densidade aparente do solo para a margem esquerda, também considerados baixos.

**Gráfico 17** - Densidade Real e Aparente das amostras da margem direita

Fonte: Trabalho de Campo, 2019. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

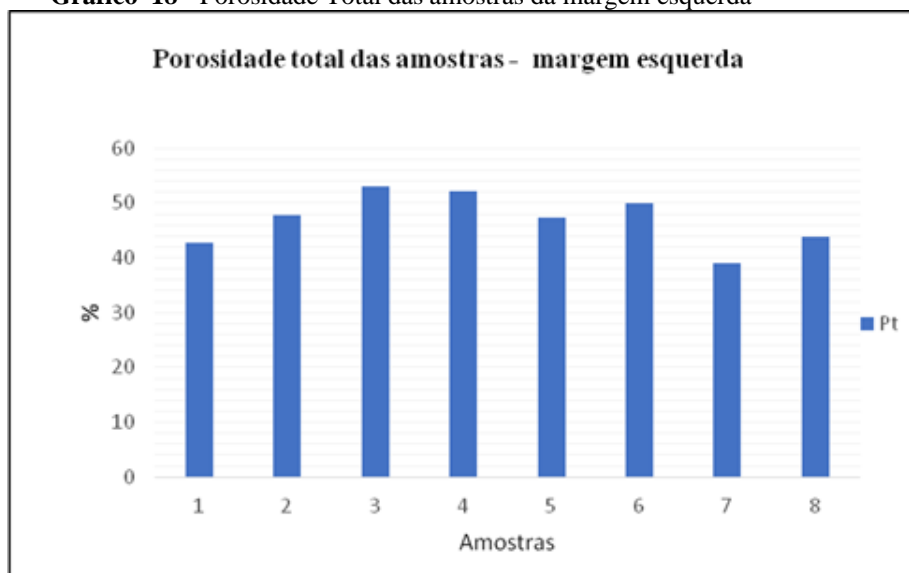
Os estudos de Magalhães (2011) para os Neossolos Flúvicos, indicaram para suas amostras do pacote do solo, valores de  $D_p$  de  $2,84 \text{ g/cm}^3$  a  $2,47 \text{ g/cm}^3$  e para suas amostras de margem valores entre  $2,81 \text{ g/cm}^3$  e  $2,56 \text{ g/cm}^3$ . Como valor médio, para efeito de cálculos pode-se considerar a densidade de partículas como sendo de  $2,65 \text{ g.cm}^{-3}$ . Nesta pesquisa, obteve-se valores entre  $2,22$  e  $2,50 \text{ g/cm}^3$  para a margem esquerda e  $2,35 \text{ g/cm}^3$  a  $2,50$  para a margem direita, mostrando que estão próximos dos valores encontrados pela autora.

Os valores de  $D_s$  se aproximaram ao do estudo de Freitas (2009), para Neossolos Flúvicos na região do médio Solimões, entre os quais obteve-se valores entre  $1,05 \text{ g/cm}^3$  a  $1,20 \text{ g/cm}^3$ .

### 5.6.1.3 Porosidade Total (Pt)

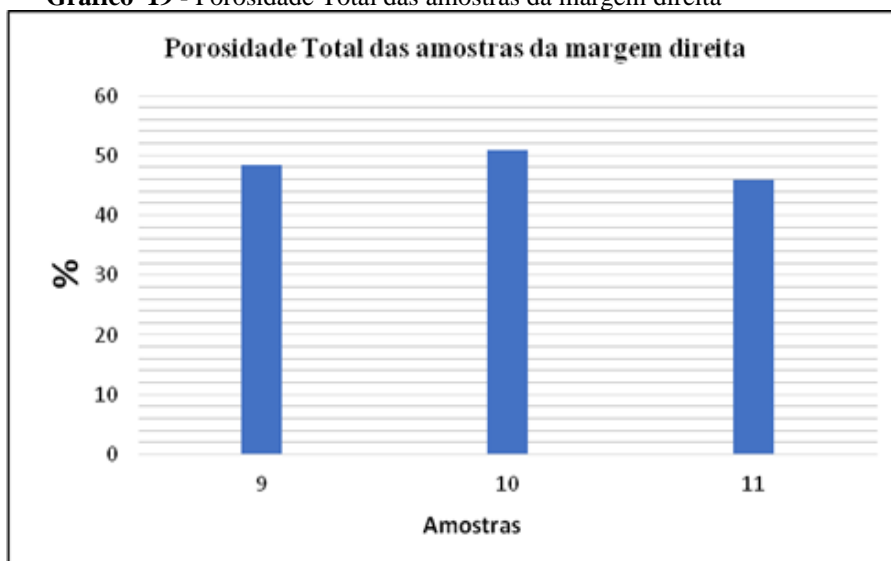
Esta propriedade se relaciona de maneira inversa a  $D_s$ , ou seja, à medida que aumenta a densidade do solo diminui a porosidade total e conseqüentemente diminui a infiltração das águas no solo, aumentando o escoamento superficial.

Na **Gráfico 18** se observa o valor total da porosidade das amostras da margem esquerda, ou seja, a relação dos espaços ocupados por ar ou água entre os agregados. Os resultados obtidos mostram que há uma relativa variação entre os percentuais de porosidade entre as amostras, ficando entre 39 a 53% e a amostra 3 indicou maior porosidade.

**Gráfico 18** - Porosidade Total das amostras da margem esquerda

Fonte: Trabalho de Campo, 2018. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

Conforme indicado no **Gráfico 19**, os valores de porosidade total para o solo da margem direita apresentaram boa porosidade, com variação de valores entre 46 a 51% e a maior porosidade se apresenta na camada intermediária, ou seja, nos 1,5 metros do perfil da margem.

**Gráfico 19** - Porosidade Total das amostras da margem direita

Fonte: Trabalho de Campo, 2019. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

Lepsch (2011), garante que uma boa porosidade terá cerca de 50% de seu volume ocupado pelos poros. Na margem esquerda, os maiores volume totais de poros estão

presente nas amostras 3, 4 e 6 com uma boa porosidade visto que os valores estão próximos a 50%, apesar de que estas amostras apresentaram  $D_s$  baixa. Na amostra 7, verificou-se o menor valor de porosidade, mas com  $D_s$  mais elevada comparada as demais amostras, logo a fase sólida ocupa a maior parte do volume. Na margem direita, o maior valor de porosidade foi exibido pela amostra 10 e menor pela amostra 9.

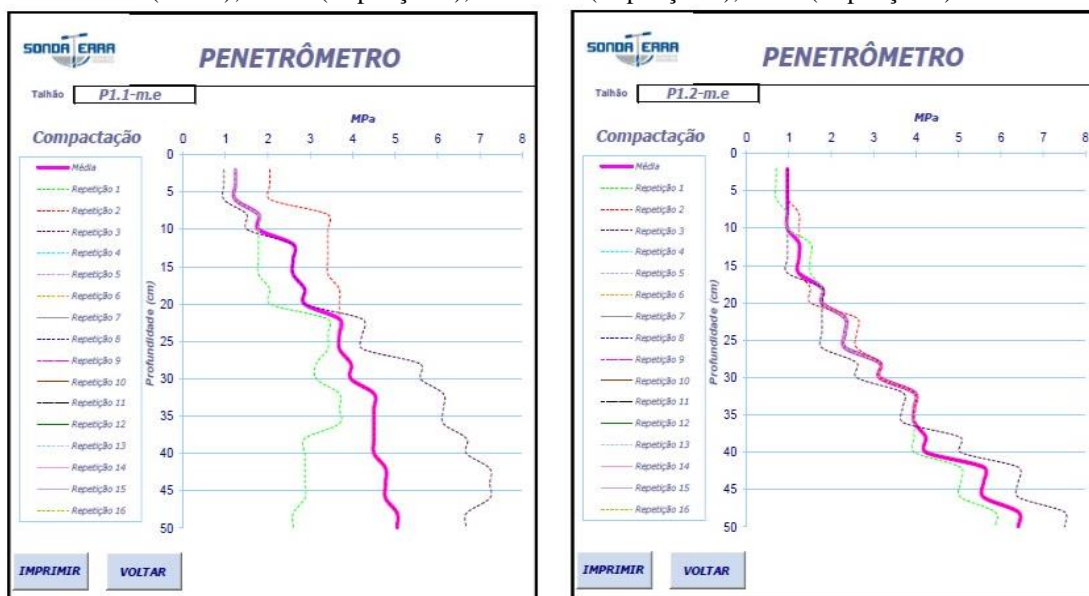
Com predominância de textura franco-siltosa, os percentuais do Volume de Poros Totais (VPT)) para as duas margens variaram entre 39 % a 53 %, compatíveis para o ambiente de várzea e com os estudos de Freitas (2009), que mostrou valores entre 41,5% a 48,2% e de Magalhães (2011), que indicou valores em torno de 43 a 51%.

#### 5.6.1.4 Resistência do solo à Penetração (RP)

Para analisar a RP na margem esquerda e margem direita do canal, foi necessário considerar sua reação com a pressão do penetrômetro em suas camadas. Ao que se refere a qualidade física, a resistência do solo à penetração (RP) é considerada a propriedade mais adequada para expressar o grau de compactação do solo e, conseqüentemente, a facilidade de penetração das raízes.

De acordo com os resultados de RP obtidos nos dois pontos da margem esquerda – Ponto P1.1 e P1.2 (**Gráfico 20**), verificou-se que houve uma grande variação de resistência em ambos, com aumento conforme cresce a profundidade, o que se deve a menor umidade do solo. No ponto P 1.1, o valor inicial médio apresentado foi de 1,24 Mpa e valor médio final de 5,05 Mpa, com média entre as três repetições de 3,42 Mpa. No ponto P 1.2, o valor médio inicial e o valor médio final foram de 0,97 Mpa e 6,42 Mpa, respectivamente. A média entre as três repetições neste ponto foi de 2,98 Mpa. Em ambos os pontos, o maior nível de resistência se deu entre os 40 a 50 cm de profundidade. A maior resistência no ponto P 1.1 deu-se pelo maior nível de compactação e por apresentar elevados teores de silte e argila, o que possibilita uma coesão do solo. Ao que se refere a este último dado, foram avaliadas a granulometria nas amostras apenas do ponto P 1.1, próximo ao barranco, conforme já mencionado.

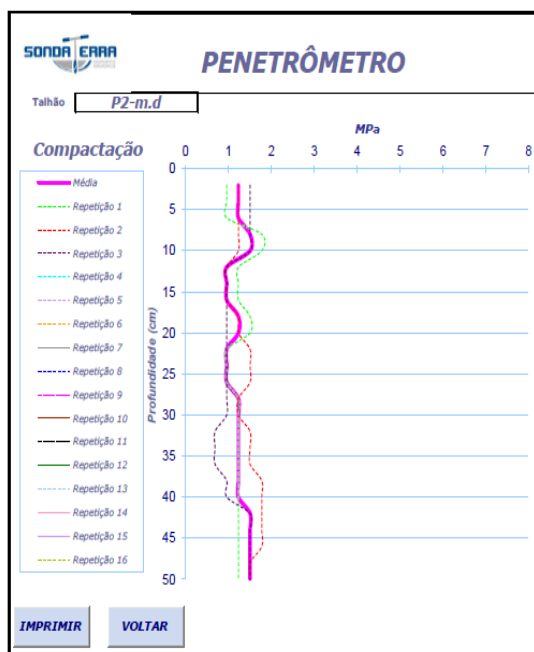
**Gráfico 20** - Resistência a penetração – P1.1 e P 1.2 no solo da margem esquerda. Legenda: Rosa (média); Verde (Repetição 1), Vermelha (Repetição 2), Roxa (Repetição 3)



**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018. - Elaborado a partir da planilha Sonda Terra pela autora (10/11/2019). Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

A média de RP no ponto P2 representadas no **Gráfico 21** para o solo da margem direita, não apresentou diferença significativa nos três ensaios de penetração, ou seja, o solo não exibiu muita resistência ao ser quebrado e não houve grandes variações nas diferentes profundidades. O valor inicial médio foi de 1,24 Mpa e o valor médio final foi de 1,51 Mpa, registrando a média entre os três ensaios de 1,25 Mpa. Neste ponto, os maiores níveis de resistência ocorreram entre os 5 a 10 cm e entre os 40 a 50 cm de profundidade, o que sugere que a menor resistência neste ponto comparado ao solo da margem esquerda, deve-se as altas taxas de infiltração e porosidade do solo.

**Gráfico 21** - Resistencia a penetração – Ponto no solo da margem direita. Legenda: Rosa (média); Verde (Repetição 1), Vermelha (Repetição 2), Roxa (Repetição 3).



**Fonte:** Trabalho de Campo, 2019 - Elaborado a partir da planilha Sonda Terra pela autora (10/11/2019). Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

Comparando-se os valores de RP com os resultados de Densidade do solo, verificou-se que tanto o solo da margem esquerda quanto da margem direita apresentaram baixos valores de Ds (m. e - 1,17 g/cm<sup>3</sup> a 1,35 g/cm<sup>3</sup>, m. d- 1,17 g/cm<sup>3</sup> a 1,34 g/cm<sup>3</sup>), ou seja, facilidade de infiltração da água e baixa resistência do solo à compactação, o que pode contribuir para a suscetibilidade dos solos à erosão fluvial e aos movimentos de massa

## 5.6.2 Atributos hidráulicos do solo

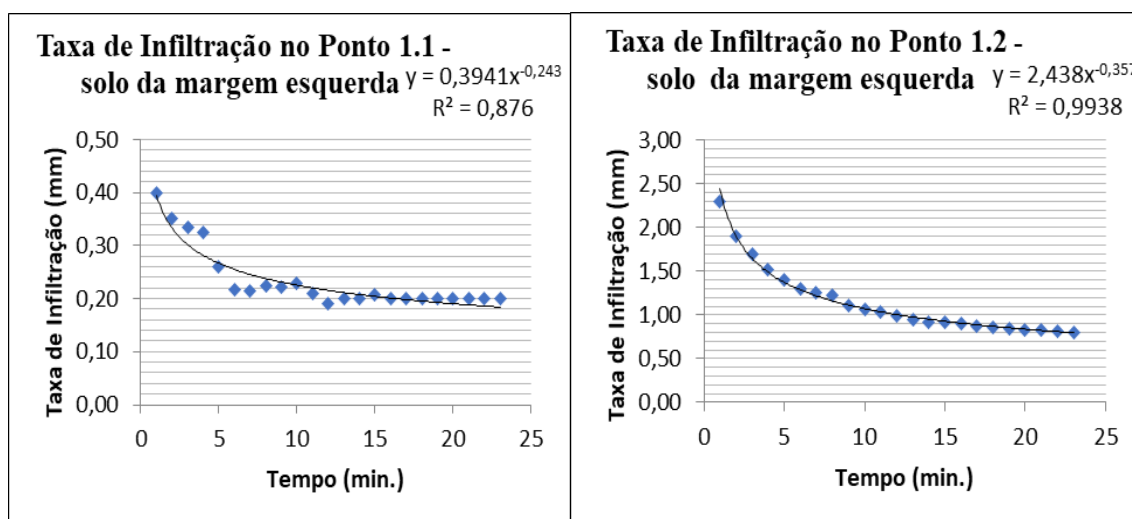
### 5.6.2.1 Infiltração da água no solo

A dinâmica hidrológica também foi analisada através dos valores da velocidade de infiltração obtidos em dois trabalhos de campo, um em outubro de 2018, na margem esquerda do canal, no período de vazante, onde se realizou dois testes, sendo um próximo à margem, onde o ponto foi nomeado como P1.1 e o outro ponto próximo de onde foi instalado o segundo piezômetro, nomeado como P1.2. No segundo trabalho de campo, aproximadamente 1 ano depois, realizou-se o 3º teste de infiltração, em outubro de 2019, na margem direita, também em período de vazante, com o ponto nomeado como P2 .

A avaliação das taxas de infiltração é um dos parâmetros para se avaliar a capacidade de drenagem nas margens do canal. O conteúdo de água no solo são propriedades que podem alterar seu comportamento físico e mecânico, tornando-se responsável pelos processos de erosão e movimentos de massa.

Na margem esquerda, a entrada de água no solo se comportou de maneira bem diferente nos dois pontos, onde a infiltração no ponto P1.1 foi menor do que no ponto P1.2 (**Gráfico 22**). Assim, o P1.1, exibiu uma taxa inicial de infiltração de 0,3941mm/1min, taxa final de 0,243mm/1min, com taxa média de 0,23 mm/1 min. Os valores oscilaram até aos 16 minutos, a partir deste tornou-se constante até o final do teste, quando iniciou a estabilização da curva. O valor de  $r^2$  foi de 0,876 mm/1 min, o que significa que o resultado teve significância estatística, uma vez que o valor de referência foi superior a 0,514 (valor mínimo para considerar um resultado de significância estatística). No P1.2, as taxas de infiltração indicaram valores maiores e maior variação entre taxas. Ocorrendo maior diferença entre a taxa inicial de 2,438 mm/1minuto e a taxa final de 0,357mm/1min, com taxa média de 1,04 mm/1min. Neste ponto, o valor  $r^2$  registrou 0,9938, indicando também uma boa significância estatística.

**Gráfico 22** - Taxas de infiltração no P 1.1- primeiro e no P1.2 - segundo, no solo da margem esquerda na vazante em out./2018.

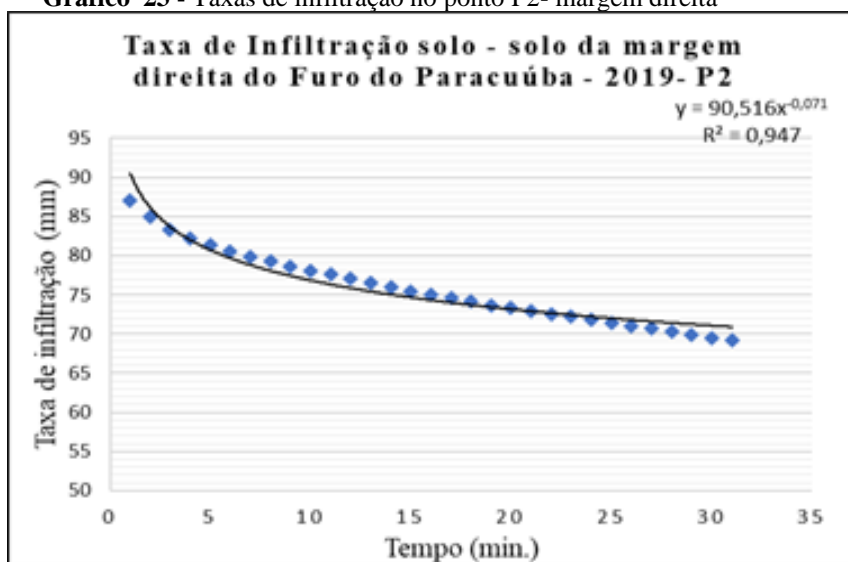


**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018. **Org.:** Sandréia A. Cascaes , 2019.

No primeiro ponto (P1.1), conforme já mencionado, a densidade do solo indicou valores entre 1,17 e 1,35 g/cm<sup>3</sup> e porosidade entre 39 a 53%. O teste no ponto P1.1 foi realizado junto à margem, muito próximo de onde foram coletadas amostras de solo, próximo das casas dos moradores, portanto com a superfície mais compactada pela passagem de pessoas e atividades de lazer no campo de futebol. O segundo teste (P1.2) foi realizado a aproximadamente 45 m distante da margem, com superfície coberta por gramíneas e algumas plantações agrícolas de subsistência, possivelmente menos compactada, o que interferiu num resultado melhor que o primeiro.

A infiltração de água no ponto P2 no solo da margem direita (**Gráfico 23**) indicou as seguintes taxas: taxa inicial de 90,516 mm/1min; taxa final de 0,071 mm/1m e taxa média de 76 mm/1min, logo maior permeabilidade do solo. O valor de r<sup>2</sup> foi de 0,947 mm/1 min. (boa significância estatística). Isto demonstra que a Ds baixa, e a boa porosidade total nesta margem facilitam a entrada de água e conseqüentemente maior pressão hidrostática onde todos os vazios dos poros estavam todos ocupados. Segundo Carvalho (2006), a pressão hidrostática é entendida como a pressão da água no solo causado pelo peso e pela força da gravidade, quanto maior é a pressão hidrostática conseqüentemente maior é a capacidade de provocar escorregamento e deslizamento.

**Gráfico 23** - Taxas de infiltração no ponto P2- margem direita



Fonte: Trabalho de Campo, 2019. Org.: A autora 2019.

Ao comparar as taxas de infiltração nos pontos experimentais mais próximos das margens (P1.1- margem esquerda e P2- margem direita), observa-se que as taxas de infiltração foram maiores. Logo, a margem direita apresentou maior infiltração comparada à margem esquerda. Isto pode ser explicado pela maior presença de vegetação



rasteira na margem direita, auxiliando a entrada de água e difundindo seu fluxo e também pela porosidade que foi maior nesta margem.

A água infiltrada no solo que não é absorvida pela vegetação e não retorna à atmosfera converge como um fluxo d'água lento em direção ao nível freático, a depender das características físicas do solo e pode ajudar a alimentar o canal. Nesse sentido, de acordo com Magalhães (2011), o nível piezométrico não somente é alimentado pelas águas do rio de forma lateral, mas também pela infiltração da água da chuva no solo de forma vertical, apresentando maior teor de água no solo. Os níveis pluviométricos da área de estudo não foram levantados nesta pesquisa, requerendo estudos mais detalhados para correlação com as taxas de infiltração e com os níveis piezométricos.

#### 5.6.2.2 Nível piezométrico no pacote sedimentar

Nos solos de várzea, o nível do lençol freático se apresenta elevado e a inundação periódica limitam o processo pedogenético (TEIXEIRA *et al.*, 2007). O monitoramento do nível freático fornece informações importantes quanto a eficiência do nível de drenagem do solo.

Por isto, dois piezômetros foram instalados na margem esquerda do canal, próximo à sua entrada, onde está localizada a Comunidade de Santo Antônio do Paracuúba. O primeiro foi instalado em profundidade de 4,20 m e a 15m distante da margem e o segundo a uma profundidade de 3,10 m, a uma distância de 30 m em relação ao piezômetro anterior. Cada um dos piezômetros ficou com o tubo 1 metro acima da superfície do solo, para facilitar as medições.

