

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

ANDRÉ CAMPOS AVES

**ANÁLISE MULTITEMPORAL E MORFODINÂMICA NO ENTORNO DA  
CONFLUÊNCIA DO RIO SOLIMÕES COM O RIO NEGRO**

MANAUS  
2019

ANDRÉ CAMPOS ALVES

**ANÁLISE MULTITEMPORAL E MORFODINÂMICA NO ENTORNO DA  
CONFLUÊNCIA DO RIO SOLIMÕES COM O RIO NEGRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Filosofia, Ciências Humanas e Sociais da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ ALBERTO LIMA DE CARVALHO

MANAUS  
2019

## Ficha Catalográfica

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

A474a Alves, André Campos  
Análise multitemporal e morfodinâmica no entorno da confluência do rio Solimões com o rio Negro / André Campos Alves. 2019  
119 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: José Alberto Lima de Carvalho  
Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Rio Solimões. 2. Ilha da Marchantaria. 3. Dinâmica fluvial. 4. Morfodinâmica. 5. Sensoriamento Remoto. I. Carvalho, José Alberto Lima de II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

## AGRADECIMENTOS

Agradecer é um momento de reflexão. Muitas pessoas me ajudaram a chegar até aqui. Cada uma delas possuem um significado especial na minha trajetória. Nada mais justo do que agradecer a Deus por suas vidas e por colocá-las em meu caminho. A Ele também por me conceder saúde, guiar meus passos e me fortalecer nos momentos em que o psicológico precisa ser restaurado.

Não poderia esquecer a base da minha existência: a família. Louvo a Deus por ter me agraciado com uma mãe que tem consciência de seu papel e, por isso, exerce-o com maestria. Agradeço pela vida de meu pai que, mesmo sem entender todas as etapas de carreira acadêmica, sempre serviu com o seu melhor. Irmãos? Sim, eu tenho. Somos um time de voleibol. Seis pessoas com pensamentos e personalidades diferentes. Mas na hora de contribuir, mesmo com o simples ato de servir um copo d'água, todos trabalham harmoniosamente e o time passa a ser uma seleção imbatível. Obrigado, irmãos.

Ser Mestre em Geografia sempre foi um desejo que se fortaleceu com os professores da Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Portanto, sou grato a cada um deles que, com muito entusiasmo, mostraram que o conhecimento é a melhor forma de mudar nossas vidas.

Antes de ser aluno do curso de mestrado em Geografia, uma pessoa foi fundamental na minha aprovação. Com sua experiência e talento para ensinar, o professor Deivison Carvalho Molinari acreditou que minha aprovação era possível e não mediu esforços para ajudar. Em uma tarde, ouviu tudo o que eu tinha absorvido das leituras e, em meio aos seus tradicionais rabiscos, sintetizou onde eu deveria melhorar. Meu muito obrigado.

Após a aprovação, passei a admirar ainda mais a figura do ilustre professor José Alberto Lima de Carvalho, orientador desta dissertação e um conselheiro sobre a mais preciosa dádiva de Deus: a vida. Na graduação, eu já havia percebido sua simplicidade e o respeito pelo próximo. Sob sua orientação, a relação professor-aluno se estreitou e os laços se fortaleceram. Um grande pai e um excelente esposo, “Betinho” mostrou por meio de atitudes que a academia não é tudo. Apesar da rigidez com o trabalho, aprendi com ele que não é preciso ser arrogante para mostrar conhecimento. Meus sinceros agradecimentos a você e sua linda família com os quais tive a oportunidade de viver momentos memoráveis.

O Estágio em Docência na Graduação é uma excelente oportunidade para aprender. Além de conteúdo com qualidade, é possível compreender que cada pessoa possui sua

particularidade. É isso que nos faz ser especial. Portanto, nada mais justo do que agradecer aos alunos do curso de Licenciatura em Geografia, turma 2016/1 do período noturno. Não posso esquecer da “Loira”, a monitora da disciplina de Geomorfologia Fluvial, Ingrid Silva de Freitas. Obrigado a vocês por todas as formas de conhecimento adquirido.

Considero o Exame de Qualificação um momento fundamental para o aluno de pós-graduação e, conseqüentemente, para o bom andamento da dissertação. Por isso, as professoras Neliane de Sousa Alves e Jesuete Pachêco Brandão, integrantes da banca examinadora de qualificação, fazem parte dessa conquista. Ambas, com dicas valiosas e com muita disposição para contribuir, merecem um parágrafo dedicado a quem sempre se dispôs a ensinar com o carinho de uma mãe. Obrigado pelas contribuições e pelos conselhos nos bastidores da universidade.

A Turma 11 da pós-graduação em Geografia realmente é muito especial. Alguns eu já conhecia, como meu amigo Franciney Souza Santos, outros eu passei a conhecer. Raione Gonçalves de Castro, Cirlene Batista dos Santos e Wilcilene da Silva Corrêa, meus irmãos de estudo, são pessoas que passei a admirar. Obrigado pelos momentos de descontração e por todo o apoio nos instantes de dificuldades. Vocês são sensacionais.

A universidade é o lugar para aprender e conhecer pessoas. Isso é ótimo porque me deu a oportunidade de conhecer duas “irmãs” da Turma 10: Mayara Queiroz dos Santos e Aline Gabriela Silveira Araújo. Ambas tiveram o trabalho de organizar pastas digitais com textos relacionados a minha pesquisa. Dessa forma, eu consegui dá o pontapé inicial na construção do projeto de pesquisa e, posteriormente, fundamentar a dissertação.

Dizem que amizade que é amizade nunca acaba. Acredito que seja verdade. O tempo passa e muitos seguem caminhos diferentes. Mesmo assim, seja na conquista ou na derrota, nas horas boas ou difíceis, o bom amigo não abandona. Por isso, agradeço a Deus pela vida do meu amigo Moisés Barbosa da Silva, fundamental na revisão do texto e, da mesma maneira, Fabíola Esquerdo de Souza por todas as observações realizadas.

A Coordenação do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) é constituída por excelentes profissionais. Sempre atentos a prazos e toda a parte burocrática, com absoluta certeza, merecem os sinceros agradecimentos por todos os lembretes deixados no correio eletrônico. Aqui abro um parêntese especial para duas pessoas: Graça Luzeiro e Nilzelane Vieira Carvalho, ambas dedicadas ao trabalho desenvolvido na secretaria. O professor José Aldemir de Oliveira, na ocasião (2017)

coordenador do curso, não poderia ser esquecido. Um homem honrado e com uma excelente didática, muito se esforçou para que nenhum aluno ficasse sem bolsa de estudo.

O Departamento de Geografia da UFAM, de modo geral, é constituído por pessoas que se importam em levar o conhecimento sobre a Amazônia para o mundo. Os professores Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira e Rogério Ribeiro Marinho, também fazem parte dessa trajetória. Antenados as novas tecnologias que surgem constantemente, os dois, em diferentes momentos, acompanharam algumas das atividades em campo realizadas pelo grupo de alunos do “Betinho” mostrando muita destreza na condução do drone, o “Zangão” do Laboratório Latossolo. Agradeço a vocês pelos registros realizados, capazes de refinar este trabalho.

Dentre os “filhos do Betinho”, destaca-se uma ariana raiz, que gosta muito de estudar e praticamente reside na UFAM. Arrisco dizer que ela é a melhor “filha” do Betinho. É claro que eu não ia esquecer da Kenya Correa de Souza. Muito obrigado pela revisão no texto e pelas conversas sobre os dilemas que a vida apresenta.

Nesta simples demonstração de reconhecimento, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) foi fundamental. Agradeço por ter concedido a bolsa de estudos e por acreditar na importância da pesquisa na Amazônia. Da mesma maneira, sou grato ao Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM) por ter disponibilizado o espaço físico e equipamentos para o processamento das imagens de satélite e, conseqüentemente, geração dos produtos finais. Aproveito a oportunidade para citar o nome de um servidor do CENSIPAM que cuidou de todos os tramites para que eu pudesse frequentar as dependências do órgão: Jorge Alberto Lopes da Costa. Hoje eu tenho o privilégio de tê-lo como amigo. Além de um profissional indiscutível, é um grande conselheiro com aguçada percepção sobre a vida. Meu muito obrigado, Jorge.

Agradeço também a Lânia Adriana Gomes Farias, uma devoradora de livros românticos que me ajudou nas primeiras páginas desta dissertação, principalmente com a retirada do excesso de vírgulas. Opa! Ela também preparava lanches enquanto eu escrevia. Obrigado Drica, você sempre será especial.

Acredito que não esqueci de ninguém. Sou eternamente grato por todas as pessoas citadas aqui. Peço a Deus que abençoe grandemente a vida de cada um com muita saúde, paz, amor no coração e perdão. Que possamos ser felizes com nossas escolhas e com os caminhos que trilhamos. Meu muito obrigado!

## RESUMO

O rio Solimões, quanto ao desenvolvimento geomorfológico, é considerado jovem por possuir considerável energia e potencial erosivo. Essas características permitem que a paisagem do cenário amazônico seja constantemente transformada em função da dinâmica fluvial existente que, apesar de não ser uma exclusividade da região, possui expressividade no que se refere a escala de grandeza e a complexidade de fatores. Presentes na dinâmica de todos os canais fluviais, a erosão, o transporte e a deposição de sedimentos são processos que, apesar de trabalharem simultaneamente, não se apresentam de maneira homogênea ao longo do perfil longitudinal do rio Solimões. Há segmentos do rio em que prevalece o processo erosivo e em outros o processo de deposição. Da mesma maneira, é comum que a cada regime hidrológico, caracterizado na região amazônica por períodos de cheias e vazantes, perceba-se que os processos erosivos e deposicionais alternem-se espacialmente. A princípio, inadvertidamente, pode-se pensar que, por se tratar de um fenômeno natural, não há impactos sociais e econômicos para a região. No entanto, as implicações da dinâmica fluvial no rio Solimões podem atingir diferentes escalas, sejam elas locais ou regionais. A razão para isso está na importância que o rio Solimões, assim como os demais rios da Amazônia, possui para os moradores, principalmente ribeirinhos, e para o transporte de cargas e passageiros na região. Diante disso, este trabalho apresenta as transformações na paisagem e a evolução do rio Solimões no trecho localizado há aproximadamente 15 quilômetros a montante da sua confluência com o rio Negro. A área abrange toda a extensão da ilha da Marchantaria, um elemento natural relevante que participa diretamente da dinâmica do canal. Para abarcar toda a complexidade existente nesse tipo de estudo, optou-se por uma abordagem sistêmica para a compreensão dos fenômenos naturais e seus efeitos nas esferas sociais e econômicas. Com o intuito de mostrar a transformação da paisagem, uma das categorias de análise mais importantes da Geografia, e a evolução do rio Solimões no trecho mencionado, recorreu-se as imagens de satélite do programa espacial Landsat, que tem como objetivo principal a observação dos recursos naturais terrestres. Fez-se o uso de três imagens, implicando numa escala temporal de 23 anos (1995, 2005 e 2018). Para corroborar os dados obtidos por meio do Sensoriamento Remoto, realizou-se levantamentos batimétricos em cinco pontos do rio. A partir dos gráficos da batimetria e das interpretações das imagens de satélite, conclui-se que este trecho do rio Solimões está passando por mudanças morfológicas no seu leito, sedimentando na margem direita e erodindo na margem esquerda. Com relação aos impactos socioeconômicos, verificou-se que as embarcações de grande porte, em razão da maior profundidade, navegam pela margem esquerda, sugerindo um gasto maior de combustível e tempo.

Palavras-chave: rio Solimões, ilha da Marchantaria, dinâmica fluvial.

## ABSTRACT

The Solimões River, in relation to the geomorphological development, is considered young because it possesses considerable energy and erosive potential. These characteristics allow the landscape of the Amazonian scenario to be constantly transformed as a function of existing river dynamics, which, although not an exclusivity of the region, has expressiveness in terms of magnitude scale and complexity of factors. Present in the dynamics of all the fluvial channels, erosion, transport and deposition of sediments are processes that, although working simultaneously, do not present in a homogeneous way along the longitudinal profile of the Solimões river. There are segments of the river in which the erosive process prevails and in others the deposition process. In the same way, it is common for each hydrological regime, characterized in the Amazon region by periods of floods and ebbing, it is perceived that the erosive and depositional processes alternate spatially. At first, inadvertently, one can think that, because it is a natural phenomenon, there are no social and economic impacts for the region. However, the implications of fluvial dynamics on the Solimões River can reach different scales, whether local or regional. The reason for this is the importance that the Solimões river, like the other rivers of the Amazon, has for the residents, mainly riverside, and for the transport of loads and passengers in the region. Therefore, this work presents the transformations in the landscape and the evolution of the Solimões River in the stretch located approximately 15 kilometers upstream of its confluence with the Negro River. The area covers the whole extension of the island of Marchantaria, a relevant natural element that participates directly in the channel dynamics. To cover all the complexity of this type of study, it is opted for a systemic approach to understanding natural phenomena and their effects on social and economic spheres. In order to show the transformation of the landscape, one of the most important categories of Geography analysis, and the evolution of the Solimões River in the mentioned section, it is used the satellite images of the Landsat space program, whose main objective is the observation of terrestrial natural resources. Three images were used, implying a temporal scale of 23 years (1995, 2005 and 2018). In order to corroborate the data obtained through Remote Sensing, bathymetric surveys were carried out in five points of the river. From the charts of the bathymetry and the interpretations of the satellite images, it is concluded that this section of the river Solimões is undergoing morphological changes in its bed, sedimentating in the right margin and eroding in the left margin. With regard to the socioeconomic impacts, it was verified that the larger vessels, due to the greater depth, navigate the left bank, suggesting a greater expenditure of fuel and time.

Keywords: Solimões river, Marchantaria island, river dynamics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação simplificada dos princípios sistêmicos em Geomorfologia Fluvial	18
Figura 2 – Representação simplificada do Ciclo hidrológico.....	20
Figura 3 - Processos fluviais predominantes ao longo do perfil longitudinal .....	26
Figura 4 - Modelo de transporte por tração .....	32
Figura 5 - Modelo de transporte por saltação .....	33
Figura 6 - Modelo de transporte em suspensão .....	34
Figura 7 - Modelo geológico diferenciando os processos de acreção vertical e lateral .....	36
Figura 8 - Gênese do processo de abandono e colmatação de um meandro .....	38
Figura 9 - Níveis de coleta de dados em Sensoriamento Remoto .....	40
Figura 10 - Mapa de localização da área de estudo .....	46
Figura 11 - Localização da Bacia do Solimões e suas sub-bacias.....	48
Figura 12 - Mapa das unidades geológicas da área de estudo .....	49
Figura 13 - Feições da Neotectonica da área de estudo.....	51
Figura 14 - Mapa de Geomorfologia da área de estudo .....	53
Figura 15 - Unidades pedológicas da área de estudo.....	59
Figura 16 - Regime hidrológico do rio Solimões/Amazonas no porto de Manaus, no período de 1992 a 2019 .....	64
Figura 17 - Esquema de um conceito teórico de um Geossistema .....	70
Figura 18 - Atuação do Geossistema depois de ter sofrido um esforço .....	70
Figura 19 - Sistema de aquisição de dados batimétricos .....	71
Figura 20 - Carta imagem 1995.....	77
Figura 21 - Carta imagem 2005.....	78
Figura 22 - Carta imagem 2018.....	79
Figura 23 - Barra central e formação de ilha .....	80
Figura 24 - Resultados extraídos das imagens de satélite nos anos de 1995 e 2005 .....	81
Figura 25 - Percentual de erosão e deposição levando em consideração a área do canal em 2005 .....	83
Figura 26 - Estimativas anuais dos processos erosivos e deposicionais (1995-2005).....	84
Figura 27 - Evolução geomorfológica da ilha da Marchantaria (1971 – 2005) .....	85
Figura 28 - Resultados extraídos das imagens de satélite nos anos de 2005 e 2018.....	87

Figura 29 - Percentual de erosão e deposição levando em consideração a área do canal em 2018 .....	89
Figura 30 - Estimativas anuais dos processos erosivos e deposicionais (2005-2018).....	90
Figura 31 - Percentual dos processos fluviais em dois períodos (1995-2005); (2005-2018) ...	91
Figura 32 - Processos fluviais a montante da ilha da Marchantaria .....	92
Figura 33 - Índícios de vegetação do tipo gramíneas .....	93
Figura 34 - Diferença da vegetação encontrada em pontos distintos .....	94
Figura 35 - Evolução geomorfológica da ilha da Marchantaria (2005 - 2018).....	95
Figura 36 - Modelo simples da futura configuração do canal .....	96
Figura 37 - Diferença na configuração do canal entre 1995 e 2018.....	97
Figura 38 - Localização dos perfis batimétricos.....	98
Figura 39 - Perfil batimétrico transversal do rio Solimões n° 01 .....	99
Figura 40 - Perfil batimétrico transversal do rio Solimões n° 02 .....	100
Figura 41 - Perfil batimétrico transversal do rio Solimões n° 03 .....	100
Figura 42 - Perfil batimétrico transversal do rio Solimões n° 04 .....	101
Figura 43 - Perfil batimétrico transversal do rio Solimões n° 05 .....	101
Figura 44 - Notícia vinculada nos meios de comunicação .....	104
Figura 45 - Matérias relatando a preocupação com o fenômeno terras caídas.....	105

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Dados das imagens selecionadas para o estudo.....	72
Tabela 2 - Bandas utilizadas (Landsat 5 e 8) e associação as cores RGB.....	73
Tabela 3 - Dados das imagens após a correção geométrica .....	76
Tabela 4 - Principais pontos de formação de depositos e áreas de erosão (1995 a 2005).....	82
Tabela 5 - Dados referentes as imagens e rio Solimões .....	85
Tabela 6 - Principais pontos de formação de depositos e áreas de erosão (2005 a 2018).....	88
Tabela 7 - Ocorrências de El Niño e La Niña para o período 1991-2007 .....	102

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	14
CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
1.1 Uso dos princípios sistêmicos em Geomorfologia .....	17
1.2 Sistemas fluviais .....	19
1.3 Canal Fluvial.....	21
1.3.1 Padrão de canais fluviais.....	21
1.3.1.1 Canais retos.....	23
1.3.1.2 Canais anastomosados .....	23
1.3.1.3 Canal meandrante .....	24
1.4 Dinâmica fluvial .....	25
1.4.1 Erosão fluvial.....	27
1.4.1.1 Corrosão.....	28
1.4.1.2 Corrasão .....	29
1.4.1.3 Cavitação .....	29
1.4.1.4 Arranque hidráulico .....	30
1.4.2 Transporte Fluvial.....	30
1.4.2.1 Por tração .....	32
1.4.2.2 Por saltação .....	33
1.4.2.3 Em suspensão.....	34
1.4.3 Deposição fluvial .....	35
1.5 Imagens de satélite nos estudos da dinâmica fluvial .....	39
1.5.1 Série Landsat e aplicações em Geomorfologia Fluvial .....	40
CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA.....	42
2.1 Bacia Hidrográfica Amazônica.....	42
2.2 Área de estudo .....	45
2.3 Componentes naturais da paisagem.....	47
2.3.1 Geologia.....	47
2.3.2 Neotectônica .....	50
2.3.3 Geomorfologia .....	52
2.3.3.1 Baixos Platôs da Amazônia Centro-Oriental.....	54
2.3.3.2 Planície Amazônica .....	55
2.3.4 Pedologia .....	57

2.3.6 Regime climático .....	62
2.3.7 Regime hidrológico do rio Solimões .....	63
2.3.8 Os tipos de rios amazônicos.....	64
<b>CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA E MATERIAIS .....</b>	<b>67</b>
3.1 Paisagem e Geossistema .....	67
3.2 Medições Batimétricas.....	70
3.3 Análise multitemporal por Sensoriamento Remoto.....	72
3.3.1 Seleção das imagens .....	72
3.2.2 Processamento Digital de Imagens (PDI).....	73
3.2.2.1 Pré-processamento .....	73
3.2.2.2 Processamento .....	74
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>76</b>
4.1 Evolução multitemporal do canal fluvial.....	76
4.1.2 Imagens trabalhadas.....	76
4.1.3 Dinâmica fluvial entre 1995 e 2005.....	80
4.1.3.1 Evolução da ilha da Marchantaria (1995-2005) .....	84
4.1.4 Dinâmica fluvial entre 2005 e 2018.....	86
4.1.4.1 Evolução da ilha da Marchantaria (2005-2018) .....	95
4.2 Análise batimétrica .....	98
4.3 Eventos extremos.....	102
4.4 Impactos sociais e econômicos .....	103
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>106</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>108</b>

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho aborda sobre os processos morfodinâmicos que ocorrem no rio Solimões. Trata-se de um tema que se dedica aos conceitos fundamentais da Geomorfologia nos estudos dos rios e das bacias hidrográficas. Aqui, rios e bacias hidrográficas são tratados como um ente sistêmico.

O Brasil, com dimensões continentais, está repleto de sistemas fluviais e compreende em seu território a maior bacia hidrográfica do planeta. Apesar das controvérsias no meio acadêmico, o rio Amazonas é absoluto em extensão e em volume de água, cobrindo uma bacia de drenagem estimada em 6,5 milhões de quilômetros quadrados.

Na linha do tempo geológico, os rios que compõem a bacia de drenagem do rio Amazonas são considerados jovens. Portanto, apresentam uma dinâmica fluvial muito intensa, corroborando para estudos em ambientes de planícies inundáveis. Na contribuição de Suguio (2010, p. 18), tanto o rio Amazonas quanto seus tributários passam por evoluções do Quaternário, período marcado por oscilações climáticas significativas e por um volume maior das atividades antrópicas.

As oscilações climáticas ocorridas no Quaternário e as atividades relacionadas ao homem, possuem a competência necessária para modificar a paisagem de um ambiente fluvial. Entretanto, seria negligência não registrar que o controle estrutural e neotectônico também são atuantes na caracterização das feições geomorfológicas fluviais, tanto do rio Amazonas quanto de seus tributários.

Trabalhos envolvendo a origem e evolução da influência tectônica nos rios da bacia Amazônica não são inquietações científicas do século XXI. No entanto, observando o tempo cronológico, trata-se de estudos recentes. A razão para esse fato pode ser explicada pela evolução da Geografia como ciência no Brasil, no final da década de 1930. Foi a partir desse ano que, de acordo com Kohlhepp (2017, p. 08), o território brasileiro passou a ser explorado geograficamente e, em razão disso, a Geografia se fortaleceu como ciência. A Amazônia, em particular, recebeu a atenção especial de Sternberg.

O geógrafo Hilgard O'Reilly Sternberg foi o primeiro pesquisador a expor evidências sobre o controle tectônico em ambientes amazônicos. Dispondo de poucos recursos tecnológicos, o trabalho de Sternberg (1950), basicamente, contou com sua experiência em

trabalhos de campo e sua perspicácia ao interpretar a carta ao milionésimo da folha Manaus (SA.20).

Os estudos que envolvem o controle estrutural em ambientes fluviais foram facilitados com o avanço da tecnologia espacial, principalmente com o lançamento de satélites destinados ao monitoramento ambiental. Sobre esse aspecto, vale ressaltar a série Landsat, satélite norte-americano ativo por tempo ininterrupto desde a década de 1970. Mais do que confirmar os resultados do pioneiro trabalho de Sternberg, as imagens dos sensores orbitais viabilizaram a compreensão dos processos de erosão e agregação de sedimentos nas margens dos rios da bacia Amazônica.

Os processos de erosão e agregação de sedimentos nas margens dos rios são dinâmicas comuns dos sistemas fluviais. Entretanto, Carvalho (2012, p. 01) atenta para duas variáveis que dão aos rios da bacia Amazônica uma peculiaridade em relação aos demais sistemas fluviais do planeta: o tempo e a escala de grandeza com que ocorrem. Na Amazônia, as dinâmicas fluviais ocorrem em intervalos de tempo curto e, geralmente, abrangem grandes extensões de terra. No entendimento de Carvalho (2012, p. 10) os mais afetados são as pessoas que vivem às margens desses rios que, em muitos casos, tornam-se meros expectadores do fenômeno “terras caídas” e reféns de suas consequências.

O fenômeno “terras caídas” é uma especialidade trabalhada há mais de três décadas pelo autor supracitado. Trata-se de uma terminologia regional utilizada pelos moradores ribeirinhos para explicar o processo de erosão vertical e marginal dos rios da bacia Amazônica. Carvalho (2012, p. 55) compreende que esse processo acontece com maior intensidade nos rios de água branca, como o Madeira e Solimões.

Pela proximidade com a capital, é no Solimões que os comandantes de embarcações mais experientes relatam uma mudança significativa no padrão do canal no trecho que fica a aproximadamente 15 quilômetros do seu encontro com o rio Negro. Apesar de se tratar de relatos empíricos, o segmento em questão recebe atenção da comunidade acadêmica há alguns anos. Na área mencionada, Oliveira (1996, p. 238) relata uma evolução morfológica na ilha da Marchantaria. O autor concluiu, por meio de imagens de sensores orbitais, que a ilha da Marchantaria no ano de 1971 possuía 19,5 km<sup>2</sup>. Passados 20 anos, a ilha cresceu, passando a ter 27,5 km<sup>2</sup> de extensão. Trata-se de evoluções expressivas que, no trabalho de Costa (2007, p. 32), resultaram numa paisagem pontuada de formas residuais.

Em presença do que foi demonstrado, este trabalho teve como objetivo compreender o processo de mudança de canal do rio Solimões, da margem direita para a margem esquerda, no entorno da sua confluência com o rio Negro. Para contemplar esse objetivo, foram elencados três objetivos específicos: 1) avaliar o papel dos fatores causadores da agradação lateral na margem direita do rio Solimões, no contorno da ilha da Marchantaria; 2) mapear o leito do rio Solimões neste trecho para correlação com o processo de agradação de margem nos períodos de cheia e vazante; 3) identificar por meio de sensoriamento remoto as mudanças espaço-temporais em toda a extensão da ilha da Marchantaria.

## **CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este capítulo mostra que a geomorfologia fluvial, como uma subárea da ciência geomorfológica, tem adotado a concepção sistêmica como principal método de abordagem para a compreensão da dinâmica fluvial dos rios. A partir de expoentes bases teóricas na área, apresenta também a importância de tratar os sistemas fluviais como um sistema complexo, que necessita de uma abordagem integrativa entre o homem e a natureza. Com a mesma relevância, a pesquisa prossegue afirmando que o desenvolvimento contínuo do sensoriamento remoto vem contribuindo de maneira eficaz para a análise dos processos atuantes num canal fluvial que tendem a modificar sua forma.

### **1.1 Uso dos princípios sistêmicos em Geomorfologia**

O clima, a geologia, a topografia, a vegetação, o tipo de solo e a ação antrópica são responsáveis pelo comportamento dos canais fluviais e pela modelagem da paisagem. Essas variáveis de controle determinam a natureza da água armazenada no subsolo e o surgimento de corpos d'água. Portanto, os rios possuem caráter distintos, diferenciando-se principalmente na largura, volume de água, velocidade, profundidade e declividade. Atrelado a essas variações hidrológicas estão os processos fluviais que, quando estimados, possibilitam compreender a capacidade que um rio possui de transportar, depositar e erodir sedimentos no tempo e no espaço.

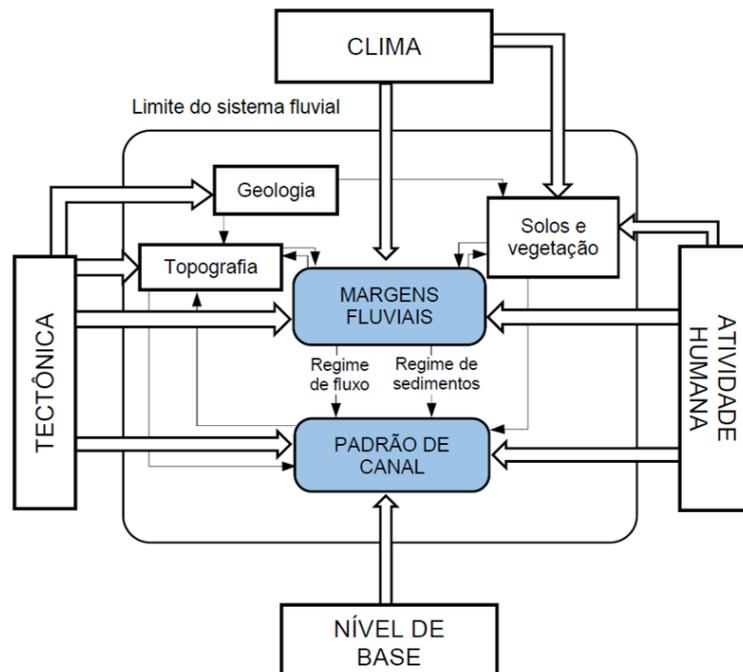
Cabe à Geomorfologia Fluvial o estudo de canais e suas formas, estabelecendo relações entre os processos de erosão, deposição e transporte. Tais processos ocorrem simultaneamente, o que impossibilita analisá-los de forma isolada. Diante de tantas variáveis, uma abordagem clássica, que permite somente o entendimento dos fenômenos a partir de uma visão independente, de maneira estática e fechada, não é capaz de contemplar a complexidade dos processos que existem em um canal fluvial.

A literatura especializada defende a ideia da interdisciplinaridade dos fenômenos. Nesse sentido, contra a visão reducionista, surge a Teoria Geral dos Sistemas, apresentada em caráter inaugural no seminário filosófico realizado na cidade de Chicago no ano de 1937 pelo biólogo Ludwig von Bertalanffy. No ano de 1945, após a Segunda Guerra Mundial, a Teoria Geral dos

Sistemas foi publicada e preconizada no trabalho de Horton (1945), quando apresentou análises morfométricas e estatísticas das bacias de drenagem e propôs uma hierarquização da rede de canais.

A concepção sistêmica permite afirmar que todas as áreas do conhecimento possuem sistemas. Além disso, cada sistema possui características e leis comuns independentemente da área onde se encontram. Diante de tais pressupostos, os geomorfólogos passaram a estudar os processos superficiais e formas terrestres como sistemas dinâmicos. Nos trabalhos de Strahler (1950, 1952), Chorley (1962), Chorley; Kennedy (1971) e Marques (2017) é possível evidenciar a abordagem sistêmica formulada pelo biólogo Bertalanffy (Figura 1).

Figura 1 - Representação simplificada dos princípios sistêmicos em Geomorfologia Fluvial



Fonte: Marques (2017)

Chorley e Kennedy (1971, pp. 1-2), afirmam que um sistema “é um conjunto estruturado de objetos e/ou atributos”. Esses objetos e/ou atributos consistem em componentes ou variáveis (isto é, fenômenos que são livres para assumir diferentes proporções) que exibem relações complexas e discerníveis entre si, atuando juntos para formar um todo regular e conectado. Para Shumm (1977, p. 4), um sistema é um todo composto de muitas partes, ou "um arranjo

significativo de coisas". O pensamento de ambos os autores corrobora com a afirmação de Bertalanffy (1973):

“É necessário estudar não somente partes e processos isoladamente, mas também resolver os decisivos problemas encontrados na organização e na ordem que os unifica, resultante da interação dinâmica das partes, tornando o comportamento das partes diferentes quando estudado isoladamente e quando tratado no todo” (BERTALANFFY, 1973, p. 53).

Bertalanffy (1973) mostra uma quebra paradigmática, demonstrando as limitações da ciência clássica. O reflexo disso está nas produções científicas a partir da década de 1970, quando o pensamento sistêmico passou a dominar os estudos em Geomorfologia. As concepções de Bertalanffy impulsionaram o debate acerca do assunto, desencadeando críticas que enriqueceram os estudos, elevando o conceito de sistema na visão de diversos autores. Em território brasileiro, poucas são as contribuições disponíveis acerca do assunto até o final do século XX.

De acordo com Stevaux e Latrubesse (2017, p. 21), “no Brasil, o conceito de sistema foi tratado primeiramente por Christofolletti (1974, 1979)”. Na obra mais enfática, Christofolletti (1979) discute diversos itens da abordagem sistêmica e apresenta um consolidado levantamento bibliográfico sobre a questão. Nela é possível perceber também que os sistemas geomorfológicos podem ser classificados de acordo com suas características.

## 1.2 Sistemas fluviais

A Teoria Geral dos Sistemas “fundamenta-se no conceito de que um sistema possui três ingredientes fundamentais: *elementos, estados e relações entre estados e elementos*” (THOMAS e GOUDIE, 2000 apud STEVAUX e LATRUBESSE, 2017, p. 20). Como a concepção sistêmica pode ser aplicada nas diversas áreas do conhecimento, diversos são os ingredientes no que tange à constituição do sistema.

Quanto à constituição, pode existir “sistemas físicos ou abstratos”<sup>1</sup> (THOMAS e GOUDIE, 2000, p. 475). Por meio de exemplos, os autores explicam que o sistema de água quente de uma residência e os valores morais de uma sociedade são, respectivamente, sistemas

---

<sup>1</sup> Tradução nossa

físicos e abstratos. Os sistemas geomorfológicos fluviais, portanto, são sistemas físicos, pois existem na natureza e estão inseridos na realidade de espaço e tempo.

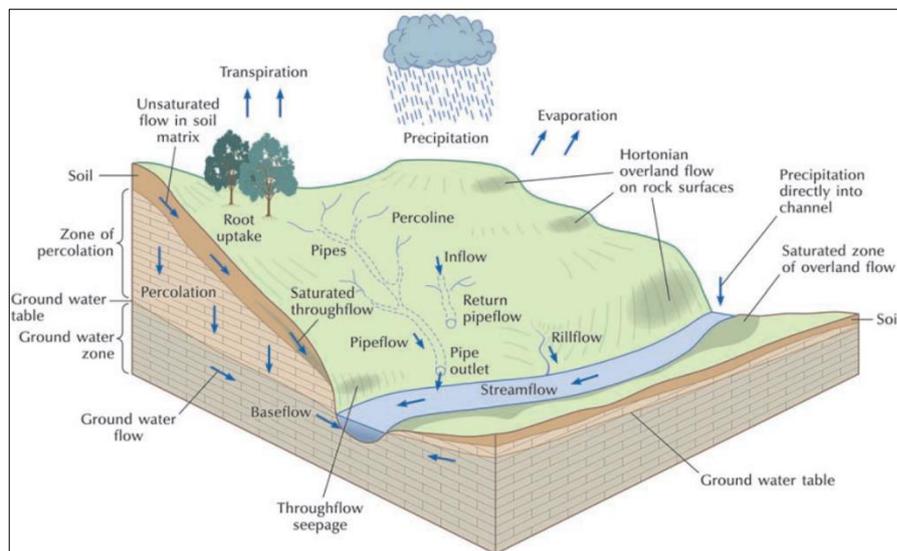
Para Stevaux e Latrubesse (2017, p. 22), “as variáveis fluviais hierarquizam-se no espaço e no tempo”. Nesse sentido, os autores avaliam a escala espaçotemporal como o primeiro conceito nos estudos fluviais. Eles explicam que os processos fluviais que ocorrem num rio podem ser estudados em escalas locais com pouca duração ou regionais com longa duração.

Para o idealizador da Teoria Geral dos Sistemas, os sistemas podem ser classificados tendo como base o critério funcional: fechado, aberto e isolado. Em sistemas fechados, apenas energia é trocada com o meio circundante. Em sistemas abertos, há trocas de matéria e energia com o ambiente. Nos sistemas isolados, não são feitas trocas de energia e matéria.

Para Christofolletti (1979), os sistemas podem ser isolados e não-isolados. Os isolados são aqueles onde não ocorrem trocas de energia nem de matéria com outros sistemas. Já os não-isolados podem ser divididos em fechados e abertos: nos sistemas fechados ocorre troca apenas de energia, e nos sistemas abertos existe troca de energia e de matéria.

Sendo a bacia hidrográfica a unidade básica de um sistema fluvial, Carvalho (2012, p. 21), fundamentado na concepção sistêmica, afirma que “a bacia hidrográfica é um sistema aberto”. Nesse sentido, basta pensar na interação dos elementos que compõem o ciclo hidrológico. Basicamente, a maior parte da energia necessária para acionar o sistema fluvial é fornecida pelos processos atmosféricos que elevam e condensam a água que cai como precipitação sobre a bacia hidrográfica (Figura 2).

Figura 2 – Representação simplificada do Ciclo hidrológico



Fonte: Huggett (2011).

Com mais detalhes, Christofolletti (2002) considera os elementos componentes do sistema, inputs e outputs, fatores fundamentais na dinâmica de uma bacia hidrográfica. Para o autor os elementos componentes do sistema são: a cobertura vegetal, a superfície topográfica, os solos e os aquíferos subterrâneos. A precipitação responde pelos inputs e os demais processos como a evapotranspiração, fluxos induzidos e as transferências interbacias respondem pelos outputs.

### **1.3 Canal Fluvial**

Em analogia, uma rede de drenagem pode ser comparada a estrutura de “uma árvore com ramificação invertida” (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017, p. 69). Utilizar essa tipologia botânica, mesmo que modesta, é eficaz para assinalar o canal fluvial inserido no sistema de drenagem. Nesse contexto, Suguio e Bigarella (1990) afirmam que o canal é por onde o rio, o tronco principal do sistema de drenagem, percorre. Para Charlton (2008), o canal fluvial é um dos subsistemas constituintes do sistema bacia hidrográfica.