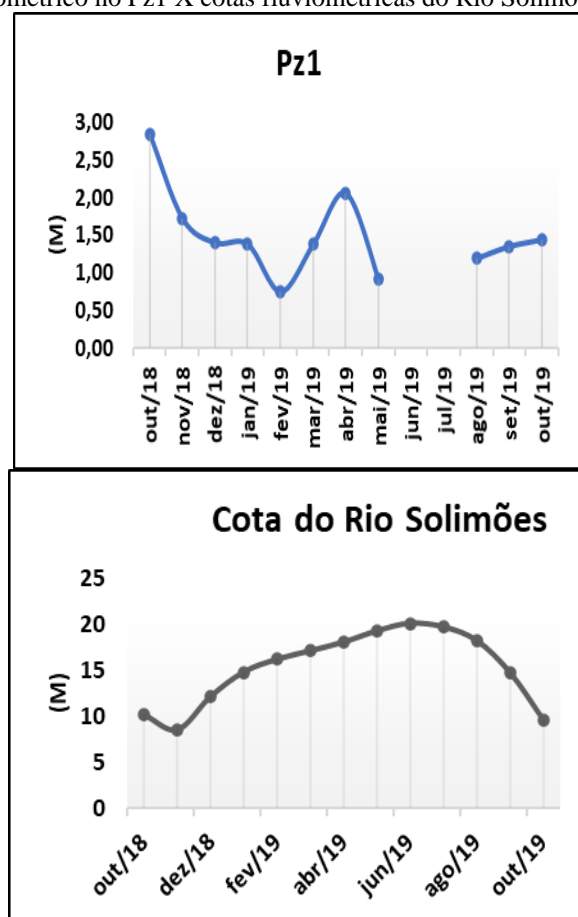
O monitoramento dos níveis piezométricos foi realizado durante o ciclo completo de um ano e foram correlacionados com os níveis de cota do rio Solimões (m), devido a proximidade do rio, para o mesmo período de monitoramento. Lima (1998), Carvalho (2006) e Magalhães (2011) afirmam que o nível piezométrico não acompanha a velocidade de descida do rio, fazendo aumentar o peso e conseqüentemente a força de gravidade no pacote, promovendo a instabilidade do material devido ao aumento da pressão hidrostática, que desempenha um importante papel nos processos erosivos e movimentos de massa.

O nível piezométrico do Pz1 (**Gráfico 24**), ao que se referente ao mês de outubro a fevereiro/2018, desceu lentamente com uma queda brusca no último mês. O rebaixamento lento do lençol freático não acompanha a gradativa subida de cota do rio,

com exceção do mês de novembro, quando a descida do nível freático acompanha a descida do rio. Em março e abril os níveis freáticos sobem novamente e a cota do rio continua subindo. Em maio ele desce novamente com as cotas elevadas.

Nos meses de junho e julho/2019, durante o pico da enchente, os piezômetros ficaram completamente coberto pelas águas do rio Solimões, não havendo leituras do nível para esses dois meses. A partir de agosto, a superfície piezométrica desce novamente, porém de forma mais lenta do que velocidade de descida do rio. Com isto, a água que continua retida no pacote aumentando seu peso (visto que continua ocupando todos os vazios no solo) juntamente com a gravidade pode provocar uma maior pressão hidrostática no pacote, deslocando-o em direção ao rio.

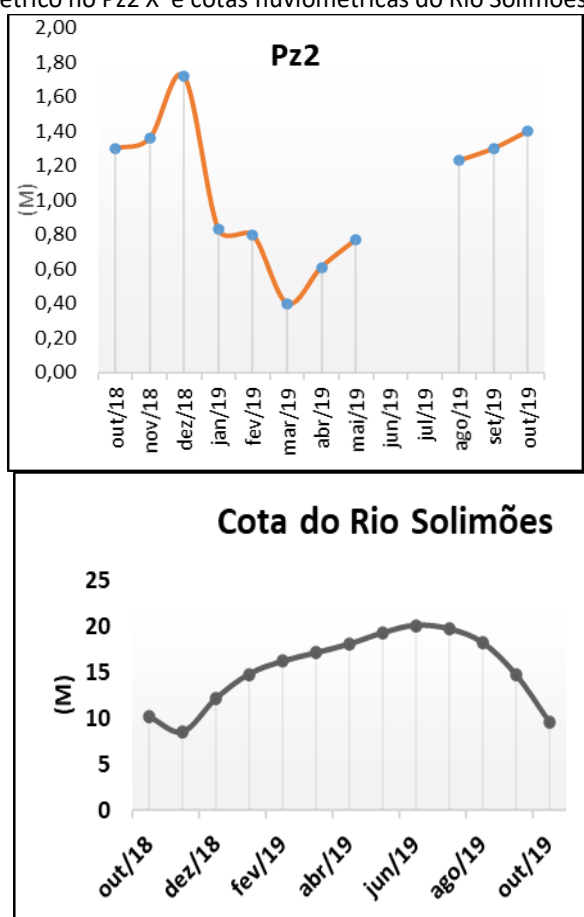
**Gráfico 24** - Nível piezométrico no Pz1 X cotas fluviométricas do Rio Solimões 10/2018 a 10/2019



**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018/2019. ANA, 2018, 2019. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2020.

Analisando o comportamento do Pz2 (**Gráfico 25**), observa-se que os níveis piezométricos oscilaram bastante. De outubro a dezembro/2018 a água no pacote se eleva lentamente, porém acompanhando a oscilação da água do rio. Em janeiro o nível desce com mais velocidade até março, quando a cota do rio está subindo. A partir de abril até maio, o nível no piezômetro começa a subir lentamente e em junho e julho a água do rio elevou-se acima do piezômetro, portanto, sem dados nesses dois meses. A partir de agosto, o nível piezométrico torna a descer, porém de forma gradual, com variação de centímetros, assim como a cota do rio que está descendo. Porém, o nível da água no pacote não acompanha a velocidade de descida do rio, que se dá de forma mais rápida.

**Gráfico 25** - Nível piezométrico no Pz2 X e cotas fluviométricas do Rio Solimões 10/2018 a 10/2019

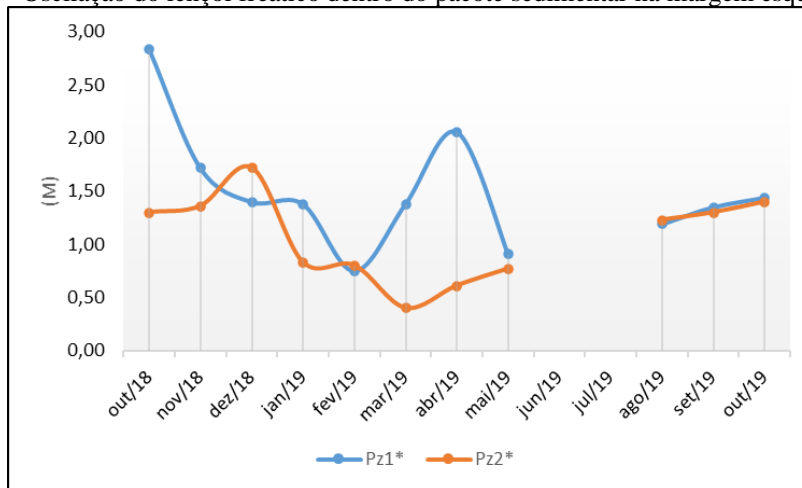


**Fonte :** Trabalho de Campo, 2018/ 2019, ANA, 2018/ 2019. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2020.

Comparando os níveis freáticos em ambos os piezômetros (**Gráfico 26**), observou-se que estes apresentavam comportamentos distintos, oscilando em profundidades. Enquanto o Pz1 apresentou uma queda da superfície piezométrica de outubro a dezembro, o Pz2 exibiu uma subida lenta. No geral, o Pz2 apontou menores níveis freáticos e maior oscilação em relação ao Pz1. Isso se deve ao fato de sua menor

profundidade dentro do pacote comparado ao Pz1 e sua a maior distância em relação a margem do rio. Isto demonstra que a recarga no Pz1 é fortemente influenciada pelas águas do rio Solimões, que o alimenta lateralmente. Enquanto o Pz2, tende a receber menor interferência do rio em face de estar mais afastado deste. Estudos de Magalhães (2011), mostraram que á medida que se distancia da margem, o lençol apresenta uma variação condicionada á precipitação local.

**Gráfico 26** - Oscilação do lençol freático dentro do pacote sedimentar na margem esquerda do canal



**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018/ 2019. **Org.:** Sandréia A. Cascaes,2020.

Além disso, o nível do lençol no Pz2 está mais elevado (prox. da superfície) comparado ao Pz1, próximo do rio. Tal característica responde mais rapidamente às chuvas que caem na superfície do terreno e conseqüentemente afeta mais rapidamente o lençol neste ponto. Soma-se a isso a inclinação do terreno em direção ao Pz2.

Esta relação da distância e da topografia foram avaliadas nos estudos de Farjado *et al.* (2010) ao investigarem as características físicas de solo saturado em uma área de floresta primária da Reserva Florestal Adolpho Ducke localizada ao norte da cidade de Manaus, AM. Os autores instalaram piezômetros na zona ripária do Igarapé Bolívia e assim verificaram que os valores obtidos nos piezômetros mais distantes foram mais elevados em comparação com os valores dos piezômetros colocados próximos à margem do curso d'água, acompanhando a topografia do local; foram também registradas diferenças entre os piezômetros instalados nas mesmas distâncias em relação às margens do igarapé. Por isto, pode-se presumir que a topografia do terreno em relação à margem de um curso d'água exerce forte influência na altura do lençol freático.

É importante notar que no local onde foi instalado o Pz2, a taxa média de infiltração verificada em outubro de 2018 foi maior comparada a taxa de infiltração no local de instalação do Pz1, o que corrobora para a afirmativa que de os índices

pluviométricos têm forte contribuição para a recarga e manutenção do nível freático. Araújo *et al.* (2013), analisando a oscilação do nível estático de piezômetros nas nascentes do rio Capitão Pocinho, no nordeste do Pará, verificou uma correlação positiva direta do índice pluviométrico na quase totalidade dos poços no período de monitoramento. Observaram que nos meses com crescente valores de precipitação pluviométrica, os valores de nível das águas subterrâneas rasas diminuíram, o que indicou recarga direta do aquífero por meio das águas das chuvas.

No mês de fevereiro, os níveis entre ambos os piezômetros monitorados estiveram muito próximos, com uma mínima diferença de 0,5 centímetros. As maiores diferença de níveis entre os dois foram registradas nos meses de março e abril. Verificou-se que o nível piezométrico registrado por ambos os instrumentos no período da vazante não acompanha a velocidade de descida da água do rio, atestando que a afirmação de Coelho Netto (2015, p.128), que diz que “a velocidade do fluxo d’água subterrâneo é muito lenta em comparação com os fluxos superficiais”.

Além disso, o nível do lençol no Pz2 está mais elevado (prox. da superfície) comparado ao Pz1, próximo do rio. Tal característica responde mais rapidamente às chuvas que caem na superfície do terreno e conseqüentemente afeta mais rapidamente o lençol neste ponto. Soma-se a isso a inclinação do terreno em direção ao Pz2.

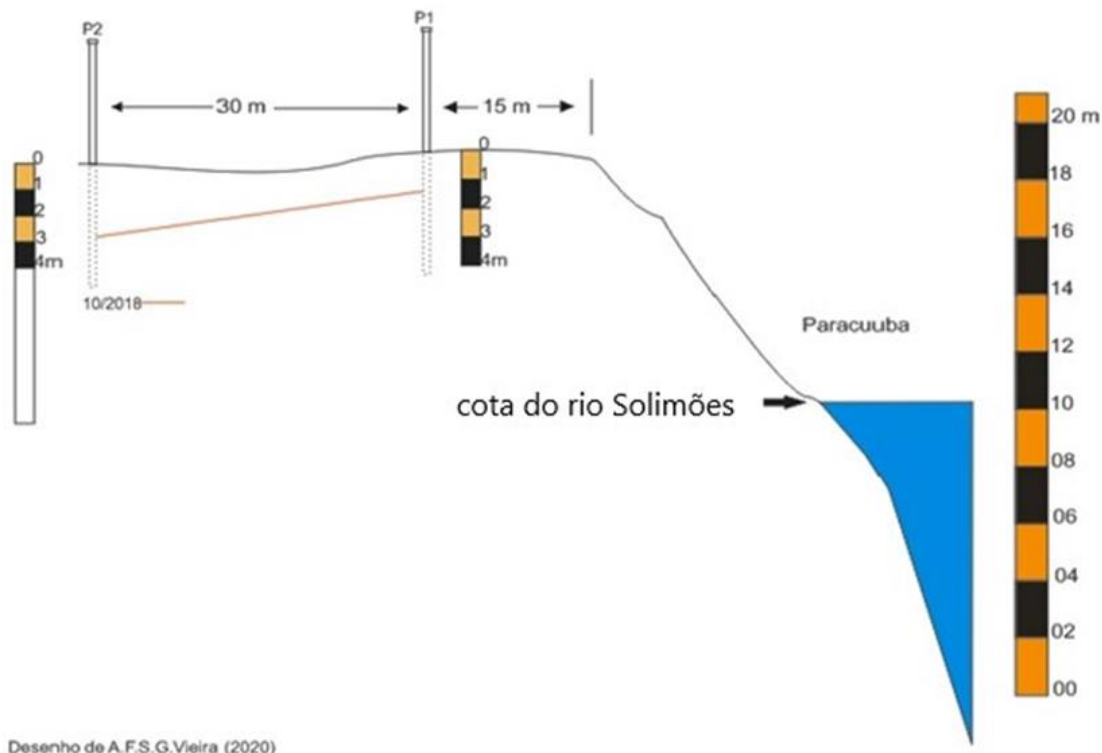
Esta relação da distância e da topografia foram avaliadas nos estudos de Farjado *et al.* (2010) ao investigarem as características físicas de solo saturado em uma área de floresta primária da Reserva Florestal Adolpho Ducke localizada ao norte da cidade de Manaus, AM. Os autores instalaram piezômetros na zona ripária do Igarapé Bolívia e assim verificaram que os valores obtidos nos piezômetros mais distantes foram mais elevados em comparação com os valores dos piezômetros colocados próximos à margem do curso d’água, acompanhando a topografia do local; foram também registradas diferenças entre os piezômetros instalados nas mesmas distâncias em relação às margens do igarapé. Por isto, pode-se presumir que a topografia do terreno em relação à margem de um curso d’água exerce forte influência na altura do lençol freático.

É importante notar que no local onde foi instalado o Pz2, a taxa média de infiltração verificada em outubro de 2018 foi maior comparada a taxa de infiltração no local de instalação do Pz1, o que corrobora para a afirmativa que de os índices pluviométricos têm forte contribuição para a recarga e manutenção do nível freático. Araújo *et al.* (2013), analisando a oscilação do nível estático de piezômetros nas nascentes do rio Capitão Pocinho, no nordeste do Pará, verificou uma correlação positiva direta do

índice pluviométrico na quase totalidade dos poços no período de monitoramento. Observaram que nos meses com crescente valores de precipitação pluviométrica, os valores de nível das águas subterrâneas rasas diminuíram, o que indicou recarga direta do aquífero por meio das águas das chuvas. No mês de fevereiro, os níveis entre ambos os piezômetros monitorados estiveram muito próximos, com uma mínima diferença de 0,5 centímetros. As maiores diferença de níveis entre os dois foram registradas nos meses de março e abril. Verificou-se que o nível piezométrico registrado por ambos os instrumentos no período da vazante não acompanha a velocidade de descida da água do rio, atestando que a afirmação de Coelho Netto (2015, p.128), que diz que “a velocidade do fluxo d’água subterrâneo é muito lenta em comparação com os fluxos superficiais”.

A descida do nível do lençol ocorre de forma gradual, com a retenção da água no pacote e aumento da pressão hidrostática, induzindo a suscetibilidade da margem à erosão e movimentos de massa. Assim, o comportamento variacional da superfície freática dos piezômetros nos meses monitorados associados a cota do rio é apresentado a seguir (**Figuras 46 a 58**).

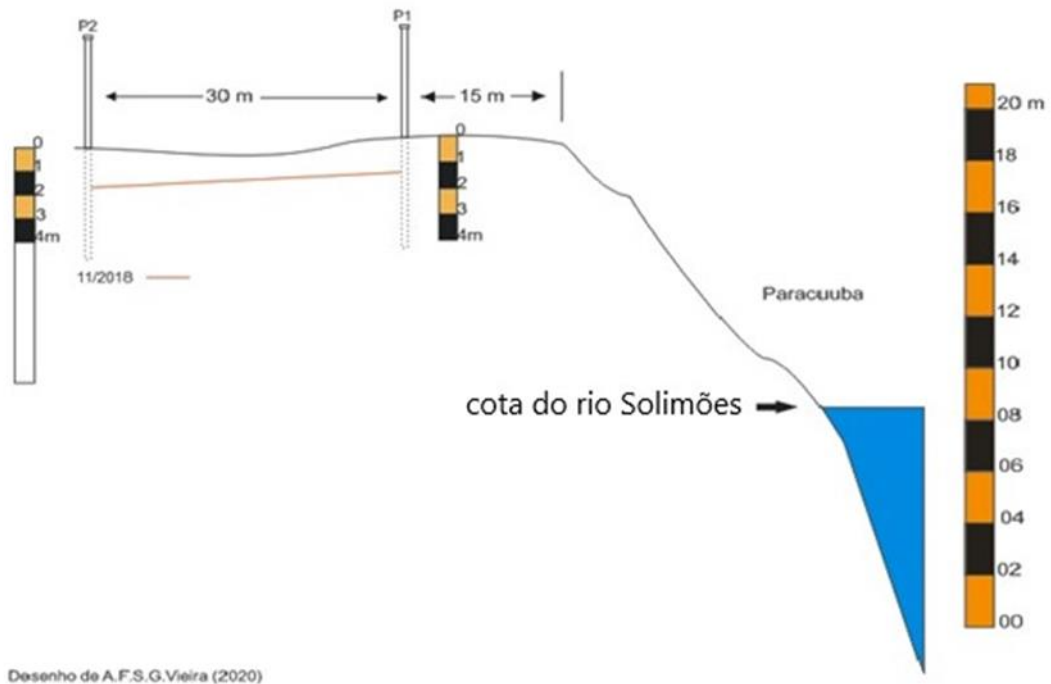
**Figura 46** - Perfil esquemático da oscilação do nível piezométrico do lençol freático na margem esquerda do canal (Furo do Paracuúba), em Outubro /2018



Desenho de A.F.S.G.Vieira (2020)

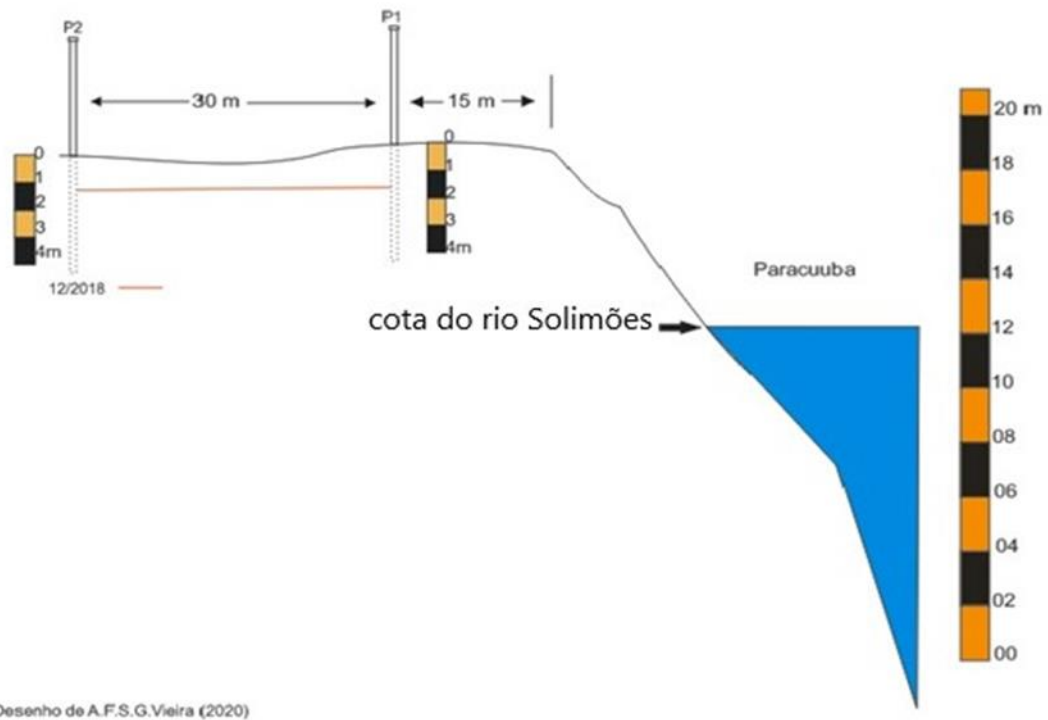
Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

**Figura 47** - Perfil esquemático da oscilação do nível piezométrico do lençol freático na margem esquerda do canal (Furo do Paracuúba), em Novembro /2018.



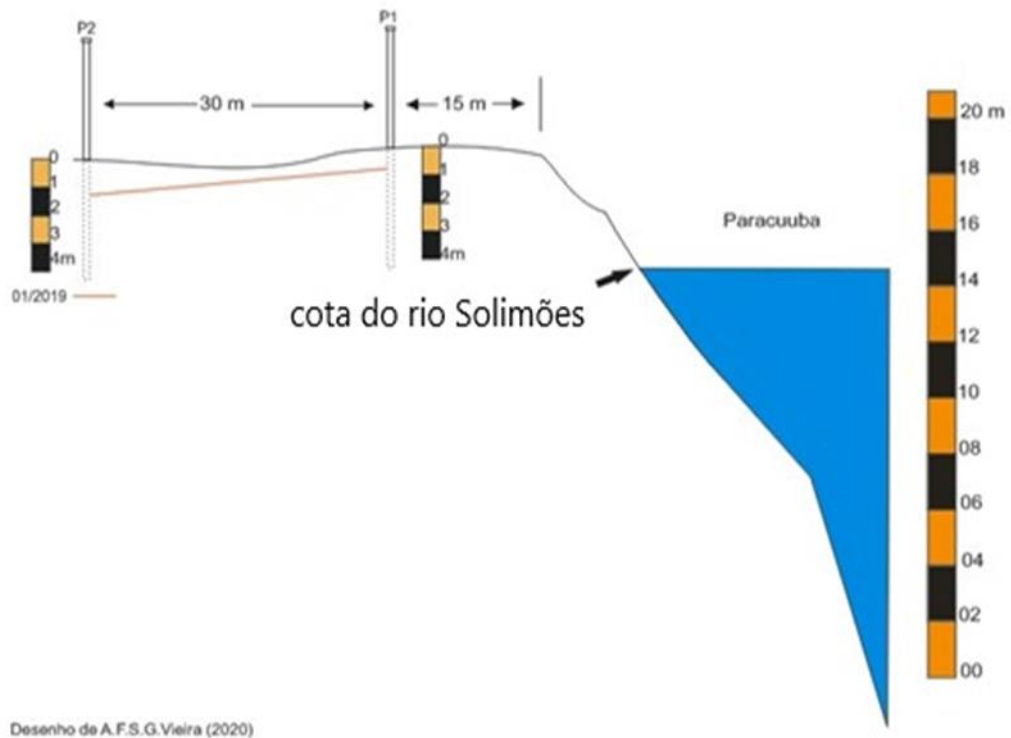
**Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2019.

**Figura 48** - Perfil esquemático da oscilação do nível piezométrico do lençol freático na margem esquerda do canal (Furo do Paracuúba), em Dezembro /2018



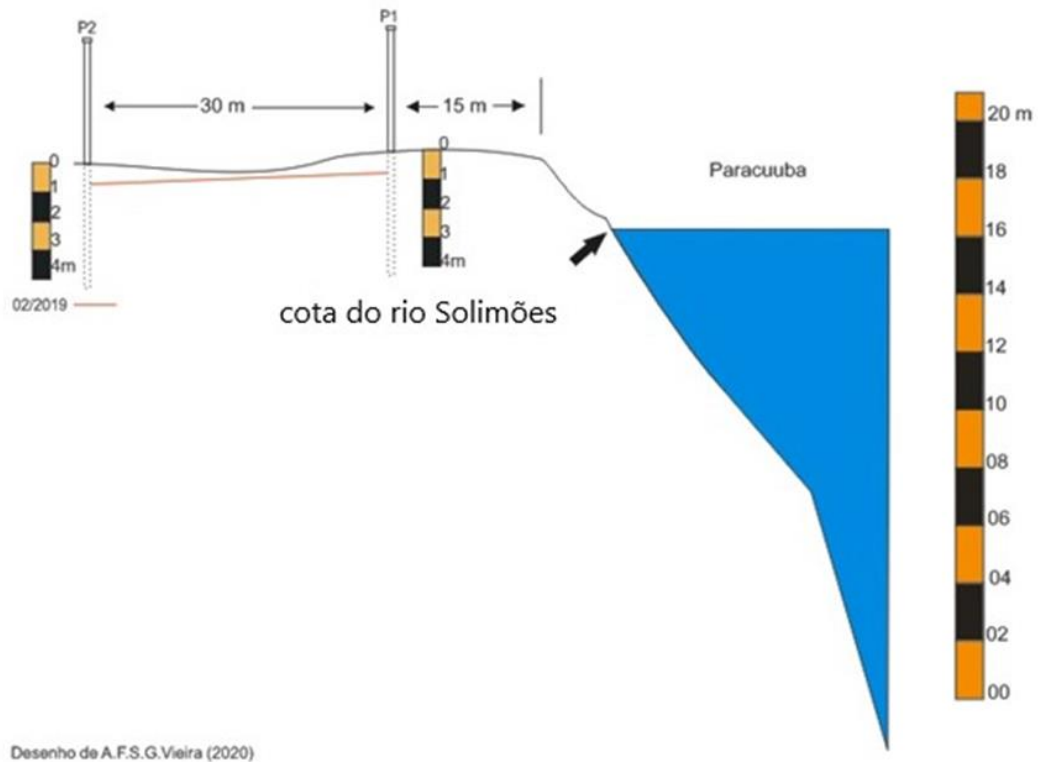
**Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2019.

**Figura 49** - Perfil esquemático da oscilação do nível piezométrico do lençol freático na margem esquerda do canal (Furo do Paracuúba), em Janeiro /2019



Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

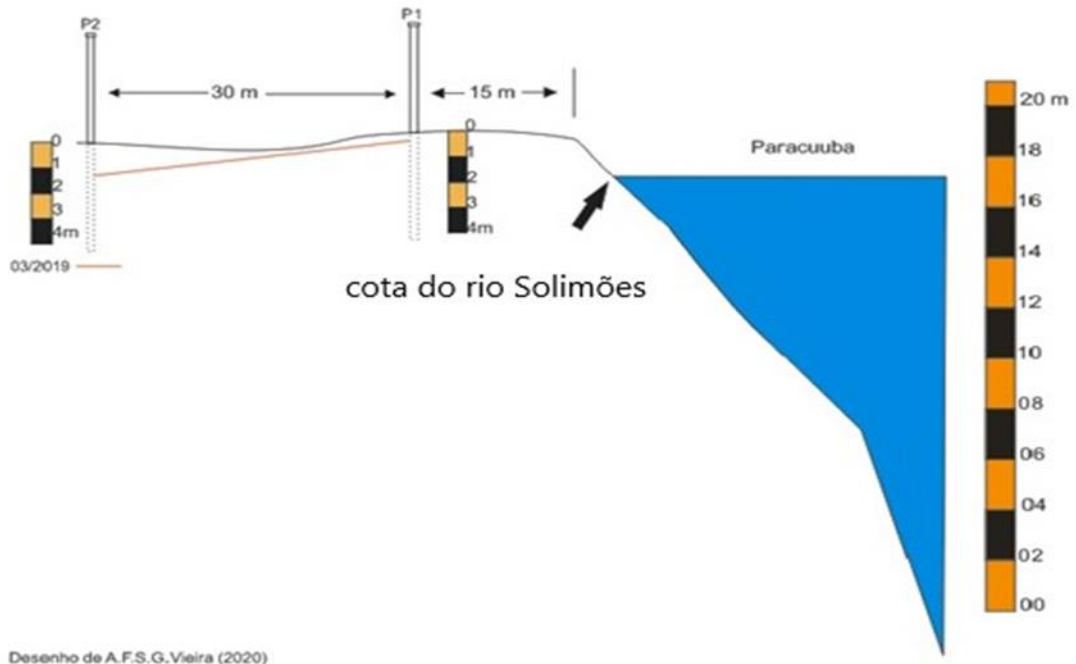
**Figura 50** -Perfil esquemático da oscilação do nível piezométrico do lençol freático na margem esquerda do canal (Furo do Paracuúba), em Fevereiro / 2019





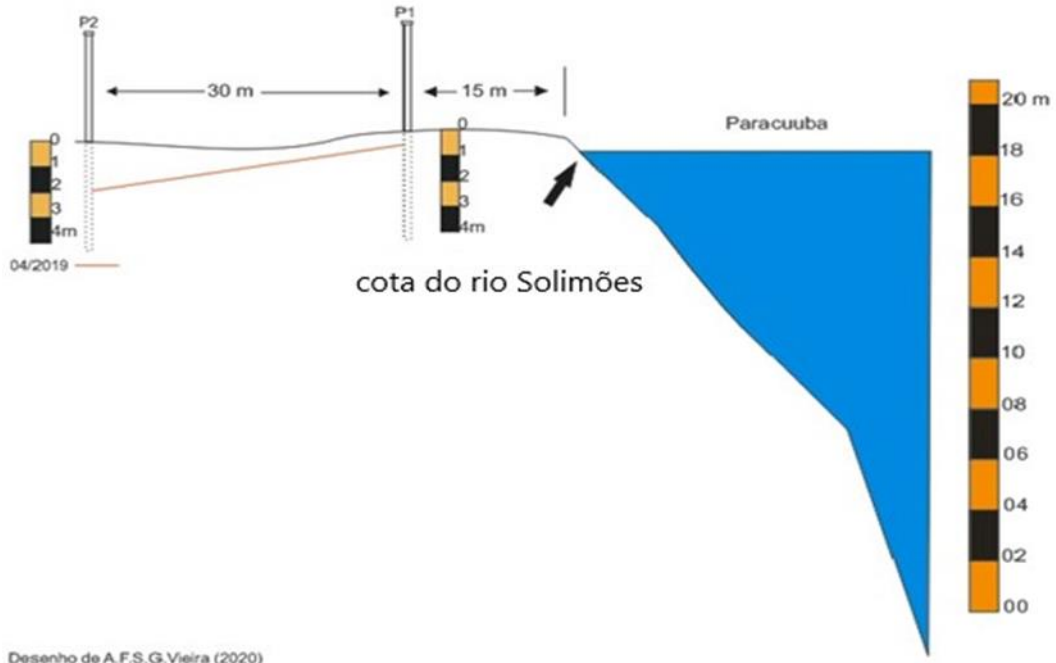
Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

**Figura 51** - Perfil esquemático da oscilação do nível piezométrico do lençol freático na margem esquerda do canal (Furo do Paracuúba), em Março / 2019



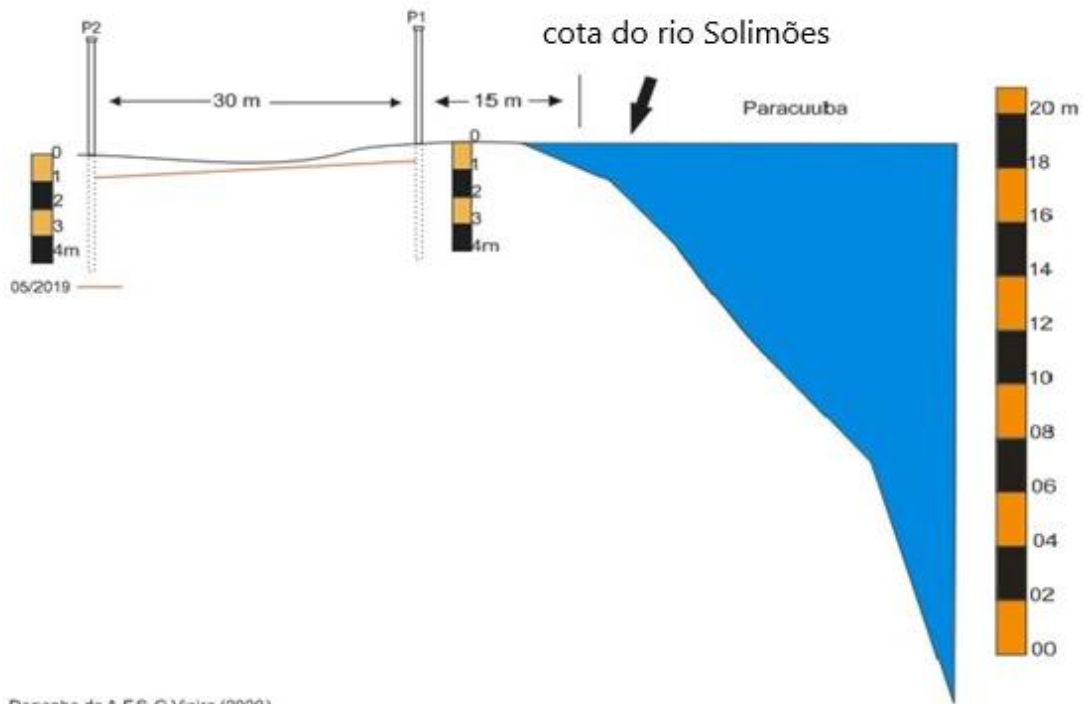
Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

**Figura 52** - Perfil esquemático da oscilação do nível piezométrico do lençol freático na margem esquerda do canal (Furo do Paracuúba), em Abril / 2019



Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

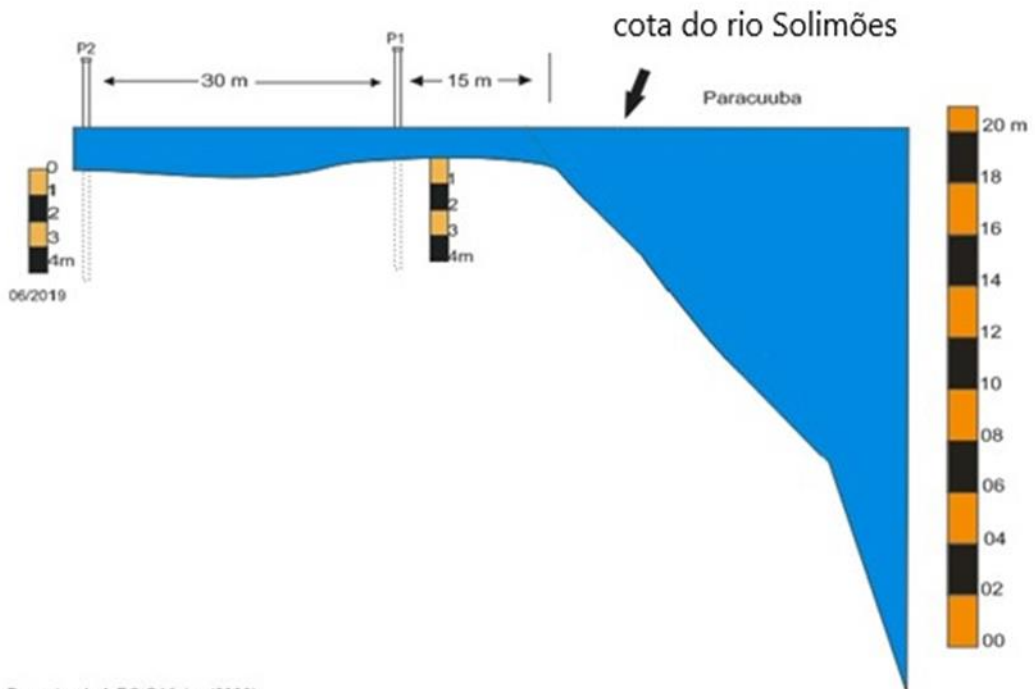
**Figura 53-** Perfil esquemático da oscilação do nível piezométrico do lençol freático na margem esquerda do canal (Furo do Paracuúba), em Maio / 2019



Desenho de A.F.S.G.Vieira (2020)

Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

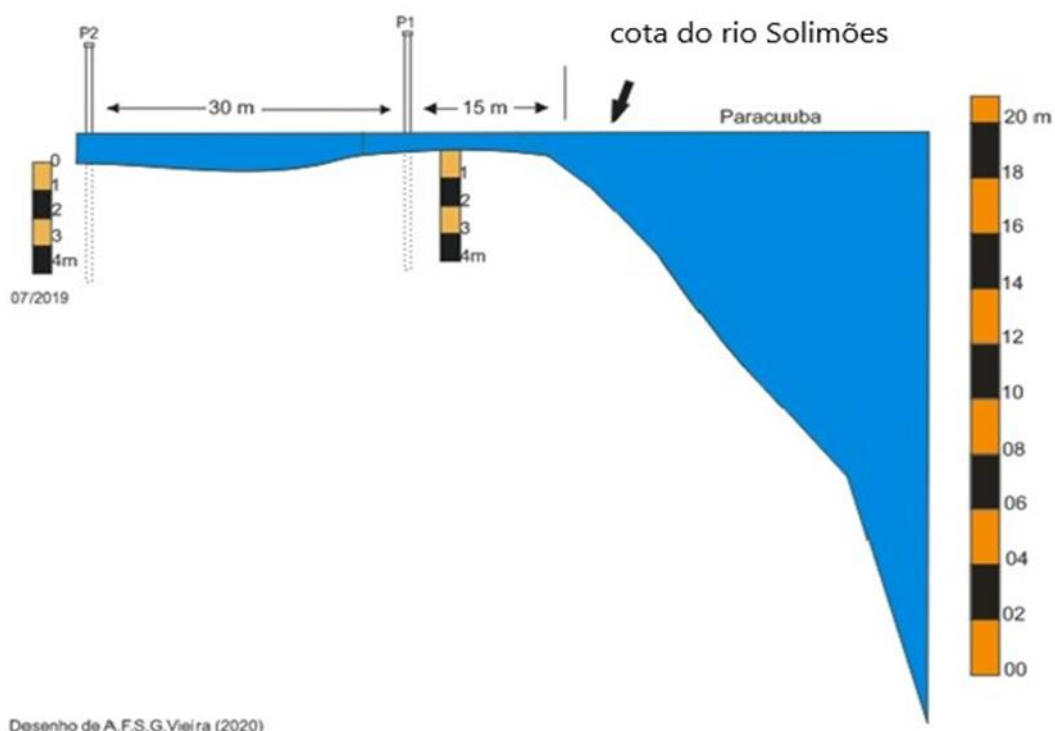
**Figura 41 -** Perfil esquemático da oscilação do nível piezométrico do lençol freático na margem esquerda do canal (Furo do Paracuúba), em Junho/ 2019



Desenho de A.F.S.G.Vieira (2020)

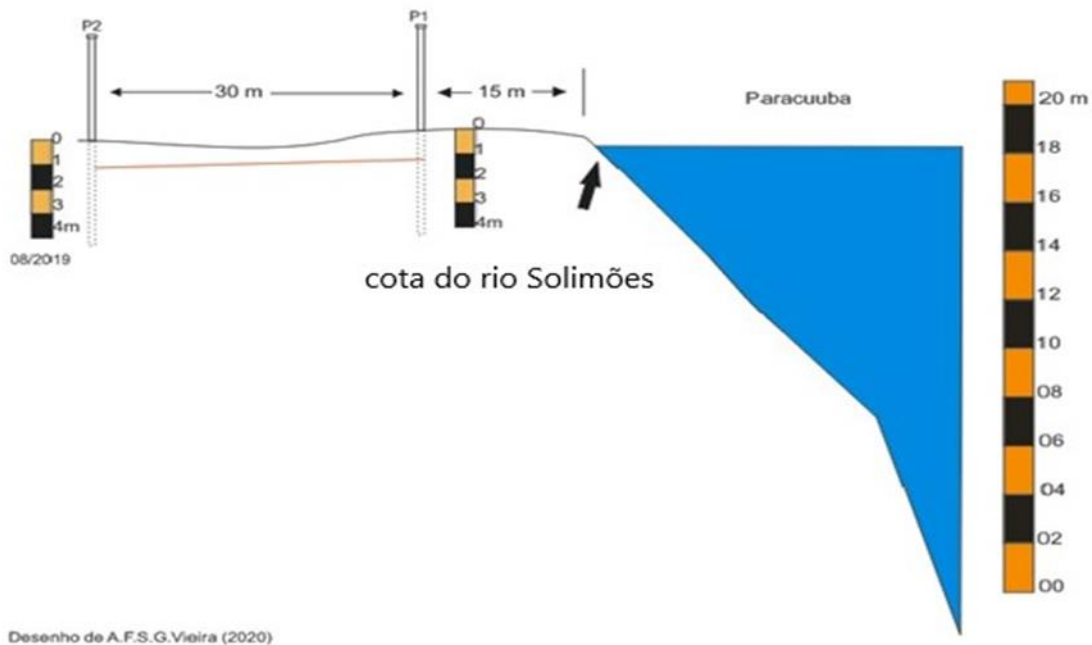
Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

**Figura 55** - Perfil esquemático da oscilação do nível piezométrico do lençol freático na margem esquerda do canal (Furo do Paracuúba), em Julho / 2019



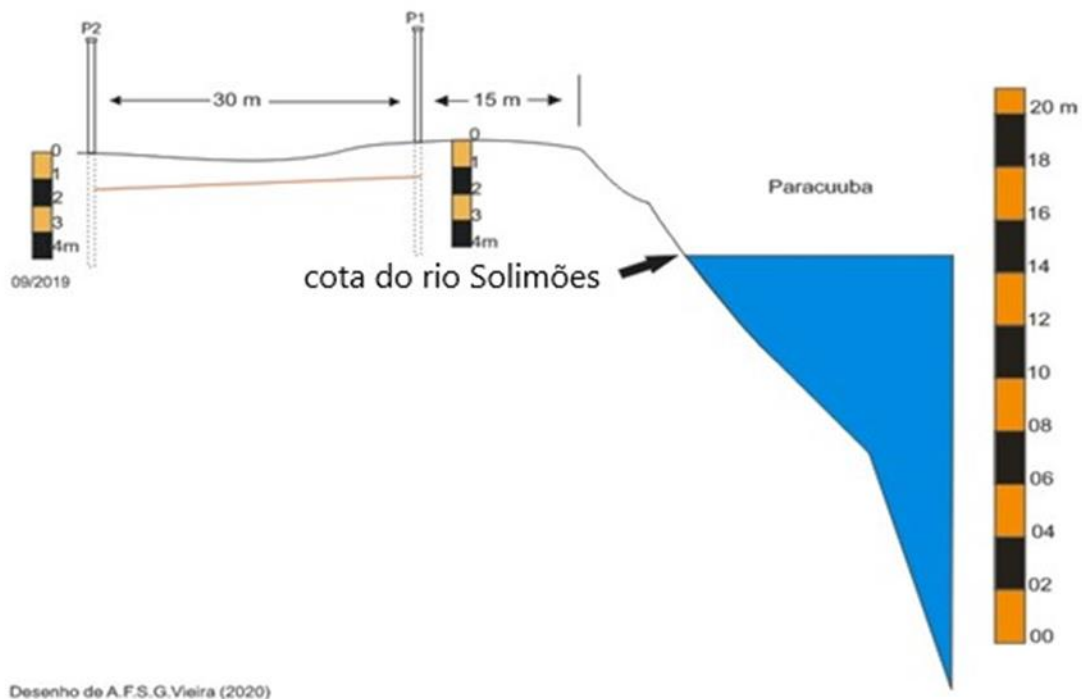
Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019

**Figura 56** - Perfil esquemático da oscilação do nível piezométrico do lençol freático na margem esquerda do canal (Furo do Paracuúba), em Agosto / 2019



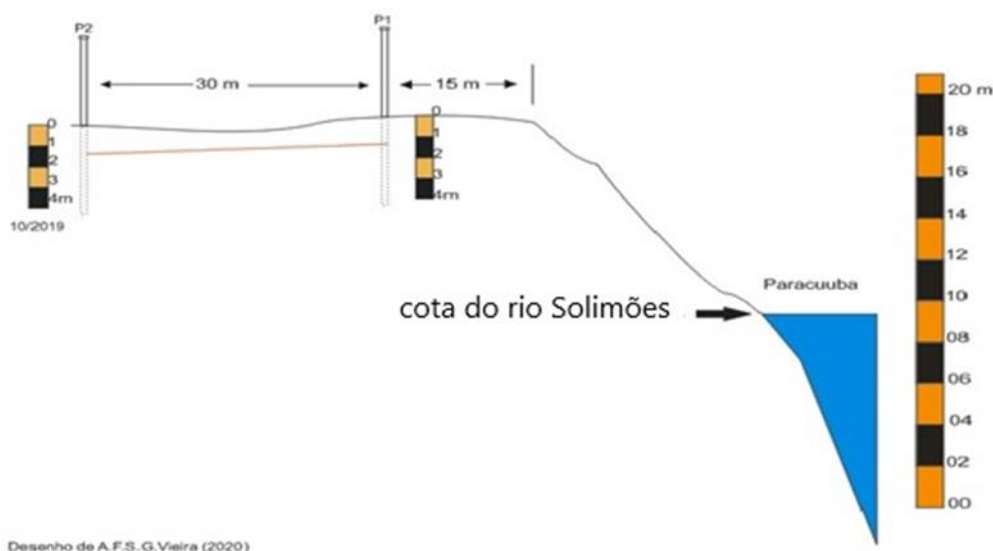
Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

**Figura 57** - Perfil esquemático da oscilação do nível piezométrico do lençol freático na margem esquerda do canal (Furo do Paracuúba), em Setembro / 2019



Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019

**Figura 58** - Perfil esquemático da oscilação do nível piezométrico do lençol freático na margem esquerda do canal (Furo do Paracuúba), em Outubro / 2019



Org.: Sandréia A. Cascaes, 2019.

É importante frisar, que nos períodos de vazante do rio os níveis de água nos piezômetros reduziram. Todavia, em todos os meses de monitoramento, os mesmos apresentaram um fluxo contínuo da água. Os níveis variaram, mas não ficaram totalmente secos, embora não tenham acompanhado a velocidade de descida do nível do rio.

Reforça-se então, a discussão de que a água que fica retida no pacote quando o rio está enchendo e quando está vazando aumenta a pressão hidrostática e consequentemente a maior capacidade de gerar escorregamentos ou deslizamentos devido à instabilidade do material. Na planície do rio Amazonas, a pressão hidrostática ocorre principalmente quando o rio está em vazante devido a água retida no pacote sedimentar e durante as pesadas chuvas que se precipitam na calha do rio, principalmente de dezembro a março (CARVALHO, 2006). Dessa forma, uma das situações que implicam para as condições de estabilidade do material das margens é quando o rio começa a baixar rapidamente e não é acompanhado na mesma razão pela superfície piezométrica. Assim, o escoamento ocorre em direção ao canal, havendo uma descompressão, um alívio da carga provocado pela migração da água em direção ao rio, promovendo a instabilidade e o colapso generalizado do material (LIMA, 1998).