Por fazer parte de um sistema complexo e dinâmico, o canal fluvial apresenta constantes mudanças por onde percorrem suas águas e sedimentos. Os processos de erosão, transporte e deposição, podem ser observados ao longo de seu perfil longitudinal em diferentes proporções. Por este fato, existem peculiaridades quanto a fisionomia do canal que, no que lhe concerne, recebem classificações da literatura especializada.

#### **1.3.1 Padrão de canais fluviais**

A representação bidimensional de um rio possibilita tanto a identificação de padrões fisionômicos como a mudança nas características de um lugar para outro do canal. Independente do tamanho do rio é possível inferir as leis físicas que operam na formação do canal fluvial. A título de exemplo, nas mudanças abruptas, Stevaux e Latrubesse (2017, p. 69) ressaltam que estão ligadas a “fatores geológicos (rocha/solo)” que exercem influência nas condições de fluxo, “resultando em outros tipos de arranjos espaciais (padrões)”.

Para Leopold e Wolman (1957) existem três padrões de canais: meândricos, anastomosados e relativamente retos. Posteriormente surgiram outras classificações de padrões

de canais fluviais. Para Schumm (1963), por exemplo, os canais apresentam padrões reto, transicional e meandrante. Este último pode ser subdividido em: tortuoso, irregular e regular. Dury (1969), além de concordar com o trabalho de Leopold e Wolman (1957), amplia a classificação apresentando os padrões deltaico, ramificado, reticulado e irregular.

Chitale (1970) defende a existência de três padrões de canais e algumas subdivisões: canais únicos (reto, sinuoso, meandrante, tortuoso), canais múltiplos (ramificado, anastomosado, reticulado, deltaico e labiríntico em trechos rochosos) e canais transicionais.

Kellerhals et. al. (1976) afirmam que existem padrões de canais retos, sinuosos, irregulares, meandantes regulares e meandantes tortuosos. Os autores foram ainda mais detalhistas, levando em consideração a presença de ilhas (ocasional, frequente, separada e anastomosada) e bancos de detritos (banco lateral, cordão marginal convexo, banco da confluência, banco central, banco em losango, banco em diagonal, ondas de areia, banco lingóide ou dunas maiores).

De acordo com Christofolletti (1981) os tipos de canais configuram mecanismos de ajustagem entre as variáveis implicadas neste sistema geomorfológico, constituindo respostas que se somam e se entrosam com as relacionadas à seção transversal e ao perfil longitudinal dos cursos de água. Cada tipo de canal possui maneiras distintas de afetar a resistência do fluxo, havendo uma proeminente relação entre quantidade e a característica da carga sedimentar disponível e a quantidade e variabilidade do débito, de um lado, e a tipologia dos canais, de outro.

Diante de um amplo arcabouço teórico acerca da análise dos padrões de canais fluviais, Christofolletti (1981) sugere uma tipologia que descreve os tipos de padrões de canais fluviais individualmente, subdividindo os padrões em canais únicos, compreendendo os canais fluviais retos, sinuosos, meandantes e tortuosos; uma divisão transicional; e os correspondentes aos canais fluviais ramificados ou múltiplos, abarcando os canais anastomosados, reticulados, deltaicos e labirínticos em trechos rochosos.

Os tipos de padrões de canais recomendados por Christofolletti (1981) são os mais difundidos na literatura. Ressalta-se que um canal fluvial, ao longo de seu perfil longitudinal, pode apresentar mais de um padrão. Por isso, é correto afirmar que em um canal existe a predominância de um padrão em determinado trecho. É essencial saber identificar as suas características, sobretudo dos canais propostos por Leopold e Wolman (1957), os quais foram o gatilho para as posteriores subdivisões.

### 1.3.1.1 Canais retos

Os canais ditos retos se dispõem de forma retilínea sem que ocorra um desvio proeminente de sua trajetória normal em direção à sua foz. Canais verdadeiramente retos são muito raros na natureza, existindo principalmente quando o rio está controlado por linhas tectônicas, como no caso de água acompanhando linhas de falha (CHRISTOFOLETTI, 1981, p. 148). Para Cunha (2005, p.214), devido a sua igualdade de resistência à atuação da água, um leito rochoso homogêneo seria a característica fundamental para a existência de um canal reto.

Christofoletti (1981) explica uma dinâmica interessante que acontece no talvegue de um canal retilíneo e que interfere diretamente na formação de barras:

Um canal reto possui margens retilíneas e a seção transversal é estreita e profunda. Se o canal for simétrico, os perfis transversais serão uniformes. Entretanto, na maioria dos casos, embora o canal seja considerado como reto, o fluxo ao longo do talvegue não o é. O talvegue, linha que liga os pontos de maior profundidade ao longo do canal, apresenta lineamento sinuoso que serpenteia de uma margem a outra. No perfil transversal desses cursos, observa-se o ponto de maior profundidade (no talvegue) e do lado oposto a existência de parte mais rasa, onde há acumulação detrítica. Em virtude da navegação sinuosa do talvegue, essas saliências (barras, bancos) tendem a se alternar de um lado do canal para o outro. (CHRISTOFOLETTI, 1981, p.148).

Em síntese, apesar de ser pouco ondulado, o canal o retilíneo, nos pontos de maior profundidade, exibe lineamento sinuoso que serpenteia de uma margem a outra, contribuindo para formação de barras laterais organizadas de forma alternada nas margens.

### 1.3.1.2 Canais anastomosados

Os 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. Os canais de fluxo são mutantes em suas dimensões e posições durante as variações do débito (CHRISTOFOLETTI, 1981, p.155).

Segundo Suguio e Bigarella (1990) os canais anastomosados apresentam sucessivas ramificações de seus cursos que se voltam a se encontrar posteriormente, separados por ilhas assimétricas e barras arenosas. As ilhas assimétricas são mais fixas ao fundo do leito, podendo ficar parcialmente emersas no decorrer das cheias. Em alguns casos, nos intervalos das cheias, pode ocorrer fixação de cobertura vegetal nesses bancos ou ilhas, dificultando a erosão e transporte dessas feições, e permitindo a deposição de sedimentos finos. As barras arenosas, por sua vez, são bancos de detritos móveis transportados pelo fluxo de água e ficam submersos durante os períodos de cheias (CUNHA, 2005).

#### 1.3.1.3 Canal meandrante

Sobre o padrão de canal meandrante, Christofolletti (1981) explica que ao erodir a margem côncava, o fluxo depositará o material transportado na mesma margem logo adiante, na curva convexa. Por este trabalho que a água desempenha, os canais meandrantés são caracterizados pela presença de curvas sinuosas, largas, harmoniosas e semelhantes entre si, por meio de um trabalho contínuo de escavação da margem côncava (onde ocorre maior velocidade das águas) e de deposição da margem convexa (onde é menor a velocidade das águas).

Para Suguio e Bigarella (1990, p. 23), “os canais meandrantés são encontrados mais comumente nos rios das regiões úmidas cobertas por vegetação”. Isso acontece devido a dois fatores inerentes a estas regiões: as proporções de descarga sazonal são estáveis e a carga de sedimentos transportados é relativamente baixa em virtude da topografia suavizada e da cobertura vegetal.

Para Cunha (2005), a presença de camadas sedimentares de granulação móvel, gradientes moderadamente baixos, fluxos contínuos regulares, cargas em suspensão e de fundo em quantidades mais ou menos equivalentes, são as condições essenciais para o desenvolvimento de canais meandrantés.

Segundo Stevaux e Latrubesse (2017, p. 169), “o limite mais comumente aceito para a diferenciação entre um canal meandrante e um retilíneo é uma **sinuosidade** superior a 1,5” (grifo dos autores). Para eles, esse padrão de canal é favorecido por bancos mais heterogêneos com ocorrência de trechos com maior ou menor erodibilidade. Os autores advertem que os canais meandrantés podem ser regulares, irregulares e tortuosos. Os canais meandrantés regulares mostram certa homogeneidade na morfometria de seus meandros. Os irregulares

apresentam meandros alternados de tamanhos e formas distintas. Os canais meandranes tortuosos exibem alterações na morfologia e na direção geral do escoamento.

#### **1.4 Dinâmica fluvial**

Para Thomas e Goudie (2000), a palavra fluvial é um termo geral que se refere a qualquer coisa produzida pela ação de um rio (formas fluviais, processos fluviais e sedimentos fluviais). A dinâmica, por sua vez, é um ramo da ciência física (e uma subdivisão da mecânica) que se preocupa com o movimento dos corpos e os fatores físicos que afetam o movimento: força, massa, velocidade e energia.

Na Geomorfologia Fluvial, a expressão dinâmica fluvial é usada para fazer referência ao fluxo de água, movimentação de sedimentos e ao acúmulo de feições resultantes das interações de fluxo e transporte de sedimentos em canais aluviais. Em síntese, a dinâmica fluvial trata do trabalho de erosão, transporte e deposição de sedimentos realizado pelas águas de um rio.

Na literatura, os autores Guerra (2001), Ritter; Kochel; Miller (2002) e Novo (2008) concordam que os rios desempenham um papel importante no modelado do relevo terrestre e atuam como agentes morfológicos, porque, transportam e depositam sedimentos, erodem suas margens e, por conseguinte, modificam a paisagem dos locais por onde passam.

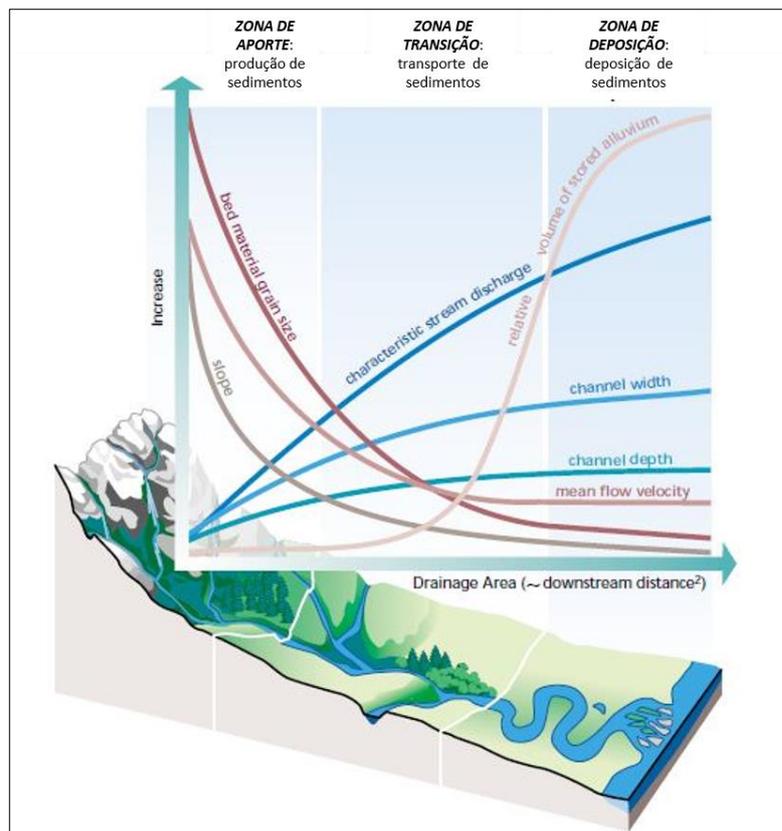
A paisagem geral funciona como um sistema dentro das restrições impostas pela gravidade; o que acontece a montante influencia o que acontece rio abaixo. O comportamento geral deste sistema, de acordo com Schumm (1977), pode ser descrito a partir das bases conceituais indispensáveis na compreensão dos sistemas geomórficos: evolução da paisagem e complexidade.

Por ocorrerem em todo o perfil longitudinal do canal fluvial, há trechos que predominam a erosão, em outros o transporte, ou ainda, a deposição. O que faz prevalecer um ou outro processo é a velocidade do fluxo de água. Diante disso, o canal fluvial é segmentado em três partes, com formas e comportamentos característicos: curso superior, curso médio e curso inferior.

Com maior declividade e velocidade de fluxo, predomina no curso superior o processo de erosão. Por prevalecer o processo erosivo, é natural que este trecho do canal fluvial seja o principal fornecedor de sedimentos que serão transportados e depositados ao longo do perfil longitudinal. Devido a essa contribuição, não é à toa que o curso superior é denominado de

zona de aporte, ou seja, trecho de produção de sedimentos. O equilíbrio entre os processos de erosão e deposição se dá no curso médio. Responsável por fornecer sedimentos ao curso inferior, o curso médio é denominado zona de transição. O curso inferior, por apresentar baixa declividade e velocidade do fluxo, é chamado de zona de deposição e, conseqüentemente, é o trecho que apresenta o maior acumulo de sedimentos (Figura 3).

Figura 3 - Processos fluviais predominantes ao longo do perfil longitudinal



Fonte: Adaptado de Fiering (1998)

Christofolletti (1981, p.107), ponderando sobre o comportamento de sistemas abertos, afirma que “o curso de água pode atingir o equilíbrio dinâmico, no qual a importação e exportação de energia e matéria são equacionadas por meio de um ajustamento entre as variáveis componentes”. Em outras palavras, o próprio (Christofolletti, 1990, p. 168) afirma que “o estado de estabilidade representa o funcionamento do sistema no momento em que todas as variáveis estão ajustadas em função da quantidade e variabilidade intrínseca da energia que lhe é fornecida”.

O sistema aberto está sempre buscando estabilidade. Christofolletti (1990, p. 168), salienta que caso haja “alteração no fornecimento de energia (por exemplo, oscilação climática), o sistema reagirá a tais modificações e se desenvolverá até alcançar nova estruturação, no estado

de estabilidade”. A afirmativa do autor se aplica também a ação antrópica e, por se tratar de sistemas fluviais, estão diretamente ligados aos processos de erosão, transporte e deposição. Sobre os processos, é importante lembrar que são interdependentes e, como bem ressalta Sternberg (1998, p. 69), “ao mesmo tempo que a erosão destrói a crista justa fluvial, a deposição, via de regra, vai reconstruindo terras a dentro”. Muito comum nos rios da Amazônia, é fundamental entender como ocorrem esses processos que modelam a paisagem, interferem na navegação e no modo de vida dos ribeirinhos.

#### 1.4.1 Erosão fluvial

O processo erosivo no sistema fluvial começa quando a energia de fluxo da água excede a resistência do material do leito do rio e das suas margens. Christofolletti (1981, p. 235), fazendo uso de uma linguagem mais apropriada, assegura que a erosão fluvial “engloba os processos que resultam na retirada de detritos do fundo do leito e das margens, fazendo com que passem a integrar a carga sedimentar”. Para Bandeira (2005, p. 32) “a erosão fluvial é causada pelas águas dos rios, principalmente na época das cheias, sendo muitas vezes responsável pelo desmoronamento ou escorregamento das margens, que arrastam uma grande quantidade de solo”.

De acordo com Stevaux e Latrubesse (2017, p. 112), “os estudos de erosão fluvial estão intimamente relacionados aos processos de transporte e sedimentação, uma vez que esses fenômenos ocorrem simultaneamente, ainda que variando de intensidade, ao longo do canal de um rio”. Trata-se de um fenômeno natural que envolve a pressão hidrodinâmica, a pressão hidrostática, a neotectônica e os fatores climáticos: chuva, vento e a composição do material das margens. O processo de erosão pode levar vários hectares de florestas durante o período de cheia (WITTMANN et al., 2004). Entretanto, em razão das atividades humanas, o fenômeno pode ser intensificado.

Segundo Zancan Filho e Quadros (2017), as ações antrópicas que mais interferem no processo erosivo do sistema fluvial são as atividades de mineração e as obras de engenharia. No entanto, assim como Carvalho (2012), os autores concordam que o pisoteio das margens pelo gado, a retirada da vegetação para ocupação de comunidades e o deslocamento das embarcações de vários tamanhos e potência também são fatores que potencializam os efeitos erosivos.

O termo “terras caídas” é utilizado popularmente pela população ribeirinha amazônica para designar o processo de erosão fluvial. Devido a escala de grandeza, Carvalho (2012), pesquisador que difundiu a terminologia para o âmbito acadêmico, afirma que nos rios da Amazônia o fenômeno ocorre pela combinação de diversos fatores e assinala a complexidade do fenômeno para a região:

Na região amazônica a erosão de margem é denominada de “terras caídas”. Trata-se de uma terminologia regional amazônica utilizada para designar de forma indistinta os desbarrancamentos que ocorrem nas margens do rio Amazonas e nos 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. É um processo natural complexo, multicausal que acontece às vezes em escala quase imperceptível, pontual, recorrente e não raro acontece de forma catastrófica, afetando em muitos casos extensões quilométricas da margem (CARVALHO, 2012, p.17).

A literatura aponta que, no processo de erosão fluvial, a remoção do material se dá basicamente de duas maneiras: erosão química e erosão física. Conforme Stevaux e Latrubesse (2017, p. 112), na erosão química “o material é dissolvido e transportado sob a forma de solução iônica, como *carga dissolvida*” (grifo dos autores). Em contrapartida, na erosão física, os fragmentos retirados do solo ou da rocha possuem tamanhos variados e adentram o sistema sob a forma de *carga sedimentar* (grifo dos autores).

Assim como Christofolletti (1981), Suguio e Bigarella (1990) concordam que a erosão fluvial ocorre por meio dos processos de corrosão, corrasão e cavitação. A corrosão é um processo químico, ao passo que a corrasão e a cavitação são processos físicos. Stevaux e Latrubesse (2017, p. 118), acrescentam o processo de *erosão por arranque* ou *arranque hidráulico* (grifo dos autores). Os autores reconhecem que a erosão por arranque é pouco disseminada na literatura especializada, tendo sido apresentado pela primeira vez por Hancock, Anderson e Whipple (1996).

#### 1.4.1.1 Corrosão

Tanto Christofolletti (1981) quanto Suguio e Bigarella (1990), caracterizam a corrosão como todo e qualquer processo químico que se realiza a partir do contato entre a água e as rochas superficiais. Segundo Cunha (1998) esta ação corrosiva resulta da dissolução de material solúvel no percurso de infiltração da água ainda no solo. Para Guerra (2005), a corrosão corresponde ao fenômeno de decomposição química das rochas.

Segundo Carvalho (2012, p. 23), “a erosão por corrosão resulta da dissolução de material solúvel durante a percolação da água no solo e da reação que se realiza entre a água corrente e o material que se encontra nas margens do canal”. O autor lembra que por estar diretamente relacionado as condições climáticas, o processo de corrosão ocorre de forma mais intensa em regiões com temperaturas elevadas.

Stevaux e Latrubesse (2017, pp. 112-113), afirmam que “o processo de erosão por dissolução da rocha pela água do canal é genericamente denominado de corrosão”. No entanto, os autores advertem que “a ação química da água sobre a rocha é mais ativa no ambiente intersticial de subsuperfície que no canal fluvial, devido à maior lentidão do primeiro tipo de fluxo em relação ao segundo” (STEVAUX e LATRUBESSE 2017, p. 113).

#### 1.4.1.2 Corrasão

Penteado (1978, p.85) afirma que a corrasão “é o processo mecânico de desgaste pelo atrito gerado pelo turbilhonamento da água carregada de elementos sólidos. Este desgaste abrasivo dá o polimento à superfície do leito”. Para Suguio e Bigarella (1990), a principal causa da erosão fluvial é a ação abrasiva dos sedimentos transportados pela água do rio.

Segundo Christofolletti (1981), refutando os conceitos apresentados sobre o processo de corrasão, somente à carga do leito do rio possui poder abrasivo. Nesse sentido, portanto, as cargas em solução e suspensão não possuem esse poder de abrasão. Para fundamentar essa ideia, Christofolletti (1981) lembra dos rios intertropicais, caracterizados por transportar sedimentos de granulometria fina, e ressalta que nestes a ação fluvial atua mais como um polimento do que como um agente ativo de erosão lateral. O autor também destaca que a corrasão vertical é o entalhamento dos leitos fluviais e a corrasão lateral é o alargamento das planícies de inundação.

#### 1.4.1.3 Cavitação

De acordo com Christofolletti (1981, p. 236), “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”. Para Carvalho (2012), a responsabilidade do aumento da declividade do canal se deve a ocorrência do processo de cavitação, já que este aumento do

declive provoca conseqüentemente o aumento da velocidade e variação da pressão, provocando assim, a fragmentação das rochas.

De acordo com Barnes (1956) apud Stevaux e Latrubesse (2017, p. 118), “o efeito de cavitação é bastante estudado nos problemas com estruturas de engenharia, sobretudo em turbinas, porém o conhecimento desse processo em rios naturais permanece praticamente desconhecido”.

#### 1.4.1.4 Arranque hidráulico

A erosão por arranque é ocasionada pela força do fluxo fluvial que age no sentido de destacar fragmentos do leito e das margens. O processo de erosão por arranque hidráulico é pouco conhecido. Para Stevaux e Latrubesse (2017, p. 118), “para que esse processo ocorra, é necessário que o substrato rochoso se encontre previamente bastante fraturado – por exemplo, que a rocha tenha ligeiramente sofrido intemperismo”.

Sobre a fratura do substrato rochoso, Whipple et al. (2000, p.495) apontaram quatro processos que poderiam realçar o fraturamento, assim como a soltura, ou a disponibilização desses blocos à remoção: (1) intemperismo químico e físico ao longo de fraturas, (2) efeito de cunha clasto-hidráulica (*hydraulic clast wedging*) por parte de areias e cascalho fino na progressiva abertura de fissuras, (3) propagação vertical e lateral de fissuras produzidas por tensões diferenciais instantâneas associadas com o impacto de clastos em saltação e (4) propagação de fissuras por flexuras do leito devido a flutuações instantâneas da pressão pelo fluxo turbulento.

#### 1.4.2 Transporte Fluvial

O transporte fluvial, assim como a erosão, é fundamental para entender como os processos ocorrem no canal. O transporte de sedimentos em um canal fluvial ocorre quase que simultaneamente ao processo de erosão. Basicamente, a erosão envolve a remoção e o transporte de sedimentos e a deposição envolve o transporte e a colocação de sedimentos no limite do canal.

Para Santos et al. (2001), o transporte de sedimentos é um fenômeno complexo que está sujeito aos processos erosivos que ocorrem nas vertentes da bacia hidrográfica, no leito e nas

margens dos rios, da energia do fluxo disponível para o transporte do material e do tipo de material que está sendo transportado. Sobre o material transportado, as partículas mais finas e leves, como as argilas e siltes, precisam de menos energia que as partículas de areia para serem carregadas.

Os rios com escoamento veloz e turbulento, possuem grande capacidade de carregamento de sedimentos, sendo pouco seletivos, ou seja, deslocam sedimentos finos e grossos. Para Hickin (1995), essencialmente, a quantidade e o tamanho do sedimento que se move através de um canal fluvial são determinados por três controles fundamentais: competência, capacidade e suprimento de sedimentos.

A competência refere-se ao maior tamanho (diâmetro) de partículas ou grãos de sedimentos que o fluxo é capaz de mover; é uma limitação hidráulica. Se um rio é lento e se move muito lentamente, ele simplesmente não tem o poder de mobilizar e transportar sedimentos de um determinado tamanho, mesmo que esse sedimento esteja disponível para transporte. Assim, um rio pode ser competente ou incompetente em relação a um determinado tamanho de grão.

A capacidade diz respeito à quantidade máxima de sedimento de um determinado tamanho que um fluxo pode transportar em tração como carga de leito. Dado um suprimento de sedimentos, a capacidade depende do gradiente do canal, da descarga e da dimensão da carga (a presença de partículas finas pode aumentar a densidade do fluido e aumentar a capacidade; a presença de partículas grandes pode obstruir o fluxo e reduzir a capacidade).

De acordo com Hickin (1995), o suprimento de sedimentos refere-se à quantidade e tamanho do sedimento disponível para o transporte de sedimentos. A capacidade de transporte para um dado tamanho de grão só é alcançado se o fornecimento desse calibre de sedimento não for limitante (isto é, a quantidade máxima de sedimento que um fluxo é capaz de transportar está realmente disponível).

Percebe-se que o transporte fluvial de sedimentos está diretamente relacionado com os fatores que controlam as características e o regime dos cursos da água. Christofolletti (1981), destaca alguns fatores: a quantidade e a distribuição das precipitações, a estrutura geológica, as condições topográficas e a cobertura vegetal, que juntos atuam na composição do material intemperizado na bacia hidrográfica, e o carregamento desses materiais até os rios. Stevaux e Latrubesse (2017) concordam com Christofolletti (1981), entretanto subdividem os fatores condicionantes das características do canal fluvial em fatores *autóctones* e *alóctones*:

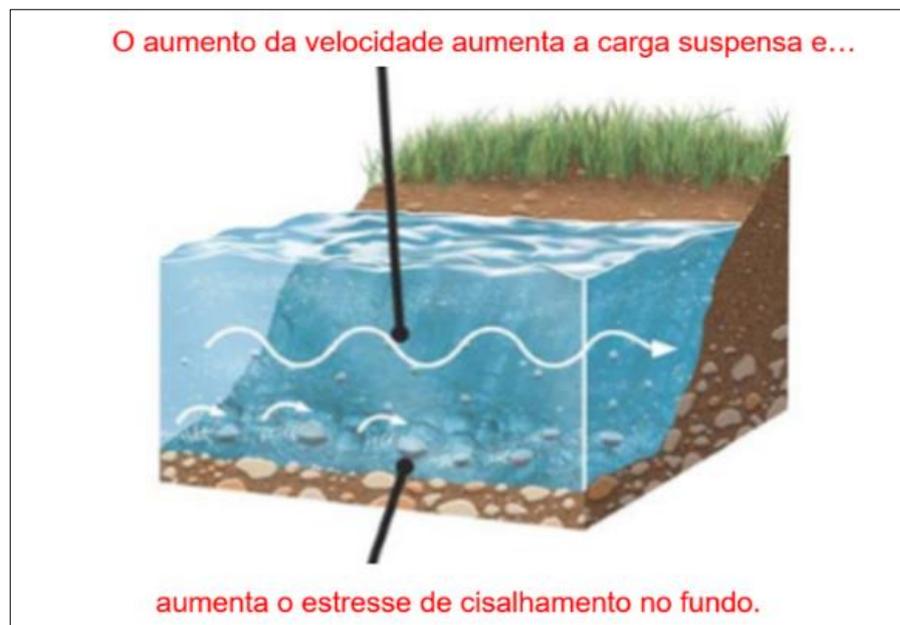
O trajeto ideal começa em um ponto da bacia de drenagem e termina numa bacia deposicional lacustre ou marinha. Contudo, a duração dessa viagem dependerá das condições do sistema, que variam conforme a imposição de fatores *autóctones* (regime hidrológico, padrão de canal etc.) ou *alóctones* (mudanças climáticas, tectonismo etc.). Assim, *formas de leito, barras, ilhas, planícies de inundação e terraços* são depósitos sedimentares fluviais com diferentes tempos de permanência no sistema (de  $10^0$  a mais de  $10^4$  anos) antes de atingirem sua deposição final (STEVAUX e LATRUBESSE 2017, pp. 119-120).

Percebe-se que, apesar da complexidade que há no transporte de sedimentos fluviais, principalmente em razão dos diversos condicionantes, sejam eles autóctones ou alóctones, a água é o agente principal para que ocorra o transporte de substâncias, sejam elas dissolvidas ou arrastadas. Nesse sentido, Suguio e Bigarella (1990), afirmam que é possível agrupar as formas de transporte de sedimentos a partir de três categorias: por tração, por saltação e em suspensão.

#### 1.4.2.1 Por tração

O transporte por tração possui relação com as tensões da carga sedimentar ao longo do fundo do canal provocadas pela movimentação da água. Estes materiais, principalmente areia de maior granulometria e cascalho com arredondamento variável, são mantidos em movimento (rolando e deslizando) pela tensão de cisalhamento (Figura 4).

Figura 4 - Modelo de transporte por tração



Fonte: Adaptado de Press, et al. (2006)

Nos estudos de Suguio e Bigarella (1990), foram observados que as partículas esféricas rolam com maior facilidade em comparação com as menos esféricas e de proporções irregulares. Nesse sentido, também são considerados o volume e a densidade do material transportado.

O transporte por tração está diretamente relacionado ao fluxo, pois à medida que ocorre diminuição da velocidade das correntes ou intensidade da turbulência, as partículas maiores, mais densas e de menor esfericidade vão sendo deixadas para trás.

#### 1.4.2.2 Por saltação

O transporte fluvial de partículas sedimentares que saltam de ponto a ponto, sucessivamente soerguidos e impulsionados em correntes turbilhonadas ou com variação de fluxo é definido pela literatura como saltação (Figura 5).

Figura 5 - Modelo de transporte por saltação



Fonte: Adaptado de Press, et al. (2006)

O movimento por saltação pode ser considerado como fase intermediária entre o transporte por tração e por suspensão. As partículas em saltação localizam-se nas proximidades do leito, formando uma camada como se fosse uma zona acima do leito. A colisão

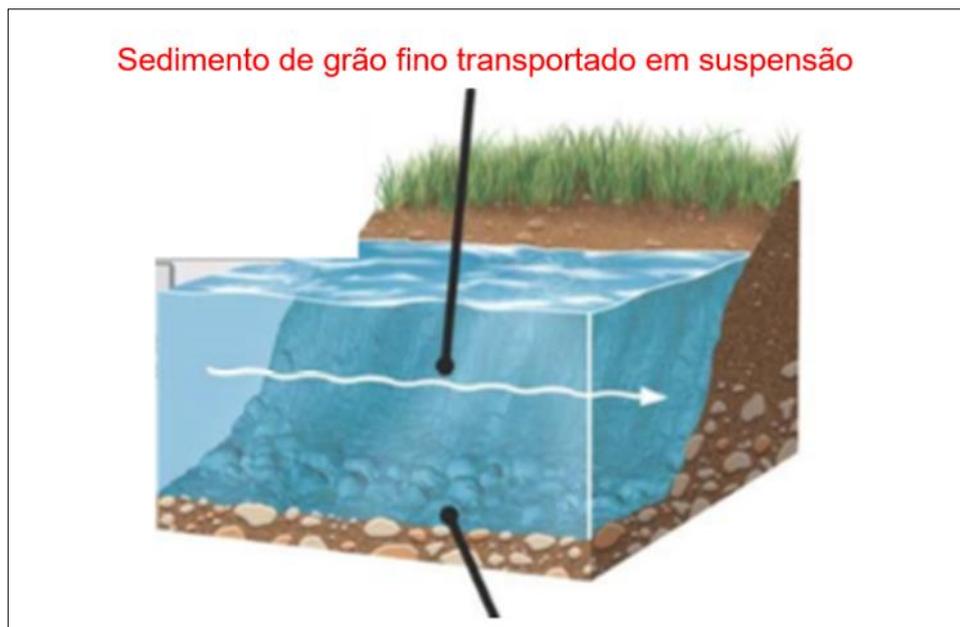
interpartículas mantém a densidade dessa “camada”, que funciona como transicional entre a carga do leito, sempre em contato com o fundo, e as partículas transportadas em suspensão (PRESS, et al. 2006).

#### 1.4.2.3 Em suspensão

O transporte em suspensão inclui tanto partículas provenientes do próprio leito como a chamada carga de lavagem ou carga de finos que é uma espécie de “pano de fundo de sedimentos” derivados da bacia bem à montante (MEDEIROS et al. 2008).

Os sedimentos em suspensão, geralmente argila, são transportados enquanto a turbulência e a velocidade forem apropriadas para que permaneçam suspensos. A partir do momento que a velocidade do fluxo diminui atingindo o limite crítico, as partículas sedimentam. Nesse meio tempo a carga de leito realiza um movimento mais lento do que a água, pois os grãos deslocam-se de maneira intermitente (Figura 6).

Figura 6 - Modelo de transporte em suspensão



Fonte: Adaptado de Press, et al. (2006)

O rio Solimões, classificado como rio de água branca por Sioli (1951), tem como principal característica o transporte de um grande volume de material em suspensão. A grande

quantidade de sedimentos em suspensão contidos em suas águas tem origem nas proximidades da nascente, nos Andes peruanos, e parte são provenientes da dinâmica fluvial erosão/sedimentação que ocorrem ao longo de seu perfil longitudinal.

#### 1.4.3 Deposição fluvial

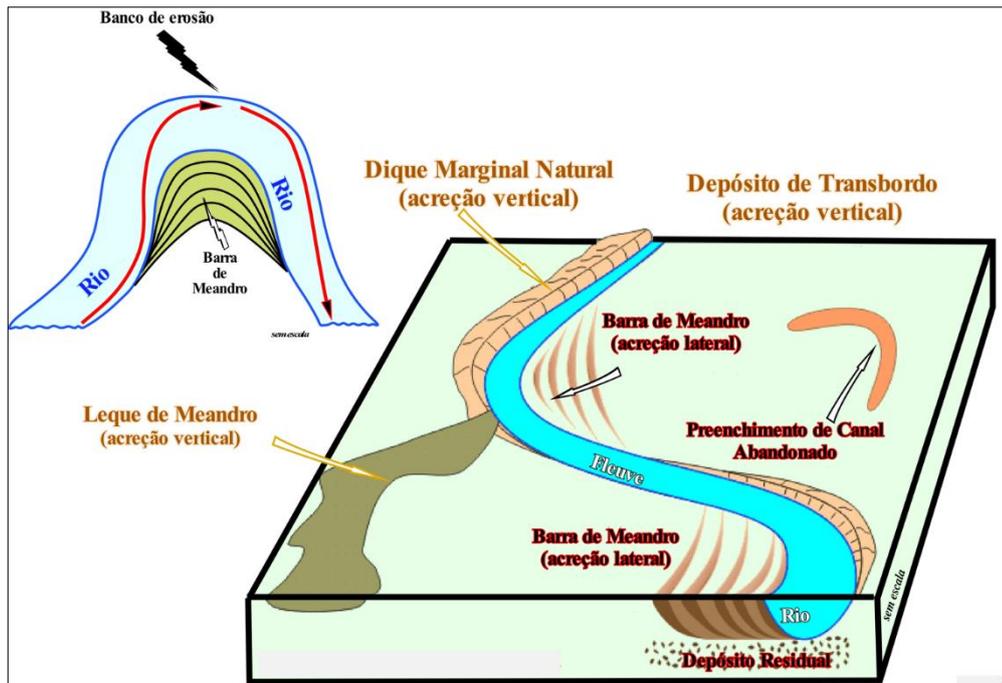
Partilhando da mesma ideia, Suguio e Bigarella (1990), Christofolletti (1981) e Cunha (2013) afirmam que o processo de deposição ocorre quando um rio perde energia. Isso pode acontecer quando um rio entra em uma área rasa (pode ser quando ele inunda e entra em contato com a planície de inundação) ou em direção à sua foz, onde se encontra com outro corpo de água.

O processo de deposição atua tanto no interior quanto fora do canal. Sendo um dos mais presentes em ambientes fluviais, é também um dos maiores responsáveis pelas mudanças nas feições do canal e da paisagem, sobretudo nas áreas de várzeas, muito comum na Amazônia.

As mudanças topográficas, tanto dentro do canal quanto em sua área de transbordamento, proporcionadas pela deposição fluvial não acontecem de uma hora para outra. Dependendo da forma topográfica e da natureza dos materiais apresentados, é possível afirmar de que maneira se deu o processo de deposição. Nesse contexto, a contribuição de Suguio e Bigarella (1990) e Ritter; Kochel e Miller (2002) são esclarecedoras pois, para esses autores, existem diferenças entre acreção lateral e acreção vertical.

A sedimentação de acreção lateral consiste na sucessiva acumulação lateral de sedimentos, principalmente no lado interno da curva do canal meandrante. A acreção vertical ocorre pela sedimentação da carga detrítica em suspensão sobre a planície de inundação, fora do canal fluvial (Figura 7).

Figura 7 - Modelo geológico diferenciando os processos de acreção vertical e lateral



Fonte: Adaptado de Cramez (1990)

Cramez (1990) ressalta que os depósitos originados de acreção lateral provenientes da carga do leito, são responsáveis pela formação das barras de meandro, barras laterais e ilhas aluviais. Para Suguio e Bigarella (1990), relativo à acreção lateral, as barras de meandro constituem os aspectos mais notáveis na paisagem aluvial. Sua origem acontece da predominância do processo erosivo na margem côncava do canal que em seguida depositará o material erodido na próxima margem convexa do canal, à jusante.

Tanto Christofolletti (1981) quanto para Suguio e Bigarella (1990), corroboram que as barras de meandro são predominantes nos períodos de máxima das cheias, porque nas cheias o rio erode a margem côncava, alargando o canal e a deposição, posteriormente, na parte convexa.

Em canais de baixa sinuosidade são encontrados os depósitos do tipo barras laterais. Eles são constituídos nas proximidades das margens em decorrência do fluxo e turbulência serem amortizados nessa parte do canal. Para Suguio e Bigarella (1990, p. 87), no que diz respeito a forma, “a geometria das barras laterais é tridimensional. Um dos lados da barra encosta na parede do canal, enquanto que o outro avança até cerca de 65% da largura do canal. As barras laterais dispõem-se alternadamente de cada lado do canal”.

No que tange às barras centrais, Suguio e Bigarella (1990) ressaltam que em alguns momentos, a corrente é incapaz de transportar sua carga mais grosseira, portanto, esta irá se

depositar dentro do canal, comportando-se como obstáculo no leito, facilitando o acúmulo de sedimentos mais finos. Esse tipo de depósito pode cooperar para o padrão anastomosado do trecho, caso apareçam outros depósitos em sua proximidade.