#### 5.6.2.3 Análise dos sedimentos transportados pelo canal

O transporte de sedimentos pelos canais fluviais depende na maior parte dos processos erosivos que ocorrem nas margens e no fundo dos leitos e da interação com os fatores hidrológicos e as características das partículas, podendo variar no tempo e espacialmente, imbricando na evolução da paisagem e no surgimento de novas formas geomorfológicas. Na Bacia Amazônica, 90% da descarga sedimentar é estimada em um bilhão de toneladas/ano e são decorrentes dos tributários Andinos (LATUBRESSE *et al.*, 2008, FILIZOLA e GUYOT, 2011 e FILIZOLA *et al.*, 2011).

A medição do transporte de sedimentos foi realizada a partir da coleta de água *in loco*, utilizando-se métodos hidrométricos tradicionais e a análise laboratorial, afim de se obter uma estimativa média de concentração de sólidos totais suspensos e a descarga sólida nas seções transversais e no canal, sendo estas médias representativas de cada um dos três períodos hidrológicos abrangidos por este estudo.

A **Tabela 9** mostra os valores médios da concentração de sólidos totais suspensos nas seções de medição em diferentes períodos hidrológicos do canal, ou seja, a quantidade de massa contida em um volume, coletado nas seções transversais de: entrada, meio e saída que variaram com médias entre 96 a 138 mg/l<sup>-1</sup>. Conforme Sioli (1985), o rio Solimões carrega sedimentos em suspensão, areias, siltes e areias fina em quantidades de 37 mg/l na época de seca e 165 mg/l nas enchentes. Assim, os valores médios aqui descritos não estão muito distantes desses citados por Sioli (1985).

**Tabela 9** - Concentração de sólidos totais suspensos no Furo do Paracuúba em diferentes períodos hidrológicos

Seções do canal	Início da vazante	Extremo da vazante	Cheia
mg /l <sup>-1</sup>			
Entrada	43	113	193
Meio	103	93	136
Saída	136	17	86
*C <sub>ss</sub> (mg /l <sup>-1</sup> )	96	125	138

\*Concentração de sólidos totais suspensos

**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018/2019. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2020.

No início da vazante, a porção da saída indicou o maior volume médio de sólidos suspensos (136 mg/l<sup>-1</sup>). Porém, no pico da vazante e pico da cheia, a porção da entrada foi a que apresentou maiores concentrações (113 mg/l<sup>-1</sup> e 193 mg/l<sup>-1</sup>, respectivamente). A concentração média de sólidos totais suspensos por períodos foi maior na cheia do canal, com aproximadamente 138 mg/l<sup>-1</sup>. O rio Solimões, nas estações de coleta situadas na calha do rio com o Lago de Mamiá, na região de Coari apresenta uma concentração de material em suspensão que oscila entre 50,0 mg/l<sup>-1</sup> a 169,67 mg/l<sup>-1</sup> na enchente (SERIQUE, 2012). Na estação de Óbidos, de acordo com Guimarães, *et al.* (1997), Latrubesse (2008) e Montanher (2016), a concentração de sedimentos suspensos do rio Solimões fica em torno de 1.563 mg/l<sup>-1</sup>.

Comparando as estimativas médias da descarga sólida em diferentes unidades de tempo (**Tabelas 10, 11 e 12**) para três medições representativas dos regimes hidrológicos, constatou-se que o período de início da vazante apresentou volume superior de descarga líquida e sólida, transportando 1.524,50 m<sup>3</sup>/s<sup>-1</sup> de água, o que corresponde em média aproximada de 0,146 ton.s<sup>-1</sup> ou 4.551.552 ton.ano<sup>-1</sup> de sólidos suspensos. Esse resultado quando comparado a descarga líquida anual do rio Amazonas, da ordem de 209.000 m<sup>3</sup>/s é aproximadamente 138 vezes menor e aproximadamente 132.000 vezes menor ao fluxo de sedimentos em suspensão que o rio Amazonas exporta ao oceano, equivalente a 600 e 800 10<sup>6</sup> t.ano<sup>-1</sup> de acordo com Filizola e Guyot (2011).

**Tabela 10** - Correlação da descarga líquida e sólida no período de início da vazante.

Tempo	Q* (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ss</sub> **
S	1.524,50	146,35 Kg
Min	91.470,00	8,78 ton.
Hora	5.488.200,00	526,8 ton.
Dia	131.716.800,00	12.643,20 ton.
Mês	3.951.504.000,00	379.296,00 ton.

Ano	47.418.048.000,00	4.551.552,00 ton.
-----	-------------------	-------------------

\*Vazão média líquida do canal \*\* Descarga de sólidos em suspensão.  
Dados obtidos a partir da concentração média de sedimentos (96 mg/l<sup>-1</sup>) e vazão média do canal no início da vazante.

**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018/2019. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2020.

**Tabela 11** - Correlação da descarga líquida e sólida no extremo da vazante.

Tempo	Q* (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ss</sub> **
s	70,28	8,78 kg
min	4.216,80	526,80 kg
hora	253.008,00	31,60 ton.
dia	6.072.192,00	758,40 ton.
mês	182.165.760,00	22.752,00 ton.
ano	2.216.350.080,00	273.024,00 ton.

\* Vazão média líquida do canal \*\* Descarga de sólidos em suspensão.  
Dados obtidos a partir de valores médios de sedimentos (125mg/l<sup>-1</sup>) e vazão média do canal no extremo da vazante.

**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018/2019. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 202

**Tabela 12** - Correlação da descarga líquida e sólida no período cheio do canal.

Tempo	Q* (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ss</sub> **
s	899,34	124 kg.
min	53.960,40	7.440,00 ton.
hora	3.237.624,00	446.400,00 ton.
dia	77.702.976,00	10.713.600,00 ton.
mês	2.331.089.280,00	321.408.000,00 ton.
ano	27.973.071.360,00	3.856.896.000 ton.

\* Vazão média líquida do canal \*\* Descarga de sólidos em suspensão. Dados obtidos a partir de valores médios de sedimentos/litro (138 mg/l<sup>-1</sup>) e vazão média do canal na cheia.

**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018/2019. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2020.

No período cheio, o canal transportava um volume de sedimentos inferior ao volume indicado no início da vazante, o que se correlaciona a menor velocidade média do canal para este primeiro período (0,54 m<sup>3</sup>/s) e maior concentração de sedimentos (138 mg /l<sup>-1</sup>). Para o início da vazante, a velocidade média do canal indicou (1,47 m<sup>3</sup>/s) e a menor concentração de sedimentos (96 mg /l<sup>-1</sup>). Logo, a maior velocidade média da corrente indica menor concentração de sedimentos, que por sua vez, reflete no maior transporte e vice-versa. Além do que, no período cheio, o canal apresentou menor vazão média (899,34 m<sup>3</sup>/s) comparado a vazão média para o período de início da vazante (1.524,50 m<sup>3</sup>/s), com exceção para a porção de saída, que para o último período mencionado, o trecho descarregava o menor volume de água, indicando que o rio Negro, estava provocando o barramento hidráulico do Rio Solimões, com cota diária elevada.

Os dados aqui apresentados permitem demonstrar que, um canal de extensão relativamente pequena, como o Furo do Paracuúba também pode ser responsável por transportar um bom volume de sedimentos em suspensão. Esses valores foram combinados aos valores de vazão líquida, que por sua vez, estão associados aos valores de velocidade média do fluxo da corrente, obtidos a partir do método de dispersão da mancha de tinta em superfície, executado sempre no meio do canal. Por isto, ressalta-se que a medição da velocidade é variável, podendo indicar certos valores próximos as margens ou no fundo. Contudo, a obtenção da média dessas velocidades demandaria o uso de equipamentos como ADCP (Acoustic Doppler Current Profile) ou correntômetros estão sendo viável seus usos nesta pesquisa.

Apesar do baixo transporte de sedimentos suspensos pelo rio Negro, é importante comparar aos estudos conduzidos por Marinho (2019) no baixo Rio Negro, especialmente em Anavilhanas, que mostraram que no ano hidrológico 2016 e 2017 a C<sub>ss</sub> média foi de 3,06 mg/l<sup>-1</sup> e o fluxo de sedimento suspenso entre 1 e 9 milhões t.ano<sup>-1</sup> e assim comparar com os resultados aqui descritos. Levando-se em conta os resultados de C<sub>ss</sub> do Paracuúba, compreendendo os três períodos hidrológicos do estudo (início da vazante, extremo da vazante e cheia), obtém-se uma média para o canal de 119 mg/l<sup>-1</sup>. Este valor comparado a C<sub>ss</sub> média indicada pelo autor, para Anavilhanas corresponde a aproximadamente 39 vezes a mais.

Marinho (2019) também mostrou que entre 2006 e 2017, próximo da foz do rio Negro em Manaus, a descarga média líquida anual é da ordem de 35.321 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Para o canal do Paracuúba, a estimativa média anual, é de 25.869 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Isso significa que o canal tem uma vazão de 10.000 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> a menos que o rio Negro na sua foz.

Utilizando diferentes métodos de medição para a quantificação da concentração dos sedimentos em suspensão e técnicas de filtragem, Sampaio (2016), estimou que os cálculos de descarga sólida do rio Solimões na estação de Manacapuru apresentam os seguintes valores: com o método pontual - Q<sub>ss</sub> = 669.000 t/dia e com o método integrador Q<sub>ss</sub> = 481.000 t/dia. Cabe mencionar que o recorte temporal analisado nesta pesquisa, corresponde a três dias de medições e as áreas apresentam diferentes características de regime hidrológico, de precipitação, de geologia e de geomorfologia.

Os resultados mostraram os maiores e menores valores de descarga líquida nos períodos de início e extremo da vazante, respectivamente, bem como a maior e menor descarga sólida de sedimentos em suspensão para estes períodos. Evidenciou-se assim, que há uma boa correlação entre as variáveis Q e Q<sub>ss</sub>, ou seja, quanto maior a descarga líquida,



maior é a descarga sólida de sedimentos suspensos, ou vice-versa. Então seria somente a descarga líquida capaz de explicar o porquê de no início da vazante ambas as descargas serem maiores do que no período cheio?

A literatura aponta que os maiores volumes de sedimentos são transportados por maiores vazões, embora não seja uma relação linear e possa sofrer alterações no espaço e no tempo. Todavia, a  $C_{ss}$  nos diferentes períodos não segue a mesma razão, sendo o período de extremo da vazante o responsável por menores valores de  $Q$  e  $Q_{ss}$ , mas também aquele a apresentar maior  $C_{ss}$  em comparação ao início da descida das águas, que apresentou maiores valores de  $Q$  e  $Q_{ss}$ . Stevaux e Latrubesse (2017) afirmam que, a concentração de sedimentos suspensos varia não apenas com a descarga, mas ao longo do tempo.

As atividades antrópicas é um fator que pode interferir na concentração e transporte de material suspenso. A frequência de embarcações pelo canal também pode causar alterações no fluxo de sedimentos, pela força de fricção da água movida e a força de cisalhamento nas margens, capazes de provocar a erosão fluvial e/ou movimentos de massa.

Também a perda da vegetação, como se pode perceber nas margens do canal, reduz a proteção do solo, podendo gerar aumento de material em suspensão no canal, com a redução da infiltração da água da chuva. Estes resultados podem estar associados a declividade, a profundidade ou até mesmo eventos de chuva que houveram nos períodos da coleta.

É importante considerar que os valores da descarga de sedimentos nos rios da Amazônia apresentam muitas variações de resultados apresentados por diferentes estudiosos, levando-se em conta a variabilidade do comportamento hidrológico, os métodos de amostragem e os cálculos de descarga. Filizola *et al.* (2011), enfatizam que determinar a descarga de sedimentos em suspensão no rio Amazonas não é uma tarefa simples. Por essa razão, ocorrem variações nos resultados em função dos diferentes métodos e aproximações utilizados, bem como em relação aos diferentes períodos de coleta das medições realizadas (FILIZOLA, *et al.*, 2011).

Contudo, ressalta-se a importância que os rios, principalmente o Solimões, desempenham na função de desagregar as partículas dos solos e no transporte dos sedimentos que atuam nos processos geomorfológicos das margens do Furo do Paracúba. Além da ação erosiva e do transporte por movimento de massa, os sedimentos transportados também tem implicado em alterações morfológicas na paisagem adjacente, pois estes estão se depositando em locais de assoreamento, como por exemplo, na foz do rio January, impedindo a dinâmica natural do curso d'água e áreas de acresção vertical. Os sedimentos também influenciam nos

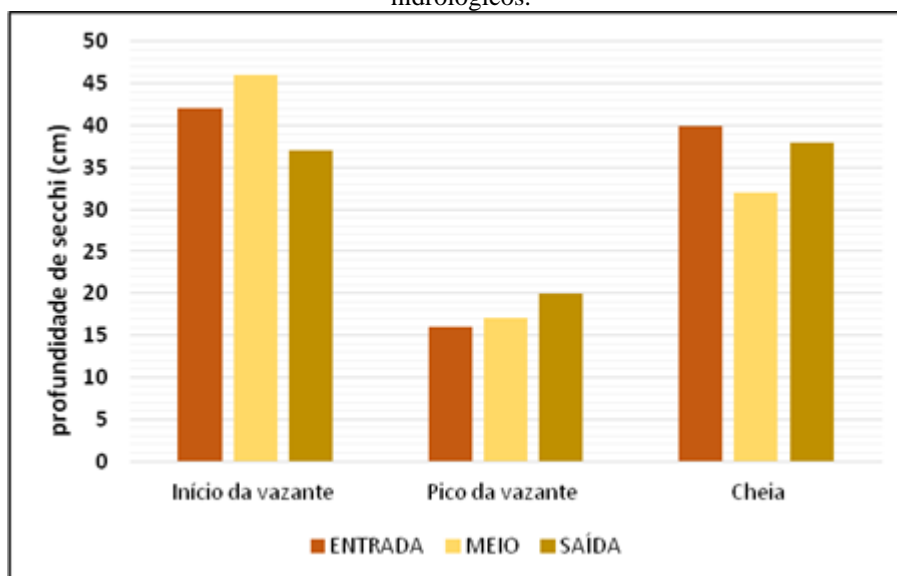
parâmetros da água, que são indicadores de sua qualidade, sobressaindo-se aqui os resultados de transparência e o pH da água.

#### 5.6.2.4 Transparência da água

O parâmetro físico da transparência possui uma relação direta com a turbidez. Quanto maior a turbidez menor será transparência da água, ou vice versa. Todavia não foi possível mensurar esta segunda variável pela ausência de equipamento.

Com relação à transparência da água do Furo do Paracuúba, a profundidade de Secchi variou entre 16 a 46 cm, com valor médio de 32 cm para os três períodos (**Gráfico 27**). A transparência apresentou uma nítida variação sazonal, verificando-se que o período hidrológico do início da vazante, quando o canal ainda estava cheio foi o que apresentou maior valor de transparência entre todos os períodos, variando entre 37 a 46 cm, com valor médio de 42 cm. Este resultado está em conformidade com a menor concentração média de sedimentos para este período como foi evidenciado. Para o mesmo período, a porção da entrada e do meio do canal, foram os locais que apresentaram maior transparência e menor C<sub>ss</sub>. No pico da vazante, a transparência do disco de secchi foi a menor, com variação entre 16 a 20 cm, com média de 18 cm. Isto se deve a elevada concentração média de sedimentos em suspensão no período, que caracteriza uma coloração esbranquiçada da água. O valor médio de transparência desse período foi aproximadamente 2 vezes menor aos valores médios de transparência obtidos no início da vazante e na cheia. Neste último período, a transparência da água variou entre 32 a 40 cm, com média de 37 cm.

**Gráfico 27** - Valores de transparência da água na entrada, meio e saída do canal em três momentos hidrológicos.



Fonte: Trabalho de Campo, 2018/2019. Org.: Sandréia A. Cascaes, 2020.

Os valores de transparência encontrados estão entre os padrões de limites de visibilidade dos rios água amarelada turva da Amazônia, que vão de menos 10 a 50 cm conforme Sioli (1985). Sendo a drenagem do canal diretamente influenciada pelo rio Solimões, os valores encontrados variaram de 16 a 46 cm, para o início da vazante e cheia, respectivamente.

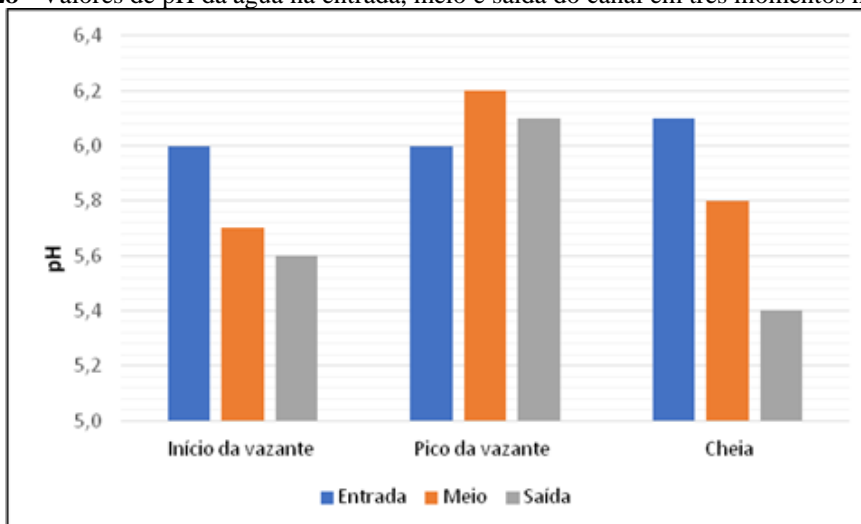
Evidentemente que a transparência da água pode variar de um rio para outro rio em determinadas épocas do ano. Serique (2012), estimou para o Rio Solimões na região de Coari, valores médios de transparência que variaram 15 cm (enchente) 32 cm (vazante). No canal em estudo, a transparência da água é diretamente afetada pelas maiores vazões, onde evidenciou-se que os períodos de maior vazão implicam nos valores médios de transparência, reduzindo consideravelmente no período de águas baixas, fato evidente pelo aspecto barrento de suas águas.

#### 5.6.2.5 Potencial Hidrogeniônico – pH

Os valores de pH encontrados no Furo do Paracuúba indicam o caráter levemente ácido de acordo com a escala logarítmica de pH, com variação de 5,4 a 6,2 e valor médio de 5,8 para os três períodos (**Gráfico 28**). Sioli (1985) garante que os rios de água branca apresentam águas férteis, com pH relativamente neutro. Todavia os resultados demonstraram que os valores estão distantes da neutralidade.

Os menores valores de pH foram encontrados no início da vazante em 2018, com valores entre 5,6 e 6,0, com média de 5,7 e na cheia em 2019, com variação entre 5,4 e 6,1, com média de 5,8 para este último. Os valores obtidos para a máxima da vazante, oscilaram entre 6,0 e 6,2, com média de 6,1. O valor médio de pH obtido no período de menor nível fluviométrico é o mais próximo dos valores indicados por Franzinelli (2011) e Franzinelli e Igreja (2012) para o Rio Solimões na altura do encontro das águas, com variação entre 6,2 a 7,2. Ainda de acordo com os autores, tomando os valores de pH do rio Negro, que variam entre 3,8 e 4,9, nenhuma das médias obtidas estiveram próximas.

**Gráfico 28** - Valores de pH da água na entrada, meio e saída do canal em três momentos hidrológicos.



**Fonte:** Trabalho de Campo, 2018/2019. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2020.

Analisando os valores das seções transversais, a entrada indicou média de pH de 6,2, mostrando menor acidez, a porção do meio e da saída apresentaram valores indicando maior acidez, com média de pH de 5,9 e 5,7.

Alguns fatores podem interferir na condição da água, tais como a precipitação e o escoamento superficial, a depender de fatores ambientais como a vegetação, o clima e a litologia. Assim, Salati *et al.*, 2002 enfatizam que mesmo em uma bacia hidrográfica preservada, com suas condições naturais em equilíbrio, a qualidade das águas varia de acordo com o clima e as características físicas e biológicas dos ecossistemas correspondentes, devido à contínua e constante interação entre a litosfera, a biosfera e a atmosfera.

Outro fator que pode interferir nos valores de pH dos corpos d'água é o tipo de solo por onde a água percorre. Esta análise pode ser aprofundada em estudos posteriores. A condição de acidez verificada nas amostragens também pode ser decorrente da presença

de ácidos fúlvicos e húmicos resultantes da degradação da vegetação conduzida ao leito através do escorregamento de terras constantes nas margens.

### **5.7 Mapeamento das áreas de erosão, deposição e movimentos de massa nas margens do canal.**

#### a) Erosão e deposição

Com dados extraídos das imagens Landsat 5 TM e Landsat OLI 8, compreendendo um intervalo de 13 anos, é possível demonstrar as principais ocorrências de erosão e deposição na área de estudo. As imagens datadas em 02/09/2006 e 19/09/2018 são referentes ao período de vazante, com cotas fluviométricas para a primeira data em 12,93 m do Rio Solimões e 23,30 m do Rio Negro. Na segunda data, as cotas indicavam 14,36 m para o Rio Solimões e 23,93 m para o rio Negro.

Ao averiguar as feições geomorfológicas existentes, comprovou-se que os processos erosivos atuam de forma intensa nas margens do canal em detrimento a um inexpressivo processo deposicional, contribuindo significativamente para mudanças na sua fisionomia e dinamizando intensamente a paisagem geográfica na área de estudo. Ressalta-se que devido a dificuldade de resolução das imagens, considerou-se neste mapeamento como erosão todas as áreas que sofreram perda de margens, independentes de ser por erosão fluvial ou movimentos de massa.

As alterações mais significativas são notadas nos trechos correspondentes a entrada e a porção central do canal. A margem esquerda caracteriza a parte onde são mais nítidos os processos erosivos. Conforme já mencionado, nesta margem destaca-se a entrada do rio January, que apesar das imagens de satélites indicarem trechos de erosão fluvial, as imagens capturadas pelo VANT mostram uma tímida colmatação de sedimentos na sua entrada, com a tendência de formação de uma ria fluvial devido ao processo de assoreamento que está ocorrendo nesta porção. Já na margem direita, os processos erosivos também são observados, embora em proporções menores comparados a margem oposta.