Suguo e Bigarella (1990) afirmam que em meio aos depósitos derivados de acreção vertical, está o depósito de meandro abandonado. Ele recebe essa designação em decorrência de que quando o processo de crescimento dos meandros ou de anastomosamento se intensifica, modifica o curso gradual do rio, fazendo com que, em alguns períodos determinados meandros não tenham mais ligação direta com o canal principal. Sobre os canais abandonados:

são lentamente preenchidos por sedimentos. No início, as pontas terminais sofrem entulhamento rápido pela deposição dos materiais do leito, promovendo o isolamento com o canal ativo enquanto a velha curva constitui um lago, com a forma conhecida e semelhante ao “chifre de boi”. Posteriormente, a sedimentação é mais lenta e a colmatagem processa-se pela decantação da carga detrítica suspensa, quando das fases de transbordamento (CHRISTOFOLETTI, 1981, p. 233).

A planície de inundação é outro depósito nativo de acreção vertical. Ela é definida como a “faixa do vale fluvial composta por sedimentos aluviais, bordejando o curso de água, e periodicamente inundada pelas águas de transbordamento proveniente do rio” (CHRISTOFOLETTI, 1981, p.243).

Para Alexander e Marriott (1999) a planície de inundação se caracteriza como uma faixa de terreno adjacente ao canal, com relevo mais baixo e sazonalmente inundada e com depósitos formados por partículas sedimentares oriundas do canal principal. Nesse contexto, são encontrados na planície de inundação ambientes complexos como diques marginais, os sulcos e os depósitos de recobrimento e as bacias de inundação.

Diques marginais são seguimentos elevados e descontínuos, em forma de cunha, e que ocorrem imediatamente ao lado de canais (BRIERLEY et al., 1997), com alguns metros de altura, e extensão até quatro vezes superior à do canal associado (CAZANACLI e SMITH, 1998). Sobre isso, Christofolletti (1981) destaca que:

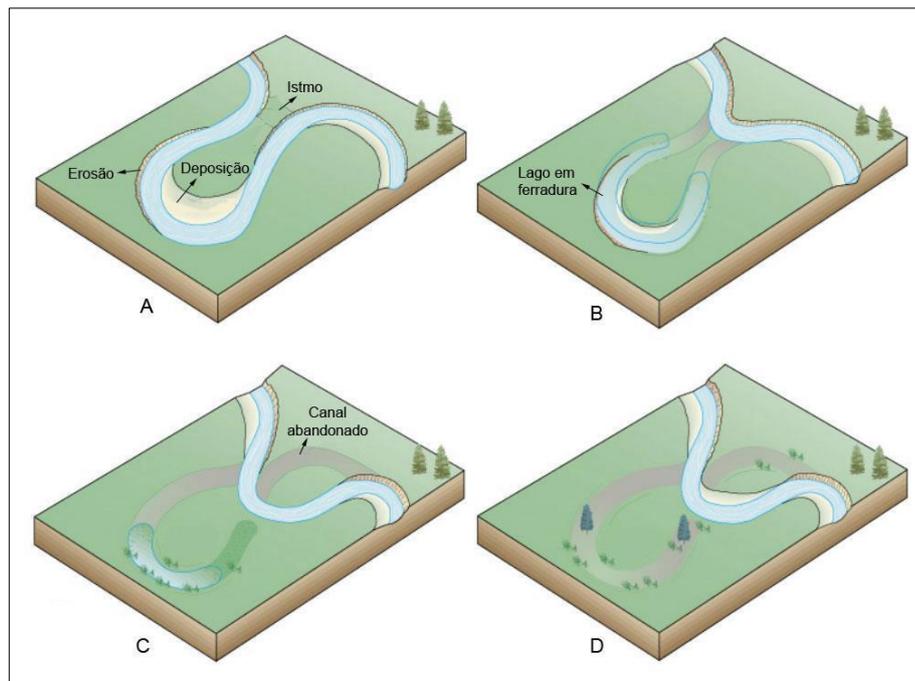
Os diques são melhor desenvolvidos nas margens côncavas dos rios, enquanto no lado convexo, nos cordões marginais, não chegam a se distinguir do crescimento dos referidos cordões. A construção dos diques marginais é processo responsável pela superelevação da faixa aluvial, por onde escoam o curso de água, acima do nível geral da planície de inundação (CHRISTOFOLETTI, 1981, p. 245).

Para Christofolletti (1981), as bacias de inundação são as partes mais baixas da planície, operando como áreas de decantação de sedimentos finos transportados em suspensão. Esse ambiente é pobremente drenado, plano e sem movimentação topográfica.

No período de enchentes, com a subida rápida das águas, outro processo de sedimentação na planície de inundação é favorecido: o rompimento de diques marginais. Nesse contexto, Suguio e Bigarella (1990) mencionam que o decréscimo da velocidade da corrente na planície de inundação ocasiona o depósito de rompimento de dique ou crevassa, que se apresentam os sedimentos mais grosseiros depositados fora do canal. Para eles, que quando esses depósitos acontecem em margem côncava são desprezíveis se associados às margens convexas, que apresentam acumulação de carga de fundo.

Nas planícies de inundação também é comum trechos de canais abandonados. Os canais abandonados, segundo Bridge (2003), são formados a partir de avulsão tanto do canal principal quanto do abandono de canais em diques marginais ou de pequenos canais que drenam a planície de inundação (Figura 8).

Figura 8 - Gênese do processo de abandono e colmatção de um meandro



Fonte: Marques, 2017. A – processos de erosão e deposição; B – rompimento do meandro; C – colmatção; D – cicatriz na paisagem atual.

Na região amazônica, os processos deposicionais estão sempre em evidência nos rios, sobretudo naqueles de água branca como o Solimões, devido a constante dinâmica fluvial. Esse processo, inclusive, é intenso no trecho escolhido para este estudo.

### **1.5 Imagens de satélite nos estudos da dinâmica fluvial**

A fotografia aérea e outros dados de sensoriamento remoto têm sido cada vez mais utilizados como ferramentas para análise da dinâmica fluvial. O sensoriamento remoto é baseado em princípios que envolvem a transferência de energia de uma superfície para um sensor. Para Meneses e Almeida (2012, p. 3), o “Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres”.

Antes da década de 1970, o sensor, no contexto do mapeamento geomorfológico, era geralmente filme fotográfico preto e branco e a plataforma era um avião. Desde o início dos anos 70, no entanto, houve um grande aumento no número de plataformas e de sensores, implicando também em aprimoramentos na resolução espacial e espectral, possibilitando com que os geomorfologistas, tendo acesso a esses dados, aumentassem suas capacidades de análise sobre os processos fluviais que ocorrem num determinado sistema fluvial.

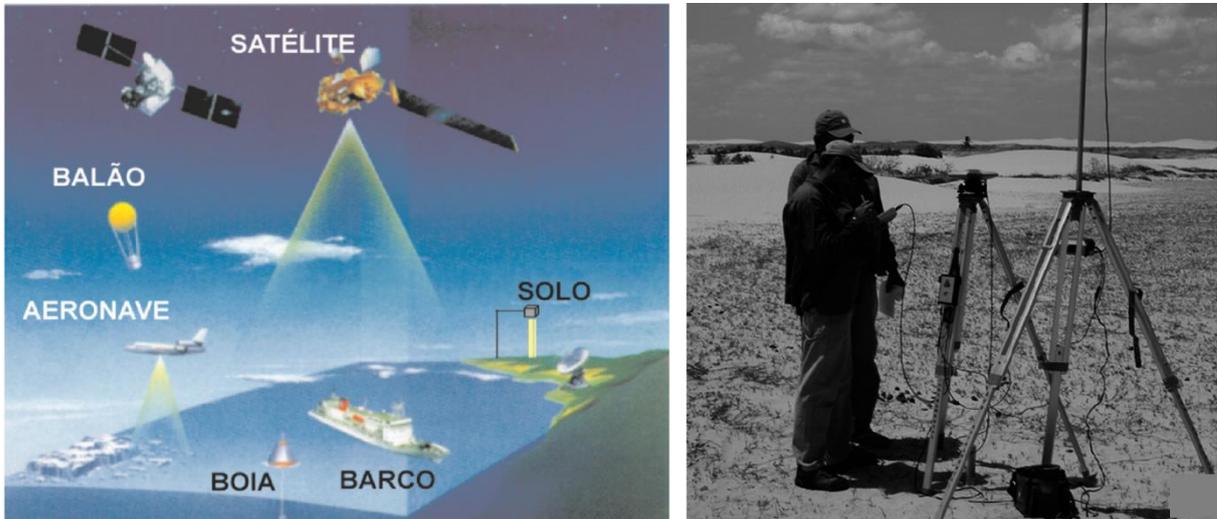
O sensoriamento remoto comparado com a coleta de dados cartográficos e de campo tradicional tem várias vantagens, incluindo melhor resolução espacial e temporal, armazenamento de dados em formato digital e captação da radiação eletromagnética, emitida ou refletida, da terra e da água que não é detectada pelo olho humano.

Vários autores defendem a utilização do Sensoriamento Remoto como uma ferramenta com potencial para auxiliar os estudos em Geomorfologia Fluvial, tais como Igreja e Catique (1997); Rozo (2004); Freitas e Novo (2005); Costa (2007); Novo (2008); Carvalho (2012), Stevaux e Latrubesse (2017), Araújo (2018) e Santos (2018).

Dado o iminente lançamento de sensores de satélites com avanços expressivos da tecnologia, juntamente com melhorias nos sensores aerotransportados, nas câmeras digitais e filmadoras, o futuro é promissor em termos de ganhar cobertura geomórfica de rios em múltiplas escalas. O menor dos fluxos de canal pode também ser estudado usando métodos de

aquisição de dados por meio de sensores montados à mão como, por exemplo, tripé ou guindaste (Figura 9).

Figura 9 - Níveis de coleta de dados em Sensoriamento Remoto



Fonte: Adaptado de Moreira (2001)

É importante destacar que o Sensoriamento Remoto não busca substituir os tradicionais métodos de investigação baseados em campo, mas complementá-los, proporcionando maior cobertura espacial e, em alguns casos, maior resolução temporal. De fato, o real potencial de aplicar as técnicas de Sensoriamento Remoto à pesquisa fluvial só pode ser realizado se os métodos baseados em campo forem realizados para fundamentar os dados detectados remotamente.

#### 1.5.1 Série Landsat e aplicações em Geomorfologia Fluvial

Segundo Florenzano (2008), o satélite EARTS foi o primeiro a obter de forma sistemática imagens terrestres sinópticas de média resolução. O satélite desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) era equipado com sensores *Return Beam Vidicon* (RBV) e *Multispectral Scanner System* (MSS) capazes de coletar imagens separadas em bandas espectrais em formato digital. De acordo com o guia técnico desenvolvido pela NASA (2008), a resolução espacial do satélite ERTS era de 60 metros e a resolução temporal era de 18 dias.

Administrado pela NASA e pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos, a partir de 1975, o satélite EARTS passou a se chamar Landsat-1, marcando o início de uma série que permanece contribuindo para o estudo das evoluções geomorfológicas em diversos rios do mundo.

De 1972 até o presente, já foram lançados oito satélites da série. Em 47 anos, ocorreram mudanças significativas, principalmente nos sensores acoplados. Segundo a NASA (2008), as alterações provocaram redução na resolução temporal (de 18 para 16 dias), aumento da resolução radiométrica (de 06 para 16 bits), diminuição da resolução espacial (de 80 para 15 metros com a banda PAN) e ampliação da resolução espectral (de 04 para 11 bandas).

Os sensores RBV e MSS acoplados no primeiro satélite da série foram utilizados nos dois satélites seguintes. Entretanto, no Landsat-3 houve um aperfeiçoamento no sensor RBV e adição da banda termal no sensor MSS. O quarto satélite da série Landsat inovou com o abandono do sensor RBV e adoção do sensor *Thematic Mapper* (TM). Esse mesmo projeto foi utilizado para colocar em funcionamento o Landsat-5. O Landsat-6 levava consigo o sensor *Enhanced Thematic Mapper* (ETM), no entanto, o satélite não conseguiu entrar em órbita. O sétimo satélite da série passou a operar com o sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+). Nesse último satélite havia a possibilidade de reduzir a resolução espacial pela metade (de 30 para 15 metros) com a banda pancromática.

Desde 11 de fevereiro de 2013 está em funcionamento o Landsat-8. De acordo com a NASA (2013) esse satélite é o melhor da série. O oitavo satélite da série opera com 11 bandas espectrais incluindo a banda pancromática com resolução espacial de 15 metros. Destas 11 bandas, 9 são utilizadas para o estudo de uso e ocupação do solo. Elas são obtidas por meio do sensor *Operational Land Imager* (OLI). O sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), também acoplado no Landsat-8, é responsável pela captura de cenas na faixa termal do espectro eletromagnético.

A série Landsat contribui para que sejam feitas análises multitemporais sobre a dinâmica dos rios em diversos lugares do globo terrestre. No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é o responsável pelo recebimento das imagens desde 1974. A grande quantidade no acervo do INPE e a gratuidade das imagens permitiram que muitos geomorfólogos se interessassem pelos estudos envolvendo as transformações em ambientes fluviais. No país, a Amazônia, devido possuir a maior bacia hidrográfica do mundo e apresentar dinâmicas fluviais muito intensas, é a principal preocupação de pesquisadores da área.

## **CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA**

Neste capítulo são abordadas as propriedades fisiográficas da área de estudo, apresentando as peculiaridades geológicas, geomorfológicas, pedológicas, climáticas, hidrológicas e de formações vegetais. A descrição foi fundamentada em bibliografias tradicionais e contemporâneas. Observa-se aqui a interação dos elementos naturais que permitem o entendimento das constantes evoluções do canal fluvial e, conseqüentemente, as mudanças que ocorrem na paisagem que interferem nos fatores sociais e econômicos.

### **2.1 Bacia Hidrográfica Amazônica**

A rede de drenagem da bacia Amazônica é composta por rios, igarapés, lagos, paranás e furos. As atuais análises mostram que o sistema fluvial amazônico é composto por alguns aspectos estruturais, tectônicos, variações climáticas e pelas flutuações da altura oceânica (FRANZINELLI e IGREJA, 2002). Do mesmo modo, o conceito predominante é que tais aspectos exerceram função essencial na geomorfogênese e na configuração dos vales recentes.

Para compreensão do sistema fluvial amazônico, torna-se importante resgatar ocorrências geológicas datadas há 200 milhões de anos, visto que a origem e a evolução da bacia Amazônica ocorreram neste período e estão associadas as movimentações continentais que preservaram a Orogenia Andina e as alterações climáticas, principalmente as flutuações da altura oceânica realizadas no decorrer do Quaternário (CPRM, 2008).

Ainda neste período acontece a formação do supercontinente na Terra, a Pangea. Nesta ocasião, o rio Amazonas movimentava-se de leste para oeste, em direção ao oceano Pantalassa, ou seja, no sentido do atual Oceano Pacífico, conforme afirma Alecrim et al., (2002) “há aproximadamente 200 milhões de anos, iniciou-se o demorado processo de desacoplamento do supercontinente e, conseqüentemente, uma nova configuração de terras e oceanos surgiram”.

Com o passar dos anos ocorre o deslocamento da placa Sul-Americana para oeste no sentido à placa de Nazca, surgindo assim o oceano Atlântico e, conseqüentemente dando origem a Cordilheira dos Andes (MIRANDA, 2007). A evolução da Cordilheira do Andes iniciou-se no fim do Cretáceo, abrangendo totalmente o terciário e princípio do Quaternário, ocasionando alterações relevantes no noroeste da Amazônia, em alguns fatores como: situações climáticas,

modelos de drenagem, rota de transporte e paleoambientes (ROZO, 2004). O mesmo autor relata que no mínimo quatro fases evolutivas derivaram somente na nova formação do percurso do rio Amazonas a caminho do Atlântico, as quais são:

**I. Princípio do Terciário:** O sistema fluvial do norte da América do Sul mudava para o Caribe, ao mesmo tempo que no noroeste do continente caminhava-se para o Pacífico por meio de uma paleodrenagem citada como Sanozama que atuava no golfo de Guayaquil, com cabeceiras na região do Arco do Purus; o interflúvio orientava o antigo Amazonas para leste. Nesta época, o geossinclinal andino iniciava a sua evolução.

**II. Neo-oligoceno e princípio do Meso-Mioceno:** A Cordilheira Central (Andes colombianos) indicava um sistema fluvial com migração para o leste. Fragmentos da Cordilheira Oriental iniciavam sua evolução. Juntamente, as drenagens expandidas mediante as bacias intracratônicas do Solimões-Amazonas, à leste, mostravam baixa curva com rotas de transporte para noroeste, com o Escudo das Guianas como essencial origem de sedimentos. Essa drenagem estruturava os afluentes do velho sistema do rio Orinoco, com seu percurso orientado para norte, e formava um delta no vigente lago de Maracaibo.

**III. Meso-Mioceno:** O erguimento da Cordilheira Oriental permitiu uma reforma do velho rio Solimões-Amazonas, do qual o modelo de drenagem e origem de sedimentos alteraram para NW, e desenvolveram sistemas flúvio-lacustres e estuarinos, possivelmente interligado como o paleo-rio Orinoco. Incursões marinhas, provavelmente por meio de uma conexão com o Caribe, foram relacionadas aos estágios de altura do nível do mar.

**IV. No meio do Neo-Mioceno e o Holoceno:** A parcela oriental da cadeia montanhosa e os Andes venezuelanos apareceram evoluídos e nas depressões marinhas do Caribe apareceram, depositadas, sucessivas camadas de sedimentos pós-orogênicos. Por isso, a ligação do rio Amazonas com o Caribe foi fechada pelas últimas evoluções e respectiva queda do nível do mar. Igualmente, o sistema fluvial amazônico ficava determinado com uma nova forma, neste caso com migração para o Atlântico.

Com o percurso do sistema de drenagem da bacia Amazônica para o Atlântico, ainda assim permaneceu ocorrendo modificações por causa das alterações climáticas que aconteceram no princípio do Quaternário. Em virtude desta mudança do clima em nível mundial nos hemisférios norte e sul, os oceanos e mares passaram por vasta modificação de nível no período glaciais e interglaciais (SUGUIO, 2008).

As variações do nível oceânico são de vasta relevância para compreensão do presente formato do sistema fluvial do rio Amazonas e de seus afluentes devido a fusão de três aspectos fundamentais: a vasta dimensão no decorrer dos percursos d'água das formações neógenas que foram naturalmente esculpidas; os altos deflúvios dos percursos d'água; e o insuficiente aclive do percurso médio e inferior da bacia (TRICART, 1977).

No Último Máximo Glacial durante aproximadamente 18 mil anos, parte de gelo extraída sobre os continentes produzia 5 a 6% da totalidade de água da Terra, ou seja, bem mais que o dobro da quantidade vigente que é de proximamente de 2%. Assim sendo, os níveis dos oceanos, em escala global, encontravam-se 80 a 130 metros abaixo do atual e porções mais rasas do fundo oceânico, designadas no momento de Plataforma Continental encontra-se praticamente absolutamente emersas, visto que sua altura média é de 130 metros (SUGUIO, 2010).

A temperatura da Terra e o elevado nível dos oceanos e mares no período interglaciais, estabeleceu com que o desenvolvimento ocorresse inverso. Acerca dessas condições, sucedeu a redução da aceleração dos rios e a sufocação das bacias exorréicas que tiveram seus vales afogados cheios dos seus respectivos sedimentos, estendendo deste modo sua elevação do nível de base e ampliando sua área de inundação (SUGUIO, 2008).

Estes desenvolvimentos ocorrem em virtude da carga de sedimentos de qualquer rio em distintas velocidades. Os rios Tapajós, Xingu e Negro possuem baixas concentrações de sedimentos, os quais até o momento não alcançaram completar seus vales afogados. Em vista disto, estes rios têm seus percursos inferiores, largura e profundidade que não representam à concentração de água carregada (JUNK, 1983).

Em contrapartida, os rios Amazonas, Purus e Madeira carregam alta concentração de sedimentos, os quais abarrotaram praticamente todos os seus vales. Diante disto, a quantidade de água a ser carregada depende da largura e profundidade dos leitos de seus rios. No último glacial há cerca de 18 mil anos e colmatados há cerca de 15 mil anos, os velhos leitos erodidos modificaram as planícies inundáveis que apenas no decorrer das grandes enchentes são totalmente inundadas (JUNK, 1983).

Dado o período Pré-Cambriano, a essência da região amazônica, está interligada a dois acontecimentos: o mais velho gerou a formação dos terrenos granito-greenstones e dos cinturões de elevado nível metamórfico; e o segundo foi o encarregado pela construção de

vários baixios deposicionais. O fim do Ciclo Brasileiro em sua difusão de impulso, a qual originou-se a bacia amazônica (CUNHA et. al, 2007).

Segundo Bemerguy e Costa (1991), relatam que no período Paleozóico, o alicerce tectônico era edificado por domínios estruturais que dominam a composição global das linhas mestras de drenagem: o Arco de Purus na orientação NW-SE e as bacias do Amazonas e Solimões, prolongadas na orientação ENE-WSW. Diante disso, provavelmente o Arco do Purus atuou como um separador natural entre os dois rios: o que percorria para o leste denominava-se rio Amazonas e o que percorria para o oeste intitulava-se Solimões.

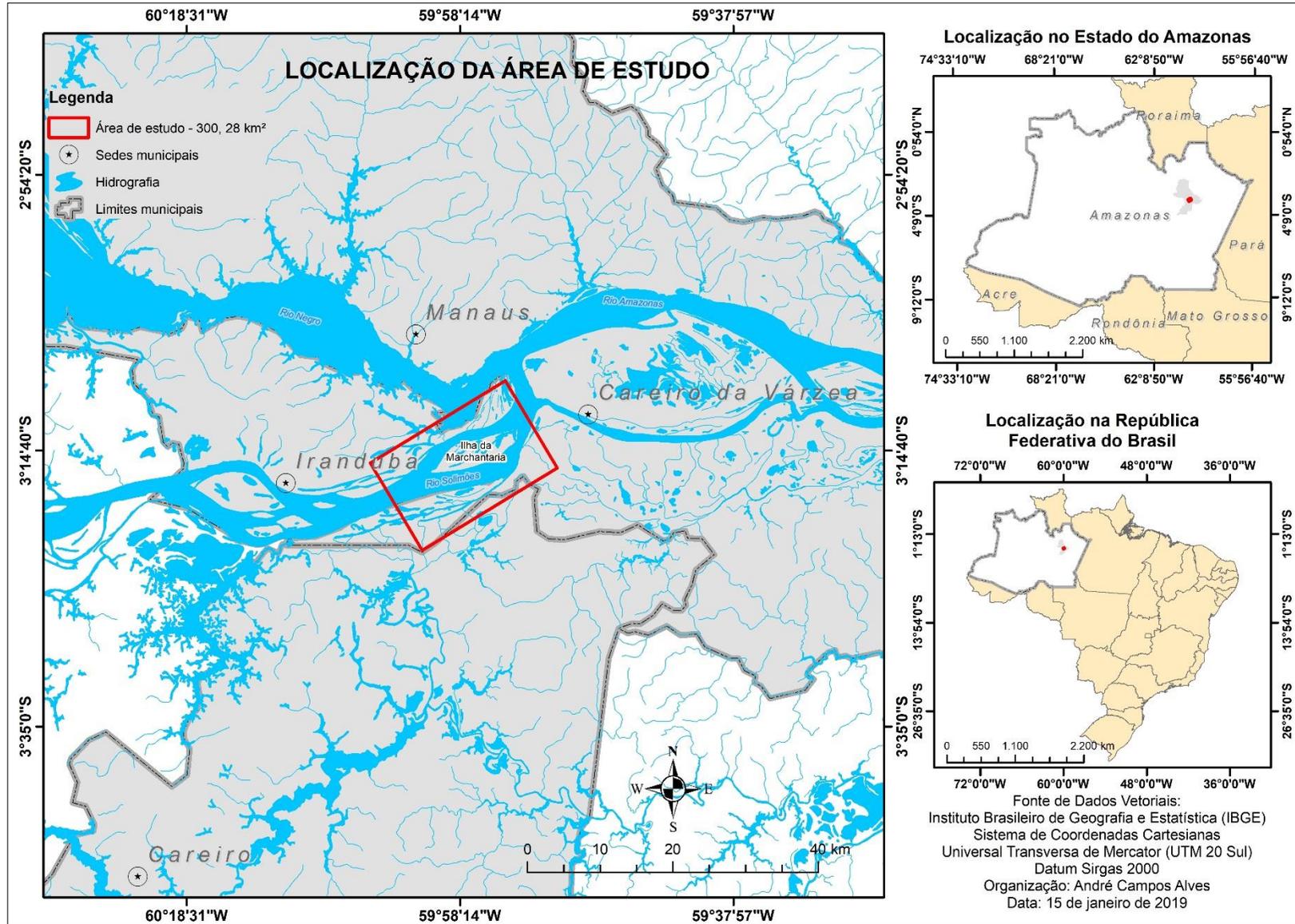
Com aproximadamente 1.700 km de comprimento, o rio Solimões apresenta vários pontos onde são visivelmente notados o trabalho da água na transformação da paisagem. O item a seguir apresenta o trecho escolhido do rio Solimões escolhido para este trabalho, destacando as particularidades encontradas que interferem diretamente na dinâmica do canal.

## **2.2 Área de estudo**

O trecho do rio Solimões selecionado para este estudo está localizado há aproximadamente 15 quilômetros a montante da sua confluência com o rio Negro. A área abrange toda a extensão da ilha da Marchantaria, um elemento natural relevante que participa diretamente na dinâmica do canal. Situada na calha central do canal, no baixo curso do rio Solimões, a ilha da Marchantaria caracteriza este trecho como anabanches (FORTES, 2014).

Para abarcar toda a extensão da ilha, faz-se uso de uma figura matemática, um losango quadrilátero com área equivalente a 300, 28 km<sup>2</sup>, interceptando os territórios da capital do estado do Amazonas, os municípios de Iranduba, Careiro da Várzea e Careiro Castanho (Figura 10).

Figura 10 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: IBGE (2010). Org.: O autor, 2019

Para Nanson e Knighton (1996) os rios anabranches consistem em um padrão de canais múltiplos separados por ilhas estáveis e largas em relação ao tamanho do canal e dividem o fluxo de descargas até aproximadamente as margens plenas.

### **2.3 Componentes naturais da paisagem**

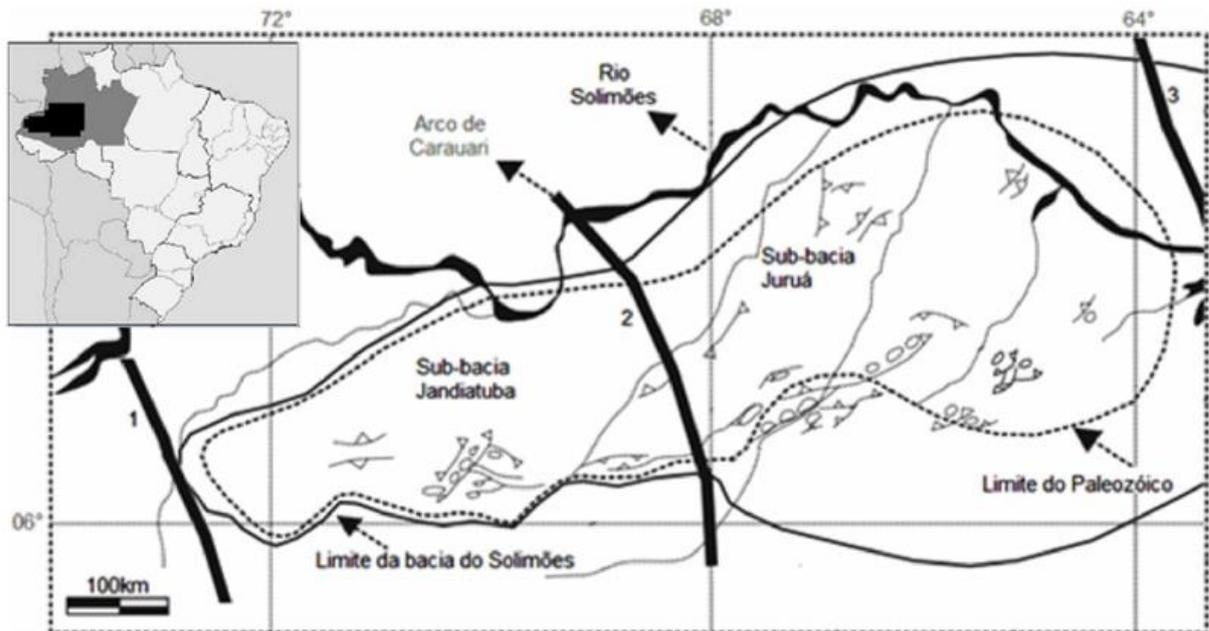
Por se tratar de um sistema complexo que se relaciona com outros sistemas, é fundamental conhecer os aspectos naturais da Amazônia para compreender a dinâmica fluvial dos rios, em especial o rio Solimões. Neste item, são elencadas as características dos elementos naturais que compõem a paisagem, dando ênfase para aquelas que estão presentes na área de estudo.

#### **2.3.1 Geologia**

A bacia sedimentar do Solimões, caracterizada como uma bacia paleozóica intracratônica, possui uma área de aproximadamente 950.000 km<sup>2</sup> (ONIP, 2004). Trata-se de uma região com história geológica longa e complexa, onde se depositaram espessas sequências de rochas sedimentares paleozóicas e mesozóicas, algumas com forte magmatismo básico e alcalino associado. Essas rochas sedimentares afloram em área superior a 3.500.000 km<sup>2</sup>, remanescente de superfície primitivamente muito maior, cujos sítios deposicionais foram condicionados por estruturas herdadas do Ciclo Orogenético Brasileiro-Pan-Africano (MILANI e THOMAZ FILHO, 2000).

De acordo com Eiras (1999), a bacia sedimentar do Solimões encontra-se limitada ao norte pelo Escudo das Guianas, ao sul pelo Escudo Brasileiro, a leste pelo Arco de Purus e a oeste pelo Arco de Iquitos (Figura 11). Dentre estes, importante destacar o Arco de Iquitos, pois, conforme Elias et al. (2004), separa as Bacias Subandina de Pastaza, no Peru e Acre, no Brasil. A Bacia do Solimões subdivide-se em duas sub-bacias (Juruá, a leste e Jandiatuba, a oeste) por uma feição estrutural proeminente de direção NW-SE denominado Arco de Carauari. Este arco teve controle determinante na distribuição de fácies e espessuras sedimentares na Bacia do Solimões, especialmente durante o pré-Pensilvaniano.

Figura 11 - Localização da Bacia do Solimões e suas sub-bacias



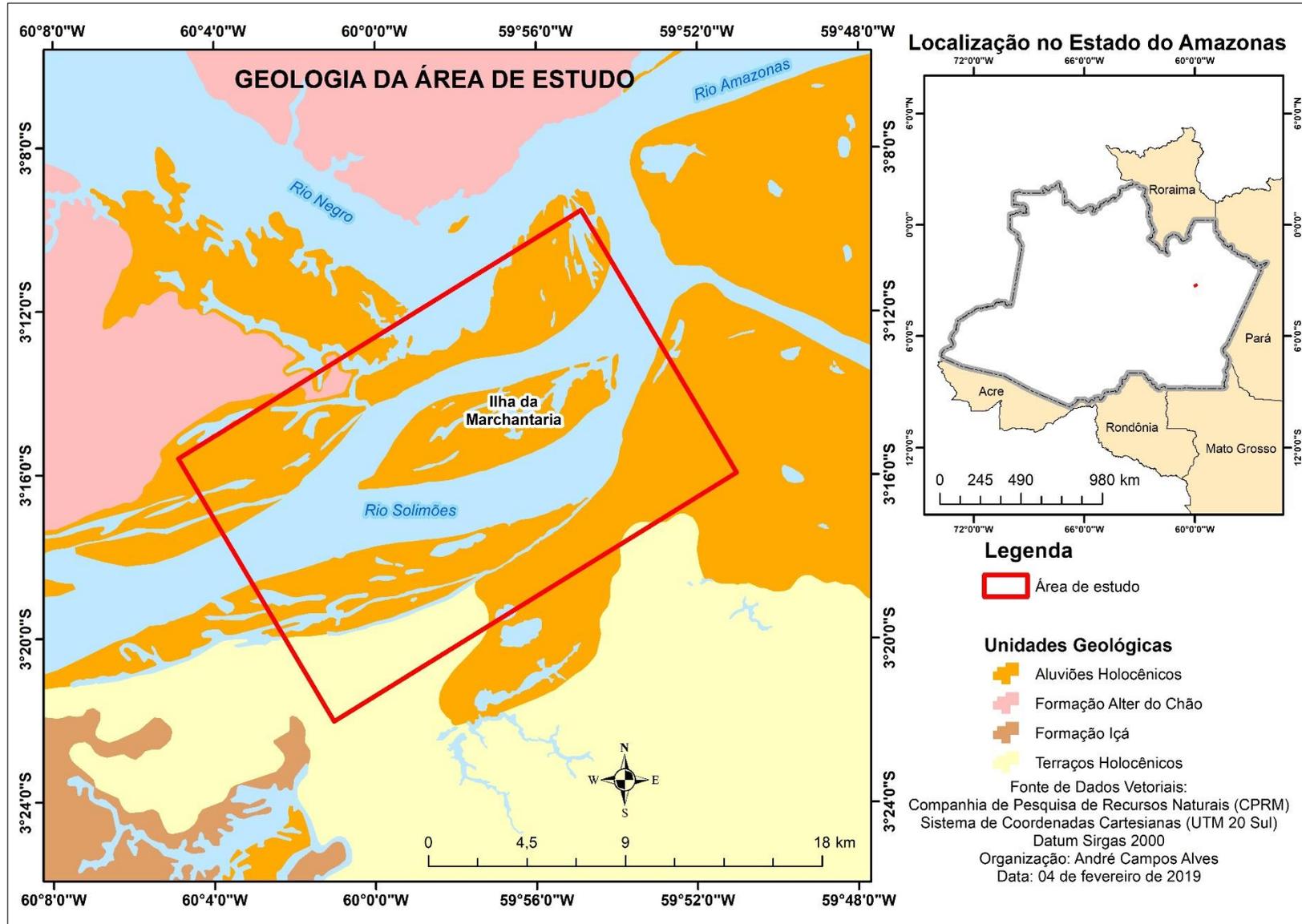
Fonte: Adaptado de Elias et al. (2004). Legenda: 1 – Arco de Iquitos, 2 – Arco de Carauari, 3 – Arco de Purus.

Na área de estudo é possível encontrar as unidades Formação Alter do Chão, Terraços Holocênicos e as Aluviões Holocênicos (Figura 12). Dentre estas, a Formação Alter do Chão se faz presente em uma área menor. A litologia dominante, em bacias intracratônicas, nesse tipo de unidade é a siliciclástica e a deposição em condições de paleoclima quente.

Os Terraços Holocênicos são unidades geológicas de origem Cenozoica, porém do Quaternário, formadas por depósitos que mostram características típicas de planície fluvial, isto é, são constituídos por cascalhos lenticulares de fundo de canal, areias quartzosas inconsolidada de barra em pontal e siltes e argilas de transbordamento (CAVALCANTE, 2006).

Presente em mais de 90% da área de estudo, as unidades Aluviões Holocênicas são depósitos que acompanham os cursos d'água que fazem parte da Planície Amazônica, registrando a evolução da rede de drenagem instalada na região. As Aluviões Holocênicas podem ser separadas em atuais e indiferenciadas antigas. As aluviões antigas têm uma distribuição descontínua (diferente das atuais) e concebem marcas dos diferentes comportamentos dos agentes deposicionais. Estas marcas denotam os movimentos dos meandros e a presença de diques aluviais. Os tamanhos destas formas assemelham-se aos das planícies (RAPP PY-DANIEL, 2007). As atuais planícies fluviais são geralmente amplas e os cursos de água têm padrão predominantemente sinuoso ou meândrico.

Figura 12 - Mapa das unidades geológicas da área de estudo



Fonte: IBGE (2010). Org.: O autor, 2019

### 2.3.2 Neotectônica

Em relação a neotectônica, a região Amazônica é conhecida por estruturas, sucessões sedimentares, modelos de rede de drenagem e sistemas de relevo, das quais estas particularidades vêm sendo sucessivamente descritas e publicadas.

Os dados pioneiros são descritos por Sternberg (1953), a partir de pesquisas ao entorno do município de Manaus, mostrando a existência de lineamentos que dominam parcela da recente rede de drenagem, a ocorrência de terremotos em vastas regiões e a evolução de falésias, eventos denominados “terras caídas”, sob domínio de falhas nas margens dos principais rios.

Segundo Costa (1991), na região amazônica as séries sedimentares do Terciário Inferior ocorrem especialmente nas bacias do Amazonas (Formação Alter do Chão), Marajó (parte da Série Pós-Rifte) e Parnaíba (Formação Ipixuna), apresentando os registros das últimas ocorrências do Fenômeno Sul-Atlântico, de natureza essencial, nesse domínio continental intraplaca. Nesses fragmentos e outras bem mais velhas tornou-se um perfil laterítico maturo, concedido ao Eoceno-Oligoceno, representando uma relevante época de equilíbrio tectônico.