Em relação a saída do Furo do Paracuíba, mais especificamente na sua margem esquerda, como dito na caracterização da área, aparecem alguns trechos que são embasados pelos depósitos da Formação Alter do Chão, demonstrando maior resistência aos processos erosivos. No entanto, outros trechos desta mesma margem são alternados

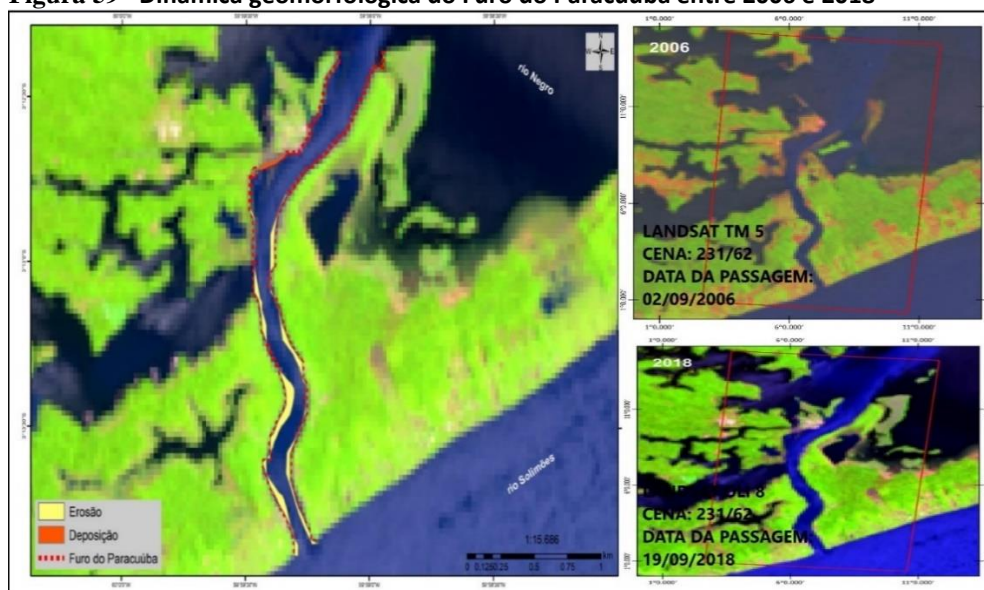
por material de sedimentação holocênica, mais especificamente nas proximidades da Comunidade de Vila Nova, onde se verifica um discreto trecho de deposição sedimentar. Fato este constatado nos perfis transversais 3a, 3b e 3c, onde foi identificada a presença de um depósito de acreção lateral, coincidindo com o relato dos donos de embarcações nas entrevistas concedidas. Estes afirmam que os bancos de areia nesse trecho sobressaem principalmente no período de vazante, dificultando a navegação.

Esta zona de deposição pode estar associada a redução da velocidade do fluxo da corrente no trecho de saída do canal, conforme foi evidenciado pelo método com flutuadores. Tal diminuição ocorre em função do alargamento do canal neste trecho e consequentemente induz a deposição da carga de sedimentos.

Na margem direita, também na parte final do canal, nota-se a ocorrência de ganho de margem, ou seja, a formação de novas terras e/ou pequenas ilhas em processo de colmatação, com cobertura vegetal de gramíneas, circundando lagos em seu interior. É este trecho da foz, responsável por uma explícita alteração na morfometria do canal, marcando o aumento de seu comprimento nos últimos anos e pela mudança de direção do seu curso final. No ano de 2006, a maior parte dessa área era coberta pela massa d'água, configurando-se como o rio Negro.

As principais alterações quanto às feições geomorfológicas no canal do Furo do Paracuúba no período entre 2006 e 2018 são evidenciadas na **Figura 59**.

**Figura 59 - Dinâmica geomorfológica do Furo do Paracuúba entre 2006 e 2018**



Fonte: USGS Earth Explorer. Org.: Gabriela Mendonça e Sandréia A. Cascaes, 2020.

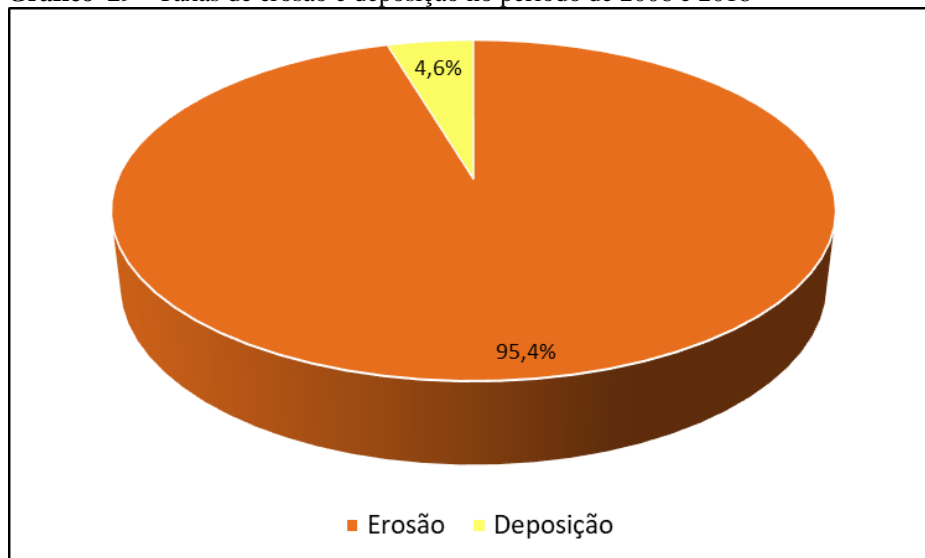
Também foram feitos registros durante os trabalhos de campo das zonas com ocorrência de erosão na frente da Comunidade de Santo Antônio e na porção do meio do canal e de zonas de deposição, na sua saída, em ambas as margens. Estas feições geomorfológicas são mais evidentes nos períodos de baixo nível fluviométrico do canal (**Figura 60**).

**Figura 60** - Zonas de erosão (Fotos A e B) e Zonas de deposição (Fotos C e D)



**Fonte:** Foto (A)- Roberto Epifânio, 2018; Foto (B e C): Sandréia A. Cascaes e Foto (D): captura do VANT-LATOSSOLO, 2019. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2020.

Os resultados quantificados permitiram concluir que o balanço entre as áreas de erosão e deposição quanto à sua distribuição no canal é muito distinto, apresentando grande diferença (erosão: 97.901,35 m<sup>2</sup> e deposição: 4.698,57 m<sup>2</sup>). Assim, o que está sendo erodido na entrada do canal, de uma forma ou de outra está sendo depositando a jusante, ou seja, na saída para o Rio Negro, embora em proporções muito pequenas, evidenciando a formação de um depósito recente na extremidade final. Então dividindo a taxa de erosão pela quantidade de anos analisados, obteve-se a taxa de erosão de 7.530,873 m<sup>2</sup>/ano (95,4%) e a taxa de deposição de 361,428 m<sup>2</sup>/ano (4,6%), representados na **Gráfico 29**.

**Gráfico 29** - Taxas de erosão e deposição no período de 2006 e 2018

**Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2020.

Apesar das feições serem evidentes em boa parte da extensão do canal, com predominância dos processos erosivos em relação aos deposicionais, há pequenos trechos das bordas marginais não afetados pelos processos fluviais. Observa-se que a entrada e a porção central do canal estão fortemente submetidas a hidrodinâmica do rio Solimões. O processo de erosão fluvial é comum em regiões banhadas pelo rio Solimões devido as suas características físicas. O pulso normal de inundação e vazante do rio em decorrência dos eventos extremos, tem contribuído para o aumento das erosões fluviais nas localidades (GUIMARÃES *et. al.*, 2019). Contudo, é importante mencionar que as variáveis hidrológicas em um canal se alternam temporal e espacialmente, implicando em mudanças contínuas na sua dinâmica fluvial.

Entre as possíveis razões para que o processo erosivo seja mais acentuado nessas porções do canal, conforme a literatura apresentada pode estar associado à velocidade da corrente e da carga de sedimentos transportados pelo canal, sendo que esses valores se mostraram elevados de acordo com os dados da pesquisa. A ação abrasiva do material transportado, juntamente com as forças hidráulicas, impulsionadas pela velocidade também podem causar a erosão fluvial. A velocidade da corrente é maior na entrada, principalmente com o rio ainda cheio, favorecendo a ocorrência da erosão nesta porção e deposição na saída.

Outro fator a considerar, é que o material das margens caracterizado predominantemente pela textura silto-arenosa são naturalmente frações granulométricas mais susceptíveis à erosão, por não possuírem muita coesão. Também o formato das



curvas do canal é mais sinuoso nesses trechos, com margens côncavas que desenvolvem processos de erosão devido o maior fluxo da água. Uma outra questão diz respeito a ação dos banzeiros promovidos pelas embarcações, influenciando no processo de erosão do solo das margens, que conforme já mencionado, a intensidade e o fluxo contínuo aceleram os processos de desgaste das margens.

Estudos de Oliveira e Marinho (2017), sobre a dinâmica fluvial do rio Amazonas entre Manaus e Itacoatiara, correspondente a um período de 20 anos, mostraram que nesse trecho há o predomínio dos processos erosivos em relação aos deposicionais. Segundo os autores isto indica que o sistema apresenta elevada estabilidade fluvial, com mudanças mínimas em sua geomorfologia. Todavia, quando não há igualdade na relação entre os processos fluviais pode gerar um desequilíbrio no canal fluvial e na configuração da paisagem, uma vez que os processos geomorfológicos, hidrográficos, pedológicos e sedimentológicos são dependentes entre si e importantes para a dinâmica natural do canal.

Assim, a intensificação dos processos de erosão lateral tem contribuído para mudanças na largura do canal, nos ajustes de sua morfometria, influenciando na sua carga de sedimentos, além de acarretar vários danos sociais e econômicos para as populações que habitam suas margens, uma vez que a predominância de um processo em relação ao outro provoca desequilíbrio ao canal fluvial. Os processos de movimentos de massa estão associados principalmente aos processos erosivos, que erodem a base dos barrancos causando o desmoronamento do pacote sedimentar. Dessa forma, os dois processos atuam em conjunto.

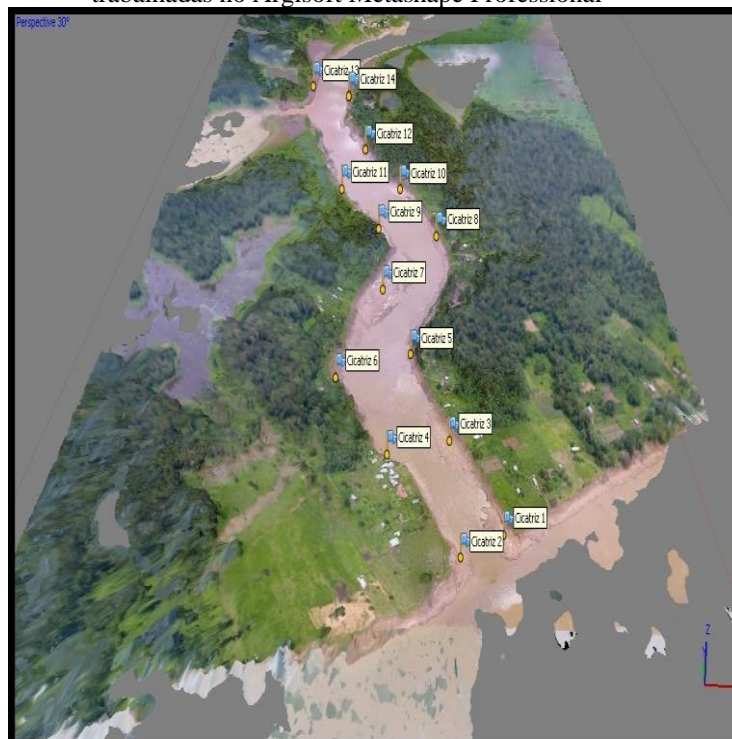
#### b) Movimentos de Massa

O deslizamento em bloco do pacote sedimentar nas margens dos rios caracteriza os movimentos de massa conhecidos regionalmente como “terras caídas”. Estes são resultantes de uma combinação de vários processos geodinâmicos. Neste contexto, a erosão fluvial desempenha o papel fundamental no solapamento basal das margens, responsável pelo “start” do deslocamento por movimento de massa pela ação da gravidade.

Considerando o objetivo proposto para este estudo, foi realizado o mapeamento das margens do canal para a verificação da ocorrência de cicatrizes de movimentos de massa. O trabalho de campo foi realizado no período de vazante dos rios. Na data (28/10/2019), a cota do rio Solimões registrava 9,25 m e o Rio Negro, 18,14 m.

Com as imagens capturadas pelo VANT pôde-se identificar, classificar e quantificar as áreas de abrangência e a geometria dessas feições geomorfológicas. As observações em campo evidenciaram e complementaram a classificação. Foram identificadas 14 grandes cicatrizes provenientes de movimentos de massa nas margens do canal (**Figura 61**).

**Figura 61** - Cicatrizes de movimento de massa identificadas no Furo do Paracuúba a partir das imagens trabalhadas no Argisoft Metashape Professional



Fonte: Vant, 2019. Org.: Kenya de Souza e Sandréia A. Cascaes, 2020.

A localização de algumas cicatrizes de movimento de massa, registradas em campo e através do VANT são destacadas nas margens do canal conforme a **Figura 62**.

**Figura 62** - Localização de algumas cicatrizes de movimento de massa na extensão do canal



**Fotos em destaque:** Sandreia A. Cascaes, 2018 - **Imagem do canal:** obtida pelo VANT-LATOSSOLO, 2019. **Org.:** Sandreia A. Cascaes, 2020.

As cicatrizes identificadas ao longo das margens, especialmente sobre os sedimentos holocênicos da planície de inundação foram classificadas de acordo com o plano de ruptura proposto entre os critérios de Selby (1990), como um conjunto de cicatrizes de movimentos de massa do tipo escorregamento rotacional. Esse tipo de movimento de massa é caracterizado como movimentos rápidos, com plano de ruptura bem definidos. Suas causas são relacionadas às elevações do nível do lençol freático (SELBY, 1990). Na vazante, os materiais dos solos das margens estão saturados, visto que o lençol freático desce lentamente, não acompanhando a descida natural do nível do rio. Por isso, a superfície do material da margem torna-se potencialmente suscetível ao escorregamento.

Nesse sentido, Magalhães (2011) e Lima (1998), afirmam que os efeitos da água sobre a mecânica do solo são mais intensos, gerando o desequilíbrio de forças de tensão (força de cisalhamento e resistência ao cisalhamento) acionado neste período. Assim, a saturação do material desempenha um importante papel na medida em que ao gerar poro-pressões positivas, diminui a coesão e/ou a fricção do material, promovendo um colapso coletivo deste. Algumas dessas cicatrizes aparecem de forma mais expressiva nas bordas marginais, mostrando planos de rupturas definidos (**Figura 63**).

**Figura 63** - Cicatrizes de movimento de massa do tipo rotacional nas margens do canal. Foto (A): cicatriz 1 na margem direita e Foto (B): cicatriz 4 na margem esquerda – ambas na entrada do canal

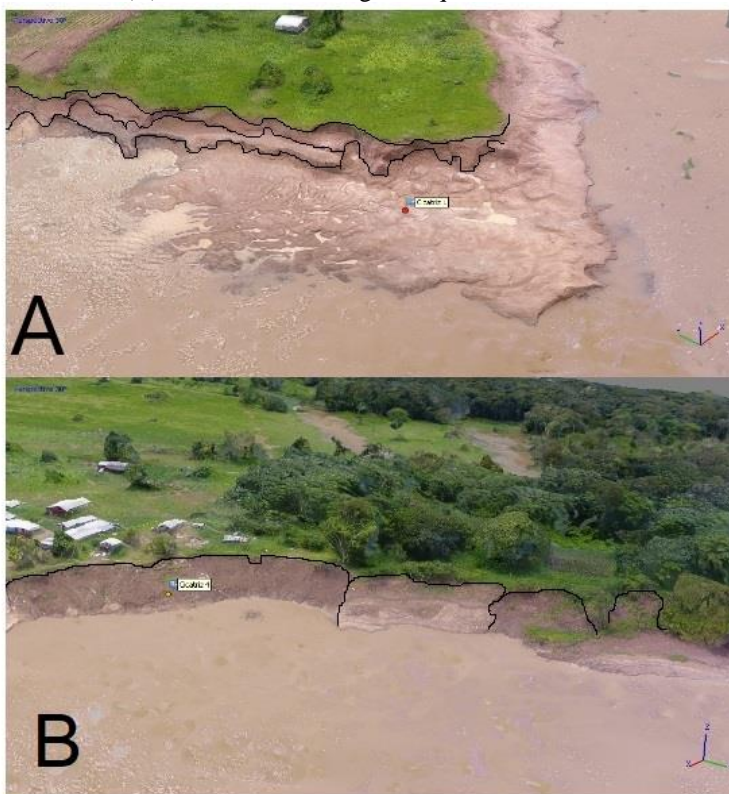


Foto: VANT-LATOSSOLO, 2019. Org. Sandréia A. Cascaes, 2020.

Destacar que na cicatriz nº 4 (Foto B), embora se caracterize como uma cicatriz do tipo rotacional também mostra em algumas de suas partes mais íngremes a presença de pequenas quedas em bloco, com indícios de queda livre de material por ação da gravidade em um espaço de tempo muito rápido. Possivelmente, na ocasião, o material perdeu sua coesão durante a subida da cota do rio, através do solapamento basal, provocando mudança na estrutura da superfície. Estando o pacote desequilibrado pelo aumento da força de cisalhamento e diminuição da resistência ao cisalhamento, fragmentou-se num plano abrupto e rápido gerando pequenas quedas em bloco em sua abertura.

Os escorregamentos do tipo rotacionais mobilizam grande volume de material que escorrega sobre um plano de ruptura bem definido, com geometria de forma semicircular, tanto em seus limites laterais como em profundidades e côncava para cima, formando extensas e largas cicatrizes sob a forma de anfiteatros. Contudo, o material movimentado durante o escorregamento, em algumas situações pode ser bastante rápido, mas à medida que ele se movimenta tende a perder a velocidade, tornando-se mais estável, adquirindo algumas vezes o aspecto de rastejo.

A **Figura 64** demonstra os pontos precisos do limiar geomórfico, ou seja, onde há energia suficiente para superar a resistência contra o movimento e assim a movimentação da massa impulsionada pela gravidade. Na imagem fica evidente a diferença do material movimentado e do material não movimentado, apresentando um volume de deslocamento de solo bem definido.

**Figura 64** - Vista lateral da superfície de ruptura curva côncava de um movimento de massa do tipo rotacional na margem esquerda do canal.



Foto 01/10/2019, dias antes da captura de imagens pelo VANT, que mostrou no local a presença de uma extensa cicatriz de movimento de massa. **Org:** Sandréia A. Cascaes, 2020.

Esse registro nos permite inferir que o solapamento das margens, principalmente no período da cheia no canal, combinado ao peso da água retido no pacote sedimentar durante a vazante, provoca o desequilíbrio do material de solo, contribuindo para sua ruptura e conseqüentemente seu movimento em direção ao canal. Esse mecanismo pode ser observado na **Figura 65**.

**Figura 65** - Solapamento na base do barranco no período cheio do canal. À direita superior o destaque ao efeito da ação abrasiva da água para o desgaste da margem



**Foto e Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2018.

Nesta proporção, o solapamento da base impulsiona ao escorregamento. A **Figura 66** mostra uma construção antes de ser atingida pelo movimento de massa e o material sendo conduzido abaixo. Tal fato acontece pela força que a água exerce sobre o solo, onde é nítida a ação das correntes fluviais e erosão fluvial no local de ocorrência do movimento de massa. Este evento é representado pelo equilíbrio entre a força impulsora (gravidade) e a força de resistência (atrito e cisalhamento). O episódio causou a perda de margem e da construção alguns meses após o registro da imagem em 13.08.2018, promovendo alteração na paisagem natural e prejuízos socioeconômicos para a comunidade local.

**Figura 66** - Construção ameaçada pelo escorregamento na margem.



**Foto:** Sandréia A. Cascaes, 2018.

Diversos processos compactam para a ocorrência do fenômeno das terras caídas na Amazônia. De acordo com *Bandeira et al. (2018)*, estão vinculados a variação do nível

da água do rio, causadas durante as enchentes e vazantes, devido as condições hidrostáticas, as encostas marginais perdem a resistência e deslizam. A perda de coesão do material inconsolidado das margens do rio ocorrem principalmente em materiais aluviais saturados durante as cheias. Portanto, a erosão abrasiva na margem do rio e os movimentos de massa de grande magnitude provocam o fenômeno das terras caídas (BANDEIRA, et al., 2018)

Além da erosão fluvial que atua fortemente no desgaste das margens, um dos fatores significativos para os processos de movimentos de massa na área de estudo, como já mencionado, está relacionado ao desnível piezométrico, que ocorre predominantemente na vazante. A descida do teor de água no pacote não acompanha a velocidade de descida natural do nível do rio, e isto faz com que o solo se separe, criando movimentos de massas. E quanto mais rápida é a descida do nível do rio, maior é a incidência de terras caídas (CARVALHO, 2006; MAGALHÃES, 2011).

Para as terras caídas ocorrerem, vários fatores devem interagir juntamente com uma dinâmica fluvial muito intensa. Esses fatores incluem o clima, a hidrodinâmica fluvial, os sedimentos transportados pelos rios, a geologia e o efeito tectônico. Influenciam também a vegetação e fatores antrópicos, como o desmatamento das margens dos rios, liberação de águas residuais e também as ondas provocadas por barcos, embora sejam fatores menos significativos (BANDEIRA *et al.*, 2018).

Um fator marcante para promoção de movimentos de massa diz respeito ao regime pluviométrico da região. Ainda que seja reconhecido o papel da pluviosidade na deflagração dos movimentos de massa, essa variável não foi introduzida na análise, pois os dados disponíveis não permitiriam uma relação espacial e temporal entre esse fator e os locais de maior incidência das cicatrizes.

A retirada da cobertura vegetal também incide nos aspectos hidráulicos do solo das margens, o que implica na ocorrência dos movimentos de massa, fato este que combinado com o solapamento basal provocado pelas ondas das embarcações, como visto anteriormente, pela frequência e a intensidade do seu fluxo contínuo, deslocam constantemente as massas de água e por isso exercem uma forte pressão nas paredes dos barrancos, alterando a dinâmica natural do fluxo da água. Esta ação exerce um poder abrasivo sobre os materiais que compõem as margens.

Além dos fatores supracitados, as margens do canal são formadas por solos recentes e pouco consolidados, de materiais sedimentar pouco coesos, constituídos predominantemente por silte argiloso e areia fina. Os solos de várzea são instáveis e isso

contribuiu para que ocorram as terras caídas. Carvalho (2006, p. 80) ressalta que “a grande planície de inundação que margeia o rio Amazonas é composta basicamente de sedimentos arenosos finos e pouco coesos do Holoceno”.

A constatação das áreas mais suscetíveis é condizente com as informações contidas no Relatório de Setorização de Áreas de Risco muito Alto e Alto a Movimentos de Massa, Enchente e Inundação do Município de Iranduba desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM, em dezembro de 2018.

Em seu mapeamento das áreas de risco, a instituição incluiu observações em campo e avaliações qualitativas abrangendo a Comunidade de Santo Antônio do Paracuúba, onde caracterizou duas áreas habitadas como setores de risco nas margens do canal (**Figura 67**). Conforme o relatório, esse local sofre com as “terras caídas” e deslizamentos, onde 25 famílias foram removidas até o período do estudo. No relatório consta que a CPRM classificou as cicatrizes como deslizamentos rotacionais. Nesta pesquisa é utilizado a terminologia escorregamento e as cicatrizes mapeadas coincidem com o estudo da CPRM (2018).

**Figura 67-** Setores de risco SR 08 e SR 09 mapeados pela CPRM na Comunidade de Santo Antônio do Paracuúba em 2018



**Fonte:** CPRM, 2018.

Frota Filho e Vieira (2012), ao analisarem as dinâmicas fluviais que ocorrem na Costa do Arapapá, no baixo Solimões, também identificaram que os movimentos de massa que ocorrem na região, consistem basicamente nos escorregamentos rotacionais que atingem grandes proporções, chegando a mais de 20 m de comprimento, sendo



observáveis a longas distâncias e à medida que evoluem colocam os moradores em graus de riscos.

Na área de estudo, observou-se que o uso da terra principalmente por ocupações de moradias são os locais potencialmente suscetíveis a ocorrência dessas feições geomorfológicas, gerando situações de perigo à vida humana, principalmente por concentrarem suas construções nas áreas de maior declividade e instabilidade do solo.

Assim, as características e os episódios frequentes de movimentos de massa são importantes para o conhecimento geográfico, visto a necessidade de se entender as relações naturais e antrópicas que atuam na dinâmica da paisagem. Além da busca pelo entendimento das interações entre processos que geram os movimentos de massa, a combinação de dados morfométricos também nos permite fazer a diferenciação das proporções das cicatrizes e das áreas de maior vulnerabilidade, bem como fornecer subsídios importantes no planejamento e ocupação dos solos das margens, à medida que o estudo oferece informações das características e dos comportamentos dos processos geodinâmicos.

## 5.8 Morfometria das cicatrizes

A área abrangente pelas quatorze cicatrizes de movimentos de massa (83.542,70 m<sup>2</sup>) registradas no ano de 2019, totalizando 85,33% da área perdida de margem (97.901,35 m<sup>2</sup>) mapeada a partir da sobreposição das imagens de satélites de 2006 e 2018. Em anos diferentes, as forças geodinâmicas atuam conjuntamente no canal, onde a erosão fluvial e os movimentos de massa através da ação conjugada de seus processos abrangentes modelam espacial e temporalmente a paisagem varzeana, revelando a instabilidade do canal, que está cada vez mais suscetível a perda de terrenos, moradias e plantações.

A cicatriz de movimento de massa n° 2, localizada na extremidade da margem esquerda, na entrada do canal, apresentou maior área de abrangência (m<sup>2</sup> = comprimento x largura), com aproximadamente 9.931,4 m<sup>2</sup>, constituindo a maior cicatriz de mm do Furo do Paracuúba em 2019. E a cicatriz n° 4, também situada na margem esquerda, foi a que apresentou menor área, com aproximadamente 1.170,3 m<sup>2</sup> (**Tabela 13**).

**Tabela 13** - Valores morfométricos das cicatrizes de MM identificadas nas margens do canal

<b>Cicatriz</b>	<b>Coordenada Geográfica</b>		<b>Comprimento</b> <b>(m)</b>	<b>Largura</b> <b>(m)</b>	<b>Área</b> <b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altitude</b> <b>(m)</b>
<b>1</b>	3°13'50.73"	59°59'.14.85"	49,8	112	5.581,3	19.235
<b>2</b>	3°13'52.21"	59°59'.17.94"	39,1	254	9.931,4	19.220
<b>3</b>	3°13'44.03"	59°59'.17.56"	47,2	177	8.354,4	18.813
<b>4</b>	3°13'46.45"	59°59'.21.51"	14,1	83	1.170,3	29.511
<b>5</b>	3°13'36.43"	59°59'.19.80"	21,6	162	3.493,8	19.612
<b>6</b>	3°13'39.12"	59°59'.25.73"	28,0	237	6.643,9	19.272
<b>7</b>	3°13'29.78"	59°59'.21.58"	15,1	386	5.828,6	20.949
<b>8</b>	3°13'23.06"	59°59'.16.04"	23,6	230	5.435,7	23.512
<b>9</b>	3°13'22.36"	59°59'.21.48"	29,0	177	5.138,9	22.772
<b>10</b>	3°13'16.40"	59°59'.19.18"	25,5	254	6.485,5	23.954
<b>11</b>	3°13'16.41"	59°59'.24.93"	31,8	264	8.404,0	18.820
<b>12</b>	3°13'09.48"	59°59'.22.29"	21,7	218	4.730,6	18.286
<b>13</b>	3°13'56.64"	59°59'.28.32"	24,7	287	7.079,3	15.028
<b>14</b>	3°13'58.32"	59°59'.23.86"	22,5	234	5.265,0	16.478

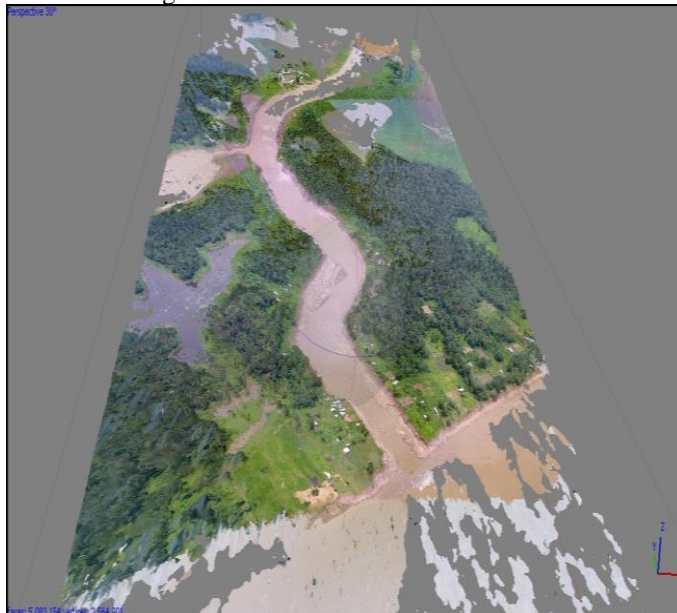
**Fonte:** *Argisoft Metashape Professional*, 2020. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2020.

Os episódios de movimentação de massa do relevo se dão de forma mais significativa na entrada e no meio do canal, visto que nessas áreas mencionados nos mapas de uso e ocupação dos solos, correspondiam a trechos de maior ocorrência de ocupação humana. No entanto, a crescente perda de margens tem contribuído para a redução dessa ocupação. Estas cicatrizes também aparecem nos trechos mais sinuosos do canal, mostrando que a hidrodinâmica tem uma forte relação com as feições geomorfológicas. Dessa forma, a velocidade e a turbulência do fluxo da água, de certo modo, podem justificar a maior concentração de escorregamento nestes trechos.

Para geração de um MDS e o ortomosaico que abrangessem a extensão do canal e a área de entorno foi necessário cobrir uma área de cento e onze hectares. Para que isso fosse possível, foi necessária a captação de imagens em grande altitude, uma vez que isso possibilita um imageamento com maior amplitude em relação ao terreno. Dessa forma, cada fotografia consegue abranger uma área maior. Optou-se por uma altitude de 120 m, de forma a respeitar a legislação vigente e que ao mesmo tempo, não comprometesse a resolução espacial da imagem, para uma maior qualidade das análises através do ortomosaico e MDS gerado. O tempo necessário para o mapeamento contou com 10:29:55 min. Assim, o registro fotográfico permitiu uma reprodução tridimensional da área estudada no software *Argisoft Metashape Professional* (versão teste). Este software é muito utilizado para criação de modelos em 3D, através de imagens obtidas preferencialmente de drones, assim seus resultados é uma perspectiva dos planos X, Y e Z.

O MDS do Furo do Paracuúba pode ser conferido na **Figura 68**. Através da reconstrução tridimensional com visão ampla da área, é possível observar elementos marcantes, como a entrada do rio Janauari, á margem esquerda, que está sendo sedimentada pela ação do furo, bem como a vegetação no entorno do canal e presença de solo residual junto as bordas em alguns trechos, principalmente na extremidade da entrada.

**Figura 68** - Modelagem em 3D do Furo do Paracuúba – Iranduba/2019



**Fonte:** Argisoft Metashape Professional.**Org.:** Kenya de Souza e Sandréia A.Cascaes, 2019.

A partir das imagens aéreas foi gerado o Orthomosaico da área de estudo que pode ser entendido como uma representação cartográfica, permitindo uma visualização também em 3D, e reconhecimento das formas do Furo do Paracuúba. Na **Figura 69**, pode-se observar a extensão do canal em direção ao rio Negro.

**Figura 69** - Ortomosaico da área do Furo do Paracuúba



**Fonte:** Argisoft Metashape Professional.**Org.:** Kenya de Souza e Sandréia Cascaes, 2020.

O uso do VANT para o mapeamento dos movimentos de massa mostrou-se bastante promissor, permitindo obter informações rápidas e precisas para o dimensionamento e classificação das cicatrizes geomórficas. Os ortomosaicos apresentaram qualidades satisfatórias, garantidos pela boa qualidade do imageamento. Ele constitui uma ferramenta importante para o mapeamento de processos erosivos e de movimento de massa, sendo uma alternativa de baixo custo de aquisição e operação, disponível no LATOSSOLO - UFAM.

### **5.9 Análise episódios da dinâmica fluvial e as relações com os moradores ribeirinhos das comunidades abrangidas pelo canal.**

Durante a pesquisa foram feitos contatos com os moradores locais, com conversas informais e aplicando-se 24 questionários, sendo 12 aos moradores da Comunidade de Vila Nova e 12 aos moradores da Comunidade de Santo Antônio. Com o propósito de entender como esses moradores julgam a importância do canal fluvial, seu uso e de suas margens, realizou-se conjuntamente um levantamento pertinente as suas características socioeconômicas.

### **5.10 Entrevista com moradores das comunidades locais**

Sobre este aspecto, verificou-se que a tipologia de suas casas são predominantemente as palafitas, tipos de moradias características das áreas de várzea, adaptadas para a sazonalidade do rio e que abrigam em média 4 - 6 pessoas por residência. Entre os entrevistados, 45,8% residem na localidade desde que nasceram, 45,8% moram há mais de 10 anos e apenas 8,4 %, disseram que moram somente mais que cinco anos. Desenvolvem atividades de subsistência como pesca (29,2%), criação de animais (%), agricultura (25%), serviços de catraia (12,8%), comércio (4,2%), entre outros (16,7%). Alguns moradores realizam mais de uma atividade, desenvolvendo-as de acordo com as condições do ambiente e do regime fluvial o canal. Em sua maioria (71%), concentram suas atividades nas próprias comunidades ou nos arredores, somente 29% precisam se deslocar diariamente para outras localidades para fins de estudos ou trabalho, principalmente para Manaus e sede de Iranduba (**Quadro 5**).

**Quadro 5** - Aspectos socioeconômicos dos moradores entrevistados residentes nas margens do Furo do Paracuúba.

Variável	Categoria	%
Tipologia das moradias	palafita	100,0
	flutuante	0,0
	alvenaria	0,0
	mista	0,0
Residentes	1-3 pessoas	16,5
	4-6 pessoas	66,7
	7-9 pessoas	12,8
	mais 10 pessoas	4,0
Tempo de moradia	desde que nasceu	45,8
	poucos meses	0,0
	mais que 1 ano	0,0
	mais que 5 anos	8,4
	mais que 10 anos	45,8
Atividades econômicas	pesca	29,2
	criação de animais	12,8
	caça	0,0
	agricultura	25,0
	serviço de catraia	12,8
	comércio	4,2
	outros	16,7
Locais de atividades	Irاندuba	14,5
	Careiro da Várzea	0,0
	Manaus	14,5
	Careiro Castanho	0,0
	Comunidade	71,0

**Fonte:** Trabalho de Campo, 2019. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2020.

Para se deslocarem rotineiramente, a maioria desses moradores possuem ao menos um tipo de transporte fluvial e poucos não possuem nenhum tipo. A **Tabela 14** indica o quantitativo de transportes por modalidades de propriedade dos entrevistados, mostrando que a embarcação do tipo “motor rabeta” é a mais utilizada. Alguns destes possuem mais de um tipo de transporte.

**Tabela 14** - Transportes fluviais de pequeno porte utilizados pelos moradores das comunidades.

<b>Sua família possui algum tipo de transporte fluvial?</b>	
<b>Sim</b>	22
Barco	2
motor de popa	7
Rabeta	13
Canoa	2
<b>Não</b>	2

**Fonte:** Trabalho de Campo. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2020.

A travessia do furo é necessária e constantemente feita por essas pequenas embarcações que transportam os ribeirinhos nos seus afazeres diários, principalmente levando alunos para as escolas nas comunidades próximas. O quantitativo do fluxo dessas embarcações é bastante elevado, bem como das embarcações maiores, principalmente no período cheio, tendo como referência a contagem apresentada no item 4.2.2.2. Isso significa dizer, que embora em menor intensidade, mas com elevada frequência, as menores embarcações também contribuem com o solapamento das margens somada a outros fatores de ordem natural e humana. Por isso, é necessário enfatizar que o banzeiro provocado pelos transportes fluviais com motores de maior potência e que fazem uso de maior velocidade causam danos maiores, intensificando o desmoronamento ou desabamento das margens dos barrancos, que de acordo com os moradores entrevistados, a frequência cada vez maior da navegação principalmente pelas lanchas a jato, tem agravado esses problemas no canal.

A maior preocupação dos comunitários da Comunidade de Vila Nova, segundo os entrevistados, se refere a alta velocidade das embarcações principalmente no período da enchente, que provocam fortes banzeiros e causam riscos de desabamento das moradias, prejuízos nos afazeres domésticos e até profissionais. Já aos moradores da Comunidade de Santo Antônio, que é a mais ameaçada pelos escorregamentos, sofre com transtornos gerados pela deflagração de terras nas margens.

A principal implicação em decorrência dessas cicatrizes é o comprometimento das moradias, que muitas vezes acabam acarretando problemas sociais preocupantes porque em muitos casos o ribeirinho não tem para onde mudar. Carvalho (2012) descreve as preocupações vividas pelos ribeirinhos em decorrência das terras caídas. Os riscos por escorregamento, desabamento, provocados por forte chuvas ou desmoronamentos, causados pela ação abrasiva dos banzeiros são muito temidos pelos moradores.

Entre os moradores entrevistados, 23,2% disseram que já precisaram mudar de residência antes mesmo de elas caírem para evitar danos maiores, 16,7% afirmaram que perderam suas residências estando morando nelas, 16,7% disseram que aos poucos vão desmanchando os cômodos das casas à medida que as terras vão caindo e recuando-as quando possível, construindo assim novos cômodos. Na **Tabela 15** é possível observar os principais transtornos apontados pelos entrevistados em decorrência das cicatrizes de movimento de massa.

**Tabela 15** - Indicação dos moradores da Comunidade de Santo Antônio quanto aos transtornos das Terras Caídas

Nº	Transtornos apontados em decorrência das terras - caídas	nº de respostas	%
1	Mudança por residência ameaçada	3	23,2
2	Perda de residência	2	16,7
3	Recuo de residência	2	16,7
4	Perda de terreno	2	16,7
5	Perda de plantação	2	16,7
6	Perda coletiva	2	61,6
7	Risco de vida	1	8,4
8	Barranco comprometido	1	8,4

**Fonte:** Trabalho de Campo, 2019. **Org.** Sandréia Cascaes, 2020.

Durante a realização da pesquisa, notou-se uma moradia localizada na entrada do canal, em dois momentos de regime hidrológico (enchente e vazante) (**Figura 70**). O proprietário resolveu desmanchá-la por conta da ameaça de desabamento. Os degraus na margem mostram a ocorrência de movimento de massa do tipo rotacional na frente da casa.

Diante dessas situações, os moradores ribeirinhos vivem sob a constante ameaça das terras caídas, que diminuem progressivamente suas propriedades de uso individual/familiar, muito embora os limites de suas terras sejam definidos por eles próprios. A perda de terreno é uma problemática que limita sua subsistência conforme os 16,7 % dos moradores. As áreas de terra agricultável somente são cultivadas quando os depósitos resultantes da acreção lateral trazidos pelas enchentes permitem tal atividade onde são realizados o cultivo de culturas de ciclo curto, como couve, alface, cebolinha e cheiro verde. Caso contrário, a instabilidade dos barrancos causa problemas econômicos quando os ribeirinhos perdem suas plantações, conforme indicado por 16,7% dos



moradores, que disseram ser inviável o desenvolvimento de qualquer tipo de cultivo nas margens do canal.

**Figura 70** - Residência na margem do canal. A casa no período de enchente (Foto A) e a mesma casa no período da vazante desmançada por conta da ameaça de desabamento (Foto B)



**Fotos:** Roberto Epifânio Lessa – Foto A (2018) e Foto B (2019). **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2020.

Na área da pesquisa, nas proximidades do núcleo da comunidade de Santo Antônio, a perda de terreno não ocorre somente de forma individual. Situações mais drásticas são apontadas pelos ribeirinhos, onde (61,6%) lamentam a perda de construção de um bem coletivo, referindo-se ao desmanche da Igreja Católica de Santo Antônio em outubro de 2019, que ficava situada na margem esquerda do canal. A construção estava bastante ameaçada de cair, por isso a decisão foi tomada afim de evitar futuros danos materiais com o desmoronamento da margem. A imagem apresentada na **Figura 71** mostra o avanço da água e as mudanças ocorridas neste trecho da margem.

**Figura 71** - Igreja ameaçada pelo escorregamento. Fotos registradas durante a pesquisa mostrando a igreja na estação cheia (Foto A), depois ameaçada por desabamento com o avanço das terras caídas na vazante (Foto B), seguida da cicatriz de escorregamento (Foto C).



Fonte: Foto (A): Roberto Epifânio, 2018; Fotos (B e C) e Org.: Sandréia A. Cascaes., 2019.

O risco de vida é outro drama que o escorregamento de terras causa aos ribeirinhos que conforme apontado por 8,4 % dos entrevistados, estão relacionados aos riscos com seus afazeres domésticos nas margens, a perda de canoas, ao perigo para crianças que vão à escola, entre outros. As fortes chuvas aumentam as probabilidades de desmoronamento de terras e os infortúnios dela decorrentes, limitando o modo de vida do ribeirinho. A terra caída forma os extensos barrancos verticais principalmente no período seco, conforme citado por 8,4 % dos entrevistados. Com isso, o morador aprende a lidar com as dificuldades por ele imposta, como arrastar as canoas para o mais próximo possível de suas casas ou até mesmo subir e descer as alturas extensas, carregando ou não bagagens.

O avanço da erosão lateral no período de descida da água representa um transtorno cotidiano em suas vidas, pois esse processo provoca junto com outros fatores o escorregamento nos barrancos. Por isso, na paisagem ribeirinha é comum observar as escadas armadas que são construídas e reconstruídas em vários momentos nestes barrancos (**Figura 72**).

**Figura 72** - Escada improvisada na margem no interior da cicatriz de movimento rotacional



Foto: Sandréia A. Cascaes, 2019.

Assim, no período de águas baixas os transtornos com os escorregamentos de terras aumentam significativamente. Porém, as dificuldades enfrentadas pelos moradores das duas comunidades ribeirinhas também envolvem problemas relacionados ao deslocamento. Sendo assim, os ribeirinhos entrevistados apontaram que o principal problema é o deslocamento para a cidade de Manaus. Consideram que apesar da travessia pelo furo se tornar bem mais dificultosa nesse período, ainda assim é a rota de preferência, posto que o contorno pelo encontro das águas demanda mais tempo e mais custo com a viagem.

Nesse sentido, relacionaram algumas dificuldades desse deslocamento (**Quadro 6**), entre os quais em sua maioria (71%) disseram que o maior problema reside na dificuldade em arrastar as canoas por um trecho extenso, cerca de 1 km, dependendo do nível da água. Ao tentarem “varar a lama”, conforme indicado por 21% dos entrevistados, o desgaste e transtorno é ainda maior. Outros 21% responderam que a grande dificuldade está em contornar o canal pelo "Encontro das Águas", fazendo-o somente quando muito necessário, nos casos de doenças principalmente. Um morador relacionou a dificuldade de deslocamento ao perigo com ferroada de arraia. Alguns deste relacionaram mais de um problema

**Quadro 6** - Dificuldades de deslocamento no período de águas baixas apontado pelos moradores entrevistados.

Nº	Dificuldades de deslocamento no período de águas baixas	%
1	arraste de canoas	71
2	superação da lama	21
3	contorno pelo E.A	21
4	risco de ferrada de arraia	4,2

**Fonte:** Trabalho de Campo, 2019. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2020.

Tanto os moradores da Comunidade de Vila Nova como da Comunidade de Santo Antônio aspiram por uma intervenção mais rigorosa do poder público no sentido de fiscalizar as embarcações que trafegam pelo canal. Para eles, os problemas de escorregamento de terras e os perigos com o desabamento de casas somente foram intensificados com o aumento do fluxo de embarcações do tipo "lanchas a jato" e barcos potentes, que têm provocado a cada ano que passa o “enlarguecer do canal”.

Conforme já visto anteriormente, a maior parte dos proprietários e/ou comandantes de embarcações apontaram a questão do aumento da largura do canal e o

aumento da proporção das terras caídas como principal mudança observada. Para os moradores, o aumento da largura também foi indicado por mais da metade, equivalente a 79,2 %. Os dados morfométricos extraídos das imagens de satélites confirmam esta proposição. As terras caídas foram apontadas por 33,4% e o aumento da profundidade também por 33,4 %. Os moradores relataram a perda de uma sede de dança e um campo de futebol que havia a anos atrás na frente da Comunidade de Santo Antônio, os quais deixaram de existir por conta da ocorrência de terra caída. Ao indicarem que a velocidade da correnteza tem ficado maior, os 16,7%, associaram esse aumento à velocidade das embarcações que interfere no aumento natural da velocidade da água, principalmente no período da enchente. Entre eles, 25 % responderam que há anos atrás as comunidades não alagavam e que esse problema passou a persistir desde a primeira escavação do canal. Eles mencionaram a obra no final da década de 1940, mas também afirmaram que os donos das lanchas executam essas ações, pagando trabalhadores para continuarem realizando escavações em alguns trechos, principalmente na entrada voltada para o rio Solimões.

Alguns apontaram a perda de vegetação nas margens (8,4%), inclusive das árvores de Paracúba que existiam em grande número e outros (8,4%) disseram que há uns anos atrás haviam muito mais casas nas margens, que foram perdidas por conta do avanço da erosão fluvial e movimento de massa. Apenas um morador (4,3%) respondeu que o canal não mudou nada, justificando que a ação humana não influencia muito em mudanças. A

**Tabela 16** mostra as indicações sobre as mudanças apontadas por estes moradores

**Tabela 16** - Indicações dos moradores entrevistados quanto as mudanças que observam no canal nos últimos anos.

Nº	INDICAÇÕES DOS MORADORES SOBRE AS MUDANÇAS NO CANAL	Nº DE RESPOSTAS	%
1	Está mais largo	19	79,2
2	está mais profundo	8	33,4
3	agora tem muita terra caída	8	33,4
4	a correnteza está maior	4	16,7
5	agora alaga muito	6	25
6	não tem mais vegetação na margem	2	8,4
7	hoje tem poucas casas	2	8,4
8	nenhuma mudança	1	4,3

**Fonte:** Trabalho de Campo, 2019. **Org.:** Sandréia A. Cascaes, 2020.

A respeito das mudanças observadas, uma das moradoras prestou o seguinte depoimento:

“O Paracuíba mudou muito. Antes atravessava de um lado para o outro com uma tábua. A correnteza, está mais forte. Antes as casas não alagavam, agora todo ano alagam. As casas balançam por conta da velocidade das lanchas” (moradora da Comunidade de Vila Nova,2019).