Alguns estudos como de Costa et al. (1994); Borges et al. (1995); Ferreira Jr. et al. (1996), relatam que ultimamente ocorreram processos de estruturação, morfogênese e sedimentação que ocorre até nos dias atuais, associados com a ocorrência da Neotectônica, do qual processo tectônico é de forma transcorrente. Dois batimentos de pesquisa de recursos naturais de movimento transcorrente são caracterizados, do Mioceno/Plioceno e do Pleistoceno Superior/Recente, as quais as mudanças estão se interligando através de feixes de falhas, criação de depósitos sedimentares e controle de modelos de drenagem e sistemas de relevo.

Deste modo, identifica-se um fenômeno tectônico equivalente ao Fenômeno Sul-Atlântico (SCHOBENHAUS e CAMPOS 1984) ou Reativação Wealdeniana (ALMEIDA 1967), do Mesozóico/Paleógeno, definido pelo sistema essencial extensional, e outro equivalente à Neotectônica, do Mioceno/Recente, visto por sistema de natureza essencial, como reconhecido anteriormente por Hasui (1990).

A morfologia da ilha da Marchantaria está equilibrada pelo Rombograben (separação tectônica de distensão, em formato de losango ou triangular) Manaus - orientação geral N40E, localizado na última parte do rio Solimões, referindo-se tanto a orientação adotada quanto localidade do estiramento (distensão) neotectônico (IGREJA, 2012). De acordo com Igreja

(2011) a evolução desse Rombograben relaciona-se ao sistema de falhas transcorrentes dextrais atuais que acontece no Encontro das Águas de Manaus, isto é, no cruzamento das orientações estruturais N40E, N65W e N75E (Figura 13).

Figura 13 - Feições da Neotectonica da área de estudo



Fonte: Igreja e Franzinelli, (2007).

Conforme observado na Figura 3, a localização do Rombograben Manaus e suas associações espaciais com as principais intersecções neotectônicas que manipulam a área do Encontro das águas. A seção meridional do Rombograben é determinada pelos lineamentos Curari - N40E e Manaquiri - N75E. Uma parcela da Falha Paciência Leste - N65W e o extremo a sudoeste. A margem norte é limitada pela Falha Aleixo - N40E, o extremo nordeste certamente é determinado pela Falha do Careiro - N65W.

A ilha da Marchantaria mostra o desvio de N75E para N40E do canal do rio Solimões, ou seja, que corre de oeste e forma uma sinuosidade antes da ligação com o rio Negro, como a subsidência tectônica do Rombograben Manaus (FRANZINELLI e IGREJA, 2012). Essa sustentação tem resultado na diminuição de capacidade (baixa energia) do rio Solimões nesta

área e, em consequência houve adição da deposição fluvial holocênica e alteração no formato fisiográfico da ilha em estudo (IGREJA, 2007).

Diante disso, Igreja (2007, 2012) relata que para ilha da Marchantaria foi necessário definir a fragmentação morfotectônica - Planície Aluvial de Origem Tectônica, fundamentado em consequência neotectônicas sobre a área pesquisada. Essa seção é definida por uma pequena alteração altimétrica (plana a um pouco plana), com desníveis regionais menores que 15 m no período da seca, desta forma nas regiões planas (centro-leste da ilha) estes desníveis são aproximadamente até 1 m de altura. Geralmente, mostra topos planos a curvado, com vertentes côncavas e pouco sinuosas, principalmente nos bancos arenosos sinuosos, estreitos e longos.

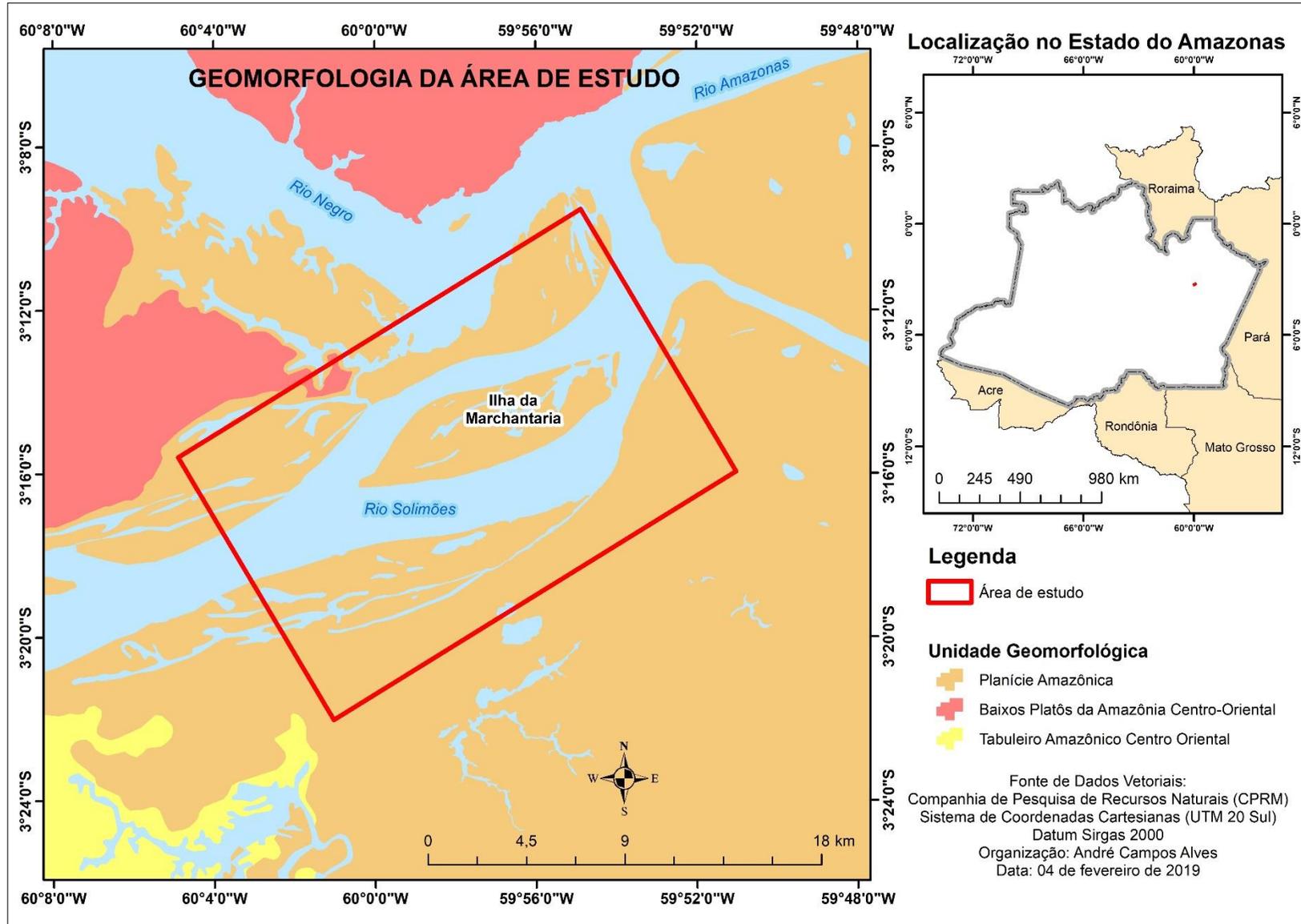
Com base no ajuste dos elementos neotectônicos que condicionam as formas quaternárias recentes, assim como o desenvolvimento dos aspectos fisiográficos da ilha da Marchantaria, foi possível subdividir a compartimentação da Planície de Acumulação Aluvial de Origem Tectônica de montante para jusante em duas unidades bem distintas: Depósito Aluvial Sub-recentes e Depósito Aluvial Recente (FORTES, 2014).

### 2.3.3 Geomorfologia

A geomorfologia tem a função importante de correlacionar as dinâmicas biológicas e geográfica, pois os fundamentais ciclos bioquímicos destacam as inter-relações entre a biodiversidade, assim como sua classificação geográfica, com os geomorfológicos (PEREIRA e ALMEIDA, 2000). Desta forma, os mesmos autores ainda relatam que as mudanças climáticas e geomorfológicas no ambiente facilitam a ocupação e expansão de organismos pioneiros, sobre várias feições do relevo, e admite a extinção daqueles estabilizados e especializados.

O trecho apresentado para a área de estudo apresenta duas unidades geomorfológicas: Baixos Platôs da Amazônia Centro-Oriental e Planície Amazônica. Esta última abrange mais de 90% da área de estudo (Figura 14).

Figura 14 - Mapa de Geomorfologia da área de estudo



Fonte: IBGE (2010). Org.: O autor, 2019.

### 2.3.3.1 Baixos Platôs da Amazônia Centro-Oriental

Os Baixos Platôs da Amazônia Centro-Oriental, denominado por Mauro et al. (1978) de “Planalto Dissecado do Rio Trombetas”, são definidos por baixos terrenos com cotas inferiores a 200 m. Em certas regiões, os platôs são alicerçados por rochas sedimentares cretáceas da Formação Alter do Chão, e também são dissecados em um relevo de colinas tabulares, formato que é atribuído, em especial, a região norte do município de Manaus. Deste modo, a morfologia passa por um enorme sistema de criação de compactos perfis intempéricos lateríticos, com evolução de horizontes ferruginosos concrecionários e horizontes aluminosos, em vários locais dos tabuleiros e das superfícies aplainadas pela Amazônia inteira (COSTA, 1991; HORBE et al., 1999).

A gênese dos baixos platôs dissecados começa com o desfecho deposicional da Bacia Sedimentar do Amazonas, ou seja, com o término da sedimentação da Formação Alter do Chão durante o Cretáceo. Logo em seguida, a obstrução da Bacia do Amazonas, em um certo período do Paleógeno, a bacia passou por um processo de epirogênese que baixou o grau de base local e levantou os depósitos cretácicos. Particularmente, estes eventos apresentaram a Formação Alter do Chão uma erosão em uma área menor, sendo que a nova área deposicional no período Neógeno foi referir-se da Amazônia Ocidental (IBANEZ e RICCOMINI, 2011). Os sistemas de franca esculturação destes baixos platôs do mesmo modo mostram um elemento neotectônico, como visto em vários perfis lateríticos apresentados em aberturas de estradas e na perceptível conformidade dos principais afluentes da margem esquerda do rio Amazonas, como os rios Preto da Eva, Urubu, Uatumã, Jatapu e Nhamundá.

No entanto, este domínio geomorfológico abrange toda a região de dimensão da Bacia Sedimentar do Amazonas, com vasto domínio de casos da Formação Alter do Chão. Contudo, nas margens dessa bacia, nas extremidades com o fundamento dos escudos pré-cambrianos, acontecem afloramentos das formações basais da Bacia do Amazonas, assim como as formações Nova Olinda e Nhamundá. Nestas regiões, os platôs são relativamente mais altos e conservados, visto na área de Balbina vila do município de Presidente Figueiredo. Desta forma, os baixos platôs não dissecados e conservados por crostas detrito-lateríticas apresentam um fato fisiográfico de muita importância para o entendimento do desenvolvimento geomorfológico dos terrenos dissecados e de florestas ao norte da cidade de Manaus (COSTA et al., 1996).

As superfícies tabulares dos baixos platôs são geralmente truncadas por rebordos erosivos com desníveis que alteram entre 20 e 50 m, sob os mesmos crescem os fundos de vales recentes, resultantes da dissecação das velhas superfícies pediplanadas e/ou etchplanadas. As bordas erosivas são firmadas por cornijas firmes a erosão, originárias do afloramento da couraça ferruginosa. Dessa forma, os baixos platôs apresentam os últimos relevos das superfícies aplainadas e realçam a paisagem por diferentes tipos de erosões (CPRM, 2010).

Em síntese, os soltos topos dos baixos platôs, firmados pelas couraças lateríticas, apresentam em região o grau original da Superfície Velhas, de idade pliopleistocênica. Contudo, os basculamentos neotectônicos que representam a superfície erosiva originária, particularmente as deformações, foram comprovadas pelos truncamentos dos perfis lateríticos em várias aberturas de estrada na área (CPRM, 2010).

Portanto, os terrenos assentados nos baixos platôs da Amazônia Centro-Oriental se apresentam em uma região considerada de crescimento econômica do estado do Amazonas. Esta região corresponde a margem esquerda do rio Solimões/ Amazonas, as cidades de Manaus, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva, Itacoatiara e Silves e na margem direita encontra-se o município de Maués.

#### 2.3.3.2 Planície Amazônica

Para Sternberg (1998), a planície amazônica possui duas formas de paisagens diferenciadas entre si: as várzeas e as terras-firmes. O ambiente de várzea passa por processo de erosão e deposição o qual tem ocasionado alterações em sua paisagem. Ainda segundo Sternberg, os rios de várzea correm por meio de formações sedimentares que os mesmos depositaram, desta forma, inserindo ou retirando sedimentos nas barras marginais que estão submetidos a ocorrência dos processos erosivos.

Nascimento et al. (1976) identificam a planície quaternária do rio Solimões/Amazonas como planície fluvial alagada e planície inundável. Deste modo a várzea é chamada de planície fluvial alagada, classificação dada em situações normais do regime hidrológico do rio Solimões/Amazonas. Neste período inicia-se a cheia dos rios nos três primeiros meses do ano, quando a várzea é categorizada como planície inundável e acontece seu total alagamento pelas águas do rio, isto ocorre somente ao longo das grandes enchentes.

As planícies de inundação e terraços fluviais são áreas com grande proporção que possuem dezenas de quilômetros de espessura e ocorre no curso dos principais canais-troncos da bacia hidrográfica dos rios Solimões/Negro/Amazonas. Nestas regiões os formatos do relevo apresentam uma grande importância durante os grandes fundos de vales dos rios Solimões, Amazonas, Negro Madeira, Purus, Juruá, Javari, Negro, Içá e Japurá. As planícies e os terraços fluviais se constituem nas distintas zonas deposicionais e dinâmica na Amazônia (MARINHO e MELO, 2009).

Estes locais são formados por depósitos sedimentares recentes ou subatuais; terraços fluviais são conexos ao Pleistoceno Superior e as planícies de inundação ao Holoceno. A região Amazônica apresenta áreas de várzeas com importante variedade morfológica que é resultado de uma reação dos diferentes tipos de sedimentação aluvial desenvolvidas, exhibe ainda drenagem de modelo meândrico com elevada curva existentes nos rios Purus e Juruá ou de junção ou anabranching como os rios Solimões e Negro. Neste sentido, são encontrados vários formatos deposicionais como: furos, paranás, planícies de acumulação em faixas de pontal, planícies de decantação, ilhas fluviais, faixas arenosas, lagos, diques marginais (LATRUBESSE e FRANZINELLI, 2002).

Outro dado importante em relação a planície amazônica é o fato de que os rios exibirem diferentes tonalidades conforme o pH, carga de sedimentos e formação química de suas águas, barrentas, claras ou pretas (SIOLI, 1957). As planícies aluviais criadas pelos rios de água barrenta que drenam a direção oriental da Cordilheira dos Andes como os rios Madeira e Solimões que exibem planícies de inundação e terraços fluviais bastante amplos e solos com excelente fertilidade – caso raríssimo na Amazônia, isto por causa de muita descarga de sedimentos vindos da dissecação dos Andes.

Os aspectos geomorfológicos que surgem desses processos erosivos formam as unidades paisagísticas de várzea. Pereira (2007) afirma que, nos ambientes terrestres localizam-se a Planície de Meandros e Bancos Antigos. A unidade de bancos e meandros mais velha é adequada a cultura de espécies perenes e à produção do subsistema de cultura, que é chamado regionalmente de “sítio” dispõem de uma maior largura e de cota bem elevada dos terraços em associação ao nível recentemente do rio Solimões.

As planícies de Bancos e Meandros Recentes é resultante de uma área de sedimentos arenosos que o rio deposita. Uma peculiaridade desse recente estágio é a ocorrência de erosão do canal exatamente nas duas margens do rio, tanto ao norte quanto ao sul, por um distanciamento considerado do curso (IRIONDO, 1982).

O canal do rio, ao separar-se em canal do rio e paranás, firma-se em ilhas. O paraná corta a planície separando parcelas de terras, formando a Ilha do Careiro, os quais são resultantes de processos erosivos de modo individual, nos fragmentos laterais e extremidade à montante, e nas laterais e extremidade à jusante, sistemas de deposição (PEREIRA, 2007).

Depósitos de Inundação: esta unidade geomorfológica é caracterizada por regiões planas, normalmente com lagos de formatos e volumes variados e canais diferentes pequeníssimo, de poucas dezenas de metros de largura, contínuo colmatados, “obstruído” por sedimentos (IRIONDO, 1982).

A unidade geomorfológica da Ilha da Marchantaria abrange a planície do rio Solimões/Amazonas (ROSS, 2001; AB’SABER, 2003; CPRM, 2009), classificada por possuir formas planas com depósitos fluviais lineares sinuosos e com o formato de feixes paralelos (RADAMBRASIL, 1978), solicitando dimensão de relevo nula e inclinação das vertentes alterando entre 0 e 3° (CPRM, 2006).

A ilha da Marchantaria foi classificada como unidade planície de bancos e meandros recentes. A planície do rio Amazonas possui barras de sedimentos criadas por atividades fluviais recentes, visto que nessa ilha a planície aponta-se desnivelada e descontínua, formada especialmente por ilhas de canal, a maioria dessas ilhas possuem lagos em seus interiores que por meio de furos interligam-se com o rio Solimões ou a outros lagos contínuos em época de cheia.

Latrubesse e Franzinelli (2002) verificaram na planície aluvial do médio Amazonas o fragmento planície predominantemente de canal, tendo a ilha da Marchantaria como modelo desta unidade morfossedimentar atribuída de formas peculiares como bancos de areias dinâmicos, diques marginais e voltas de meandro (IRIONDO, 1982).

#### 2.3.4 Pedologia

Os tipos de perfis pedológicos presentes na Amazônia foram pesquisados pelo Projeto RADAMBRASIL (1978), através da identificação exploratória dos solos e por algumas pesquisas mais pontuais realizados pela Embrapa. Apesar da existência de relevantes estudos, ainda existe escassez de pesquisas com detalhamentos sistêmicos, os mesmos seriam essenciais para o melhor entendimento em relação ao desempenho hídrico, geoquímico e biológico do

solo e, conseqüentemente das modificações ocasionada pelo desmatamento (MARTINELLI, et al., 1996).

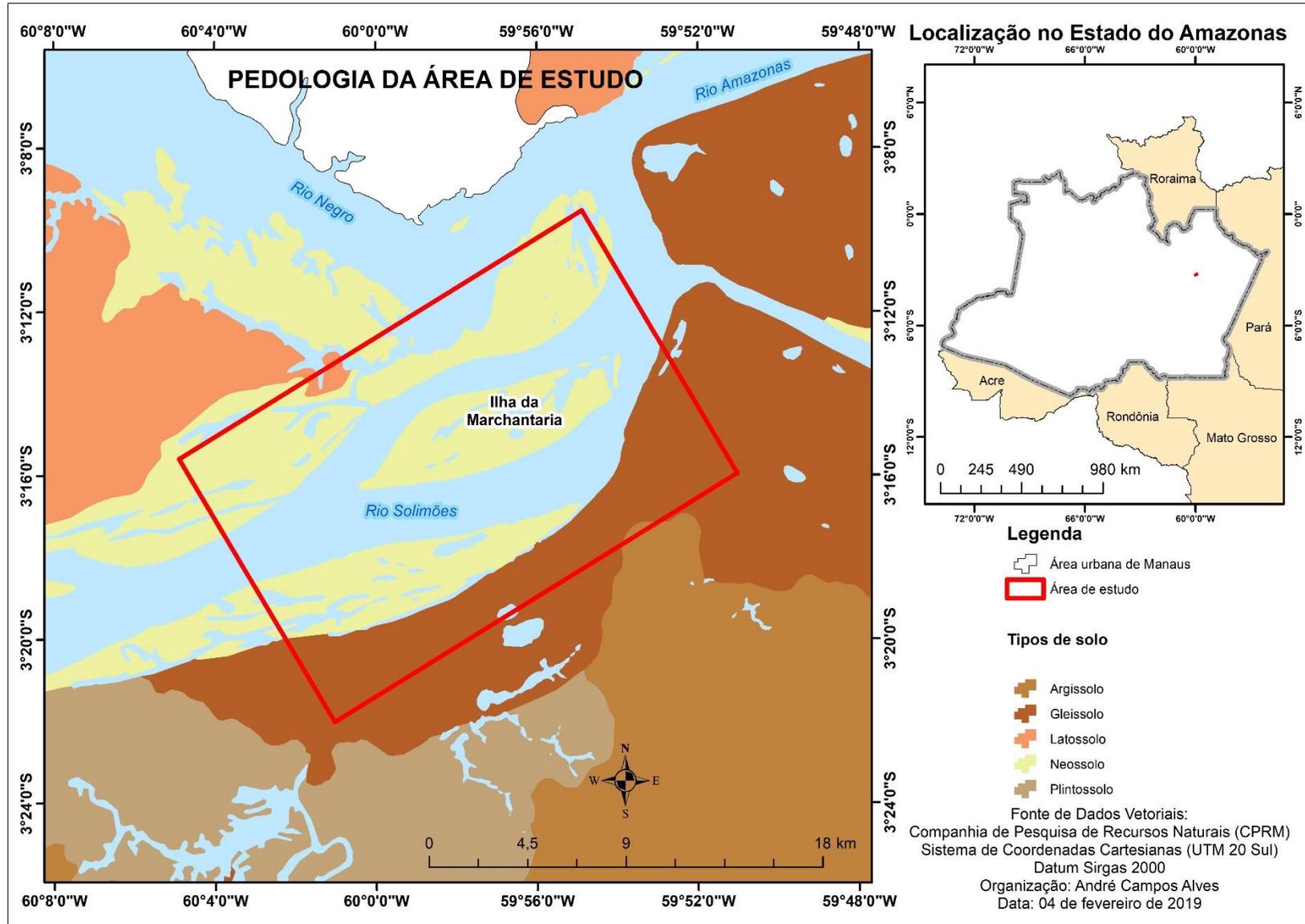
Os tipos de solos predominantes na região Amazônica são: Podzólicos Vermelho-Amarelos, Latossolos Amarelos ou Vermelho-Amarelos, Podzóis e Areias Quartzosas. Em pequena proporção, solos Hidromórficos Gleyzados e Solos Aluviais, Lateritas Hidromórficas, Planossolos, Cambissolos; em zonas de pouca dimensão, Terra-Roxa Estruturada e solos contendo sais e sulfatos da faixa costeira (MARTINELLI, et al., 1996).

Os solos de áreas de várzea apresentam aspectos diferenciado dos solos de áreas de terra firme. As regiões de várzeas abrangem as planícies de inundação fluvial de deposição holocênica e pleistocênica. Estas regiões estão propícias a inundações anuais, estabelecendo assim uma planície aluvial que pode compreender uma grande dimensão e possui um sistema complexo de rios, lagos, ilhas e diques marginais (SIOLI, 1951), essas planícies de inundação caracterizam o solo chamado de neossolos e gleissolos.

Em relação ao solo e carga de sedimentos, os rios Solimões e Japurá são os principais afluentes da margem direita, já na margem esquerda, carregam altas carga de sedimentos em suspensão em suas águas, ocasionando banco de areia em seus cursos. A acumulação destes sedimentos nas planícies de inundação dá origem aos solos com estratificação horizontal e vertical conhecido como neossolos flúvicos, e com características acentuadas de hidromorfismo identificado também como gleissolos.

De acordo com a classificação dos solos, o solo da ilha da Marchantaria é o denominado neossolo. Os solos da ilha são classificados pela sua localização geográfica como Neossolos Flúvicos e Geissolos Háplicos (TEIXEIRA et al., 2010; EMBRAPA, 2006) (Figura 15). Em contrapartida os Neossolos Flúvicos também conhecido como solos aluviais estão associados as regiões mais altas da ilha, as margens dos lagos e os diques marginais. Já os Gleissolos são apresentados como solos atuais, acontecem no interior e nas depressões lacustres, mostram menor estrutura e altos teores de silte grosso, principalmente de quartzo e com pequena dimensão de feldspato (IRION et al., 1997).

Figura 15 - Unidades pedológicas da área de estudo



Fonte: IBGE (2010). Org.: O autor, 2019

De acordo com a Embrapa esse tipo de solo pode apresentar grande ou pouca saturação por bases, acidez e altos teores de alumínio e de sódio. Estes solos alteram de rasos a profundos e de baixa até alta permeabilidade e também apresentam forte suscetibilidade aos processos erosivos.

Os solos de várzea se fortalecem sobre sedimentos recentes que, interligados ao alto nível do lençol freático e às constantes inundações acumulam um sistema inicial de pedogênese. Pelo seu ambiente sedimentar atual, estes solos guardam estreita relação com o material de origem, ou seja, sedimentos provenientes das regiões andina e subandina, que são carregados pelos rios que drenam a região e depositados na planície aluvial (IRION, 1982).

O solo de várzea teve sua origem através de sedimentos, e também é adequado aos aspectos do Gleissolo por sua formação com elevado teor de argila, silte e material orgânico (EMBRAPA, 2009). Enquanto a área que compreende o relevo de Baixos Platôs constitui-se por terem os solos pobres, compactos e bastante drenados do tipo denominado de Latossolos Amarelos.

### 2.3.5 Vegetação

As Florestas amazônicas de várzea primeiro categorizado por PRANCE (1979, 1989) como várzea sazonal e igapó possuem águas negras e claras. De acordo a pesquisa de Klinge e Furch (1991) sobre folhagem, casca e madeira de uma determinada área arbórea elaborou fundamentos biogeoquímicos que reforçou esta categorização. O pulso de inundação é outro aspecto relevante de florestas sazonais de várzea e igapó (KLINGE et al, 1990), por causa da sua intensidade, em consequência da sazonalidade diferente no decorrer da Amazônia e seus fundamentais afluentes. Isto torna-se claro como várias espécies de árvores da várzea caem suas folhas ao longo a fase de submersão e cria marcas anuais na madeira (WORBS & JUNK, 1989).

A importância e o desenvolvimento da Várzea amazônica foram objeto de estudos do Grupo do Instituto Max-Planck para Limnologia em Plön em cooperação com o INPA Manaus. E suas pesquisas foram centralizadas e fortalecidas em área de floresta sazonal de várzea, em especial na Ilha de Marchantaria. Estudos referentes a floresta foram elaborados em morfologia e teor de clorofila nas folhas das árvores, respiração da raiz, decomposição da madeira e no lixo (FURCH, 1984; MEYER, 1991). Essa breve análise sobre estrutura e composição de espécies

de alguns diferentes estandes florestais foi realizado para compreender o formato do ecossistema sazonal da floresta de várzea.

De acordo com alguns autores como Prance (1989); Klinge e Furch (1991), a inundação periódica do rio Solimões/Amazonas tem duas principais consequências que diferenciam entre si do biótopo de uma terra amazônica não inundada de floresta firme: **1)** O pulso de inundação faz com que ocorra uma sazonalidade, uma mudança periódica entre crescimento favorável e poucas condições para a vegetação arbórea. Essas espécies de árvores que nascem nas planícies de inundação exigem a capacidade de adaptar-se a longas inundações (JUNK, 1989); **2)** A inundação de água branca é rica em nutriente (FURCH et al. 1983) e a sedimentação anual resulta em alta fertilidade do solo (WORBES, 1986) e o alto teor de bioelemento em todos os compartimentos das árvores.

Relativamente a área floresta de várzea estão submetidos no decorrer do ano a inundação, assim como os lagos da planície de inundação da Amazônia Central estão sujeitos a alterações consideráveis em tamanho, profundidade, cobertura de macrófitas, química da água e produção primária, devido a flutuações expressivas na água (FURCH et al, 1983). Nas planícies aluviais labirínticas existem ecossistemas bastante diferentes, da mesma família da ótica hidrogeomorfológicos. Particularmente essas planícies são ecossistemas terrestres, aquáticos e subaquáticos associados: ilhas, diques marginais e lagos, cobertos por vegetação arbórea ou capins aquáticos, submersos em lugar da retratação das águas (AB'SABER, 2002).

A vegetação da ilha é classificada como planície aluvial com fluência fluvial do grupo das planícies aluviais, que destacam as cheias dos rios no período das chuvas ou das depressões alagáveis periodicamente. No entanto é considerada como uma vegetação de primeira ordem edáfica, conhecidas como pioneiras que habitam em ambientes restaurados pelos contínuos aluviariars (IBGE, 2012).

O povoamento das formações pioneiras das florestas, ocorre no período de vazante nos depósitos arenosos dos diques marginais evidenciados (LEITE et al., 1996). Como exemplo tem-se a árvore Embaúba, uma vegetação edáfica peculiar de primeira ordem. Ainda nesta região é bastante comum encontrar nas margens dos lagos as herbáceas flutuantes (JUNK, 1997).

Boher e Gonçalves (1991) categorizam a vegetação da ilha da Marchantaria sendo como matas de várzeas, principalmente como vegetação pioneira de várzeas recentes, espalhadas em terrenos que ficam cobertos em até 10m de água entre cinco e sete meses. Para Junk (1983) esse

fenômeno acontece nos meses de março a setembro e abrange a maioria das plantas durante o período de vazante, as quais começam a nascer e na enchente elas florescem e frutificam.

### 2.3.6 Regime climático

O clima da Amazônia identifica-se como equatorial Quente e Úmido e Quente Super Úmido devido a sua posição geográfica na América do Sul. A região situa-se nas extremidades do comando equatorial úmido, estando equilibrado pelas alterações da zona de convergência intertropical sobre a atuação dos alísios e a locais de baixas pressões. O clima equatorial engloba grande parcela do território brasileiro, abrangendo especialmente a área da Floresta Amazônica, em que chove praticamente todos os dias e ainda faz bastante calor (IBGE, 2010).

Essa caracterização climática é decorrente de aspectos regionais, como as chuvas que ocorrem na região, apresentando média anual de 2.460mm. Na parte brasileira da Região Hidrográfica Amazônica as temperaturas médias anuais encontram-se entre 25° e 29°C em discordância com temperaturas médias anuais aproximadas de 0°C na cordilheira andina (MOLINIER et al., 1996).

As chuvas na Amazônia são vistas como oriundas principalmente do Oceano Atlântico e mostram uma forte reciclagem de aproximadamente 50% por evapotranspiração da mesma floresta, especialmente na parte central do canal do Amazonas (SALATI e MARQUES, 1984). A distribuição sazonal das precipitações locais específicas origina-se de acordo com regimes determinados com aspecto bimodal. Na parte meridional da Bacia o sistema pluviométrico é destacado por possuir uma estação seca que acontece geralmente nos seis meses do ano, em contradição a uma estação chuvosa na parte setentrional da Bacia na mesma época do ano (SALATI, 1978; HIEZ, 1992).

Na parte sul da Bacia o máximo pluviométrico acontece de dezembro a março na Bacia do Rio Madeira. Já na parte ao norte o máximo pluviométrico é encontrado de maio a julho na Bacia do Rio Negro, no sentido da foz houve pouca alteração na porção nordeste na Bacia do Rio Jari (SALATI, 1978 e HIEZ, 1992).

O recente clima da região mostra dados homogêneos, como: temperaturas médias alta, pouca capacidade térmica anual, elevada nebulosidade, intensa umidade do ar e muitas precipitações e comparativamente bastante distribuídas; ao par com a existência de uma

cobertura florestal imensa, e de uma malha de drenagem constituída de enormes rios que se resiste à pequenas rede dos riachos de menor percurso como os igarapés, entregaram à Amazônia nacional uma coleção de paisagens visivelmente uniformes e menos distribuídas (AB'SABER, 1967).

Para Junk (1983), na região da Amazônia, a classificação da precipitação no decorrer do ano não é uniforme e diferenciam-se nas regiões da grande bacia. Um dos elementos mais relevantes é uma discrepância de seis meses entre o alto nível das precipitações das estações no Hemisfério Norte, no qual a época que tem maior ocorrência de chuva está entre os meses de junho e julho. Já nas estações do Hemisfério Sul o alto nível de precipitação acontece entre os meses de fevereiro e março. Esta alteração na classificação das chuvas possui reações relevantes nos sistemas dos rios e, como resultado no desenvolvimento de reprodução e migração dos peixes (SALATI, 1983).

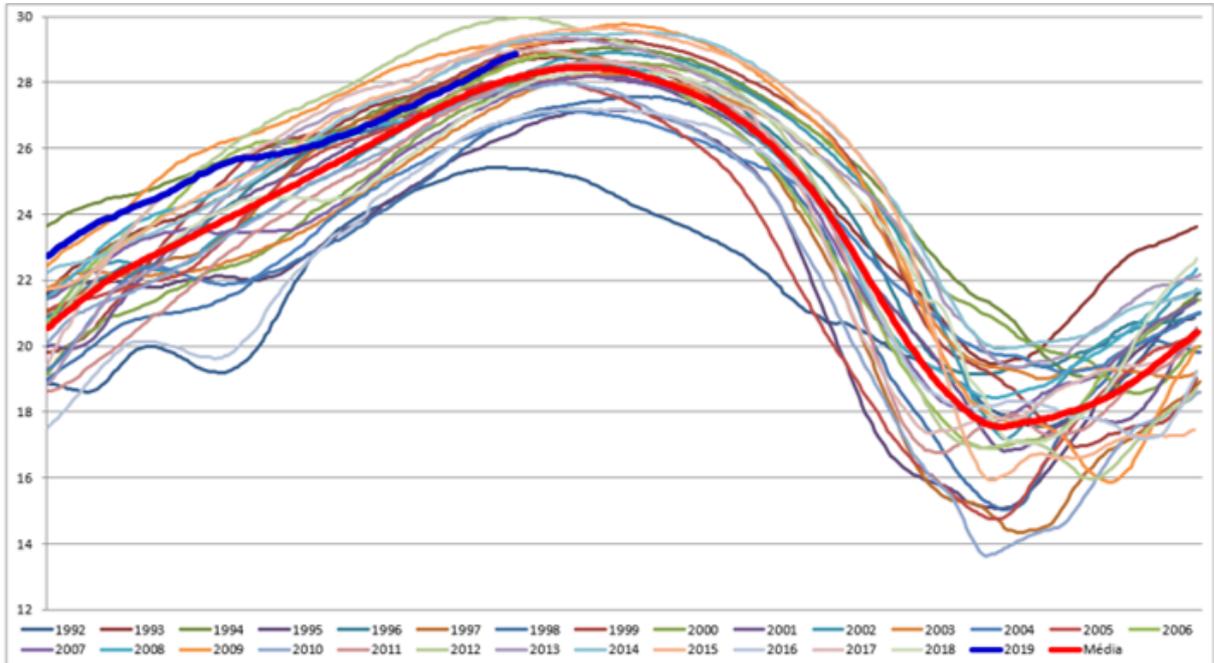
O clima na área de estudo varia entre o tipo Equatorial Quente e Super Úmido. Categorizado por não ter uma estação seca, a temperatura média anual é de 26 °C e precipitação média anual de 2.250 mm (NIMER, 1991). A estação chuvosa acontece no período dos meses de novembro a março e a diminuição de chuvas ocorre nos meses de maio a setembro e a zona de transição acontece entre o período de seca e chuva mutualmente nos meses de abril e outubro (KUWAHARA, 2012). Deste modo, a sazonalidade pluviométrica na Amazônia Central em especial no Solimões/Amazonas a época da enchente tem início no mês de novembro e permanece até junho, alcançando o máximo nível de cheia em junho e/ou julho, e o período de vazante tem início no mês de julho e permanece até o mês de outubro, alcançando o mínimo nível de seca nos em outubro e/ou novembro.

### 2.3.7 Regime hidrológico do rio Solimões

De acordo com os registros diários do regime hidrológico no porto de Manaus, o rio Solimões/Amazonas começa a subir em novembro/dezembro e vai até junho/julho. Já a vazante começa em julho/agosto e vai até outubro/novembro. De acordo com Carvalho (2012, p. 52), é possível constatar que “o rio leva de seis a sete meses enchendo e desça em apenas quatro a cinco meses”. Portanto, o tempo cronológico de descida do nível das águas é o dobro do tempo de subida. É comum no mês de setembro, período de maior estiagem, a descida do rio varie

entre 24 a 25cm/dia, ou seja, 1cm/h. Por este fato, o tempo de vazante é bem menor do que o tempo de enchente (Figura 16).

Figura 16 - Regime hidrológico do rio Solimões/Amazonas no porto de Manaus, no período de 1992 a 2019



Fonte: Administração do Porto de Manaus. Disponível em: <<https://www.portodemanaus.com.br/>>. Org.: Alberto Carvalho

Este tipo de regime na Bacia Amazônica é característico dos principais afluentes da margem direita do Rio Solimões/Amazonas e distingue-se por elevadas vazões no início do segundo trimestre do ano, precisamente nos meses de março e abril, e por pequenas vazões em meados do início do segundo semestre do ano, normalmente entre os meses de agosto e setembro (FILIZOLA et al., 2002).

### 2.3.8 Os tipos de rios amazônicos

Um das características da bacia Amazônica são os variados tipos de rios. Os rios podem ter sua classificação em rios de águas pretas, rios de águas claras e rios de águas brancas, isso considerando conforme sua composição química, a cor e a origem (SIOLI, 1985).

Os rios de águas pretas possuem sua nascente no Planalto das Guianas e nos pequenos rios que nascem no meio da floresta, no qual o principal é o rio Negro. As regiões onde ocorrem a drenagem estão poucas suscetíveis ao processo erosivo, por causa disso acontece o transporte

de pequenas quantidades de material em suspensão. A tonalidade acontece por causa da presença de ácidos provenientes da decomposição de material orgânico e da composição geológica. Estes rios possuem acidez em suas águas, com pH alterando de 4 a 5, e também possui perfil longitudinal íngreme no curso superior e médio, passando a criar cachoeiras e corredeiras (JUNK, 1983). No curso inferior, apresentam pequena declividade. Os representativos rios de água preta são os rios: Negro, Preto da Eva e Urubu.

Os rios de água clara são cristalinos e categorizam-se por sua transparência e cor esverdeada de suas águas. Possui suas nascentes nos sedimentos terciários da bacia Amazônica e nas áreas do Planalto Central Brasileiro, os quais tem pouca aptidão para processo erosivo em decorrência do relevo mais contínuo (JUNK, 1983). O local onde suas nascentes estão situadas passam por períodos de seca e chuva bastante acentuada. Estes rios são beneficiados pelo transporte de volumes significativo de material em suspensão no período das chuvas, podendo ocasionar a diminuição dos seus limites de transparência em aproximadamente até 80 cm; já no decorrer do período de seca, os mesmos rios possuem clareza cristalina e tonalidade verde clara (SIOLI, 1985). Os rios de água clara possuem grandes dimensões e capacidade maior que os rios de água preta (JUNK, 1983). Os representativos rios de água clara são os rios: Tapajós e Xingu, os quais tem suas nascentes no cristalino antigo e lançam seus sedimentos na planície quaternária.

Os rios de água branca têm suas nascentes nas superfícies Andina e pré-andina, áreas geologicamente atuais com fortes probabilidades para erosões. Por causa disto são rios que mostram intenso gradiente no curso superior e carregam durante seu curso alta carga detrítica e dissolvida em suspensão, dando tonalidades amareladas, barrentas e turvas. A maioria dos sedimentos do Cretáceo estão localizadas nas áreas onde encontram-se as nascentes destes rios, os quais são materiais parcialmente ricos em sais minerais, e assim formando uma composição química da água praticamente neutra, com pH alterando de 6,5 a 7 (JUNK, 1983). Os representativos destes são os rios: Amazonas, Madeira, Purus e Juruá. Os mesmos têm suas margens inconstantes, especialmente quando são moldados por depósitos fluviais Holocênicos. A vazão destes rios causa forte migração nas margens dos canais, quando acontece a associação da capacidade com a carga transportada.

A região da Amazônia antes do princípio da evolução da cordilheira dos Andes era formada por um sistema de deposição principalmente fluvial, a qual o cráton Amazônico era a importante fonte de sedimentos para as bacias sedimentares atuais (FIGUEIREDO et al., 2009; HOORN et al., 2010). Ultimamente as águas do rio Amazonas que deságuam no Oceano

Atlântico são compostas de 90% do sedimento oriundo dos Andes. Estes dados mostram que o material oriundo das bacias sedimentares da Amazônia é de origem andina, tendo em vista que quase todo o sedimento transportado pelo Amazonas tem origem na cordilheira dos Andes (MEADE, 2008).

O volume de sedimentos em suspensão no rio Amazonas que se desloca por Óbidos, foi medido por Filizola e Guyot (2009) e é no mínimo  $0,6 \times 10^{12}$  kg/ano. Segundo Meade (1994), essa quantidade está entre  $1,1 - 1,3 \times 10^{12}$  kg/ano. Em relação aos demais rios da terra, este volume de sedimentos é grande. Somente no Himalaia que tem sua drenagem com o rio Ganges, transporta um volume de sedimentos dessa quantidade (GUPTA, 2007).

O terceiro rio da terra, o rio Orinoco, em movimento de água aos oceanos, carrega até o Mar do Caribe  $1,2 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>/ano, e transporta  $1,5 \times 10^{11}$  kg/ano de sedimentos suspensos (MEADE, 1994). A formação de sedimentos no território andino é vasto por causa dos altos gradientes topográficos, elevados índices de precipitação ao leste da cordilheira, e também as rochas são naturalmente erodidas e sensíveis tectonicamente. De acordo com Latrubesse e Restrepo (2014) o auxílio da cordilheira dos Andes para a bacia hidrográfica do rio Amazonas é de próximo de  $1,42 \times 10^{12}$  kg/ano de sedimentos, além dos sedimentos deixados nas bacias de antepaís.

Na área de estudo, o terreno é inundado gradualmente por águas brancas que apresentam alto índice de magnésio - Mg e cálcio - Ca, as mesmas são neutras ou pouco ácidas com pH 6,5 a 7 (JUNK, 1983) e ainda carregam uma carga de sedimentos: argila, silte e areia fina, que aproximadamente chega a 37 mg/l no período de seca e no período da cheia do Amazonas chega a 165 mg/l (SIOLI, 1984).

## **CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA E MATERIAIS**

No presente capítulo, a apreensão está na revisão teórico-metodológico das áreas contextualizadas nos capítulos anteriores. Portanto, é feita uma releitura sobre os conceitos-chave presentes neste trabalho no âmbito da Geografia: a paisagem, como categoria de análise, e a Teoria dos Sistemas, para o entendimento da dinâmica em ambientes fluviais, tratada aqui pelo termo Geossistema. Da mesma maneira, são apresentados os procedimentos operacionais e as técnicas de Sensoriamento Remoto empregadas para explicar a dinâmica fluvial na área de estudo.

### **3.1 Paisagem e Geossistema**

A Geografia estuda diversas áreas de conhecimento, uma delas é o meio ambiente e dentro deste campo adotou-se o estudo da dinâmica fluvial, o qual é difundido pela definição de Paisagem. Alguns aspectos formam a definição de morfologia da paisagem, dentre estes estão: os estudos da composição, fisionomia e organização das paisagens, relacionado os conceitos de dinâmica e evolução das paisagens. A categoria paisagem, tem sido utilizada por vários autores como Iriondo e Suguio (1982), Irion et al (1983), Sausen e Aquino, (1984), Sioli (1984 e 1985), Franzinella e Igreja (1990), Oliveira (1996), Alecrim et al (2002), Latrubesse e Franzinelli (2002), Igreja (2003), Ab'Sáber (2003 e 2012), Rozo (2004), Lima et al (2007), Pereira (2007), Marinho e Melo (2009), para estudo de interpretações científicas de um ambiente.

Estudos científicos em volta dos problemas associados aos riscos tidos geomorfológicos, referentes as ocorrências naturais oriundas de sistemas endógenos exógenos, aponta certo nível de progresso no final do último século, considerando-se os desenvolvimentos para o entendimento da dinâmica de várias evoluções geomorfológicas, porém ainda a análise do papel da ocupação de ambientes dados à acontecimentos de certos fenômenos naturais, fatos esses que tende a fundamentar a viabilidade de análise do nível de vulnerabilidade que uma dada classe social pode evidenciar de acordo como se ocorre a ocupação de um determinado ambiente.

A teoria geossistêmica é uma área de estudo para a Geografia, que apresenta os aspectos que englobam a dinâmica natural de um dado parcela de terra numa visão holística, buscando entender como se ocorre a ligação entre aspectos naturais e humanos.

No período do século XX fundamentou-se o entendimento da classificação das subáreas da ciência científica. Portanto, alguns geógrafos objetivam criar estudos mais constituídos em relação a natureza, tendo como orientação a abordagem sistêmica. Mesmo que o crescimento da análise sistêmica, depois de 1920 e principalmente em 1950, a análise globalizada das relações da natureza com a sociedade marca o período na Geografia, no fim do século XVIII e começo do século XIX, com os estudos e pesquisas realizadas por Kant, Humboldt e Ritter (RODRIGUEZ e SILVA, 2002 e RODRIGUEZ e SILVA, 2013).

No período de 1960, o geógrafo e geobotânico Viktor Borisovich Sotchava em uma pesquisa pioneira deu início a argumentação sobre a teoria geossistêmica, tendo suas bases firmadas na Teoria Geral dos Sistemas - TGS (BERTALANFFY, 1973). De acordo com o entendimento mostrado na TGS, é de grande relevância estudar a interação dinâmica presente entre os aspectos que o constitui, visto que ação dos elementos se apresenta distintos quando analisados individualmente. Esta necessidade se mostra através a ineficiência teórica/metodológica da antiga ciência para exibir resultados práticos as questões socioambientais, considerando-se a interpretação mecânica e de modo isolado das sequencias causais (BERTALANFFY, 1973 apud MARQUES NETO, 2008).

A Teoria Geral dos Sistemas - TGS consiste na ideia percursora de uma série de referências relevantes para os estudos da Geografia Física, visto que a própria reforma a etapa que tem seu início com a valorização da medição/avaliação e a inclusão permanente do espaço temporal as pesquisas geográficas, quando utilizam as modelagens e se acrescentam os experimentos (RODRIGUES, 2001).

O estudo Paisagem e Geografia Física Global do professor George Bertrand, divulgado em 1968 na França, formando-se em uma referência inicial ao desenvolvimento de um padrão para estudos do meio físico a qual seria um modelo fundamentado nos Geossistemas, o mesmo foi o primeiro estudo a inspirar os geógrafos brasileiros, já em 1969 com a primeira definição sobre a compreensão de Geossistema para a comunidade de geógrafos no país (GIRÃO, 2007).

O Geossistema ocorre como um sistema natural, na qual os aspectos naturais inter-relacionam-se entre si criando uma dinâmica harmoniosa entre atuação e consequência, contudo, a ação humana tem que ser levada em consideração nesta dinâmica, tendo como

avaliação em conjunto com todos elementos que constituem os componentes naturais (SOTCHAVA,1977).

De acordo com Aleksandrova e Preobrazhenskiy (1982), quando se estuda e analisa as escalas de tempo, vale ressaltar cinco classes geossistêmicas:

**Geossistemas Naturais:** são as parcelas da superfície da terra a qual ocorre os elementos da natureza que tem relação direta uns com os outros e até mesmo as parcelas próximas, em especial com o homem;

**Geossistema Técnico Natural:** é o ambiente a qual acontece ação entre os componentes técnicos e naturais, ou seja, o local onde acontece a eventualidade superficial da formação técnica, do processo natural e das finalidades socioeconômicas;

**Geossistemas Integrados:** são criações superficiais complexas, que abrangem subgrupos da natureza, população e econômica, com distintas classes de atividade;

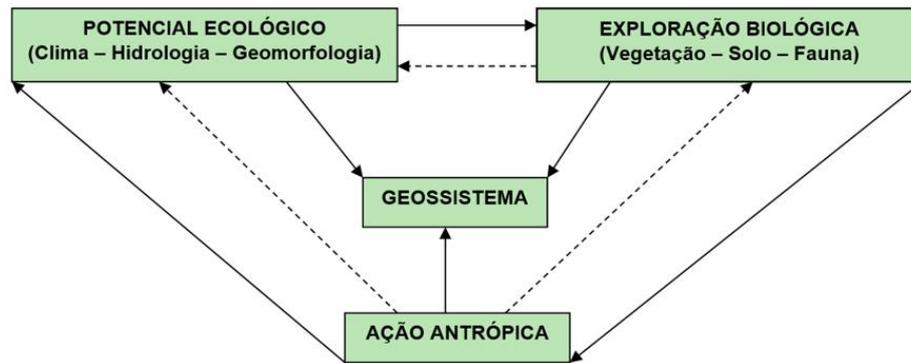
**Geossistemas Ramais:** possuem pouca dificuldade, visto que podem ter sua representatividade pelas superfícies naturais e histórico/culturais;

**Geossistemas Antropoecológicos:** formam processos biossociais e são antropocêntricos, auto planejados e relativamente administrados. O ser humano é o componente fundamental e os demais componentes se reagem em relação a ação dele, deste modo obtém-se um ambiente humanizado.

Neste contexto, o planeta é observado como um processo orgânico, a qual o grupo de componentes não é apenas o resultado da soma dos elementos que o constituem, mas se constitui em uma hierarquia de componentes e processos, que deste modo constituem uma dinâmica, atingindo assim a condição de equilíbrio dinâmico.

A Figura 17 apresenta o conceito teórico de um Geossistema, inserindo clima, hidrologia e geomorfologia como elementos de primeira classe na hierarquização sistêmica. A atuação destes aspectos em grupo irá definir os elementos de segunda classe: vegetação, solo e fauna, constituindo desta forma o Geossistema. A ação antrópica segue estes dois graus de hierarquia, procedendo como um elemento apto que modifica a dinâmica deste processo. O Geossistema encontrará em condição de ápice isso acontece quando ocorre um equilíbrio entre o potencial ecológico e a exploração biológica, entretanto, isto acontece quando os dados dessas duas classes estão sobre a dinâmica deste processo as quais são bastante inconstantes, modificando bastante quanto ao tempo e também em relação ao espaço.

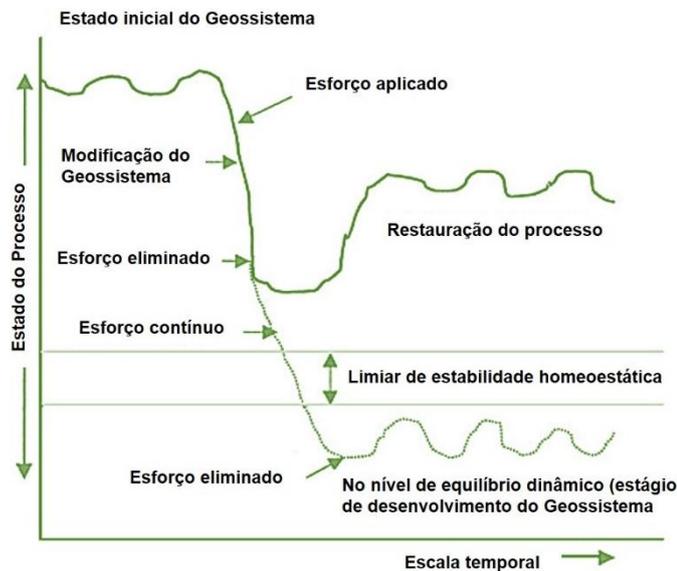
Figura 17 - Esquema de um conceito teórico de um Geossistema



Fonte: Bertrand (2004).

As alterações efetuadas pelo processo socioeconômico na formação e dinâmica dos Geossistemas, podem ser vistos através de esforços em conjunto a esses processos, no qual existe resistência dos componentes geossistêmicos as tensões causadas, formando-se por meio disto novos estágios de desenvolvimento (Figura 18).

Figura 18 - Atuação do Geossistema depois de ter sofrido um esforço



Fonte: Alterado de Rodriguez et al (2004)

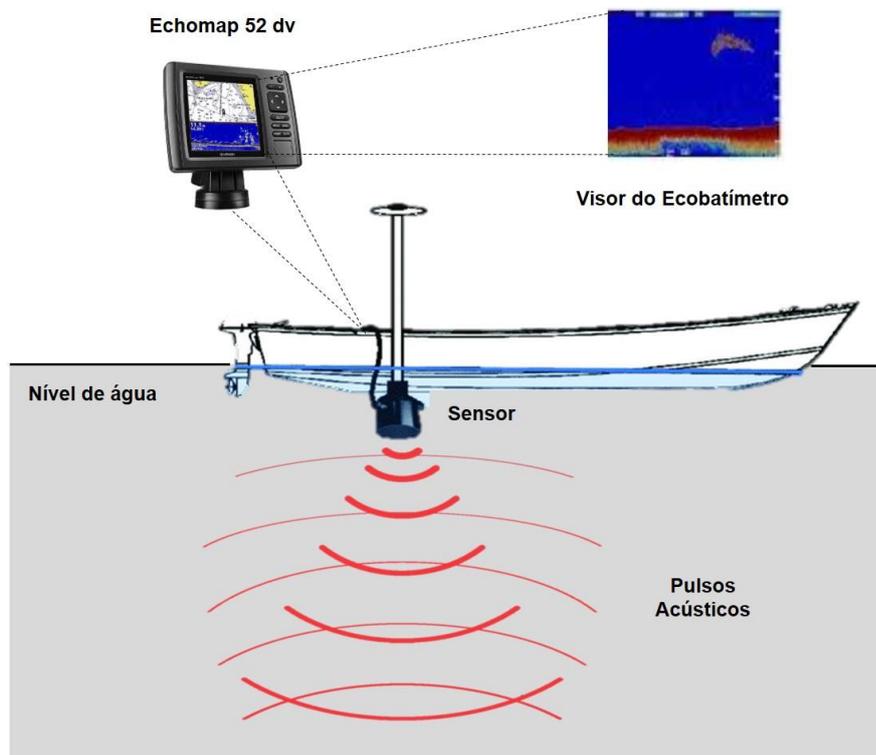
### 3.2 Medições Batimétricas

Elaborou-se o estudo dos perfis transversais do leito do rio Solimões por meio de dados de um ecobatímetro digital da marca e modelo GPS/sonar Garmin Echomap 52dv. O

equipamento conta com uma tela colorida de 5 polegadas, com sensor que opera em 50/200 kHz e é conectado ao sistema de posicionamento por satélites.

Fez-se uso de uma embarcação de pequeno porte, na qual foi instalada uma peça de madeira na posição vertical para que o sensor do equipamento fosse submerso a uma profundidade próximo de 40 cm na lateral da embarcação (Figura 19). A velocidade da embarcação em deslocamento de uma margem à outra no era de aproximadamente 5 a 6 Km/h e a cada 10 segundos anotava-se em uma caderneta de campo o valor apresentado no visor do aparelho referente à profundidade do rio.

Figura 19 - Sistema de aquisição de dados batimétricos



Fonte: Adaptado de Marques (2017)

No decorrer da batimetria o sensor do equipamento emite um pulso acústico que é refletido e novamente obtido, realizando deste modo as devidas anotações da profundidade. Ao emitir os pulsos de forma permanente, consegue a anotação linear da geometria do rio desde o curso erguido no decorrer da navegação.

Realizou-se cinco medições transversais no rio Solimões no dia 02 de dezembro de 2017, período da vazante: quatro medições na margem direita e uma medição na margem esquerda.

### 3.3 Análise multitemporal por Sensoriamento Remoto

Dados de sensoriamento remoto permitem a estimativa quantitativa de índices hidromorfológicos em múltiplas escalas espaciais. A utilização de dados de Sensoriamento Remoto em estudos realizados no rio Solimões/Amazonas como de Rozo (2004); Marinho e Melo (2009); Passos e Soares (2015) e outros autores, a qual tem tido resultados muitos satisfatórios.

#### 3.3.1 Seleção das imagens

Adotou-se critérios para a seleção das imagens da série Landsat. Primeiramente, buscou-se as imagens que mais se aproximavam do ano do satélite Landsat-1, com céu claro ou com no máximo 10% de cobertura de nuvens. Como segundo critério, procurou-se por imagens que obedecessem ao intervalo temporal de 10 anos. Por último, realizou-se um filtro das por data, sendo observadas somente imagens do segundo semestre de cada ano, no período máximo da vazante. A tabela 1 apresenta as imagens utilizadas e suas respectivas datas de passagem.

Tabela 1 - Dados das imagens selecionadas para o estudo

SÉRIE LANDSAT	DATA DE PASSAGEM	ÓRBITA/PONTO	COTA (m)	DIFERENÇA DE COTA (cm)
Landsat-5/TM	06/10/1995	231/062	15,90 m	-
Landsat-5/ TM	01/10/2005	231/062	15,13 m	77
Landsat-8/OLI	06/11/2018	231/062	17,05 m	192

Fonte: USGS. Org.: o autor, 2018.

A água do curso inferior do rio Negro tem velocidade muito baixa, chegando a ocasionar um represamento hidráulico. Portanto, a cota do rio Negro no Porto de Manaus refere-se ao comportamento hidrológico do rio Solimões na confluência entre esses dois rios (CARVALHO, 2019).

Nota-se uma considerável diferença na cota da imagem Landsat-8/OLI em relação as duas imagens Landsat-5/TM, faltando 8 centímetros para atingir 2 metros. No entanto, a data da imagem do sensor OLI, acoplada a oitava geração Landsat, é fundamental, pois, no dia

05/11/2018, realizou-se uma atividade de campo com o objetivo de realizar registros fotográficos utilizando drone. E mesmo com a considerável diferença entre as cotas, visualmente, percebe-se a mudança na paisagem e, conseqüentemente, a intensa dinâmica do rio na área de estudo.

### 3.2.2 Processamento Digital de Imagens (PDI)

Segundo Meneses et al. (2001), o processamento de imagens é o conjunto de operações que permitem realizar manipulações numéricas sobre imagens digitais, compreendendo o pré-processamento, o realce e a classificação. Para os autores Gonzalez e Woods (2000), as técnicas de processamento digital de imagens podem ser divididas em 2 etapas: pré-processamento e processamento.

O objetivo maior dessa etapa é aperfeiçoar ao máximo a análise dos dados, em termos de tempo e eficiência. Sendo assim, essa é uma etapa essencial neste trabalho, pois permite preparar as imagens para facilitar a interpretação visual da cena e explorar com melhores recursos toda a informação contida na imagem.

#### 3.2.2.1 Pré-processamento

De acordo com Chen (1989), a fase de pré-processamento refere-se à preparação inicial dos dados brutos para calibração radiométrica da imagem, correção de distorções geométricas e remoção de ruídos. Portanto, depois de adquiridas as imagens, todas passaram por um minucioso processo de avaliação. Essa etapa consiste em avaliar visualmente cada banda do sensor. Em seguida, as bandas de cada imagem foram unidas no software ENVI 5.0 por meio da ferramenta *LAYER STACKING* e associadas às cores R (vermelha), G (verde) e B (azul). A tabela 2 apresenta as bandas utilizadas de acordo com a respectiva série Landsat.

Tabela 2 - Bandas utilizadas (Landsat 5 e 8) e associação as cores RGB

SATÉLITE	FAIXAS TRABALHADAS
Landsat-5/ TM	Bandas 5 (R), 4 (G) e 3 (B)
Landsat-8/OLI	Bandas 6 (R), 5 (G) e 4 (B)

Fonte: USGS. Org.: autor, 2018.

A partir da composição colorida, os alvos diferenciam-se melhor ao olho humano, possibilitando uma maior distinção de objetos na imagem. Consequentemente é possível realizar a próxima etapa do pré-processamento denominada de correção geométrica. De acordo com Centeno (2004), a correção geométrica torna-se necessária devido às imagens orbitais sofrerem com erros sistemáticos que são inerentes à Terra que correspondem à rotação, esfericidade e relevo e erros intrínsecos ao satélite como velocidade, altura e posição.

O processo de correção geométrica consiste em ajustar a imagem a partir de uma fonte segura de referência como um mapa digital, ortoimagem ou coordenadas planimétricas levantadas em campo por método clássico ou receptor GPS. Realizou-se este procedimento somente nas imagens Landsat-5/TM e, por ser ortorretificada, utilizou-se a Landsat-8/OLI para servir de referência para as demais.

De acordo com Centeno (2004), os erros podem ser corrigidos por meio da transformação geométrica que mediante um polinômio ( $1^{\circ}$ ,  $2^{\circ}$  ou  $3^{\circ}$ ) visa estimar o conjunto de deformações. As imagens foram corrigidas utilizando o software ENVI 5.0 por meio da ferramenta *REGISTRATION*. Optou-se pela utilização de 13 pontos bem distribuídos na imagem com base no reconhecimento de padrões radiométricos, utilizando o modo de transformação polinomial de  $2^{\text{a}}$  ordem.

Em todas as imagens, tornou-se necessário reprojetar do hemisfério norte para o hemisfério sul. Para isso, utilizou-se o software ENVI 5.0 por meio da ferramenta *CONVERT MAP PROJECTION*. Definiu-se o sistema de projeção UTM (Universal Transverso de Mercator) e Datum SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

Visando diminuir o tamanho do arquivo e aperfeiçoar o tratamento digital da imagem, efetuou-se o recorte da imagem a partir de uma máscara vetorial abrangendo toda a extensão da ilha da Marchantaria, totalizando uma área de 300, 28 km<sup>2</sup>. Para a realização deste procedimento, utilizou-se a ferramenta *EXTRACT BY MASK* disponibilizada no software ARCGIS 10.1.

### 3.2.2.2 Processamento

Com as imagens recortadas, realizou-se a aplicação de realce nas imagens. Segundo Quintanilha et. al. (2004), as técnicas de realce de imagens digitais são transformações sobre os

níveis de cinza da imagem de modo a melhorar a qualidade das mesmas, sem necessariamente implicar a construção de modelos sobre sua distribuição. Geralmente, são processos que buscam exclusivamente detectar, ressaltar, esconder ou corrigir aspectos da imagem, facilitando a sua posterior interpretação.

Para Chen (1989), o realce está relacionado com procedimentos utilizados para melhorar a qualidade visual das imagens. Sendo assim, visando melhorar efetivamente a visualização das imagens, optou-se pela aplicação de realce e filtros utilizando o software ENVI 5.0 por meio das ferramentas *ENHANCE* e *FILTER* respectivamente.

A etapa seguinte consiste na análise visual das imagens. Essa etapa é essencial para a seleção de áreas de treinamento. Observa-se nessa etapa a forma e tamanho, a tonalidade e cor, o padrão, a textura e a sombra.

A identificação das classes de uso da terra foi embasada no Sistema de Classificação da Cobertura e do Uso da Terra proposto pelo Manual Técnico do Uso da Terra (IBGE, 2006). Entretanto, visando alcançar os objetivos do trabalho, adotou-se as seguintes classes temáticas: massa d'água, área de erosão e área de deposição.

Fundamentado no trabalho de Florenzano (2009), realizou-se a classificação supervisionada das imagens optando pelo algoritmo de classificação *Maximum Likelihood* disponível no software ENVI 5.0. Na classificação supervisionada, o usuário possui informações que possibilitam a identificação de uma ou mais classes de interesse através da definição de áreas representativas na imagem (IBGE, 2006). Os desenvolvedores do software SPRING recomendam o uso de 10 a 100 pixels representativos de cada classe para a obtenção de uma classificação estatisticamente confiável.

Para avaliar o classificador *Maximum Likelihood*, utilizou-se o índice Kappa. De acordo com Centeno (2004), o coeficiente de concordância Kappa é capaz de medir a acurácia de um mapa temático produzido por um determinado processo em função de um mapa temático de referência, ou verdade terrestre. Quanto maior é o valor do coeficiente Kappa, melhor pode ser considerado o resultado do mapa temático produzido pelo uso desse processo.

Com o objetivo de fazer a análise da dinâmica fluvial do rio Solimões, gerou-se arquivos no formato shapefile a partir dos resultados da classificação e, dessa forma, a quantificação das áreas de erosão e deposição.

## CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Evolução multitemporal do canal fluvial

As imagens de sensores remotos acoplados a satélites espaciais são ferramentas essenciais no estudo das modificações morfológicas de canais fluviais. O rio Solimões, por todas as características fisiográficas apresentadas, sobretudo no capítulo 2, mostra-se como um sistema suscetível a constantes evoluções em seu canal. Este item, por meio da análise multitemporal de imagens Landsat-5/TM e Landsat-8/OLI, demonstra a evolução do rio Solimões no intervalo entre 1995 a 2018, equivalente a 23 anos.

#### 4.1.2 Imagens trabalhadas

A média da correção geométrica foi de 12,197725, valor considerado aceitável, pois está dentro do padrão admitido (até metade da resolução do pixel) de 30 metros estabelecidos por Eastman (1994) (Tabela 3).

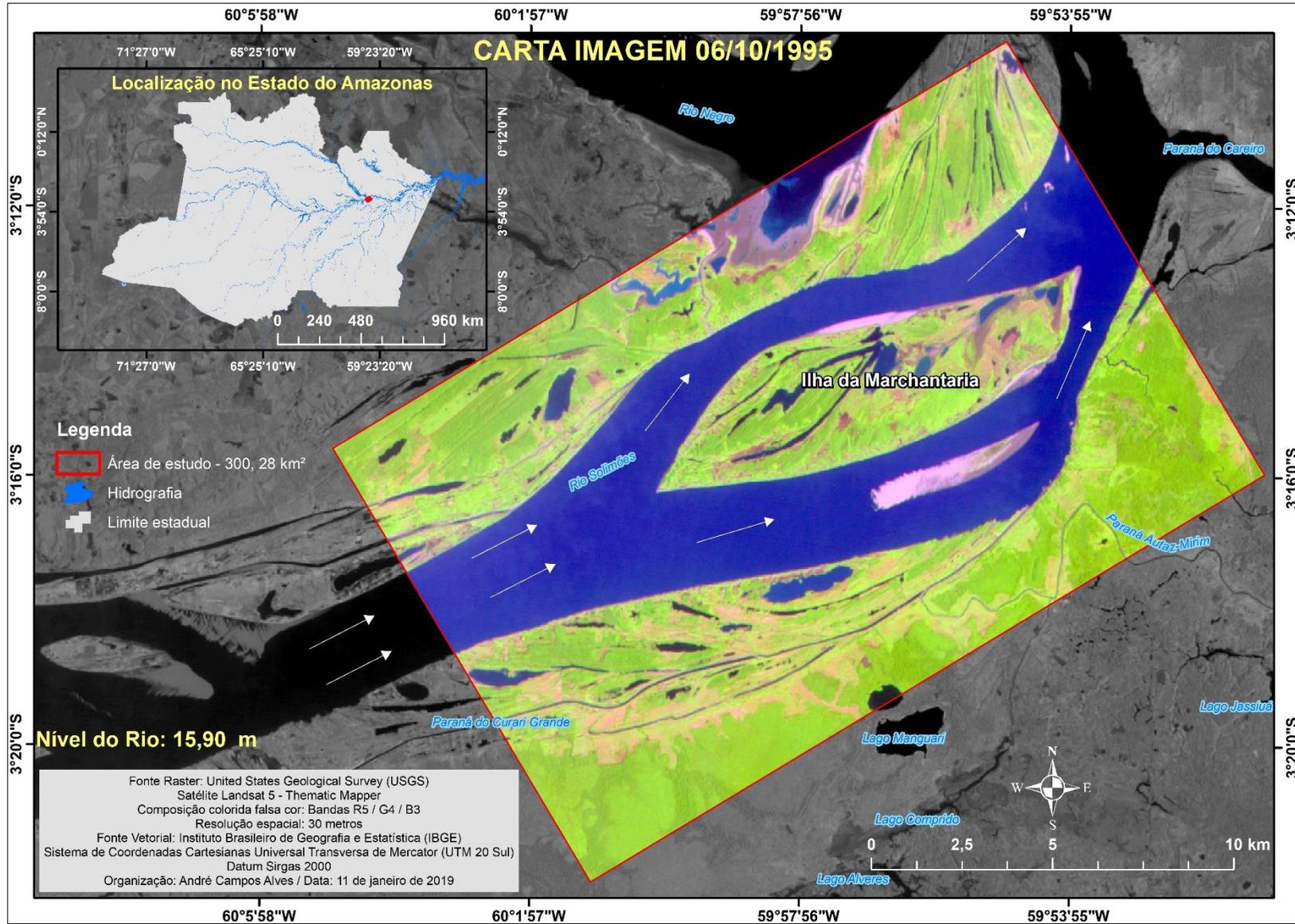
Tabela 3 - Dados das imagens após a correção geométrica

SATÉLITE	DATA	PONTOS DE CONTROLE	ERRO MÉDIO QUADRÁTICO
Landsat-5/ TM	06/10/1995	13	12,19231
Landsat-5/TM	01/10/2005	13	12,20314

Org.: O autor, 2019

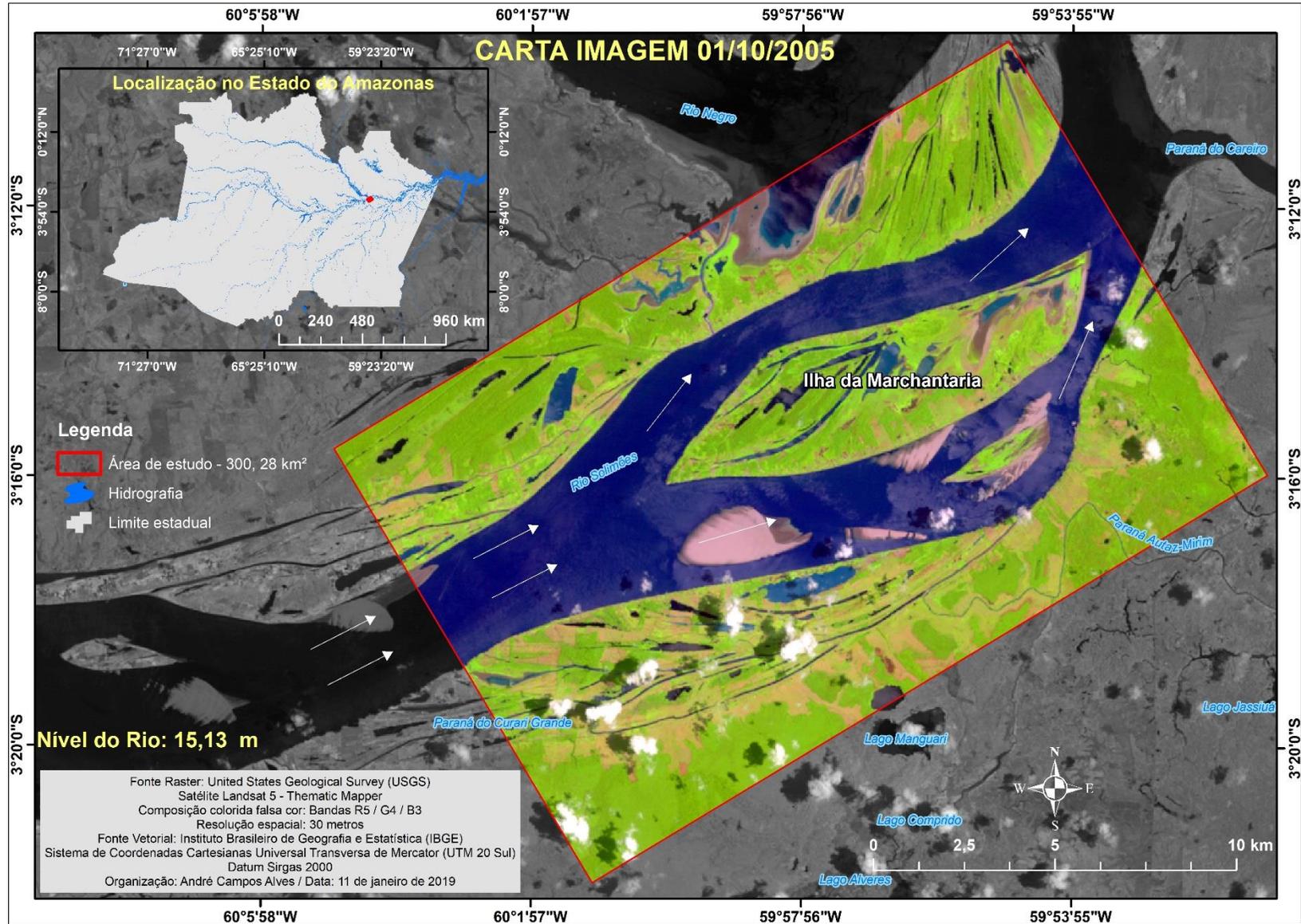
O adequado resultado da composição colorida, aplicação de realce, correção geométrica e recorte das imagens possui relação direta com o processo de classificação e com a posterior análise da dinâmica fluvial (Figuras 20, 21 e 22).