Estas premissas reveladas por esses moradores corroboram para o entendimento de que os riscos das terras caídas limitam a vida dessas populações, implicando em diversas mudanças sócioeconômicas, que mesmo convivendo com as dificuldades são resistentes em deixar suas moradias para habitar outras localidades de terra firme, optando pela migração nas proximidades. Dessa forma, o caboclo ribeirinho entende que é ele que precisa fazer seu “encaixe” na várzea e não ao contrário. Todavia, ressalta-se a importância de mais estudos sobre os processos fluviais neste canal para se conhecer melhor as causas e os investimentos a serem desenvolvidos para minimizar os seus efeitos.

## 6 CONCLUSÃO

O presente estudo buscou trazer de forma integrada os principais aspectos físicos e antrópicos envolvidos no funcionamento e na dinâmica fluvial no canal do Furo do Paracuúba, explicando de forma simplificada os processos fluviais e as principais mudanças ocorridas neste canal e sua configuração atual. Buscou entender a influência do homem através da navegação fluvial e as consequências geradas às populações ribeirinhas em razão da fragilidade das margens que estão submetidas a constantes processos de erosão fluvial e movimentos de massa.

A análise da morfometria e do uso e cobertura da terra foram o ponto inicial para constatação das alterações que vem ocorrendo no canal. Os resultados revelaram que as principais transformações estão concentradas na porção de saída do furo. Neste, a dinâmica fluvial vem ocorrendo de forma intensa, com aceleração das transformações principalmente a partir de 2016, passando a influenciar em um novo ajuste na morfologia do canal. As imagens de satélite mostraram que o canal tem se tornado mais largo nos últimos anos, sendo esta a variável morfométrica que mostrou alteração mais significativa. Na porção da saída houve o ganho de novas terras nos últimos anos, aumentando gradativamente a extensão do canal, tornando-o mais comprido. Outro indicativo de mudança constatada é o desenvolvimento de uma ria fluvial no rio Januari, à margem esquerda do furo, devido ao processo de colmatação sedimentar na sua foz, induzindo assim, a mudança de direção do curso d'água do Furo do Paracuúba antes do contato com Rio Negro do sentido N para NE. A quantificação apontou que a morfologia do canal está inserida no padrão retilíneo, no entanto, o trabalho contínuo de erosão nas margens, principalmente na entrada e meio do canal, tende a facilitar o aparecimento de curvas meândricas mais acentuadas em trechos futuramente.

A dinâmica fluvial também ocorre de forma intensa dentro do canal. Os levantamentos batimétricos revelaram que o leito não tem uma geometria de fundo regular. Quando as águas do rio começavam a baixar, no período de início da vazante, o leito apresentava-se pouco assimétrico nas porções de entrada e meio. Já na porção de saída verificou-se que o leito se encontrava um pouco mais assimétrico e a vazão do canal foi a mais elevada ( $1.524,50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) neste período. A velocidade do fluxo do canal também foi a maior e em quase todas as seções, com exceção da saída, com uma mínima diferença para o período cheio. Entretanto, o leito encontrava-se mais simétrico no período extremo da vazante, quando o canal apresentava o valor mais baixo de vazão ( $70,28 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e todas

as demais variáveis geométricas, estando na cheia, seu leito com topografia mais irregular e saliente, comparado aos outros períodos, quando o canal apresentava valor intermediário de vazão (899,34 m<sup>3</sup>/s).

A profundidade média do canal e a largura aproximada foi maior neste período (na cheia) e em todas as seções. Em todos os três períodos do regime hidrológico, evidenciou-se a presença de solo residual na porção da entrada, em decorrência da erosão e movimento de massa na margem, e o desenvolvimento de depósitos nos trechos do meio e da saída. Na sua extremidade final, próximo ao encontro com o Rio Negro, a baixa vazão e velocidade do fluxo desenvolve um ambiente diferenciado das seções estudadas na entrada e no meio.

No que tange a ação antrópica, sobretudo a navegação fluvial, comprovou-se que o canal proporciona o encurtamento de distância e economia nas viagens principalmente no período de águas altas, conforme as entrevistas com os donos de embarcações que navegam pelo canal, atestando que esta atividade antrópica é intensa e frequente principalmente no período cheio, quando a quantidade de embarcações que trafegam pela via é maior, com menor intervalo de tempo da passagem entre estas. Os transportes fluviais têm efeito impactante na modificação do fluxo das águas, uma vez que deslocam constantes massas de água, favorecendo seu poder abrasivo e contribuindo para a fragilização das margens.

Embora a abordagem observacional e amostral não coincida como a metodologia mais adequada para mensurar os reais impactos da navegação, ela tem um caráter instigador ao mostrar resultados reveladores e pertinentes às análises e as discussões sobre os efeitos da navegação nas margens de canais fluviais, especialmente no Furo do Paracuúba, podendo servir como referência para novas pesquisas. Desta forma, espera-se instigar o desenvolvimento de estudos mais aprofundados no âmbito da Geomorfologia Fluvial, para assim se obter uma resposta mais precisa e/ou satisfatória a respeito dos impactos.

A análise da constituição física do solo, do tipo Neossolo Flúvico, mostrou a predominância da classe textural franco-siltosa nas duas margens do canal, exibindo maiores teores de silte e areia fina, que corroboram para a redução da resistência e baixo grau de coesão do material das margens, facilitando a ação da erosão fluvial e os movimentos de massa no canal. Além disso, as amostras de solo de ambas as margens não apresentaram grandes variações de Densidade de partículas, mostrando valores próximos aos limites esperados e a Densidade do solo baixa.

As amostras de solos da margem esquerda apresentaram maior variação de porosidade comparada as amostras da margem direita, no entanto, ambas apresentaram boa porosidade, em torno de 50% do volume. Constatou-se que os solos de ambas as margens não oferecem muita resistência à compactação, embora a margem esquerda se apresente mais resistente comparada à margem direita. A baixa compactação facilita a infiltração da água no solo, principalmente na margem direita, alimentando o lençol freático que normalmente se apresenta elevado em áreas de várzea.

O monitoramento do nível freático deu-se no solo da margem esquerda, onde através dos piezômetros instalados, pôde-se confirmar que na vazante do canal, a descida do nível freático ocorre de forma mais lenta do que a descida do rio, fazendo com que a água retida no pacote sedimentar exerça maior pressão hidrostática, contribuindo para a instabilidade da mecânica do solo, e com isto facilitando o desencadeamento de processos erosivos e de movimentos de massa.

De modo geral, nos períodos de elevação das cotas do rio, com exceção do mês de fevereiro/2019 quando os níveis freáticos se aproximaram, os dois piezômetros apresentaram comportamento distintos em razão das condições do ambiente onde foram instalados, entendendo que a distância em relação à margem, a topografia do terreno, a infiltração e a precipitação local são os principais fatores que tendem a interferir na oscilação e nos níveis destes. Somente na descida da cota do rio, no mês de agosto a outubro de 2019 que os níveis nos dois piezômetros se aproximaram, mostrando que a velocidade de descida da água retida no pacote não acompanha a mesma velocidade de descida do rio, ocorrendo de forma retardatária.

Com relação aos sólidos totais em suspensão, constatou-se que no início da vazante a  $C_{ss}$  é menor, com valor obtido de  $94 \text{ mg/l}^{-1}$ , onde as concentrações aumentaram da entrada em direção à saída e a velocidade média do fluxo da água nas seções diminuíram em direção à saída, ou seja, à medida que diminuía as velocidades da corrente na extensão do canal, aumentavam as concentrações de sólidos totais suspensos. Neste período, o canal apresentou uma velocidade média da água de  $1,47 \text{ m}^3/\text{s}$ , o maior valor desta variável entre todos os períodos estudados. A descarga líquida e a descarga sólida também foram maiores no início da vazante.

No extremo da vazante, a  $C_{ss}$  apresentou valor intermediário obtido ( $125 \text{ mg/l}^{-1}$ ), com as concentrações diminuindo da entrada em direção à saída. Quanto a velocidade média da corrente nas seções transversais, que foram muito baixas, houve aumento da entrada ao meio do canal, caindo bruscamente na saída. O menor valor de velocidade



média da água no canal ( $0,33 \text{ m}^3/\text{s}$ ) condiz com a menor descarga líquida e sólida. A maior C<sub>ss</sub> foi obtida no período cheio ( $138 \text{ mg/l}^{-1}$ ), onde os valores diminuíram da entrada em direção à jusante, com redução também da velocidade média da água no mesmo sentido da extensão do canal. O canal, exibiu velocidade média de  $0,54 \text{ m}^3/\text{s}$ , um valor intermediário entre os valores obtidos para o canal. Neste período de águas altas, a descarga líquida e sólida apresentou valores intermediários também entre os valores obtidos.

A concentração e descarga líquida igualmente influenciaram os dados de transparência da água, medida pelo disco de Secchi, apresentando maior e menor média nos períodos de início da vazante e extremo da vazante, com média de transparência de 42 e 18 cm, respectivamente, coincidindo com os maiores e menores valores de Q, C<sub>ss</sub> e Q<sub>ss</sub>. A média dos valores de pH das amostras indicaram que as águas do canal apresentam um caráter levemente ácido, com valores médios entre os períodos de 5,7 e 6,1 para o início e a máxima da vazante. A porção de entrada, devido maior influência do rio Solimões indicou valor médio de menor acidez e à medida que o curso da água se aproxima do rio Negro, os valores médios indicaram maior acidez.

Por meio da sobreposição da imagem de satélite mais antiga (2006) e a mais recente (2018) da série multitemporal utilizada neste estudo, foi possível identificar mudanças morfológicas ocorridas nas margens nesse intervalo de 13 anos, revelando a predominância dos processos erosivos em relação aos deposicionais, com predominância do primeiro nas porções de entrada e meio do canal, principalmente em sua margem esquerda e a presença de pequenos trechos deposicionais em seu trecho final que também foi evidenciado na análise batimétrica na margem esquerda. As novas terras acrescidas na margem direita deste último trecho somente apareceram expostas a partir de 2016, conforme demonstradas no mapeamento de uso e cobertura da terra.

Devido à dificuldade de resolução das imagens, todas as áreas que indicaram perdas de margens foram incluídas como áreas de atuação da erosão fluvial, sendo que esta pode atuar no canal sozinha ou influenciando nos movimentos de massa. Assim, o conjunto de cicatrizes presentes nas margens, classificadas como do tipo rotacionais foram consideradas neste trabalho como feições geomorfológicas resultantes da combinação da erosão fluvial com os movimentos de massa.

A combinação dos mecanismos ocorre principalmente quando a hidrodinâmica e ação abrasiva das partículas nas águas erodem a base do barranco, através do solapamento basal, intensificado na cheia quando há maior fluxo de embarcações e deslocando massas

de água, provocando dessa forma o desequilíbrio do pacote, que se encontra saturado pela água retida no seu interior, visto que o nível freático na vazante desce lentamente e não acompanha a descida do nível do rio, exercendo assim maior pressão hidrostática e potencializando a deflagração da massa em direção ao canal.

Cumpra salientar que as alterações que vem ocorrendo no Furo do Paracuúba, têm como marco inicial o processo de limpeza e dragagem de seu leito na década de 40 e em anos posteriores. Nos últimos anos, a crescente perda de margens tem provocado muitos impactos na vida dos moradores ribeirinhos que vivem nas comunidades abrangidas pelo furo (Santo Antônio e Vila Nova) e que dele dependem para suas atividades diárias. Os escorregamentos de terras e a alta velocidade das embarcações com motores muito potentes têm provocado diversos transtornos aos moradores, entre os quais, o mais preocupante é o comprometimento das moradias que ficam constantemente ameaçadas, impulsionando a migração dos comunitários.

Desta forma, pôde-se concluir que as constantes ações operadas no canal tanto de ordem natural como humana têm implicado em desproporcionais mudanças nos processos geomórficos e no equilíbrio fluvial do canal, afetando o modo de vida dos moradores e a navegação fluvial. Contudo, os canais fluviais são dinâmicos e um estudo mais aprofundado poderia abarcar um período de tempo mais amplo, pois algumas alterações podem não ser notadas de imediato. Assim, os produtos do sensoriamento remoto disponíveis foram importantes para mostrar que o canal e suas margens estão submetidos a uma dinâmica intensa ao longo do tempo observado.

Ressalta-se ainda que, as metodologias empregadas com métodos diretos e convencionais se mostraram bastante eficazes para representar os valores médios das variáveis hidrológicas e da geometria de fundo nos três períodos de regime do canal. Contudo estas dependem de muitos fatores, como os geológicos e os climáticos, tornando-se difícil a escolha de um método mais abrangente e de fontes de dados mais específicos para área de estudo.

Além disso, a distância, as dificuldades de locomoção, a limitada quantidade de material e os custos que as pesquisas de campo demandaram implicaram em algumas limitações, mas não impediram o estímulo para desenvolver a pesquisa proposta. Demais investigações a fim de preencher lacunas, como a correlação da precipitação e o nível do lençol e o monitoramento das cicatrizes de erosão e movimentos de massa podem ser estendidas mais adiante.

Por fim, espera-se que este estudo possa colaborar com planejamentos vindouros das entidades e governos no sentido de auxiliar as políticas públicas voltadas para os ribeirinhos e a navegação fluvial, buscando formas de equilibrar o uso do canal e sua dinâmica natural.

## REFERENCIAS

AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: Potencialidades paisagísticas.** São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

AHIMOC – ADMINISTRAÇÃO DAS HIDROVIAS DA AMAZÔNIA OCIDENTAL. **Relatório dos serviços de levantamento topo-batimétrico do Furo do Paracuúba,** [Manaus], 2001. Contrato nº 015 /2001. Elaboração: J.R de Almeida Engenharia.

ANA – Agência Nacional de Águas. **pH da água: Qual o ideal para consumo?.**2017. Altura: 502 pixels. Largura: 960 pixels. 104 kilobytes. Formato PNG. Disponível em: <<https://www.facebook.com/anagovbr/posts/voc%C3%AA-j%C3%A1-deve-ter-escutado-falar-em-ph-que-%C3%A9-uma-medida-de-acidez-ou-basicidade-o/1119854128115497/>>. Acesso em: 11 abril. 2017.

ALVES, N. S. **Mapeamento hidromorfodinâmico do complexo fluvial de Anavilhanas. Contribuição aos estudos de Geomorfologia Fluvial de rios amazônicos.** 2013. Tese (Doutorado em Geografia) -Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

ARAÚJO, A. G. S. **Morfodinâmica Fluvial do rio Amazonas entre a Ilha do Careiro e a Costa do Varre Vento – AM.** 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

ARAÚJO, P. P.; ABREU, F. A. M.; CAVALCANTE, I. N. Fluxo e velocidade das águas subterrâneas rasas nas nascentes do rio Capitão Pocinho, nordeste do Pará. *In: III Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo*, 2013. São Paulo (SP). p. 1-4. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27499/17771>. Acesso em: 17 de mar. 2020.

BANDEIRA, I. C. N.; ADAMY, A.; ANDRETTA, E. R.; CONCEIÇÃO, R. A. C.; ANDRADE, M. M. N.; Terras caídas: fluvial erosion or distinct phenomenon in the Amazon?. **Environmental Earth Sciences**, v.7. p.1-16. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7405-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-018-7405-7>. Acesso em: 12 de out. 2019.

BARTELLI, G. **Estudo do transporte de sedimentos em suspensão n bacia hidrográfica do Arroio Garapiá - Maquiné – RS.** 2012. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Centro Universitário Univates. 2012, Lageado, 2012.

BERTANI, T. C. **Sensoriamento remoto e caracterização morfológica no baixo rio Solimões, com análise de suas rias fluviais.** 2015. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

BORDAS, M. P.; SEMMELMAN, F. R. Elementos de engenharia de sedimentos. *In*: TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2015. p. 915-948.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e Qualidade Ambiental. *In*: VITTE, A. C.; GUERRA, GUERRA, A. J. T. (org.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 153-192.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Anexo: Análise estatística de dados (Vegetação). *In*: Vegetação da Folha SA 20 – Manaus. Levantamento de recursos naturais, v. 18. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, 1978, 747 p.

BRASIL. Ministério da Aviação e Obras Públicas. **Relatório dos serviços executados em 1947** apresentado ao exmo. Sr. Ministro da viação e obras públicas, engenheiro Civil Clóvis pestana, pelo Diretor geral, engenheiro civil Clóvis de Macedo Cortes. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais, 1950. p.294

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Relatório de Gestão 2012**. S. Brasília, DF: Secretaria de Patrimônio da União – SPU 2013. p. 216.

CARVALHO, J. A. L. **Erosão nas margens do rio Amazonas**: o fenômeno das terras caídas e as implicações na vida dos moradores.2012. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.

CARVALHO, J. A. L. **Terras caídas e conseqüências sociais**: Costa do Miracauera - Paraná da Trindade, Município de Itacoatiara - AM, Brasil. 2006. Dissertação (Mestrado em Sociedade e Cultura na Amazônia) - Instituto de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006. p.141.

CHARLTON, RO. **Fundamentals of fluvial geomorphology**. London: Roltledge, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.v.1.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. *In*: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**, 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p. 93-148.

CPRM- COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. Setorização de áreas de risco alto e muito alto a movimentos de massa, enchentes e inundações [Iranduba – AM], dez. 2018. Dez. 2018. p.1-22. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19333>. Acesso: 16 dez. 2019.

CRUZ, C.B.M.; BARROS, R.S.; CARDOSO, P.V.; REIS, R.B.; ROSÁRIO, L.S.; BARBOSA, S.S.; RABACO, L.M.L.; LOURENÇO, J. S. Q. Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR. *In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, 2011, Curitiba. Anais [...]*, Curitiba, 30 de abril a 05 de maio de 2011, p .5463-5470. Disponível em: <http://mar.tecnico.unicamp.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/06.27.14.49/doc/p1096.pdf>. Acesso em: 26 abr.2020.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. *In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p. 211-252.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. *In: Cunha, S. B.; Guerra, A. J. T. (org.). Geomorfologia: exercícios técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 157-189.

D'ANTONA, R. J. G.; REIS, N. J.; MAIA, A. M. M.; ROSA, S. F.; NAVA, D. B. **Projeto Materiais de Construção na Área Manacapuru – Iranduba – Manaus – Careiro (Domínio Baixo Solimões)**. Manaus: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2007.

DIAS, W. A. **Dinâmica erosiva em margens plenas de canal fluvial**. 2012. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território) - Setor de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2012.

EIA/RIMA. **Cidade Universitária da Universidade do Estado do Amazonas**. Manaus, 2012. Disponível em: <http://www.ipaam.am.gov.br/cidade-universitaria-iranduba-am/>. Acesso em: 12 de out. 2018.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisas de solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2017. 574 p.

FARJADO, J. D. V.; FERREIRA, S. J. F.; MIRANDA, S. A. F.; MARQUES FILHO, A. O. Características hidrológicas do solo saturado na Reserva Florestal Adolpho Duck – Amazônia Central. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v. 34, n. 4, p. 677-684, 20

FARJADO, J. D.V.; SOUZA, L. A. S., A. S. S. Características químicas de solos de várzeas sob diferentes sistemas de uso da terra, na calha dos rios baixo Solimões e médio Amazonas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 4, p. 731- 740, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000400001>. Disponível em:

[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0044-59672009000400001&lng=pt&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672009000400001&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 05 jan. 2020.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de Massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: CUNHA, S. B. GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 13.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2017. p.123-194.

FIITS, C. R. **Águas subterrâneas**. Tradução: Daniel Vieira. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. Disponível em: <https://pensecomigo.com.br/livro-aguas-subterraneas-pdf-charles-fitts/>. Acesso em: 15 de set.2019.

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

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L.; MOLINIER, M.; GUIMARÃES, V.; OLIVEIRA, E.; FREITAS, M. A. Caracterização hidrológica da bacia Amazônica. In: RIVAS, A; FREITAS, C. (org.). **Amazônia uma perspectiva interdisciplinar**. Manaus: EDUA, 2002. p. 33-53.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L. Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 41, p. 566-576, 2011. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/7853/7280>. Acesso em: 01 nov.2018.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L.; WITTMANN, H.; MARTINEZ, J.M.; De, E. The Significance of Suspended Sediment Transport Determination on the Amazonian Hydrological Scenario. In: *Sediment Transport in Aquatic Environments*, InTech, Rijeka, 2011.

FISCH, G.; MARENGO, J. A; NOBRE, C. A. Uma revisão geral do clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, [s.l], v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43921998282126>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0044-59671998000200101&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0044-59671998000200101&lng=en&nrm=iso&tlng=pt). Acesso em: 16 dez. 2019.

FONTES, L. C. S. **Erosão marginal no baixo curso do rio São Francisco**: um estudo de caso de impactos geomorfológicos à jusante de grandes barragens. 2002. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Núcleo de Pós-Graduação e Estudos do Semi -Árido, Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, 2002.

FORTES, M. R. **A distribuição espacial da vegetação nas feições geomorfológicas da Ilha da Marchantaria**: Planície do rio Amazonas, AM /Brasil. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

FRANZINELLI, E. Características morfológicas da confluência dos rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil). **Revista Brasileira de Geociências**, Manaus, v. 41, n. 4, 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 Geológicos e Paleontológicos do Brasil**, [Manaus], v. 3, p.263-282.

FREITAS, C. E. **Amazônia uma perspectiva multidisciplinar**. EDUA: Manaus-2002. p 33-53.

FREITAS, F.T. **Análise multitemporal da modalidade erosiva do tipo “terra caída” na região do Médio Solimões - Coari/AM**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia - Instituto de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, 2009.

FREITAS, M. A.; SCHIETTI, J. Protocolo de instalação de piezômetros em locais com nível freático pouco profundo (áreas sazonalmente encharcadas). *In*: O Programa de Pesquisa em Biodiversidade, Instituto de Pesquisa da Amazônia- INPA, [Manaus], 2015. Disponível em: [https://ppbio.inpa.gov.br/sites/default/files/Protocolo\\_instalacao\\_piezometro.pdf](https://ppbio.inpa.gov.br/sites/default/files/Protocolo_instalacao_piezometro.pdf). Acesso em: 10 de set. 2018.

FROTA FILHO. A. B.; VIEIRA, A. F. G. Notas geomorfológicas sobre a dinâmica fluvial (terras caídas) na costa do Arapapá, Manacapuru – Amazonas. *In*: 9º Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2012, Rio de Janeiro RJ. 2012. [Anais]. Rio de Janeiro, 21 a 24 out.2012. p.1- 4. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2012/trabalhos/2/2-483-59.html>. Acesso em: 01 de out. 2018

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: FUNASA, 2014. 116 p. Disponível em: <[http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/saude-ambiental/-/asset\\_publisher/G0cYh3ZvWCm9/content/manual-de-controle-da-qualidade-da-agua-para-tecnicos-que-trabalham-em-etass?inheritRedirect=false](http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/saude-ambiental/-/asset_publisher/G0cYh3ZvWCm9/content/manual-de-controle-da-qualidade-da-agua-para-tecnicos-que-trabalham-em-etass?inheritRedirect=false)>. Acesso em: 21 mar. 2019.