Figura 20 - Carta imagem 1995



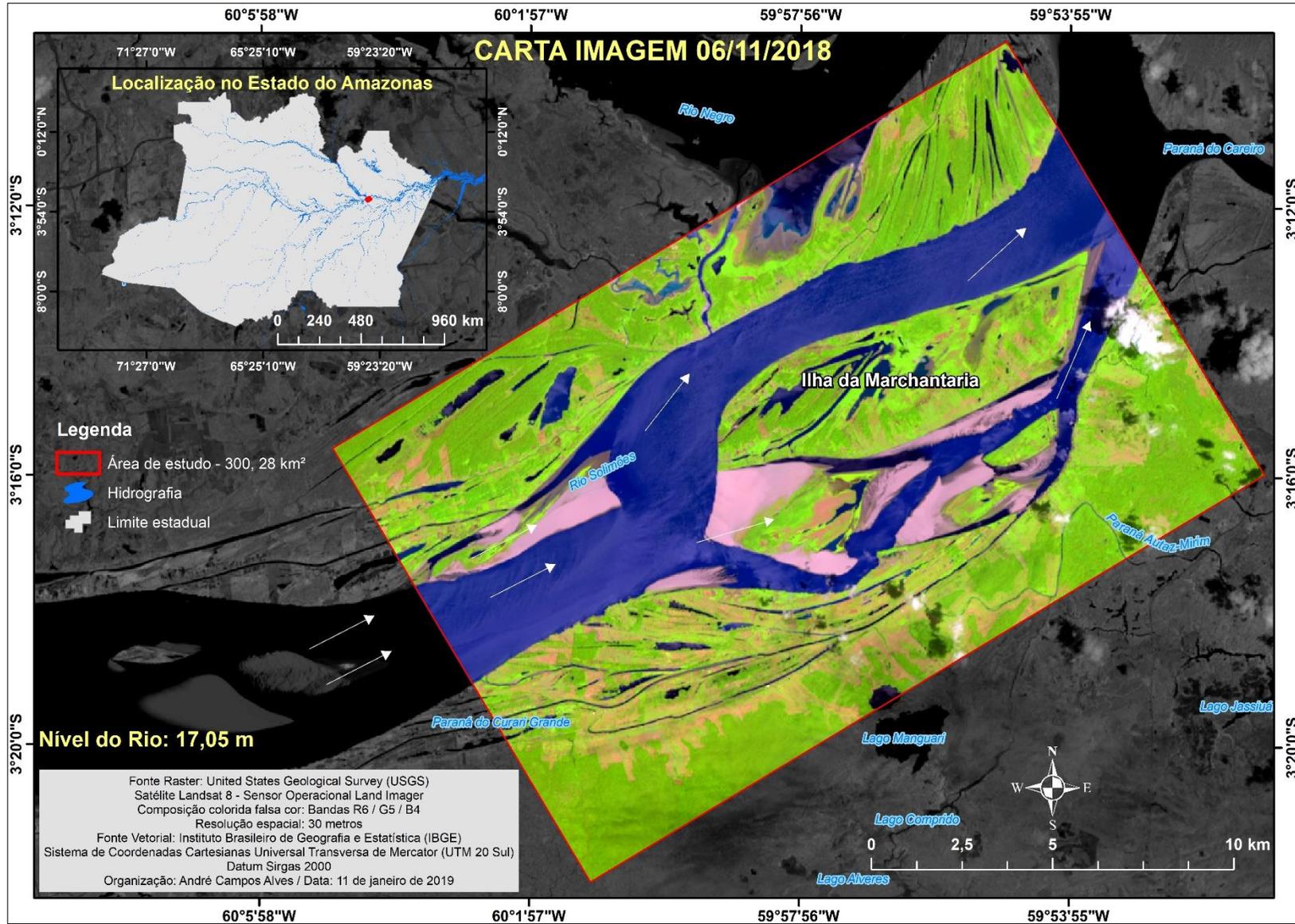
Fonte: INPE (1995). Org.: O autor, 2019

Figura 21 - Carta imagem 2005



Fonte: INPE (2005). Org.: O autor, 2019

Figura 22 - Carta imagem 2018



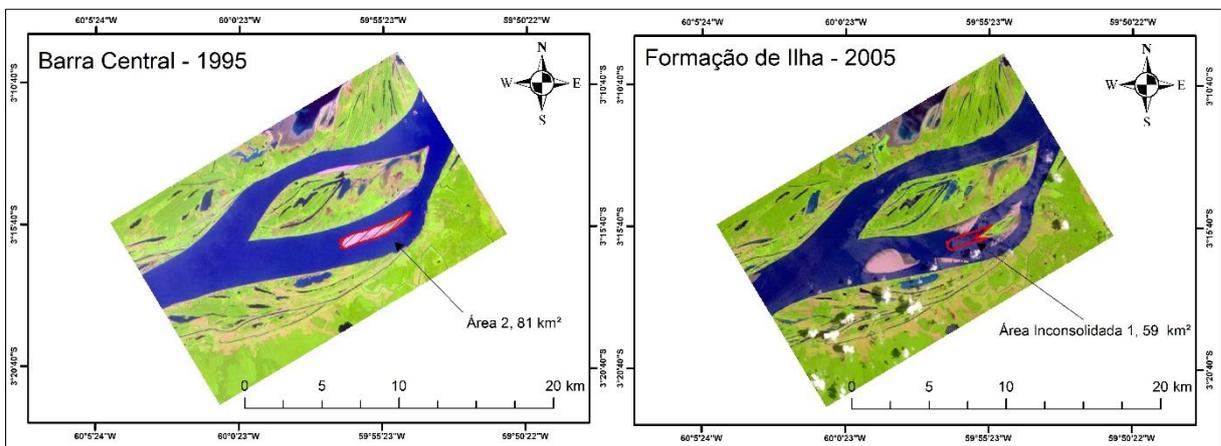
Fonte: USGS (2018). Org.: O autor, 2019

#### 4.1.3 Dinâmica fluvial entre 1995 e 2005

No capítulo 1 observou-se que a forma e o comportamento do rio são atributos dependentes um do outro, de maneira que a forma do rio se configura em razão de um determinado comportamento hidráulico e vice-versa. Com os dados extraídos das imagens de satélite Landsat-5/TM, referente aos anos de 1995 e 2005, é possível demonstrar as principais mudanças morfológicas geradas pelos processos de erosão lateral e deposição de sedimentos, tanto no canal principal como na ilha da Marchantaria.

No correspondente período da análise, constatou-se um acréscimo de barras centrais, sobretudo na margem direita. As barras centrais são geradas durante a subida do rio e, por serem efêmeras, podem desaparecer totalmente nos próximos períodos de cheia. Após 10 anos, a barra central que fazia parte da configuração do canal em 1995 teve decréscimo, consolidando-se somente 1,22 km<sup>2</sup> de sua área total no ano de 2005. Em termos percentuais, 43,41% da área total resistiu ao regime de cheias e vazantes da região, que se tornou estável pelo desenvolvimento de uma cobertura vegetal, iniciada por gramíneas sobre a barra central. (Figura 23).

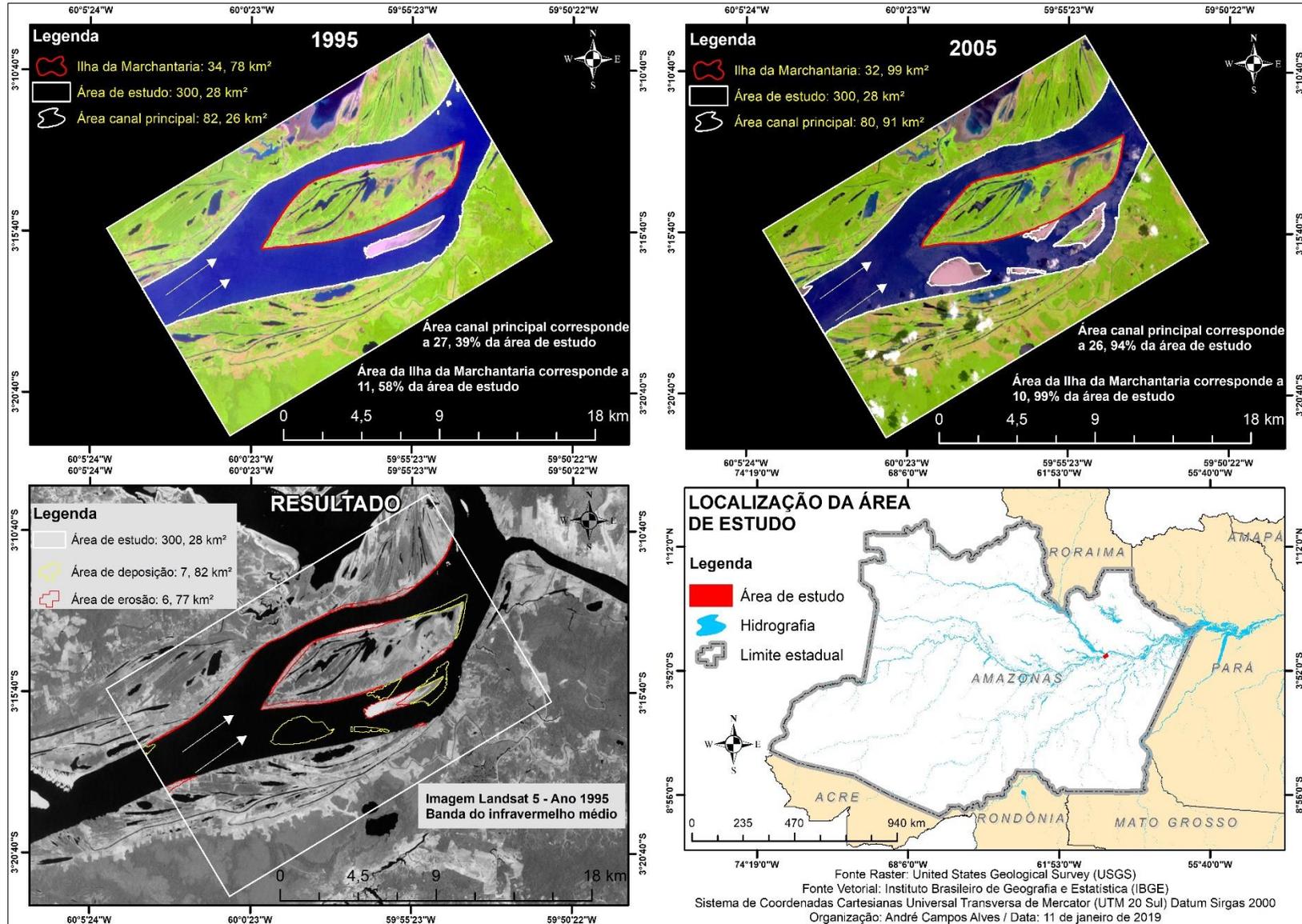
Figura 23 - Barra central e formação de ilha



Org.: O autor, 2019

As barras centrais, no ano de 2005, expressaram também importantes alterações do ponto de vista quantitativo. É possível contabilizar quatro barras centrais somente na margem direita do canal, merecendo destaque três, sobretudo pela dimensão de área (Figura 24).

Figura 24 - Resultados extraídos das imagens de satélite nos anos de 1995 e 2005



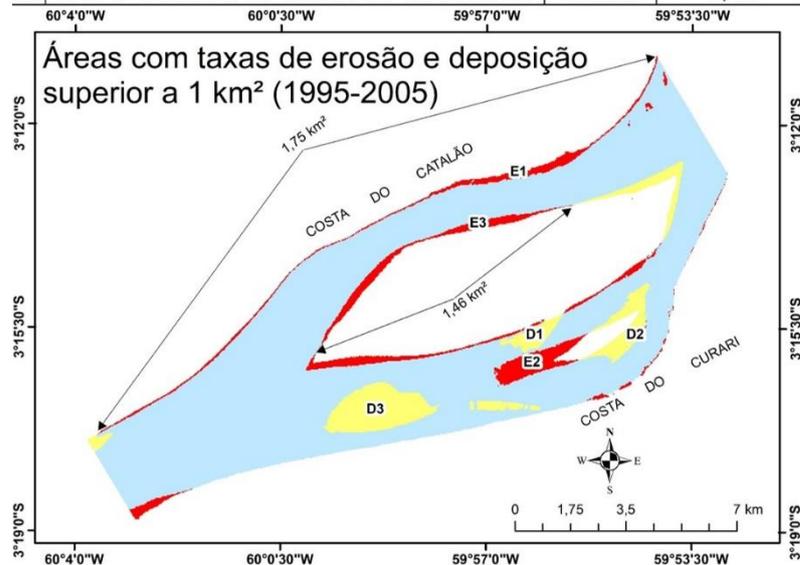
Fonte: INPE (1995; 2005). Org.: O autor, 2019

De modo geral, ocorreu a predominância dos processos deposicionais no canal principal, principalmente na margem direita e, na margem oposta, acompanhando toda a extensão da área de estudo, prevaleceu o processo erosivo. Na ilha da Marchantaria constatou-se uma mudança morfológica ocasionada por processos erosivos fluviais a montante que se estendem, em ambas as extremidades, até o ponto onde se inicia o processo de acreção de sedimentos, a jusante.

O processo erosivo mostrou-se mais intenso na margem esquerda do canal, na costa do Catalão. Uma das razões para que esse processo seja mais acentuado nessa área, conforme a literatura apresentada no capítulo 1, se deve ao formado de curva do canal no referido trecho. Na parte côncava, o fluxo da água acontece com maior intensidade. Nesse sentido, a imagem de satélite comprova os processos de erosão na margem côncava (desenvolvimento de bancos de solapamento) e deposição na margem convexa (formação de praias fluviais) (Tabela 4).

Tabela 4 - Principais pontos de formação de depósitos e áreas de erosão (1995 a 2005)

ID	LOCALIZAÇÃO (CENTROIDE)	CLASSE	ÁREA (km <sup>2</sup> )
D1	LAT 3°16'52.98"S / LONG 59°58'58.00"O	Praias	1,04
D2	LAT 3°15'28.35"S / LONG 59°54'25.33"O	Praias	1,62
D3	LAT 3°15'38.38"S / LONG 59°56'10.17"O	Praias	3,65
E1	LAT 3°13'47.69"S / LONG 59°59'03.31"O	Erosão	1,75
E2	LAT 3°16'08.09"S / LONG 59°56'16.08"O	Erosão	1,59
E3	LAT 3°14'06.55"S / LONG 59°58'19.93"O	Erosão	1,46



Org.: o autor, 2019

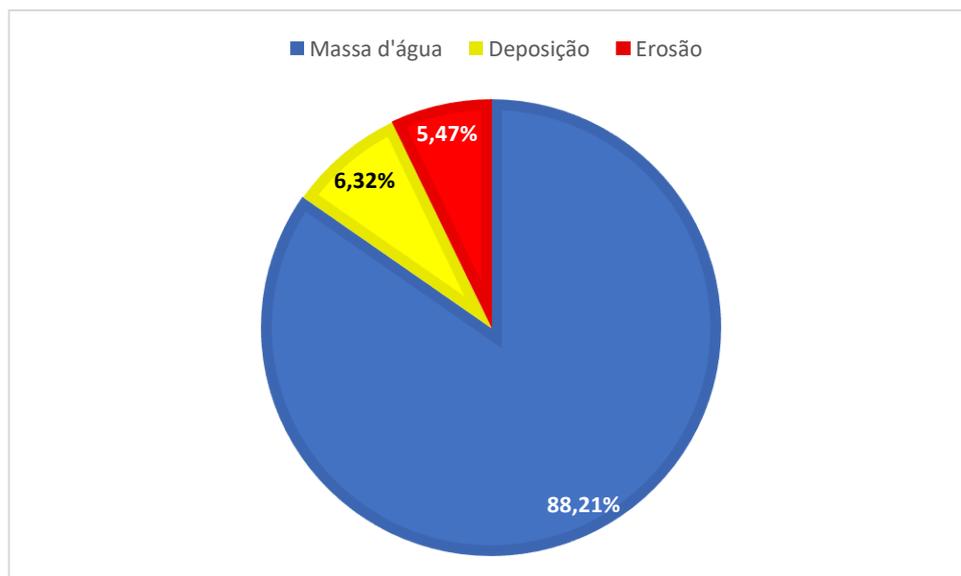
Na margem direita, em relação ao ano de 1995, observa-se a concentração de sedimentos com áreas de dimensões expressivas no ano de 2005. No ano de 1995 a margem direita possuía somente uma barra central com 4,94 km de comprimento e área de 2,81 km<sup>2</sup>, localizada entre a

ilha da Marchantaria e a costa do Curari, no ponto de coordenadas geográficas latitude  $3^{\circ}15'54.82''$  sul e longitude  $59^{\circ}55'43.14''$  oeste. Parte dessa barra central não suportou o regime de cheias e vazantes, interrompido por processos erosivos, condicionados pela alteração na direção das principais linhas de fluxo do rio, consolidando-se uma área de  $1,59 \text{ km}^2$  (Latitude  $3^{\circ}16'08.09''\text{S}$  e Longitude  $59^{\circ}56'16.08''\text{O}$ ).

O quantitativo mais expressivo entre os processos de erosão e deposição, localiza-se no ponto de coordenadas geográficas latitude  $3^{\circ}15'38.38''\text{S}$  e longitude  $59^{\circ}56'10.17''\text{O}$ , correspondendo a uma área de  $3,65 \text{ km}^2$  de material depositado. A posição, a montante do canal, é um indicativo de que o processo de sedimentação é permanente na parte frontal, provocando um perfil bem mais baixo a jusante.

Os resultados quantificados, extraídos a partir da sobreposição das imagens de satélite, permitem afirmar que os valores correspondentes as áreas de erosão e deposição são aproximados. Em valores absolutos, a diferença entre um processo e outro é de  $1,05 \text{ km}^2$ . Percentualmente, levando em consideração a área de canal apresentada na imagem do ano de 2005, a diferença entre as taxas de erosão e deposição não alcança a marca de 1% (Figura 25).

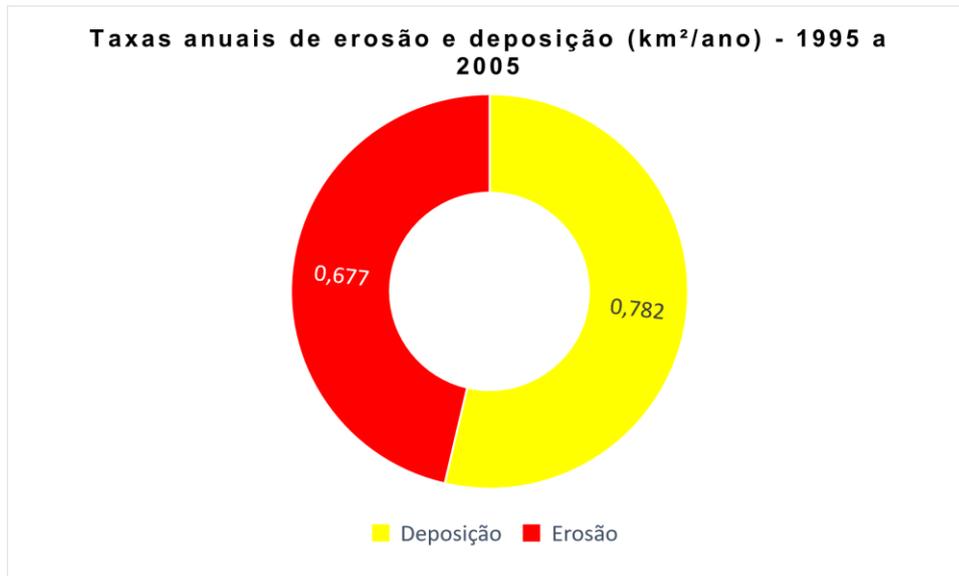
Figura 25 - Percentual de erosão e deposição levando em consideração a área do canal em 2005



Org.: O autor, 2019

A partir de um cálculo elementar, dividindo os valores de área da erosão e deposição pelo tempo decorrido no referente período, estimou-se as taxas anuais dos processos erosivos e deposicionais (Figura 26).

Figura 26 - Estimativas anuais dos processos erosivos e deposicionais (1995-2005)



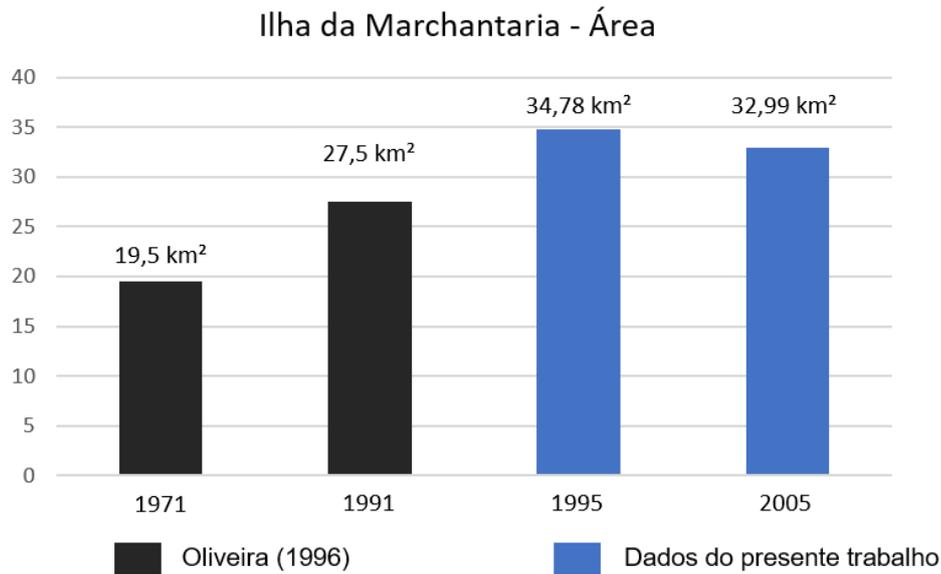
Org.: O autor, 2019

Apesar da pouca diferença em termos numéricos, visualmente, comparando as imagens sem qualquer recurso tecnológico ou aplicação de técnicas computacionais, a diferença entre elas, sobretudo no canal principal, é facilmente perceptível e tendenciosa, pois induz o observador a afirmar que o processo de deposição foi muito superior ao processo erosivo em uma década.

#### 4.1.3.1 Evolução da ilha da Marchantaria (1995-2005)

Na pesquisa de Oliveira (1996), com uma proposta semelhante a este trabalho, a conclusão sobre a ilha da Marchantaria, do ponto de vista geomorfológico, é significativa. No ano de 1971 a ilha aparece com uma área de 19,5 km<sup>2</sup> e, após 20 anos, uma nova configuração espacial é observada, passando a ter aproximadamente 27,5 km<sup>2</sup>. Isso significa que a ilha da Marchantaria cresceu 8 km<sup>2</sup>, valor que pode ser maior, pois, conforme ressalta o autor, a imagem corresponde ao mês de agosto, quando se inicia o período da vazante. Nesse sentido, o trabalho de Oliveira (1996), para fins comparativos, é fundamental para compreender a atual configuração da ilha (Figura 27).

Figura 27 - Evolução geomorfológica da ilha da Marchantaria (1971 – 2005)



Fonte: Oliveira (1996). Org.: o autor (2019)

A imagem Landsat-5/TM utilizada por Oliveira (1996) corresponde ao dia 08/08/1991, data em que a cota do rio era de 27,44 m. Naquele ano, o rio começou o período de vazante no dia 06/07, atingindo a cota máxima no dia 05/11, com 16,07 m. Apesar da diferença de 11,37 m da cota da imagem para o nível máximo da vazante, baseado no gráfico, a leitura que se tem é que a ilha da Marchantaria chegou a sua dimensão máxima no ano de 1995 e que, desde então, passou a decrescer gradativamente nos anos seguintes.

No correspondente período do presente trabalho a diferença do nível do rio, fator preponderante nesse tipo de análise, em ambos os anos, não ultrapassam a cota de 16 metros. A variação entre as cotas fluviométricas é de 0,77 centímetros, valor que não compromete o resultado do trabalho em razão da resolução espacial das imagens e, obviamente, a escala de estudo (Tabela 5).

Tabela 5 - Dados referentes as imagens e rio Solimões

Satelite/sensor	Data do imageamento	Cota fluviométrica	Diferença entre as cotas fluviométricas
Landsat-5/TM	06/10/1995	15,90 m	0,77 cm
Landsat-5/TM	01/10/2005	15,13 m	

Org.: O autor (2019)

Mesmo que sejam considerados as diferenças entre as cotas das imagens de 1995 e 2005, a ilha da Marchantaria, no intervalo temporal de 10 anos, passou pelo processo de decréscimo de área, estimada 1,02 km<sup>2</sup>.

#### 4.1.4 Dinâmica fluvial entre 2005 e 2018

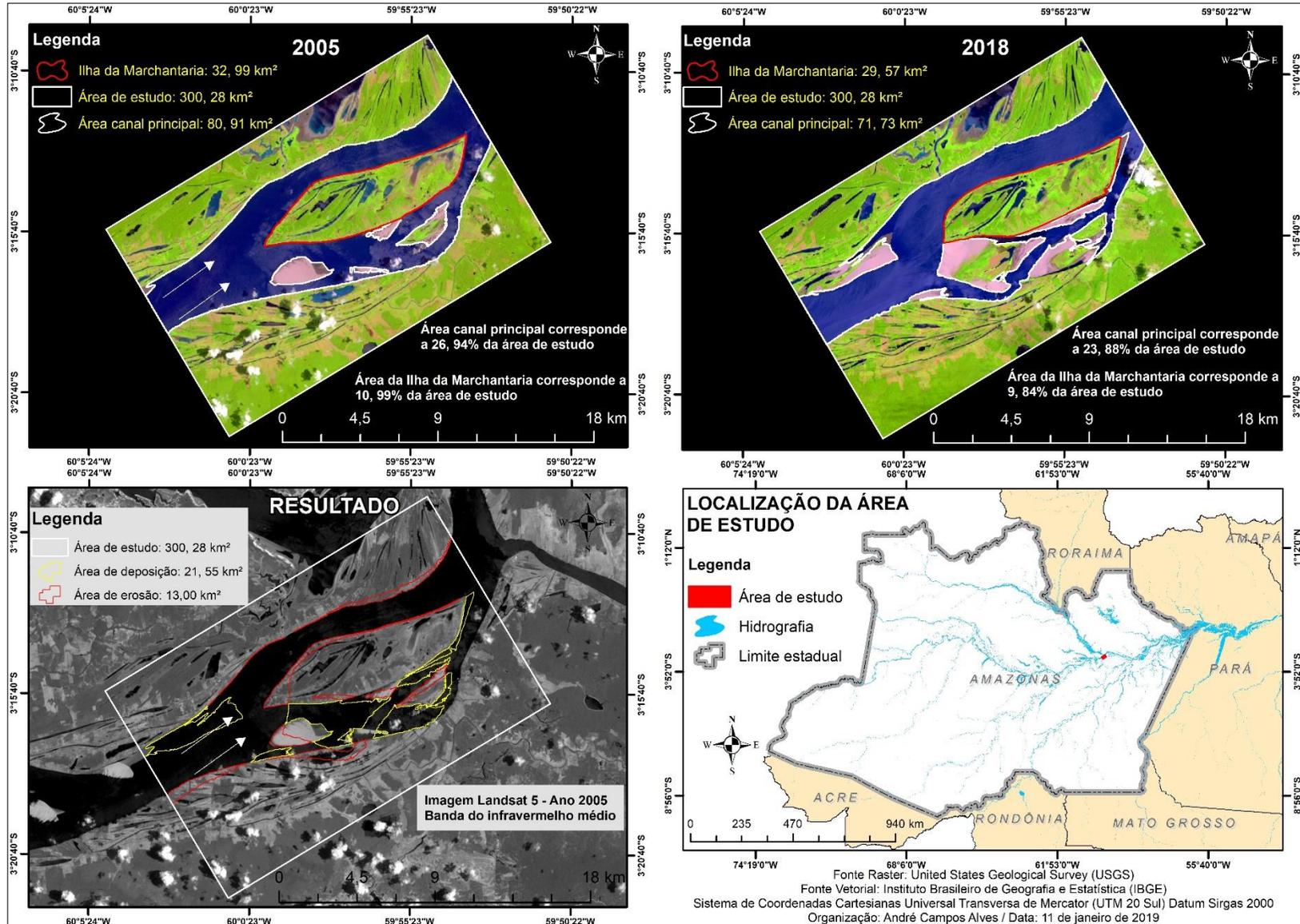
Observou-se que no primeiro período de análise (1995-2005), o trecho do rio Solimões selecionado para este estudo se mostrou bastante suscetível a evolução tanto do seu canal como da ilha da Marchantaria. Com os dados extraídos das imagens de satélite Landsat-5/TM e Landsat-8/OLI é possível dar continuidade a análise e demonstrar se haverá uma tendência ao processo de deposição para os anos posteriores.

No período de 2005 a 2018, o processo deposicional continuou prevalecendo em relação ao processo de erosão. Constatou-se um aumento significativo das barras centrais, algumas passaram a fundir-se a outras, e o surgimento de novas ilhas na margem direita do canal. Nota-se também a formação de um lago localizado no ponto de coordenadas latitude 3°16'20.77"S e longitude 59°57'34.00"O.

Os lagos são fenômenos de curta durabilidade na escala geológica, portanto surgem e desaparecem no decorrer do tempo. A formação de lagos está associada a intensa atuação da dinâmica fluvial neste trecho do rio Solimões. O surgimento de lagos é um indício de que o canal está migrando continuamente devido o material que vem sendo depositado em cada período de cheia/vazante.

A continuidade no processo de formação de ilhas na margem direita é indicativo de que nesta seção do canal, a margem oposta é mais estreita. Dessa maneira, quando as águas do rio Solimões adentram na margem direita, a velocidade do fluxo diminui de forma proporcional à largura da seção, proporcionando a deposição de sedimentos que, posteriormente, darão início a formação de ilhas mediante a fixação da vegetação (Figura 28).

Figura 28 - Resultados extraídos das imagens de satélite nos anos de 2005 e 2018

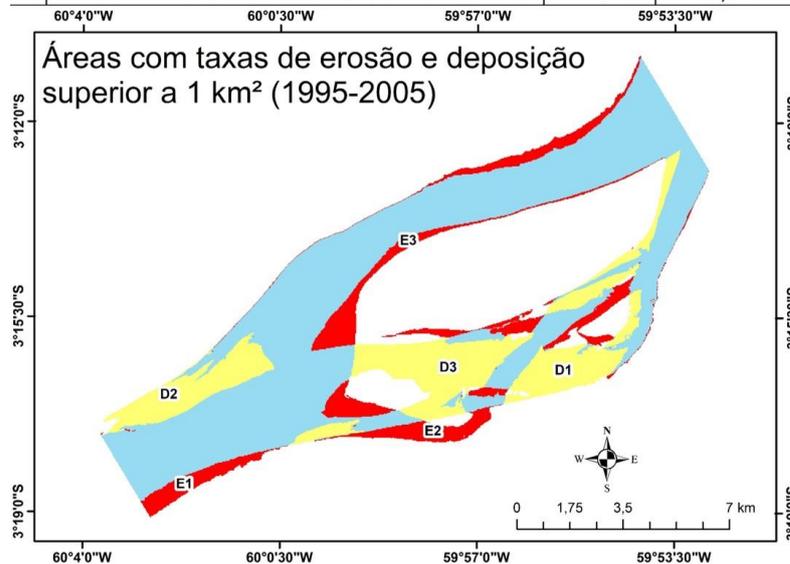


Fonte: INPE (2005); USGS (2018). Org.: O autor, 2019

Os processos de erosão e deposição, no que se refere à disposição espacial, mantiveram-se concentrados, respeitando as primícias da Geomorfologia Fluvial observadas no período de 1995 a 2005: consolidação dos processos deposicionais na margem direita e, na margem esquerda, superioridade dos processos erosivos. No entanto, em algumas áreas, ocorreram anomalias, se considerar as expectativas geradas a partir dos resultados da primeira década de estudo (Tabela 6).

Tabela 6 - Principais pontos de formação de depósitos e áreas de erosão (2005 a 2018)

ID	LOCALIZAÇÃO (CENTROIDE)	CLASSE	ÁREA (km <sup>2</sup> )
D1	LAT 3°16'25.40"S / LONG 59°55'16.32"O	Praias	4,91
D2	LAT 3°16'47.25"S / LONG 60° 1'51.38"O	Praias	5,49
D3	LAT 3°16'22.60"S / LONG 59°57'28.76"O	Praias	7,95
E1	LAT 3°18'27.45"S / LONG 60° 2'06.44"O	Erosão	1,97
E2	LAT 3°17'33.72"S / LONG 59°57'41.67"O	Erosão	2,11
E3	LAT 3°14'09.84"S / LONG 59°58'14.77"O	Erosão	2,87



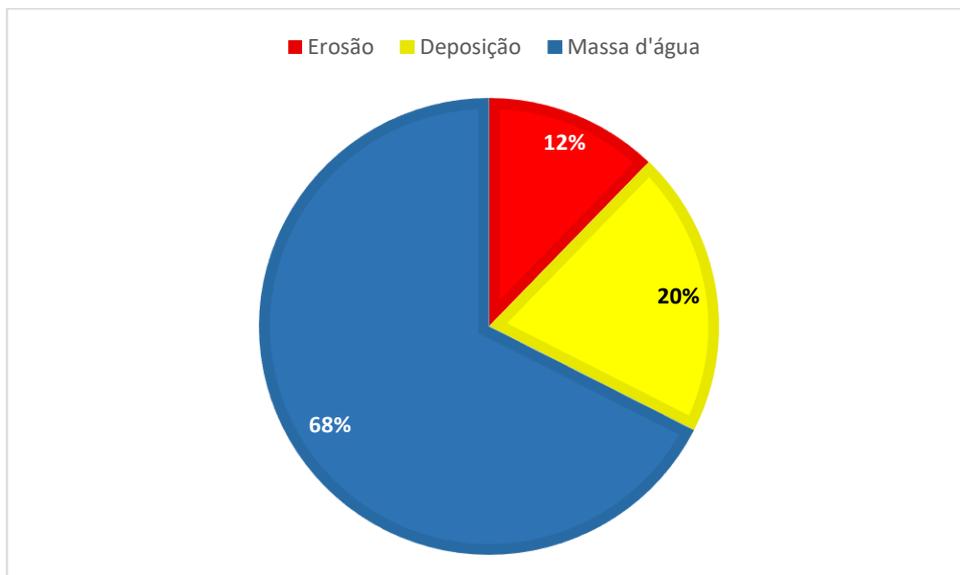
Org.: O autor, 2019

De montante a jusante, verifica-se que o impacto hidráulico causa erosão em quase toda a margem esquerda assim como na parte superior da ilha da Marchantaria e, concomitantemente, a superioridade do processo deposicional na margem direita, na parte inferior da ilha, conforme a dinâmica natural do fluxo. É possível observar a formação de praias com extensão de até 7,95 km<sup>2</sup>. Para se ter uma dimensão do quão expressivo é esse dado, some-se todas as áreas de erosão, ou seja, o resultado é a diferença de 1 km<sup>2</sup> a mais para o processo deposicional. Diferente do ocorrido no primeiro período de análise, o processo erosivo foi

menor na costa do Catalão, sendo superior na ilha da Marchantaria pela margem esquerda do canal, no ponto de coordenadas geográficas latitude 3°14'9.84"S e longitude 59°58'14.77"O.

Como consequência da magnitude do processo deposicional, o canal principal teve sua área reduzida de 80,91 km<sup>2</sup> para 71,73 km<sup>2</sup>, implicando em uma diferença de 9,18 km<sup>2</sup>. Percentualmente, levando em consideração a área de canal apresentada na imagem do ano de 2018, a diferença entre as taxas de erosão e deposição fica em 8%, o que significa que  $\frac{1}{5}$  das três classes (massa d'água, erosão e deposição) consideradas neste trabalho, correspondem ao processo de sedimentação de materiais (Figura 29).

Figura 29 - Percentual de erosão e deposição levando em consideração a área do canal em 2018



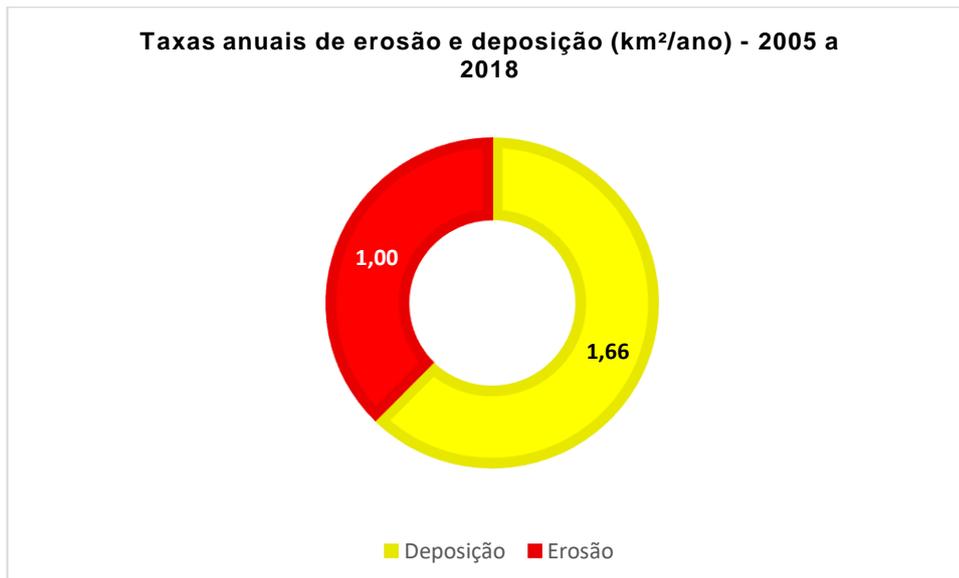
Org.: O autor, 2019

Os percentuais apresentados colocam em pauta a questão da escala temporal versus espacial. Em se tratando da dinâmica fluvial quanto menor o intervalo de tempo mais detalhes são passíveis de serem registrados. Como é possível notar, a evolução do rio Solimões neste trecho é tão rápida e constante que, dependendo da escala temporal, pode não deixar registros na morfologia do canal.

Em termos práticos, mesmo não comprometendo o objetivo deste trabalho, é possível que algum fenômeno tenha sido suprimido em razão da ampliação da escala temporal nesse segundo período, de 10 para 13 anos. Isso evidencia que a escala temporal é um dado importante na caracterização dos processos fluviais em análises por sensoriamento remoto.

Nesse segundo período de análise os processos de erosão e deposição se mostraram mais intensos em números absolutos. Fazendo uso do cálculo para estimar as taxas de erosão e deposição, dividindo as áreas de erosão e deposição pelo período da presente análise, ou seja, 13 anos, constatou-se diferenças numéricas expressivas entre os dois processos fluviais se comparadas aos dados obtidos no primeiro período (Figura 30).

Figura 30 - Estimativas anuais dos processos erosivos e deposicionais (2005-2018)

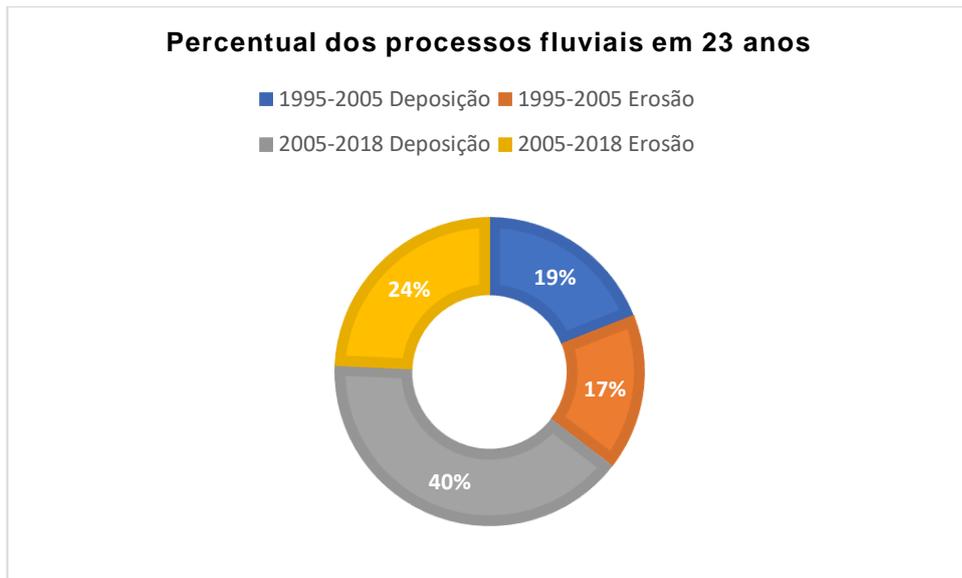


Org.: O autor, 2019

Muito diferente do ocorrido entre os anos de 1995 e 2005, as estimativas anuais de erosão e deposição alcançaram a marca de 1 km<sup>2</sup>, sendo superior a 1,5 km<sup>2</sup> a taxa de deposição. Em termos percentuais, quando observados os valores em ambos os períodos, nota-se uma significativa participação do processo deposicional na configuração espacial do canal, sobretudo no segundo período de análise.

As formas deposicionais presentes no período de 2005 a 2018 representam  $\frac{2}{5}$  da configuração espacial do trecho estudado na escala temporal de 23 anos. Comparado ao primeiro período de análise, o percentual do processo de sedimentação de materiais mais que dobrou. Quanto ao processo erosivo, os percentuais encontrados não foram significativos. A diferença encontrada entre o primeiro e segundo período para o fenômeno terras caídas é de 7%, sendo superior entre 2005 e 2018 (Figura 31).

Figura 31 - Percentual dos processos fluviais em dois períodos (1995-2005); (2005-2018)



Org.: O autor, 2019

O fato mais relevante no que diz respeito aos dados apresentados até aqui, sobretudo para a ciência geográfica, refere-se à capacidade de percepção da mudança da paisagem e a capacidade de correlacioná-los aos processos geomorfológicos em ambientes fluviais. Nesse sentido, a leitura da mudança na configuração espacial do rio Solimões possibilita a aproximação dos conceitos geográficos e de suas categorias de análise.

No caso dos conceitos, por exemplo, é possível entender que a presença da vegetação é um elemento importante para a contenção dos processos erosivos e que sua permanência, principalmente por estar presente em áreas de várzea, possuem relação direta com o tipo de material transportado pela água, tectônica do lugar e, por se tratar da região amazônica, a periodicidade das cheias e vazantes com suas variáveis, aquelas que referem-se aos eventos extremos que impactam em escala global.

Sobre os aspectos visuais, aqueles referentes a mudança na paisagem, a análise das imagens de satélite revela o surgimento de uma nova barra lateral relativamente larga e alongada a jusante da ilha da Marchantaria, na porção sudoeste do losango. Essa nova barra lateral, contrariando o processo de erosão que acontece na margem esquerda do canal mais adiante, está se anexando a costa do Catalão. Na margem oposta, na mesma direção, também está ocorrendo um fenômeno diferente do que se constatou no primeiro período de análise. Uma área que corresponde a 5,49 km<sup>2</sup>, presente na imagem de 2005, foi erodida, deixando de fazer parte da configuração da costa do Curari (Figura 32).

Figura 32 - Processos fluviais a montante da ilha da Marchantaria



Fonte: Rogério Marinho em dia 07/11/2018. Org.: o autor, 2019

Na imagem de satélite do ano de 2018, é possível constatar a formação de um extenso banco de areia na margem direita, inicialmente constituído por material grosseiro que, de acordo com as observações em campo, está servindo de obstáculo para o transporte de sedimentos mais finos por está se consolidando a montante, anexa à ilha da Marchantaria, com formato arredondado nesta extremidade e estirada a jusante conforme o trabalho de transporte exercido pelo fluxo.

Na costa do Catalão é possível identificar tanto pela imagem de satélite como pelo registro fotográfico indícios de uma vegetação pioneira (gramíneas, ervas e arbustos), típica das áreas de várzea, desenvolvida após a consolidação do depósito de canal (Figura 33).

Figura 33 - Índícios de vegetação do tipo gramíneas



Fonte: Rogério Marinho em 07/11/2018. Org.: o autor, 2019

Assim como na costa do Catalão, a margem direita do canal também apresenta em sua configuração pontos em que ocorrem o desenvolvimento da vegetação do tipo gramíneas. No primeiro período da análise (1995-2005) esse espaço era preenchido pela massa d'água, configurando-se inteiramente como canal fluvial. Nesse segundo período (2005-2018) é possível observar que, com o preenchimento do canal, surgem pequenas ilhas que, gradativamente, passam a incrementar a ilha da Marchantaria.

A ilha da Marchantaria apresenta uma vegetação já consolidada em alguns pontos, mesclando zonas com mata ripária com gramíneas e algumas árvores. Também chamada de mata ciliar, esse tipo de vegetação está sujeita a inundações, sendo muito comuns em rios e mananciais (Figura 34).

Figura 34 - Diferença da vegetação encontrada em pontos distintos



Fonte: Rogério Marinho em dia 07/11/2018. Org.: o autor, 2019

A vegetação é considerada como um dos mais importantes indicadores de estabilização de ilhas. Isso acontece porque a presença da vegetação na superfície da barra aumenta a rugosidade em relação ao fluxo de água na cheia, o que dá maior equilíbrio ao material arenoso assim como promove a deposição de material fino e o acúmulo vertical da superfície. A ilha da Marchantaria, apesar de apresentar fatores que indicam sua suscetibilidade a dinâmica do rio Solimões, mostra-se estável pois consegue resistir ao regime de cheias e vazantes, modificando somente sua configuração espacial.

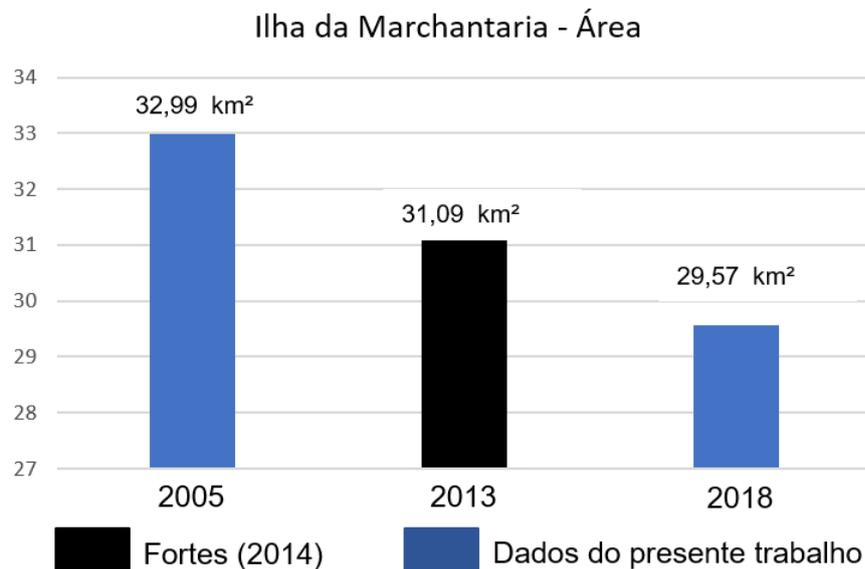
Percebe-se um aumento das barras arenosas nas proximidades da ilha da Marchantaria, na margem direita. Esse processo se deve ao fato do canal, a montante da ilha, ter alargado, implicando na diminuição da velocidade do fluxo do rio, proporcionando o aumento da deposição do material em suspensão. A ilha da Marchantaria, pelo seu formato longitudinal e, principalmente, pela configuração espacial observada no ano de 2005, contribuiu para condicionar parte dos sedimentos para a margem direita do canal. Entretanto, por ela fazer parte

de um sistema complexo, é inevitável que forças atuem sobre a ela, no caso a hidráulica, causando perda de área na porção sudoeste do losango.

#### 4.1.4.1 Evolução da ilha da Marchantaria (2005-2018)

No trabalho de Fortes (2014), a autora concluiu que a ilha da Marchantaria passou por um aumento de área. No entanto, conforme outrora mencionado (*ver página 89*), os processos fluviais nessa área do rio Solimões acontecem muito rapidamente e, no trabalho Fortes (2014), o intervalo temporal entre as imagens é de 57 anos. Ressalta-se que o objetivo do trabalho da autora é totalmente distinto desse, porém, por apresentar um dado importante que demonstra o caráter evolutivo da ilha, enriquecedor do ponto de vista geomorfológico (Figura 35).

Figura 35 - Evolução geomorfológica da ilha da Marchantaria (2005 - 2018)

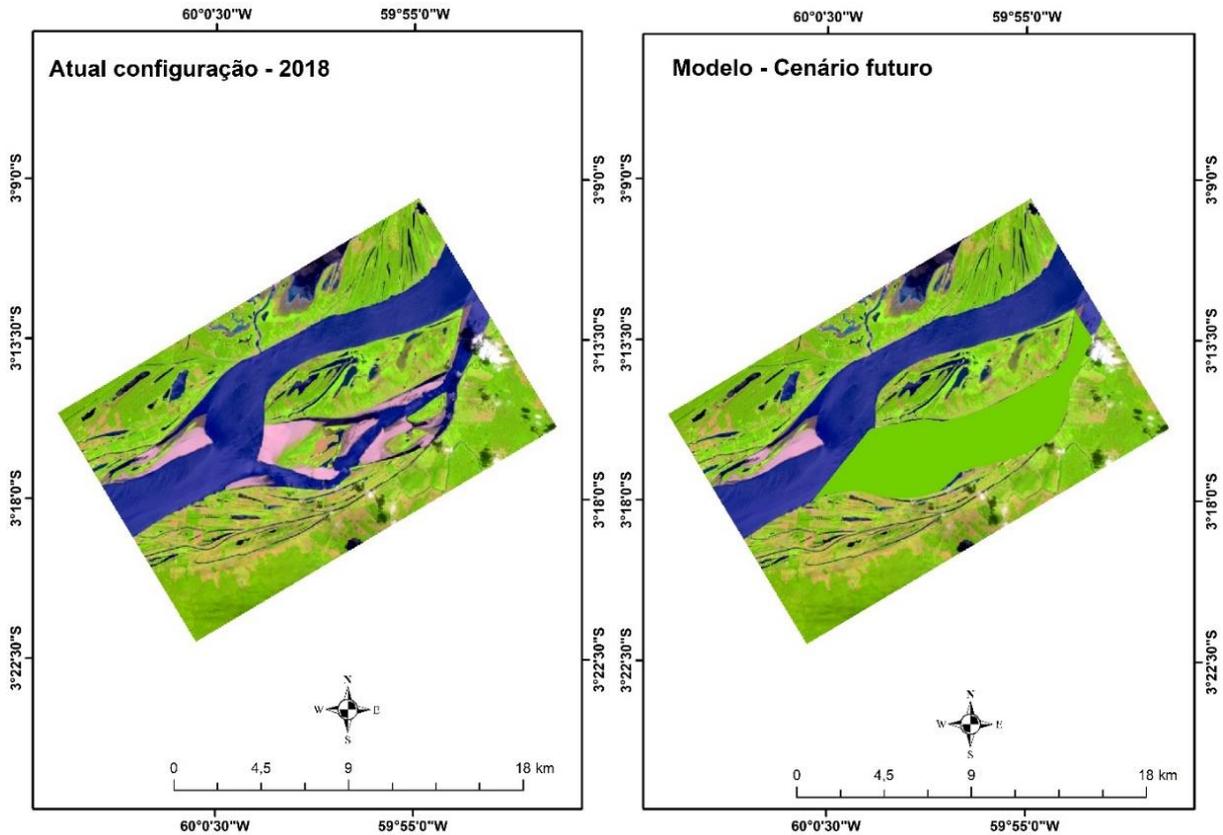


Fonte: Fortes (2014). Org.: o autor (2019)

A redução da área da ilha da Marchantaria está ligada a inúmeros fatores. Entretanto, o processo de acumulação de sedimentos na margem direita, caso seja consolidado, ocasionará o aumento de área e, posteriormente, a ilha da Marchantaria se conectará a margem, pois, a tendência é que os materiais transportados pelo rio Solimões sejam depositados até o encontro

com a costa do Curari. Portanto, o rio Solimões abandonará totalmente a margem direita e, conseqüentemente, o fluxo se dará exclusivamente pela margem esquerda (Figura 36).

Figura 36 - Modelo simples da futura configuração do canal

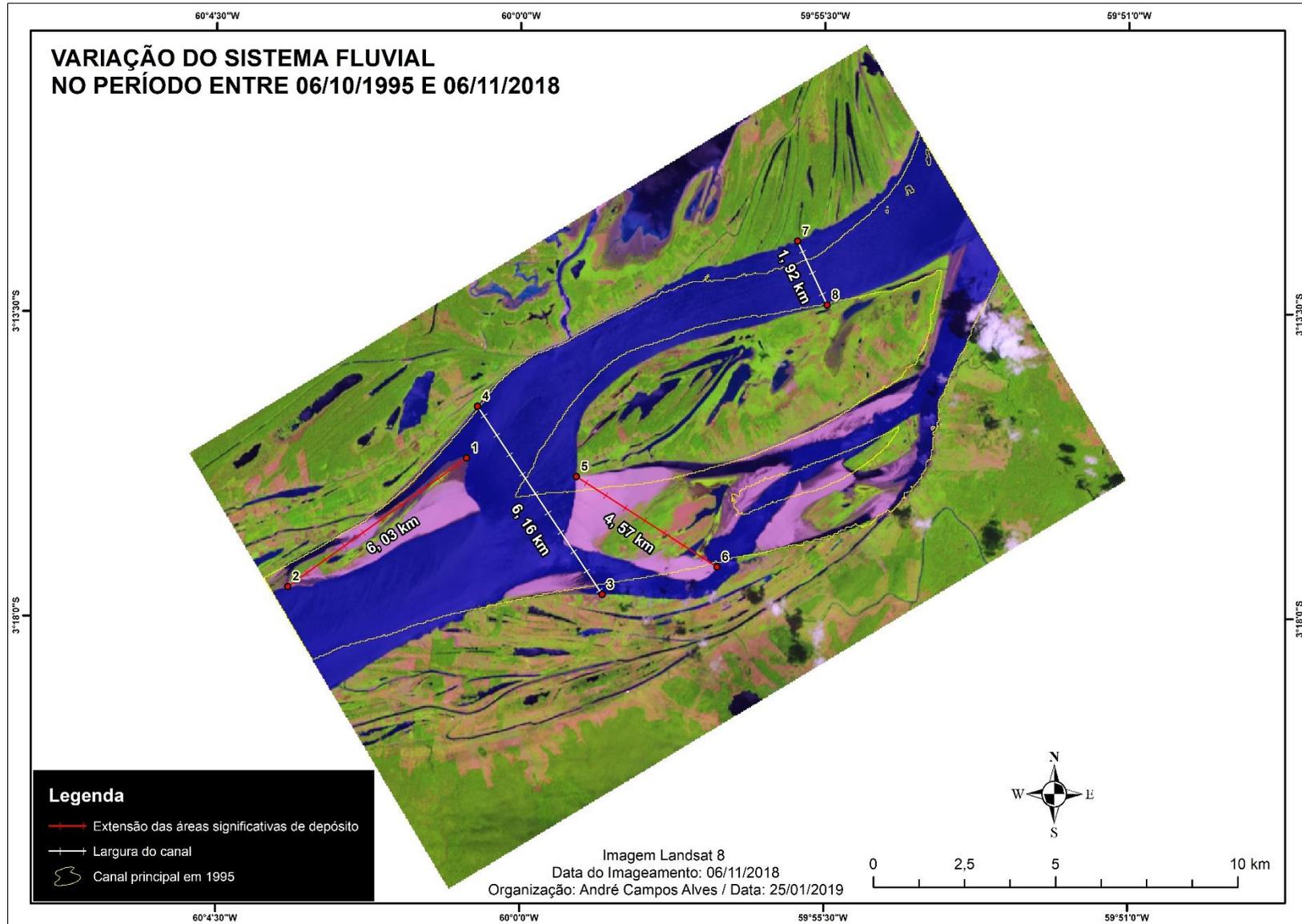


Fonte: USGS (2018). Org.: o autor, 2019

Com o canal totalmente fechado, a pressão hidráulica se dará totalmente pela margem esquerda, ocasionando erosão na costa do Catalão e, conseqüentemente, um ajuste de canal, tornando-o mais largo neste trecho. Esse ajuste de canal já vem acontecendo, pois, comparando a imagem Landsat-5/TM do ano de 1995 com a imagem Landsat-8/OLI do ano de 2018, é possível constatar que as áreas mais afetadas pelo fenômeno terras caídas é a costa do Catalão.

Na porção nordeste do losango, no ponto mais estreito da margem esquerda no ano de 1995, o canal possuía aproximadamente 1,27 quilômetros de largura entre a ilha da Marchantaria e a costa do Catalão. No ano de 2018, o mesmo trecho aparece com aproximadamente 1,92 quilômetros, implicando em uma redução de área da costa em torno de 650 metros (Figura 37).

Figura 37 - Diferença na configuração do canal entre 1995 e 2018



Fonte: INPE (1995); USGS (2018). Org.: O autor, 2019

Da costa do Curari (ponto 3) para a costa do Catalão (ponto 4), trecho a montante da ilha da Marchantaria, o canal também está mais largo (6,16 quilômetros), principalmente pela erosão significativa na margem do Catalão, gerando um polígono equivalente a uma área de 2,11 quilômetros.

Para fundamentar as observações feitas por meio das imagens de satélite, o levantamento batimétrico, que consiste em medir a profundidade do rio, é uma técnica que contribui para o entendimento dos processos que ocorrem na superfície.

## 4.2 Análise batimétrica

A análise batimétrica corrobora para a compreensão dos processos hidrodinâmicos, pois permite que sejam investigadas tendências topográficas de fundo dos corpos d'água. Nesse sentido, aliada as observações realizadas pelas imagens de sensores remotos orbitais, é possível encontrar respostas para os processos que são observados na superfície. Neste trabalho, a ordem dos perfis batimétricos respeita o sentido do fluxo, sendo numerados de 1 a 5 de montante para jusante (Figura 38).

Figura 38 - Localização dos perfis batimétricos



Fonte: Digital Globe (2019). Org.: o autor, 2019

O perfil batimétrico transversal nº 01, foi traçado a partir da costa do Catalão (margem esquerda: 3° 14' 55.22" S e 60° 0' 39.04" O) para a ilha da Marchantaria (3° 16' 31.21" S e 60° 0' 53.45" O). Este foi realizado à montante da ilha da Marchantaria, onde o canal principal apresenta aproximadamente 3.057 m de largura (Figura 39).

Figura 39 - Perfil batimétrico transversal do rio Solimões nº 01

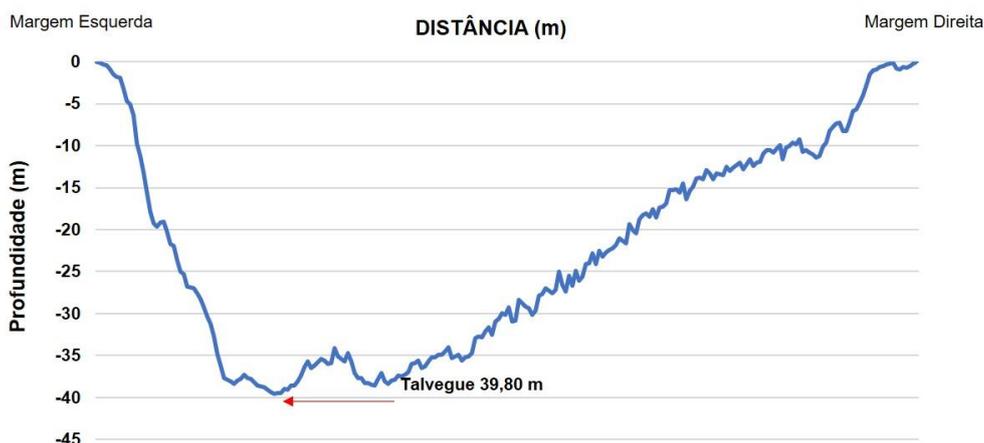


Fonte: Trabalho de campo, 02/12/2017. Org.: o autor, 2019

A sessão exibe o talvegue encaixado em 39,5 m de profundidade, a uma distância de 1.776 m da margem direita, além de uma notável elevação central, o que pode ser caracterizado como o início da ilha da Marchantaria, uma parte ainda submersa. Neste perfil, evidencia-se também um depósito em formação na margem esquerda, onde o rio apresenta baixas profundidades em um trecho aproximado de 180 m.

Em relação ao perfil nº02, este iniciou-se na ilha da Marchantaria (margem direita: 3° 16' 0.11"S e 59° 59' 26.20"O) em direção à costa do Catalão (margem esquerda: 3° 16' 31.21" S e 60° 0' 53.45" O). Nesta sessão, o rio Solimões apresenta uma largura de aproximadamente 1.776 m e o talvegue encaixado a uma profundidade de 39,80 m e distância de 610,5 m da margem esquerda, devido a quase metade da sessão ser composta por materiais que compõem a ilha da Marchantaria pela margem direita e pela margem esquerda, o depósito evidenciado no perfil nº 01 (Figura 40).

Figura 40 - Perfil batimétrico transversal do rio Solimões n° 02



Fonte: Trabalho de campo, 02/12/2017. Org.: o autor, 2019.

O perfil batimétrico transversal n° 03, foi traçado a partir de um depósito recente, paralelo a ilha da Marchantaria (margem direita: 3° 15' 37.57" S e 59° 55' 6.51" O) em direção à ilha da Marchantaria (margem esquerda: 3° 15' 10.15" S e 59° 55' 37.63" O). Na sessão, o canal possui largura de 298 m, e o talvegue, de 6,50m de profundidade, encaixado a apenas 65,12m da margem direita. Nota-se a diminuição brusca de profundidade em relação aos dois perfis anteriores, além da configuração de um acúmulo de sedimentos em quase toda a extensão do gráfico, o que, por se tratar de uma área propícia à deposição e estar entre dos depósitos holocênicos, estima-se, que em um futuro não tão distante, ocorra a união desses depósitos e com isso o aumento da ilha da Marchantaria no trecho (Figura 41).

Figura 41 - Perfil batimétrico transversal do rio Solimões n° 03



Fonte: Trabalho de campo, 02/12/2017. Org.: o autor, 2019.

O perfil n° 04, inicia-se na costa do Curari (margem direita: 3° 15' 6.49" S e 59° 53' 48.53" O) e foi concluído na ilha da Marchantaria (margem esquerda: 3° 14' 32.64" S e 59° 54' 36.28" O). O rio Solimões exibe uma largura de 657 m nesse trecho, e o canal encontra-se estabilizado e sem alterações relevantes, com talvegue de 16m, localizado a 374 m da margem direita (Figura 42).

Figura 42 - Perfil batimétrico transversal do rio Solimões n° 04



Fonte: Trabalho de campo, 02/12/2017. Org.: o autor, 2019.

O perfil n°05, foi traçado da costa do Curari (margem direita: 3° 13' 58.65" S e 59° 53' 24.53" O) para a ilha da Marchantaria (margem esquerda: 3° 13' 50.63" S e 59° 53' 54.46" O). O trecho possui 1.014 m de largura e o talvegue com 14,20m de profundidade a uma distância de 97,68m da margem direita. Nele, é possível notar, uma elevação na margem direita, resultante de materiais constituintes da costa do Curari, forçando o talvegue a localizar-se nas proximidades da margem esquerda, próximo a ilha da Marchantaria (Figura 43).

Figura 43 - Perfil batimétrico transversal do rio Solimões n° 05



Fonte: Trabalho de campo, 02/12/2017. Org.: o autor, 2019.

Os processos erosivos e deposicionais possuem relação direta com os eventos climáticos e meteorológicos. Assim como em todo o globo, nas últimas três décadas a Amazônia não esteve imune aos eventos extremos que provocaram alterações no regime de cheia e vazante dos rios, implicando em alterações significativas no que diz respeito a geomorfologia fluvial.

### 4.3 Eventos extremos

Pesquisas apontam que desde a década de 1990, os eventos extremos aceleram os processos naturais. Partindo desse princípio, estima-se que o trabalho exercido pelo rio Solimões na transformação da paisagem tem sido intensificado pelos eventos climáticos e meteorológicos excepcionais.

Os fenômenos *El Niño* e *La Niña* impactam a região Amazônica de maneiras distintas. No primeiro, quando moderado, a precipitação tende a ser menor que o normal, enquanto, no segundo, também moderado, a precipitação tende a ser maior que o normal.

Tanto para Gonzalez et al. (2013) e Romero et al. (2015), os intervalos de frequência de acontecimentos dos fenômenos *El Niño* e *La Niña* na região vêm se intensificando, causando mudanças climáticas significativas no regime das chuvas máximas diárias na região, o que contribui para a ocorrência de períodos de secas, enchentes e alterações nas estações do ano.

A Amazônia possui registros científicos de eventos extremos entre os anos de 1991 e 2007. De acordo com Nascimento e Mascarenhas Junior (2009), ocorreram seis episódios de *El Niño* e dois de *La Niña* (Tabela 7).

Tabela 7 - Ocorrências de El Niño e La Niña para o período 1991-2007

PERÍODOS DE EL NIÑO	PERÍODOS DE LA NIÑA
1990 – 1993	
1994 – 1995	1995 – 1996
1997 – 1998	1998 – 2001
2002 – 2003	
2004 – 2005	
2006 – 2007	

Fonte: Adaptado de Nascimento e Mascarenhas Junior (2009).

Por se tratar de um sistema extremamente dinâmico, complexo e, ao mesmo tempo frágil, se comparado as atividades antrópicas exercidas sobre ele, as condições anormais referentes a precipitação, trazem elementos que demonstram que o rio Solimões passou e está passando por importantes ajustes na sua morfologia buscando equilíbrio. Portanto, além da tectônica do lugar, as mudanças abruptas no canal estão relacionadas ao intervalo curto dos eventos *El Niño* e *La Niña* na Amazônia, intensificando os processos de erosão, transporte e deposição de materiais.”

Os processos fluviais de erosão, transporte e deposição, na contribuição de Cunha (2012), alternam-se no decorrer do tempo e, espacialmente, são definidos pela distribuição da velocidade e da turbulência do fluxo dentro do canal. Nesse sentido, os eventos extremos ajudaram a intensificar o processo.

Tendo como base os resultados apresentados pelas imagens de satélite e os dados das medidas batimétricas, é possível afirmar que o talvegue do rio Solimões se encontra na margem esquerda e, gradativamente, vem perdendo velocidade na margem direita.

Deve ser enfatizado que o trecho estudado é uma segmentação do rio Solimões e, portanto, não pode ser analisado isoladamente. As áreas que são erodidas e sedimentadas envolvem diversos fatores atuantes não só no trecho em questão, porém também a montante do canal. A maioria das consequências desses fatores não é observada imediatamente nas partes a jusante do canal. Apesar de contemplar o objetivo deste trabalho, é imprescindível realizar um estudo mais complexo para poder identificar qual tipo de relação acontece entre as taxas de sedimentação/erosão por trecho de canal e as diferentes variáveis ambientais que influenciam esses eventos.

#### **4.4 Impactos sociais e econômicos**

A evolução do processo deposicional na margem direita e erosivo na margem esquerda no baixo curso do rio Solimões têm ocorrido de forma acentuada, podendo causar impactos de ordem social e econômica, conforme trabalhos já realizados nas áreas adjacentes (PACHECO et al., 2012; CARVALHO, 2012).

Com relação ao setor econômico, o rio Solimões é importante porque é por meio dele que é escoada a produção petrolífera do Urucu e uma das mais importantes hidrovias no

transporte de cargas e passageiros, principalmente por banhar municípios importantes como: Codajás, Anamá, Anori, Manacapuru e Iranduba até a chegada em Manaus (Figura 44). De Coari até Tabatinga o Rio Solimões percorre as cidades de Tefé, Alvarães, Fonte Boa, Jutai, Tonantins, Santo Antônio do Içá, Amaturá e São Paulo de Olivença até Tabatinga (SANTOS et al., 2018).

Figura 44 - Notícia vinculada nos meios de comunicação

## Com seca dos rios, Petrobras tem dificuldade para escoar petróleo e gás

No AM, trecho seco e estreito de rio prejudica manobras de navios. Bacia do Solimões é uma das maiores em exploração de petróleo do país.

Adneison Severiano  
Do G1 AM



Navios que escoam petróleo e gás estão ancorados em Manaus aguardando condições de navegabilidade (Foto: Divulgação/Sindarma)

Fonte: Reportagem de Adneison Severiano publicada em 25/10/2015.

O processo de deposição na margem direita dificulta a navegação de embarcações com grande calado, sendo totalmente restringida pela Marinha do Brasil, principalmente no período da vazante, pois, conforme observação em campo, mesmo as embarcações do tipo bote, possuem dificuldade em navegar no trecho estudado, gerando transtornos aos moradores da margem que precisam caminhar distancias maiores.

Por outro lado, no processo erosivo, quem mais sofre com o fenômeno de terras caídas no trecho estudado são os moradores da Costa do Catalão que, de acordo com Pacheco et. al (2012), tem suas atividades influenciadas totalmente pelo regime as águas. Muitas áreas que hoje já não existem, eram cultivados milho, feijão, couve, repolho e outras hortaliças. Nesse sentido, Carvalho (2012) atenta para diminuição das propriedades, necessidade de mudança da casa, dificuldade de acesso ao porto, risco de soterramento e perdas de canoas como sendo as principais dificuldades vividas pelos ribeirinhos (Figura 45).

Figura 45 - Matérias relatando a preocupação com o fenômeno terras caídas

Atualizado em 08/01/2018

### Desabamento de terras em Iranduba acaba com comunidade

Fenômeno já levou escola, igreja, centro social e a maioria das casas



Comunidade Costa do Catalão, no Iranduba tem fenômeno de terras caídas

DEAMAZÔNIA IRANDUBA, AM - A comunidade de Costa do Catalão, na zona rural de Iranduba, corre risco de desaparecer, a qualquer momento. O fenômeno terras caídas voltou a levar ao fundo do Rio Solimões mais 100 metros de área de uma parte que sobrou da

**Famílias afetadas pelo fenômeno das terras caídas em Iranduba recebem nova remessa de madeira da Defesa Civil-AM**

13.03 - 23/01/2018



FOTO: Divulgação

A Defesa Civil do Amazonas enviou, nesta terça-feira (23/01), para a comunidade Costa do Catalão, localizada no quilômetro 24, da rodovia AM 070, em Iranduba, mais uma remessa de madeira. O material será doado para as famílias que foram afetadas pelo fenômeno das terras caídas no ano passado.

"A Defesa Civil do Estado dá continuidade as ações de socorro às famílias prejudicadas pelo desastre que ocorreu em 2017, em Iranduba. A madeira entregue aos afetados deverá ser utilizada na construção de novas casas", ressaltou o secretário do órgão, coronel Fernando Pires Júnior. A madeira, que é oriunda de extração legal, foi apreendida pela Delegacia Especializada em Crimes contra o Meio Ambiente (Dema).

Essa é a quinta remessa do material, além de ajuda humanitária (água, caixas d'água e alimentos) enviada à cidade, desde o mês de junho do ano passado, quando a Defesa Civil do município iniciou o processo de remoção de aproximadamente 70 famílias da comunidade Nossa Senhora do Perpetuo Socorro, hoje interditada pelo rio.



ARQUIDIOCESE DE MANAUS

INÍCIO INSTITUCIONAL PARÓQUIAS E ÁREAS RESCISÓRIAS PASTORAIS, MONUMENTOS E COMEMORATIVAS NOTÍCIAS

Notícia: CMH homenagem Favista da Esperança pelos 18 anos de serviços prestados à sociedade - 14/19/2019

### Cáritas faz levantamento das necessidades de ribeirinhos da Costa do Catalão que sofrem com fenômeno da terra caída

5 de agosto de 2017





Correio da AMAZÔNIA

INÍCIO CIDADES POLÍCIA POLÍTICA ECONOMIA ESPORTES AMAZÔNIA CULINAS MAIS

Mais de 51 famílias sofrem com as terras caídas da Costa do Catalão

Por Redação - 7 de julho de 2017



Últimas

- Blogueira debocha de senhora que pediu dinheiro na rua "Tem troco..." - 21 de julho de 2018
- Diego entra em conflito com torcedores do Flamengo em aeroporto - 21 de julho de 2018
- Amazaprep concedeu mais 1,2 mil benefícios a aposentados e pensionistas - 21 de julho de 2018
- CHM de Cumplins é suspeita de "toppedar" milhas de carros motoristas - 21 de junho de 2018

Org.: O autor, 2019

Diante do exposto fica claro a complexidade das terras caídas nas margens no rio Solimões, sobretudo na costa do Catalão e, na costa do Curari, o abrupto processo de sedimentação do canal. Apesar de serem fenômenos naturais, ambos trazem implicações aos moradores ribeirinhos e para a economia da região, merecendo, portanto, investimentos em pesquisa sobre o assunto.

## CONCLUSÕES

O estudo a respeito da morfodinâmica do rio Solimões no trecho que fica a aproximadamente 15 quilômetros de distância do seu encontro com o rio Negro, realizado com o auxílio de imagens de satélite, perfis batimétricos e a concepção sistêmica sobre os elementos que compõem a paisagem permitiu compreender a dinâmica fluvial no local e as resultantes desse processo. Portanto, as considerações dessa pesquisa são:

1 – Os produtos gerados a partir de sensores orbitais da série Landsat, apesar da dificuldade em encontrar cenas com céu limpo ou com poucas nuvens no período de vazante dos rios da Amazônia, mostraram-se eficazes para detectar a evolução geomorfológica do canal e, por conseguinte, a mudança da paisagem no intervalo de 23 anos.

2 – Há pelo menos 40 anos, o trecho estudado apresenta constante evolução, conforme os trabalhos de Oliveira (1996), Costa (2007) e Fortes (2014). Isso se deve a fatores como: a tectônica do lugar, a própria dinâmica fluvial e as oscilações climáticas. Dentre esses fatores, destaca-se a última que, em virtude dos eventos extremos que ocorrem desde a década de 1990, supõem-se que, no intervalo temporal escolhido para este trabalho, tenha sido o principal responsável pela intensificação dos processos fluviais.

3 – Através dos perfis transversais realizados no rio Solimões, afirma-se que a dinâmica, tanto nos contornos quanto dentro do canal, ocorre de maneira intensa, sendo marcada por extensos depósitos de sedimentos em vários pontos, contribuindo para a mudança na geometria do canal e, conseqüentemente, a sua dinâmica, indicando ainda que o talvegue neste trecho encontra-se próximo a margem esquerda.

4 – Os processos que dizem respeito a erosão de margem, regionalmente conhecido como fenômeno “terras caídas” (CARVALHO, 2012), são mais frequentes na costa do Catalão, indicando que a pressão hidráulica ocorre com maior intensidade na margem esquerda. Ao mesmo tempo, o processo de deposição ocorre na costa do Curari, o que permite afirmar que o rio, gradativamente, vem perdendo velocidade pela margem direita.

5 – No que tange as implicações socioeconômicas, destaca-se a perda de terrenos e plantações na costa do Catalão e dificuldade de acesso as áreas portuárias na costa do Curari. As embarcações, principalmente as petrolíferas que transportam gás de cozinha e óleo mineral oriundas da Província Petrolífera do Urucu, são afetadas diretamente com o processo de deposição de canal, pois, por possuírem grande calado, a navegação torna-se inviável pela margem direita.

Finalmente, acredita-se que este trabalho, apesar de ter uma proposta no campo da Geografia Física, traz elementos que rompem com a tradicional fragmentação da ciência abordando também aspectos humanos, sobretudo quando fica claro a influência dos regimes de cheias e vazantes sobre a população ribeirinha e sobre o setor econômico. Da mesma forma, mesmo que seja um trecho pequeno se comparado a extensão total do rio Solimões, os resultados aqui apresentados ajudam a compreender a dinâmica que ocorre no canal e sua importância na configuração da paisagem.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, Aziz Nacib. Amazônia Brasileira: Um macrodomínio. In: **Os domínios de natureza do Brasil: potencialidades paisagistas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.p. 65-81.