GOUVEA, L. R.; MENEZES J. T; CAMPOS, C. C. G.; MOREIRA, G.F. Extremos de precipitação e ocorrência de deslizamentos de terra na Bacia do rio Itajaí. **Revista Gestão e Suscetibilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 6, n. 3, p. 276-295, out/dez. 2017. DOI: 10.19177/rgsa.v6e32017276-295. Disponível em: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:rhn7CIwAAjQJ:www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao\\_ambiental/article/download/5566/3337+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:rhn7CIwAAjQJ:www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/download/5566/3337+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br). Acesso em: 05 jul. 2019.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Características das propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. *In*: Anuário do Instituto de Geociências, v. 19, 1996. [s. l]. p. 93-114.



GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 6.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997, p. 652.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. *In*: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p. 149-209.

GUIMARÃES, D. F. S; VASCONCELOS. M.A.; ALEGRIA, J. M. M; FERREIRA, F.S.; SENA, T. E.; SILVA, C.P.; OLIVEIRA, M. A. F.; PEREIRA. H. S. Aplicação de geotecnologias em estudos de desastres naturais na Amazônia: o caso das terras caídas na Costa do Catalão, AM. XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Santos, SP, 2019. [Anais...], 14 a 17 de abril. p. 3291-3294. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/aplicacao-de-geotecnologias-em-estudos-de-desastres-naturais-na-amazonia--o-caso-das-terras-caidas-na-costa-do-catalao>. Acesso em: 10 mar.2020.

GUIMARÃES, S.T.; LIMA, H.N.; TEIXEIRA, W.G.; JUNIOR, A.F.N, SILVA, F.W.R., MACEDO, R.S, SOUZA, K.W.S. Caracterização e classificação de gleissolos da várzea do rio Solimões (Manacapuru e Iranduba), Amazonas, Brasil. **Rev. Bras. Cienc. Solo**. [S.l], v. 37. P. 317-326, 2013.

GUIMARÃES, V.; FILIZOLA, N.; OLIVEIRA, E.; GUYOT, J. L.; CALLÈD, J. O uso do ADCP (corretômetro de perfilagem acústico por efeito Doppler) para medição de vazão e estimativa do fluxo de sedimentos nos grandes rios da bacia amazônica. *In*: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1997, Vitória . Disponível em: <https://docplayer.com.br/16931631-Valdemar-guimaraes-naziano-filizola-eurides-de-oliveira-1-jean-loup-guyot-e-jacques-callede-2.html>. Acesso em: 15 de set. 2019.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, n.56, p. 275-370, 1945.

HORTON, R. E. The role of infiltration in the hydrological cycle Transactions, **American Geophysical Union**, 1933, p. 446-460.

IGREJA, H. L. S. A neotectônica e as mudanças hidrogeológicas do sistema fluvial Solimões-Amazonas: “Encontro das Águas de Manaus – EAM” – Amazonas, Brasil. **Revista Geonorte** – Ed. Esp., Manaus, v.2, n.4, p. 20-33, 2012. Disponível em: <http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/2055>. Acesso em: 10 out. 2018.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 7). 91p.

IBGE- **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n.5). 182 p.

IBGE- **Manual Técnico de Pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 4). 316 p.

IBGE- **Mapa do Estado do Amazonas Geologia**. 1. ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências, 2010. Escala 1:1.800.000. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/geologia.html>. Acesso em: 10 nov.2018.

IBGE- **Mapa do Estado do Amazonas Geomorfologia**. 1 ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências, 2010. Escala 1:1.800.000. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/geomorfologia.html>. Acesso em: 10 nov.2018.

IPT (1991). **Ocupação de Encostas**. IPT n° 1831, 216 p.

IRANDUBA (AM). Cartório de Registro de Títulos e Documentos e Registro Cível das Pessoas Jurídicas da Comarca de Iranduba. **Ata de Fundação e Estatuto da Associação de Desenvolvimento Comunitária “Santo Antônio do Paracuúba**. Registro em 27 ago. 2003. Ata registrada sob o n. 300 do Livro A-1.

IRANDUBA (AM). Cartório de Registro de Títulos e Documentos e Registro Cível das Pessoas Jurídicas da Comarca de Iranduba. **Ata de Fundação e Estatuto da Associação de Desenvolvimento Comunitária “Vila Nova” Paraná do Januari**. Registro em 04 fev. 2003. Ata registrada sob o n. 261 do Livro A-1.

IRANDUBA (AM). **Lei 129 Plano Diretor** 2011 Diário Oficial dos Municípios do Estado do Amazonas, ano II, n. 0287, 2011.p.1-23.

JORNAL DO COMÉRCIO. A Difícil dragagem do Furo do Paracuúba Manaus, ano LXVI, n. 20.804, 21 set.1971. p. 4.

JUNK, W. J. As águas da região amazônica. *In*: SALATI, E. SHUBART, H. O. R.; JUNK, W. J.; OLIVEIRA, A. E. **Amazônia: Desenvolvimento, integração e ecologia**, Brasília: CNPq Brasiliense, 1983.

LABADESSA, A. S. “Terras caídas, as causas e implicações socioeconômicas: uma análise preliminar na comunidade de Calama – baixo rio Madeira/RO. **Boletim Paranaense de Geociências**, Rondônia, v.71, n. 1. p.12-20, 2014. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/geociencias/article/view/24930/23406>. Acesso em: 10 de nov. 2019.

LATRUBESSE, E.; FRANZINELLI, E. The holocene alluvial plain of the middle Amazon river, Brazil. **Geomorphology**, Holanda, n. 44, p. 241-257, 2002.

LATRUBESSE, E. Patterns of anabranching channels: The ultimate end-member adjustment of mega rivers. **Geomorphology Elsevier**, La Plata (Arg.), v. 101, n. 1-2, 2008, p.130-145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.035>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X08002389?via%3Dihub>. Acesso em: 10.fev.2020.

LE COINT, P. Le bas Amazone. *In: Annales de Geographie*. 1903. t.12, n. 61. p.54-66. DOI: <https://doi.org/10.3406/geo.1903.6001>. Disponível em: [https://www.persee.fr/doc/geo\\_0003-4010\\_1903\\_num\\_12\\_61\\_6001](https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1903_num_12_61_6001). Acesso em: 10 abr.2019.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W.G.; SOUZA, K. W. Os solos da paisagem da várzea com ênfase no trecho entre Coari e Manaus. *In: FRAXE, T.J. P.; PEREIRA, H.S.; WITKOSKI, A. C. (Org). Comunidades Ribeirinhas Amazônicas: Modos de vida e uso dos recursos naturais*. Manaus: Universidade do Federal do Amazonas, 2007. p. 35-52.

LIMA, M. S. B. **Movimentos de Massa nos Barrancos do Rio Acre e implicações socioeconômicas na área urbana de Rio Branco/Acre**. 1998. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

LIMBERG, L. **Variação da vazão de regiões homogêneas da bacia hidrográfica amazônica brasileira: teleconexões com a temperatura da superfície do mar (TSM) de 1976-2010**. 2015. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

MAGALHÃES, R. C. **As características físicas, químicas, mineralógicas e hidráulicas do solo e sua susceptibilidade ao processo de terras caídas: comunidade do Divino Espírito Santo – Iranduba/AM**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2011.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Clima da Região Amazônica. *In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, M.; SILVA, G. A. J. Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.17-212.

MARINHO, R. R. **Integração de dados de campo e sensoriamento remoto no estudo do fluxo de água e matéria no arquipélago de Anavilhanas, Rio Negro-Amazonas-Brasil**. 2019. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2019.

MARQUES, R. O. **Erosão nas margens do rio Amazonas: o fenômeno das terras caídas e as implicações para a cidade de Parintins – AM**. 2017. Dissertação (Mestrado em

Geografia) - Instituto de Filosofia, Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

MOLINARI, D. C. **Dinâmica erosiva em cicatrizes de movimento de massa -Presidente Figueiredo (Amazonas)**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MONTANHER, O. C.; SOUZA FILHO, E.E. NOVO. E.M.L.M. Padrões espaciais do transporte, produção e variabilidade de sedimentos suspensos dos rios amazônicos de águas brancas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo (SP), v.17, n.2, 2016.p. 347-368. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i2.889>. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/889>. Acesso em: 20 de mai.2020.

MORAIS, R. **O meu dicionário de cousas da Amazônia**. Brasília: Senado Federal, Conselho Editorial, 2013, v. 175.

NANSON, G.C.; KNIGHTON, A. D. Anabranching rivers: their cause, character and classification. **Earth surface process and landforms**, v. 21, 1996. p.217-239.

NASCIMENTO, A. Z. A. **Características hidro - geomorfológicas do baixo curso dos Rios Solimões e Negro e sua confluência, Amazônia, Brasil**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

NASCIMENTO, D. A.; MAURO, C. A. e GARCIA, M. G. L. Geomorfologia da Folha SA.21 - Santarém. *In: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. Levantamento de recursos naturais, 10. Rio de Janeiro. Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro: Mme/dnpm, v. 10, 1976, p. 131-198.

NASCIMENTO, R. R.; SIMÕES. F. G. Avaliação da Suscetibilidade a Movimentos de Massa Gravitacionais em margens de curso d'água da cidade de Rio Branco (AC). **Revista Geociências**, São Paulo, v. 36, n.2, p.233-249, 2017. Disponível em: <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/11604/11063>. Acesso em: dez. 2018

NIMER, E. Climatologia Região Norte. *In: Instituto Brasileiro Geografia Estatística do Brasil. Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências, 1991.

NOVO, E. M. L. M. Ambientes fluviais. *In: FLORENZANO, T. G. (org.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 219-244.

OLIVEIRA, E. C. S.; MARINHO, R.R. Dinâmica fluvial do rio Amazonas entre Manaus e Itacoatiara com o uso de imagens de satélite. *In: XVIII GEOINFO*, 2017, Salvador (Ba), 2017. 04 a 06 dez. p.334-339.

OLIVEIRA, E. D. Geometria Hidráulica: Algumas Considerações Teóricas e Práticas. **Sociedade e Território**, Natal, v. 24, n.1, p.166-184, jan./jun. 2012. Disponível em: [http://docplayer.com.br/37331525-Geometria-hidraulica-algumas-consideracoes-teoricas-e-praticas.html#download\\_tab\\_content](http://docplayer.com.br/37331525-Geometria-hidraulica-algumas-consideracoes-teoricas-e-praticas.html#download_tab_content). Acesso em: 13 maio de 20.

PACHECO, J. B.; BRANDÃO, J. C. M.; CARVALHO, J. A. L de. Geomorfologia Fluvial do Rio Solimões/Amazonas: Estratégias do Povo Varzeano no Sudoeste do Careiro da Várzea. **Revista Geonorte** Ed. esp., [Manaus], v. 2, n .4, p.542-554, 2012.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

PINTO, W. H. A. **Uso de Imagens SAR R99B para mapeamento geomorfológico do furo do Ariaú no município de Iranduba AM**. 2013. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

PINTO, C. R.; PASSOS, E.; CANEPARO, S.C. Considerações a respeito dos condicionantes utilizados em pesquisas envolvendo movimentos de massa, **Geoingá: Revista do Programa de Pós Graduação em Geografia**, Maringá, v.5, n. 1, p.102-124, 2013.

QUEIROZ, M. S.; SOARES, A. P. A.; TOMAZ NETO, A. G. Comunidades rurais ribeirinhas e as águas do rio Solimões no município de Iranduba - Amazonas. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 4, n. 1, p.108-119, 2018. Disponível em: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/105>. Acesso em 16 de dez. 2018.

REBELO FILHO, L. A. R; SILVA, M. C.; MAFRA, E. S. Gestão de Custos Logísticos: Desafios e Possibilidades em Modal Aquaviário. *In: VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção*, Ponta Grossa, Paraná, 2017.

RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil**. São Paulo: HUCITEC- Ed. da Universidade de São Paulo, 1976.

ROBERTO, A. J. **Extração de informação geográfica a partir de fotografias aéreas obtidas com VANTS para apoio a um SIG Municipal**. 2013. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica) - Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, 2013.

RODRIGUES. C; ADAMI, S. Técnicas Fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas. *In*: VENTURI, L. A. B.(org). **Geografia: técnicas de campo e laboratórios**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2005, p.147-165.

RODRIGUES. F. G. S. O conceito de “terras caídas e a caracterização morfodinâmica fluvial do Alto Solimões. **Revista Geonordeste**, São Cristovão, ano XXV, n.3, São Cristovão, 2014. p. 04-23.

ROZO, J. M. G.; NOGUEIRA, A. C. R.; CARVALHO, A. S. Análise multitemporal do sistema fluvial do Amazonas entre a ilha do Careiro e a foz do rio Madeira. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, 2005. **Anais...**, Goiânia: INPE, 2005. p. 1875-1882.

SALATI, E.; LEMOS, H. M.; SALATI, E. Água e desenvolvimento sustentável. *In*: REBOUÇAS, A. C; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2.ed. São Paulo: Escrituras, 2002. p. 39-63.

SAMPAIO. F. P. R. **Métodos de amostragens de sedimentos em suspensão no rio Solimões**: Estudo de caso na estação de Manacapuru. 2017. Dissertação (Mestrado em Clima e Ambiente) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2016.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C. ; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília: EMBRAPA, 2018. 356p.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. C. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC, 2001.

SANTOS. M. Q. **Morfodinâmica na confluência dos rios Solimões-Amazonas e Negro e a organização sócioespacial na Costa do Rebojão e Costa da Terra Nova no período de 1952 a 2016**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Filosofia, Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

SELBY, M. J. **Hillslope Materials & Processes**. New York: Oxford University Press, 1990.

SERIQUE. K. K. A. **Variação sazonal e espacial da concentração dos principais íons no lago Mamiá, Amazonas, Brasil**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas)- Programa de Pós-Graduação em Biologia de água doce e pesca interior- BADPI, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia- INPA, Manaus, 2012.

SILVA, V. C.; REIS, R. R.; CARVALHO, J. A. L. Dinâmica fluvial e implicações sociais no Furo do Paracuúba, AM. **Revista Geonorte**, Ed. Esp., [Manaus], v.10, n. 1. p. 265-269. 2014.

SILVEIRA, A. L.; LOUZADA, J. A.; BETTRAME, L. F. Infiltração e armazenamento no solo. *In*: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicações**, Porto Alegre: Universidade ABRH, EDUSP, 2015.

SIOLI, H. **Amazônia. Fundamentos de ecologia da maior região de florestas tropicais**. Tradução Johann Becker. Petrópolis: Vozes, 1985.

SOUZA, C. A.; CUNHA, S. B. Pantanal de Cáceres-MT: dinâmica das margens do Rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da Ilha de Taiamã - MT. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Três Lagoas, n. 4, v. 1, n.5, p.18 - 42, 2007. Disponível em: [http://www.ceul.ufms.br/revista\\_geo/artigo\\_celia\\_sandra\\_2pdf](http://www.ceul.ufms.br/revista_geo/artigo_celia_sandra_2pdf). Acesso em: 01 de jun. 2018.

SOUZA, K.W. **Caracterização do uso do solo em comunidades de várzea do rio Solimões no trecho Coari-Manaus**. 2009. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Sustentabilidade na Amazônia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2007.

STERNBERG, H. O' R. **A água e o homem na várzea do Careiro**. 2 ed. Belém: Museu Paraense Emilio Gueldi, 1998.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.v.3.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes Fluviais**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC- Editora da Universidade Federal do Paraná, 1990.

TEIXEIRA, S.G. Risco Geológico. *In*: MAIA, Maria Adelaide Mansini; MARMOS, José Luiz (orgs.). **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010, p.87-100.

TEIXEIRA, W.G.; PINTO, W. H.; LIMA, H.; MACEDO, R. S; MARTINS, G. C; ARRUDA, W. Os solos das várzeas próximas à calha dos rios Solimões - Amazonas no Estado do Amazonas. *In*: Workshop Geotecnologias Aplicadas às Áreas de Várzea da Amazônia. Trabalhos apresentados no Workshop realizado em Manaus, de 17 a 18 de julho de 2007. Manaus: Ibama, 2007. p.29-36

TRICART, J. Tipos de planícies aluviais e de leitos fluviais da Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Geografia – IBGE**, Rio de Janeiro, p. 3-37, 1977.

VARGAS, L. V. **Suscetibilidade a Movimentos de Massa:** um estudo geomorfológico na sub- bacia hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim a montante da barragem de DNOS, em Santa Maria/RS. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

VIEIRA, A. F. G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM):** principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais. 2008. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

XU, J. Erosion caused by hyperconcentrated flow on the Loess Plateau of China. **Catena Journal Elsvier**, Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, División of Geomorphology, Beijing (China), p. 1-19, 26 jan.1999.



## 7 ANEXO A – Frações de areia

Composição Frações de Areia (%)					
Amostras	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina
<b>margem esquerda</b>					
1	0,0	0,001	0,0065	0,27	2,36
2	0,01	0,03	0,02	0,16	3,82
3	0,01	0,02	0,01	0,09	3,49
4	0,0	0,002	0,003	0,01	0,23
5	0,01	0,08	0,02	0,55	1,14
6	0,01	0,02	0,04	0,17	2,16
7	0,0	0,002	0,01	0,04	0,67
8	0,02	0,02	0,02	0,08	2,41
Total	0,1	0,18	0,13	1,37	16,28
<b>margem direita</b>					
9	0,0022	0,0096	0,01509	0,0119	4,93
10	0,0	0,0021	0,0044	0,0320	0,62
11	0,0	0,002	0,0104	0,0716	0,47
Total	0,0024	0,0137	0,02989	0,1155	6,02

## ANEXO B - Cores das amostras de solo

Amostra	Cor	Observações
<b>Margem esquerda</b>		
1	7,5 YR 5/6	Com manchas gley 2, 7/10 B
2	7,5 YR 6/8	Com manchas gley 2, 7/5 PB
3	7,5 YR 6/8	Com manchas gley 2, 7/5 PB
4	10 YR 6/3	Com manchas 7,5 YR 6/8
5	7,5 YR 4/3	-
6	10 YR 5/1	Pequenas manchas amarelas
7	10 YR 5/3	Pequenas manchas amarelas
8	10 YR 5/6	-
<b>Margem direita</b>		
9	10 YR 5/4	Amostra coletada nos primeiro 10 cm do solo.
10	10YR 4/4	
11	7,5 YR 4/6	

## 8 APÊNDICE A – Questionário socioeconômico – Dono de embarcação ou comandante



Poder Executivo  
Ministério da Educação  
Universidade Federal do Amazonas  
ICHL/DEGEO/Programa de Pós-Graduação em Geografia  
Mestrado Conceito 4



PROJETO DE PESQUISA: DINÂMICA FLUVIAL NO FURO DO PARACUÚBA

QUESTIONÁRIO SÓCIOECONÔMICO – PROPRIETÁRIOS DE EMBARCAÇÕES

### 1. DADOS GERAIS

Qual a sua idade: \_\_\_\_\_ Sexo:  M  F Naturalidade: \_\_\_\_\_

Escolaridade:  Não possui  até a 4 série:  Ens. Fundamental  Ens. Médio Completo

Ens. Médio Incompleto  Ens. Superior  Pós-Graduação

### 2. Onde reside?

Manaus  Iranduba  Careiro da Várzea  Careiro Castanho  Comunidade ribeirinha. Qual? \_\_\_\_\_

### 3. Com qual frequência utiliza o furo do Paracuúba como via de acesso?

Diariamente  em dias intercalados  somente no período cheio

### 4. Quais tipos de transporte fluvial possui e utiliza como meio de renda?

Do tipo rabeta  barco de pequeno porte  barco de médio porte  lancha a jato

5. Qual o destino final de sua embarcação?

\_\_\_\_\_

6. Qual a potência e velocidade do motor?

\_\_\_\_\_

7. Quais as principais dificuldades encontradas para a navegação durante o período de nível fluviométrico mais baixo do canal?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

8. Há quanto tempo utiliza o canal como via de acesso? Consegue notar alguma mudança na paisagem do entorno e/ou nas margens do canal, como desmatamento, variação de largura e profundidade, velocidade da água, acúmulo de terras, entre outros?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

9. Há alguma exigência da Capitania dos Portos quanto ao tráfego de embarcações pelo Furo do Paracuúba, em qualquer um dos períodos de variação do regime hidrológico?

---

---

---

---

---

10. Já ocorreu algum acidente com sua embarcação ao navegar neste canal? Por quais motivos?

---

---

---

---

11. Quando precisa contornar o furo do Paracuúba pelo "Encontro das Águas", percorre quanto tempo e Kms a mais?

---

---

---

---

---

12. No seu ponto de vista, a velocidade das ondas geradas pelas embarcações que trafegam pelo canal ajuda a desgastar suas margens e causar desmoronamento ou desabamentos de terras?

---

---

---

---

OBS: \_\_\_\_\_

Fonte: autoria própria

## APÊNDICE B – Questionário socioeconômico – Representante familiar



Poder Executivo  
Ministério da Educação  
Universidade Federal do Amazonas  
ICHL/DEGEO/Programa de Pós-Graduação em Geografia  
Mestrado Conceito 4



### PROJETO DE PESQUISA: DINÂMICA FLUVIAL NO FURO DO PARACUÍBA

#### QUESTIONÁRIO SÓCIOECONÔMICO - REPRESENTANTE FAMILIAR

##### 1. DADOS GERAIS

Qual a sua idade: \_\_\_\_\_ Sexo:  M  F Naturalidade: \_\_\_\_\_

Escolaridade:  Não possui  até a 4ª série:  Ens. Fundamental  Ens. Médio Completo  
 Ens. Médio Incompleto  Ens. Superior  Pós-Graduação

##### 2. Mora na Comunidade há quanto tempo?

Desde que nasceu  há poucos meses  + que 1 ano  + que 5 anos  + que 10 anos

##### 3. Quantas pessoas moram na sua casa?

1-3  4 a 6  7 a 9  mais que 10 pessoas

##### 4. Qual a tipologia de sua moradia?

palafita  flutuante  alvenaria  mista

##### 5. Trabalha ou estuda em outra localidade fora da comunidade? Onde?

Sim  Iranduba  Careiro da Várzea  Manaus  Careiro Castanho  Não

##### 6. Qual atividade econômica mais pratica na comunidade?

Pesca  Criação de animais  Caça  Atividade agrícola  Catraia  Comércio Livre  outros

##### 7. A família possui algum tipo de transporte fluvial? Qual?

Sim  lancha  rabeta  canoa  barco  Não possui

##### 8. Quais transtornos os escorregamentos de terras causam para sua família? Já houve algum acidente em decorrência disso?

---



---



---

##### 9. No período da vazante, quais dificuldades são encontradas por sua família na comunidade? Como você costuma se deslocar dela para outras localidades nesse período?

---



---

##### 10. Quais mudanças você tem notado no canal nos últimos anos?

---



---



---

OBS: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_