AB'SABER, Aziz Nacib. **Bases para o estudo dos ecossistemas da Amazônia brasileira**. Revista Estudos Avançados, v. 16, n. 45, São Paulo: USP, 2002. p. 30. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v16n45/v16n45a02.pdf>. Acessado em: 12/01/2019.

AB'SABER, Aziz Nacib. **Problemas Geomorfológicos da Amazônia Brasileira**. Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica. 1967. v. 1, p. 35-68.

ALECRIM, José Duarte; SANTOS JÚNIOR, Elias Vicente da Cruz; BECKMAN, Mauro Jeusy Vieira; TAKAKI, Armando Junho Hideto; JOVINAPE FILHO, Alberto Rodrigues; ALEXANDER, Jan.; MARRIOTT, Susan. Floodplains: Interdisciplinary Approaches. **Geological Society of London Special Publications**, v. 163: 1-13, 1999.

ALMEIDA, Fernando Flávio Marques. **Diferenciação tectônica da plataforma brasileira**. Congresso Brasileiro de Geologia, 23. Salvador-BA, p. 29-46, 1967.

ARAÚJO, Aline Gabriela Silveira. **Morfodinâmica fluvial do Rio Amazonas entre a Ilha do Careiro e a Costa do Varre Vento-AM**. 2018. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

BALSLEV, Henrik. HENDERSON, Andrew. Elaeis oleífera (Palmae) In: BANDEIRA, Arilmara Abade. **Evolução do processo erosivo na margem direita do rio São Francisco e eficiência dos enrocamentos no controle da erosão**. São Cristóvão, 2005. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe–UFS, 2005.

BARBALHO, Célia Regina Simonetti; VALE, Milene Miguel do; MARQUEZ, Suely Oliveira Moraes. **Metodologia do trabalho científico: normas para a construção de trabalhos acadêmicos**. Manaus: EDUA, 2017.

BEMERGUY, Ruth Léa; COSTA, João Batista Sena. **Considerações sobre a evolução do sistema de drenagem da Amazônia e sua relação com o arcabouço tectônico-estrutural**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 1991. 3: 75 – 97.

BERTALANFFY, Ludwig von. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1973.

BOHER, Cláudio Belmonte A.; GONÇALVES, Lina Maria C. **Vegetação**. In: IBGE, Geografia do Brasil: Região Norte, v.3, 1991, Rio de Janeiro: IBGE. P. 1991. 137 – 141.

BORGES, Mauricio Silva; COSTA, João Batista Sena; BEMERGUY, Ruth Léa; FERREIRA JUNIOR, Carlos Roberto Paranhos; HASUI, Yociteru. A esculturação da paisagem do litoral norte do Brasil e sua relação com os movimentos neotectônicos do Quaternário. In: **Simpósio Nacional de Estudos. Tectônicos**, 5, Gramado, 1995. Boletim de Resumos Expandidos... Porto Alegre: SBG/RS e CPGQ/UFRGS. 1995. p. 423-424 p.

BRIERLEY, Gary; FERGUSON, Rob; WOOLFE, Ken. What is a fluvial levee? **Sedimentary Geology**. vol. 114, Issues 1–4, pp. 1-9, 1997.

CAMPBELL, David George; STONE, Judy; ROSAS, Arito. A comparison of the phytosociology and dynamics of three floodplain (várzea) forests of known ages, rio Japurá, western Brazilian Amazon. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 108, pp. 213-237, 1992.

CAPUTO, Mário Vicente. **Discussões sobre a Formação Alter do Chão e o Alto de Monte Alegre**. In: N. J. Reis, M. A. S. Monteiro (Eds.), *Contribuições à Geologia da Amazônia* (v. 2, 148-176). 2011. Manaus: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte (SBG-NO). 2011.

CAPUTO, Mário Vicente. RODRIGUES, Renê. VASCONCELOS, Djalma. N. N. **Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas**. Relatório Interno. Belém: Petrobrás, DIREX/RENOR. 1971.

CAPUTO, Mário Vicente. **Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil**. Tese (Doutorado). Santa Bárbara: Universidade da Califórnia. 1984.

CARMO, Maria Rosária. **Os principais sistemas terrestres e suas relações com o geoambiente na Amazônia Ocidental**. In: RIVAS, A; FREITAS, C. E. C. (Orgs.). *Amazônia: uma perspectiva interdisciplinar*. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2002. p. 55-101.

CARVALHO, José Alberto Lima de. **José Alberto Lima de Carvalho**: depoimento [jul. 2019]. Entrevistador: André Campos Alves. Manaus: UFAM-AM, 2019. Entrevista concedida aos mestrandos do Programa de Pós-graduação da UFAM.

CARVALHO, José Alberto Lima de. **Erosão nas margens do rio Amazonas**: o fenômeno das terras caídas e as implicações na vida dos moradores. Tese (Doutorado). Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Geografia-PPGEO/UFF-2012, 185p.

CAZANACLI, Dan.; SMITH, Norman. A study of morphology and texture of natural levees - Cumberland Marshes, Saskatchewan, Canadá. **Geomorphology**, vol. 25, pp. 43-55, 1998.

CHARLTON, Ro. **Fundamentals of fluvial geomorphology**. Roltledge, 2008. 234 p.

CHITALE, Shrikrishna Vishnu. **River channel patterns**. Journal of the Hydraulics Division, v. 96, n.1, pp. 201-221, 1970.

CHORLEY, Richard John. Geomorphology and general systems theory. **U.S. Geological Survey Professional Paper, n. 500B**. Government Printing Office, Washington, DC, p. 1-14, 1962.

CHORLEY, Richard John; KENNEDY, Barbara. **Physical Geography: A systems approach**. London: Prentice-Hall International, 1971.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. A análise de bacias hidrográficas. In: CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. Edgard Blücher, EDUSP. São Paulo: 1974.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. A geografia física no estudo das mudanças ambientais. In: BECKER, B. et al. (Org.). **Geografia e meio ambiente no Brasil**. São Paulo: Hucitec, 1990, p. 334-345.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Análise de sistemas em geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981. vol. 1. 313 p.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. 2ª edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2002.

COSTA, João Batista Sena, BEMERGUY, Ruth Léa; HASUI, Yociteru; BORGES, Maurício da Silva; FERREIRA JR, Carlos Roberto Paranhos; BEZERRA, Pedro Édson Leal; COSTA, Marcondes Lima; FERNANDES, Jane Maria Garrafielo. **Neotectônica da Região Amazônica: Aspectos tectônicos, Geomorfológicos e Depositionais**. 1996. Disponível em: <http://general.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/422344SenaCosta.pdf>. Acessado em: 15/01/2019.

COSTA, Jorge Aberto Lopes **Análise multitemporal (1986, 1996 e 2006) da Ilha da Marchantaria utilizando sensoriamento remoto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Instituto de Filosofia, Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2007.

COSTA, Marcondes Lima. **Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia**. Revista Brasileira de Geociências, Curitiba. 1991. v. 21, n. 2, p. 146-160.

COSTA, João Batista Sena; HASUI, Yociteru; BORGES, Maurício da Silva; BEMERGUY, Ruth Léa; SAADI, Allaoua; COSTA Jr., Paulo Sucasas. Arcabouço tectônico mesoceno-zóico da região da calha do Amazonas. In: **Simpósio De Geologia Da Amazônia**, 4, Belém, 1994. Boletim de Resumos Expandidos. Belém: SBG. 1994. p. 47-50.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. **Carta hidrogeológica da cidade de Manaus**. Relatório Interno. Manaus: CPRM-AM. 2001.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado do Amazonas. Escala 1:1.000.000**. Manaus: CPRM, 2006. CD ROM.

CPRM. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. **Geodiversidade do Brasil**. Organização: Cassio Roberto da Silva. Manaus, 2008.

CPRM. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. **Geodiversidade do Estado do Amazonas**. Organização: Maria Adelaide Mansini Maia e José Luiz Marmos. Manaus, 2010.

CPRM. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. **Boletim de Monitoramento hidrológico, meses de 2018 (Jan a dez)**. 2018. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/sace/index\\_bacias\\_monitoradas.php?getbacia=bamazonasAnteriores](http://www.cprm.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas.php?getbacia=bamazonasAnteriores). Acessado em: 02/02/2019.

CRAMEZ, Carlos. Glossaire de stratigraphie séquentielle. **Revue de l'Institut français du Pétrole**. vol. 45, n. 3, 1990.

CUNHA, Paulo Roberto da Cruz, MELO, José Henrique G., SILVA, Osvaldo Braga. **Bacia do Amazonas**. Boletim de Geociências da Petrobrás, 2007. 15(2), 227-251.

CUNHA, Sandra Baptista da. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (Orgs.): **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 6ª ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2005. p. 211-252.

DINO, Rodolfo, SILVA, Osvaldo Braga, ABRAHÃO, Daniela. **Caracterização palinológica e estratigráfica de estratos cretáceos da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas**. V Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil. Serra Negra: SBG.1999.

DURY, George Harry. Relation of morphometry to runoff frequency. In: CHORLEY, Richard John (Org.): **Water, earth and man**. Londres: Methuen. 1969. pp. 322-325.  
**el Ecuador**. Publ Mus Cienc Nat Ecuador. 1986. 5: 45 – 49.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília. 2009. p.412.

FERREIRA JUNIOR, Carlos Roberto Paranhos. **Neotectônica da área da bacia de São Luiz**. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Dissertação de Mestrado em Geologia. 1996. p. 139.

FIGUEIREDO Jorge de Jesus Picanço, Hoorn Carina, van der Ven P., Soares Emilson Fernandes. **Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep-sea fan: Evidence from the Foz do Amazonas Basin**, Geology. 2009. vol. 37, p. 619-622.

FILIZOLA Naziano, SPÍNOLA N., W. ARRUDA, W., SEYLER Frédérique, CALMANT Stéphane, SILVA, Joecila Santos. **The Rio Negro and Rio Solimões confluence point – hydrometric observations during the 2006/ 2007 cycle**. River, Coastal and Estuarine Morphodynamics. RCEM. 2009b, n. 1964, p. 1003–1006.

FILIZOLA, Naziano, SEYLER Frederique, MOURÃO Maria Helena, ARRUDA Warley, SPÍNOLA Nikolas SPÍNOLA, GUYOT Jean Loup. **Study of the variability in suspended sediments discharge at Manacapuru, Amazon river, Brazil**. Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis. 2009. v. 16, n. 2, p. 93–99.

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

FILIZOLA, Naziano; GUYOT, Jean Loup; MOLINIER, Michel; GUYOT, Jean Loup; GUIMARÃES, Valdemar; OLIVEIRA, Eurides; FREITAS, M. A. Caracterização hidrológica

da bacia Amazônica. IN: RIVAS, A; FREITAS, C. (org.). **Amazônia uma perspectiva interdisciplinar**. Manaus: EDUA, 2002, p. 33-53.

FORTES, Mircia Ribeiro. **A distribuição espacial da vegetação nas feições geomorfológicas da ilha da Marchantaria: planície do rio Amazonas, AM/Brasil**. Universidade de São Paulo. 2014. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-29042015175051/publico/2014MirciaRibeiroFortes\\_VCorr.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-29042015175051/publico/2014MirciaRibeiroFortes_VCorr.pdf). Acessado em 15/01/2019.

FRANZINELLI Elena; IGREJA, Hailton Luiz Siqueira. **Modern Sedimentation in the Lower Negro River, Amazonas State, Brazil**. *Geomorphology*.2002. v. 44, p. 259-271.

FRANZINELLI Elena; IGREJA, Hailton Luiz Siqueira. **Ponta das Lajes e o Encontro das Águas, AM. A Formação Alter do Chão como moldura geológica do espetacular Encontro das Águas Manauara**. Sítios geo ed. Brasília: [s.n.], 2012.

FRANZINELLI, Elena. **Características morfológicas da confluência dos rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil)**. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 41, n. 4, 2011. 587-596 p.  
FREITAS, Ramon Moraes de; NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes. Mapeamento de áreas alagáveis na Planície do Rio Amazonas a partir de dados do sensor MODIS – Região do Lago Curuaí – PA. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 12., 2003, Goiânia. Anais... São José dos campos: INPE, 2005. p. 533-540. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.12.55/doc/533.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2018.

FURCH, Karin. **Water chemistry of the Amazon basin: the distribution of chemical elements among freshwaters**. In: Sioli, H. *The Amazon: Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin*. Dordrecht: Dr. W. Junk Publ., 1984. p. 99-167.

FURCH, Karin; JUNK, Wolfgang J.; DIETERICH, James; KOCHERT, Michael N. **Seasonal variation in the major cation (Na, K, Mg, and Ca) content of the water of Lago Camaleão, an Amazonian floodplain-lake near Manaus, Brazil**. *Amazoniana*. 1983. 8: 75-89.

GONZALEZ, Rosimeire Araújo; ANDREOLI, Rita Valéria; CANDIDO, Luiz Antonio; KAYANO, Mary Toshie; SOUZA, Rodrigo Augusto Ferreira de. **A influência do evento El Niño - Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul**. *Acta Amazonica*. [online]. 2013, vol.43, n.4, pp.469-480. ISSN 0044-5967. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672013000400009>.

GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (Orgs.).: **Geomorfologia: uma interpretação de bases e conceitos**. 12ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

GUPTA Avijit Large Rivers. **Geomorphology and Management**. John Wiley & Sons, 2007.  
HASUI, Yociteru. **Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônicas ressurge no Brasil**, Belo Horizonte, Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia. Núcleo Minas Gerais. 1990. p. 1 -31.

HICKIN, Edward James. **River Geomorphology**. Wiley: Chichester, 268 p. 1995.

HIEZ Gerard; COCHONNEAU, Gerard; SECHET, Patric; FERNANDES, Urbano Medeiros. **Aplicação do método do Vetor Regional à análise da pluviometria anual da Bacia**

**Amazônica.** Anais 1. In: IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Rio de Janeiro: 1992. p.367-377.

HOORN Carina, WESSELINGH Frank, TER STEEGE Hans, BERMUDEZ M. A., MORA Andrés, SEVINK Jan, SANMARTN Isabel, SANCHEZ-MESEGUER Andrea, ANDERSON Carjsa Lisa, FIGUEIREDO Jorge Picanço, JARAMILLO Carlos, NEGRI F. R., HOOGHMSTRA H., LUNDBERG John, STADLER Tanja, SARKINEN T., ANTONELLI Alexandre. **Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity.**, Science (New York, N.Y.), 2010a, vol. 330, p. 927.

HOORN, Carina, RODDAZ, Martin, DINO, Rodolfo, SOARES, Emílio A.A., UBA, Cornelius, OCHOA Diana, MAPES, Russel. **The Amazonian Craton and its influence on past fluviais systems (Mesozoic-Cenozoic, Amazonia).** In: Hoorn, C., Wesselingh, F.P. (Eds.), Amazonia, Landscape and Species Evolution: a look into the past. Oxford: Wiley. 2010b.

HORBE, Adriana Maria Coimbra; NOGUEIRA, Afonso César Rodrigues; SOARES, Emilio Alberto Amaral; SOUZA, Valmir Silva. **A Laterização na gênese das superfícies de Aplanamento da Região de Presidente Figueiredo Balbina, Nordeste do Amazonas.** In: Simp. Geol. Amazônia, 6, SBG-Norte. 1999. p. 399-402.

HORTON, Robert Elmer. Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v.56, n.3, pp.275-370, 1945.

HUGGETT, Richard John. **Fundamentals of geomorphology.** 2 ed. Londres e Nova York: ed. Third Edition, 2011.

IBANEZ, Delano Menecucci; RICCOMINI, Claudio. **O uso da assimetria de bacias para o estudo neotectônico na Amazônia Central.** Universidade de São Paulo – USP. 2011. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/06.28.14.26/doc/p0749.pdf>. Acessado em 15/01/2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas geográfico escolar.** 5. Ed. – Rio de Janeiro: IBGE, 2010. p.218. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 12/01/2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da vegetação brasileira.** N.1,2 ed., Rio de Janeiro: RJ, 2012.

IGREJA Hailton Luiz Siqueira. **A neotectônica e as mudanças hidrogeológicas do sistema fluvial Solimões-Amazon: “Encontro das águas de Manaus – EAM” – Amazon, Brasil.** Revista Geonorte, Edição Especial. 2012. 2(4):20-33.

IGREJA, Hailton Luiz Siqueira da; CATIQUE, Jorge Aparício. Análise neotectônica dos lineamentos de Itacoatiara centro-leste do estado do Amazonas. In: **Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos**, 6, 1997, Belém. Anais... Belém: SBG/NO, 1997, v. 1, p. 131-33.

IGREJA, Hailton Luiz Siqueira. **Neotectônica: A importância para o bioma amazônico.** In: **Workshop geotecnologias aplicadas às áreas de várzea da Amazônia.** Manaus: Projeto Manejo dos Recursos Naturais da Várzea – PróVarzea, 2007. p. 93-96.

IRION Georg, JUNK, Wolfgang Johannes; MELLO, José A.S.N. **The large central amazonian river floodplains near Manaus: Geological, climatological, hydrological, and geomorphological aspects.** In: JUNK, W. J. (ed.) *The central amazona floodplain – ecology of a pulsing system.* Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 1997.p. 23 – 46.

IRION Georg. **Mineralogical and geochemical contribution to climatic history in central Amazonia during Quaternary time.** Trop. Ecol. 1982. 23, 76 -85.

IRION, Georg. **Clay minerals of Amazonian soils.** In: **The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.** SIOLI, H (Ed). Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers. (Monographiae biologicae, v.56). 1982. p.537-579.

IRION, Georg; ADIS, Joachim; JUNK, Wolfgang Johannes; WUNDERLICH, Friedrich. **Sedimentological studies of the "Ilha de Marchantaria" in the Solimões/Amazon River near Manaus.** Amazoniana, 1983. 8: 1-18.

IRIONDO, Martin H. **Geomorfologia da Planície Amazônica.** Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil. 1982. p. 323-348.

IRIONDO, Martin H.; SUGUIO, Kenitiro. **Geomorfologia da planície Amazônica.** Bulletin INQUA Neotectonic Commission. 1982. v. 4, p. 72-78.

JUNK, Wolfgang Johannes. **As águas da Bacia Amazônica.** In:Salati, E.; Junk, W. J.; Shubart, H. O. R.; Oliveira, A. E. *Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia.* São Paulo: Brasiliense, 1983. Cap. II, p. 45-100.

JUNK, Wolfgang Johannes. **Flood tolerance and tree distribution in central Amazonian floodplains.** In: HOLM-NIELSEN, L.B., NIELSEN, I.C.; BALSLEV, H. (eds). *Tropical Forests - Botanical Dynamics Speciation and Diversity.* Academic. Press, London. 1989. p. 47-64.

JUNK, Wolfgang Johannes. **The Central Amazon Floodplain - Ecology of a Pulsing System.** Verlag Berlin Heidelberg New York: Springer, 1997. 525 p.

JUNK, Wolfgang Johannes; BAYLEY, Peter.; SPARKS, R.E. The flood pulse concept in river floodplain systems. **Proceedings of the international large river symposium**, pp. 110-127, 1989.

KELLERHALS, Rolf; CHURCH, Michael; BRAY, Dale. Classification and analysis of river processes. **Journal of the Hydraulics Division**, vol. 102, pp. 813-829, 1976.

KLINGE, Hans. **Root mass estimation In lowland tropical rain forest of Central Amazonia, Brasil.** 111 - Nutrientes in fine roots from Giant lju·mus podsols. *Tropical Ecology.* 1976. 16 {1): "28· 38.

KLINGE, Hans; FURCH, Karen. **Towards the classification of Amazonian floodplains and their forests by means of biogeochemical criteria of river water and forests biomass.** *Interciencia.* 1991. 16: 196-201.

KLINGE, Hans; FURCH, Karen; HARMS, E. **Selected bioelements in bark and wood of native tree species from Central-Amazonian inundation forests.** Amazoniana. 1984. 9:105-117.

KLINGE, Hans; JUNK, Wolfgang Johannes; REVILLA, J.D. **Status and distribution of forested wetlands in tropical South America.** Forest Ecol. Management. 1990. 33/34: 81-101.

KLINGE, Hans. **Bilanzierung von Hauptnährstoffen im Ökosystem tropischer Regenwald (Manaus) - vorläufige Daten.** Biogeographica. 1976. 7: 59-76

KUWAHARA, Nelson; LAGO NETO João Caldas, ABENSUR, Themis da Costa. **Modelagem de previsão de navegabilidade em rios da Amazônia: ferramenta web de suporte aos usuários do transporte aquaviário.** In: Journal of Transport Literature, v. 6. N. 3, julho/2012. p.60 -89. Disponível em: [www.transport-literature.org](http://www.transport-literature.org). Acesso em: 10/01/2019.

LARAQUE Alain, GUYOT Jean Loup, FILIZOLA Naziano. **Mixing processes in the Amazon River at the confluences of the Negro and Solimões Rivers, Encontro das Águas Manaus, Brazil.** 2009. v. 3140, p. 3131–3140.

LATRUBESSE Edgardo, RESTREPO J. D. **Sediment yield along the Andes: continental budget, regional variations, and comparisons with other basins from orogenic mountain belts.** Geomorphology, 2014, vol. 216, p. 225.

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

LATRUBESSE, Edgardo; FRANZINELLI, Elena. **The holocene aluvial plain of the middle Amazon river, Brazil.** Geomorphology, [Holanda]. 2002. n. 44, p. 241-257.

LEITE Fernanda, OLIVEIRA Ailton A.B., NOVO Evlyn de Moraes. **Análise temporal de dados TM/Landsat 5 e SAR/JERS 1 para a detecção de plantas aquáticas na ilha da Marchantaria.** In: Anais VIII. Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador, 14 – 19. Abril. 1996, INPE. p. 189 -190.

LEOPOLD, Luna Bergere; WOLMAN, Markley Gordon. River channel pattern: Braided, Meandering and Straight. **U.S. Geological Survey Professional Paper, n. 282B.** U.S. Government Printing Office, Washington, DC, pp. 39-85, 1957.

LIMA Hedinaldo; TEIXEIRA Wenceslau Geraldes, SOUZA Kleberson Worsley. **Os solos da paisagem de várzea com ênfase no trecho entre Coari e Manaus.** In: Comunidades Ribeirinhas amazônicas: modos de vida e uso dos recursos naturais: EDUA, 2007.

MARINHO Rogério Ribeiro, MELO Edileuza. **Análise multitemporal da geomorfologia fluvial do rio Solimões entre dois períodos hidrológicos (cheia de 1999 e a vazante 2005).** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4765-4772. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.00.38/doc/4765477.pdf>. Acesso em: 10/01/2019.

MARQUES, Rildo Oliveira. **Erosão nas margens do Rio Amazonas: o fenômeno das terras caídas e as implicações para a cidade de Parintins-AM.** 2017. 174 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

MARTINELLI, Luiz Antonio; LUCAS, Yves; CERRI, Carlos Clemente; VICTORIA, Reynaldo Luiz. **Os solos da Amazônia: distribuição e alterações pelo uso da terra.** In: Pavan, C. Uma estratégia latino-americana para a Amazônia. São Paulo: Memorial, 1996. v. 2, Cap. 14, p. 209-226.

MAURO, Claudio Antonio; NUNES, Bernardo Thadeu de Almeida, FRANCO, Maria do Socorro Moreira. Geomorfologia da folha SB.20 (Purus). In: **Departamento Nacional Da Produção Mineral.** Projeto RADAMBRASIL: levantamento dos recursos naturais. Rio de Janeiro: DNPM, 1978. p. 129-216.

MEADE Robert H. **Suspended sediments of the modern Amazon and Orinoco rivers,** Quaternary International, 1994, vol. 21, p. 29.

MEADE Robert H. **Transcontinental Moving and Storage: The Orinoco and Amazon Rivers Transfer the Andes to the Atlantic,** Large Rivers: Geomorphology and Management, 2008, p. 45-63

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

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília: UNB/CNPQ, 2012

MERTES Leal A. K., DUNNE, Thomas; Luiz A. MARTINELLI, DUNNE. **Channel-floodplain geomorphology along the Solimões-Amazon River, Brazil.** Geological Society of American Bulletin. 1996. v. 108, p. 1089-1107.

MEYER, Ulrike. **Feinwurzelsysteme und Mykorrh'izotypen als Anpassungsmechanismen in zentralamazonischen Oberschwemmungswaldern - igapó und várzea.** Diss. Univ. Hohenheim. 1991.p. 230.

MIRANDA, Evaristo Eduardo. **Quando o Amazonas corria para o Pacífico: uma história desconhecida da Amazônia.** Petrópolis: Vozes, 2007. p.253.

MOLINIER, Michel; GUYOT, GUYOT, Jean Loup; OLIVEIRA, Eurides; GUIMARÃES, Valdemar; CHAVES, Adriana Goretti de Miranda. **Hydrologie du bassin de l'Amazone.** In: Grands Bassins Fluviaux Périalantiques. Paris, 1995, p. 335-344

MOREIRA, Maurício Alves. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e metodologias de Aplicação.** São José dos Campos, 2001. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001, 208p.

NASCIMENTO, Dilermando Alves; MAURO, Claudio Antonio; GARCIA, Maria das Gracias Lobato. Geomorfologia da folha SA.21 (Santarém). In: **Departamento Nacional da Produção**

**Mineral.** Projeto RADAMBRASIL: levantamento dos recursos naturais, Rio de Janeiro: DNPM, 1976. v. 10. p. 131-181.

NASCIMENTO, Telma Santos do.; MASCARENHAS JUNIOR. Tongaté Arnaud. Precipitação na Amazônia: análise da variação entre as porções central e ocidental. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada: A Geografia Física aplicada e as dinâmicas de apropriação da natureza**, 2009, Viçosa. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009.

NIMER, Edmon. **Geografia do Brasil – Região Norte**. Rio de Janeiro: IBGE, V (3), 1991. 307p.

NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes. Ambientes Fluviais. In: FLORENZANO, Teresa Gallotti (Org.). **Geomorfologia, conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

OLIVEIRA, Ailton Antonio Baptista. Análise da dinâmica geomorfológica da planície do rio Solimões, próximo a Manaus, através do processamento digital de imagens de sensores ópticos e de microondas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p. 233-240. CD-ROM. On-line. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/1999/01.27.16.04>>. Acesso em: 12/01/2019.

OLIVEIRA, Ericka Christiane Souza; MARINHO, Rogério Ribeiro. Dinâmica fluvial do rio Amazonas entre Manaus e Itacoatiara com o uso de imagens de satélite. In: **XVIII GEOINFO**, Salvador, pp. 334-339, 2017.

PALHA, Willian Sérgio Marques; CARVALHO, Albertino de Souza. Extração automática de lineamentos e análise neotectônica preliminar da região hidrográfica centro amazônica utilizando dados de interferência de radar. In: **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, INPE. 16 – 21, abril, 2005. p. 1839 – 1846.

PENTEADO, Margarida Maria. **Fundamentos de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

PEREIRA, Henrique dos Santos. **A Dinâmica da Paisagem Socioambiental das Várzeas do Rio Solimões-Amazonas**. 2007. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Henrique\\_Pereira7/publication/287198560\\_A\\_DINAMICA\\_DA\\_PAISAGEM\\_SOCIOAMBIENTAL\\_DAS\\_VARZEAS\\_DO\\_RIO\\_SOLIMOE-AMAZONAS/links/5672958608ae54b5e462bcf5/A-DINAMICA-DA-PAISAGEM-SOCIOAMBIENTAL-DAS-VARZEAS-DO-RIO-SOLIMOE-AMAZONAS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Henrique_Pereira7/publication/287198560_A_DINAMICA_DA_PAISAGEM_SOCIOAMBIENTAL_DAS_VARZEAS_DO_RIO_SOLIMOE-AMAZONAS/links/5672958608ae54b5e462bcf5/A-DINAMICA-DA-PAISAGEM-SOCIOAMBIENTAL-DAS-VARZEAS-DO-RIO-SOLIMOE-AMAZONAS.pdf). Acesso em: 19/01/2019.

PIRES, João Murça; PRANCE, Ghilleant T. **The vegetation types of the Brazilian Amazon**. In: PRANCE, G.T. LOVEJOY, TE. (eds.). Amazonia. Pergamon Press, Oxford:109-145. 1985. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/259688522\\_The\\_vegetation\\_types\\_of\\_the\\_Brazilian\\_Amazon](https://www.researchgate.net/publication/259688522_The_vegetation_types_of_the_Brazilian_Amazon). Acessado em: 19/01/2019.

PRANCE, Ghilleant T. **American Tropical Forests**. In: LIETH, H.; WERGER, M.J.A. (eds). Tropical Rain Forest Ecosystems. Ecosystems of the World 14B. Elsevier Publi, Amsterdam: 1989, p. 99-132

PRANCE, Ghilleant T. **Notes on the vegetation of Amazonia III. The terminology of Amazonian forest subject to inundation**. Brittonia, 31: 26-38. 1979. (Portuguese version published in Acta Amazônica. 10: 495-504,1980).

PRESS, Frank; SIEVER, Raymond; GROTZINGER, John; JORDAN, Thomas H. **Para entender a Terra**. 4. ed. Tradução. Porto Alegre: Bookman, 2006.

RADAMBRASIL. DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA.20 Manaus e SA.21 Santarém** - Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da terra. Rio de Janeiro. (Levantamento de Recursos Naturais, 18). 1978. v 18 e 19. 623p.

REIS, Nelson Joaquim, ALMEIDA, Marcelo Esteves. RIKER Silvio L., FERREIRA, Amaro Luiz. 2006. **Geologia e recursos minerais do Estado do Amazonas**. Programa de Geologia do Brasil (mapas geológicos estaduais, escala 1:1.000.000), MME/CPRM/CIAMA, Manaus, 125 pp.

RITTER, Dale; KOCHER, Craig.; MILLER, Jerry. **Process geomorphology**. Boston: McGraw-Hill, 2002.

ROMERO, Vanessa; MARCUZZO, Fernando Noronha; CARDOSO, Murilo Raphael Dias. Tendência do número de dias de chuva no estado de Goiás e a relação dos seus extremos com o índice oceânico Niño - DOI 10.5216/bgg.v34i3.33867. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 34, n. 3, p. 567-584, 10 jan. 2015.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Os fundamentos da Geografia da Natureza**. In\_(org). Geografia do Brasil. 4 eds., São Paulo: EDUSP, 2001.p. 13 – 66.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo. 1985. n. 4, p. 25-39.

ROZO, José Max González. **Evolução holocênica do rio Amazonas entre a ilha do Careiro e a foz do rio Madeira**. 93 p. (Dissertação. Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Geociências). Manaus - AM, 2004. p.93.

SALATI, Eneas; MARQUES, José; MOLION, Luiz Carlos. **Origem e distribuição das chuvas na Amazônia**. Interciência 3: 1978. p.200-206.

SALATI, Eneias. **O Clima Atual Depende da Floresta**. In: Salati, E.; Junk, W. J.; Shubart, H. O. R.; Oliveira, A. E. Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia. São Paulo: Editora Brasiliense, 1983. Cap. 1, p. 15-44.

SALATI, Eneias; MARQUES, José. **Climatology of the Amazon region**. In: Sioli, H. (ed). The Amazon - Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Dr. W. Junk Publishers, Bonn, Alemanha. 1984, p. 85-126.

SANTOS, Alberto dos Santos; OLIVEIRA, Itaní Sampaio de; ALVES, Cláudio Nahum; MELO, José Douglas da Gama. Navegabilidade na Bacia Hidrográfica do Solimões - trecho compreendido entre Manaus-Coari, Amazonas. In: **6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente.**, 2018, Bento Gonçalves. Inovação com Sustentabilidade em Tempos de Mudança.. Bento Gonçalves: UCS, 2018. v. 1. p. 1-8.

SANTOS, Irani dos; FILL, Heinz Dieter; SUGAI, Martha Regina von Borstel; BUBA, Homero; KISHI, Regina Tiemy; MARONE, Eduardo; LAUTERT, Luiz Fernando de Carli. **Hidrometria Aplicada.** Curitiba, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.

SANTOS, Mayara Queiroz dos. **Morfodinâmica na confluência dos rios Solimões-Amazonas e Rio Negro e a organização sócioespacial na costa do Rebojão e costa da terra nova no período de 1952 a 2016.** 2018. 125 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

SAUSEN, Tania Maria; AQUINO, Luiz Carlos Sérvulo. **Mapeamento geomorfológico da área-programa do Careiro-PDRI/AM através da técnica de sensoriamento remoto.** São José dos Campos, INPE. (INPE-3237-RTR/060). Agosto de 1984. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/rep/5PFmX3pFwXQZ55QH/33DCvC?mirror=dpi.inpe.br/banon/2003/12.10.19.30.54&metadatarpository=>. Acessado em: 18/01/2019.

SCHOBENHAUS, Carlos; CAMPOS, Diógenes. A evolução da Plataforma Sul – Americana no Brasil e suas principais concentrações minerais. In: **SCHOBENHAUS, C. et al. Geologia do Brasil.; texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000.** Brasília, DNPM. 1984. n.501., p. 9 – 53.

SCHUMM, Stanley Alfred. **A tentative classification of alluvial river channels.** United States Geological Survey Circular 477, 1963.

SCHUMM, Stanley Alfred. **The fluvial system.** Caldwell: The Blackburn Press, 1977.

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

SIOLI, Harald. **Amazônia: fundamentos de ecologia da maior região de florestas tropicais.** Petrópolis - RJ: Vozes, 1985. p. 72.

SIOLI, Harald. **Valores de pH de águas amazônicas.** Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. [Belém]. 1957. n. 1, p. 1-35.

SOARES, Emilio Alberto Amaral; TATUMI, Sonia; RICCOMINI, Claudio. **OS L age determinations of Pleistocene fluvial deposits in central Amazonia.** Anais da Academia Brasileira de Ciências. 2010. 82(3), p.691-699.

STERNBERG, Hilgard O'Reilly. **A Água e o Homem na Várzea do Careiro.** 2.<sup>a</sup> ed. Belém: MPEG. 1998. p. 330.

STERNBERG, Hilgard O'Reilly. **Sismicidade e morfologia na Amazônia brasileira.** Anais da Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro. 1953. 25(4): 443-453.

STEVAUX, José Cândido; LATRUBESSE, Edgardo Manuel. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

STRAHLER, Arthur Newell. Dynamic basis of geomorphology. **Bulletin Geological Society America**, v.63, pp.923-38, 1952.

STRAHLER, Arthur Newell. Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis. **American Journal of Science**, vol. 248, pp. 673-696, 1950.

SUGUIO, Kenitiro. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.p. 408.

SUGUIO, Kenitiro. **Mudanças ambientais da Terra**. São Paulo: Instituto Geológico, 2008. p. 336.

SUGUIO, Kenitiro; BIGARELLA, João José. **Ambientes fluviais**. 2 ed. Florianópolis: ed. UFSC, 1990. 183 p.

TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes; ARRUDA, Warlei; SHINZATO, Edgar; MACEDO, Rodrigo Santana; MARTINS, Gilvan Coimbra; LIMA, Hedinaldo Narciso; RODRIGUES, Tarcísio Ewerton. **Solos do Estado do Amazonas**. In: MAIA, M. A. M. e MARMOS, J. L. (Ed.). Geodiversidade do estado do Amazonas. 1. Manaus: CPRM, 2010. cap. 6, p.71 – 86.

THOMAS, David; GOUDIE, Andrew. **The Dictionary of Physical Geography**, 3<sup>a</sup> ed., Blackwell, 2000. 610 p.

TRICART, Jean. **Tipos de planícies aluviais e de leitos fluviais da Amazônia brasileira**. Revista Brasileira de Geografia - IBGE. Rio de Janeiro, 1977. p. 3. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/115/rbg\\_1977\\_v39\\_n2.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/115/rbg_1977_v39_n2.pdf). Acesso em: 17/01/2019.

TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura; ROCHA, Odete. **Ecosistemas de Águas Interiores**. In:Rebouças, A. c.; Braga, B.; Tundisi, J. G. Águas Doces no Brasil - Capital Ecológico, Uso e Conservação. São Paulo: Escrituras Editoras, 2002. Cap. 5, p. 153-194.

USDA (United States Department of Agriculture) FISRWG (Federal Interagency Stream Restoration Working Group) **Stream corridor restoration: principles, processes and practices**. National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, Va, 1998.

WHIPPLE, Kelin; HANCOCK, Gregory; ANDERSON, Robert. River incision into bedrock: mechanics and relative efficacy of plucking, abrasion, and cavitation. **Geological Society of America Bulletin**, v.112, n.3, pp. 490–503, 2000.

WITTMANN, Florian Karl; JUNK, Wolfgang Johannes; PIEDADE, Maria Teresa Fernandez. The várzea forests in Amazonia: flooding and the highly dynamic geomorphology interact with natural forest succession. **Forest Ecology and Management**, v. 196, pp. 199-212, 2004.

WORBES, Martin. **Lebensbedingungen und Holzwachstum in zentralamazonischen Überschwemmungswäldern**. Scripta Geobotanica. 1986. 17:1-112

WORBES, Martin; JUNK, Wolfgang Johannes. **Dating tropical trees by means of  $^{14}\text{C}$  from bomb tests**. *Ecology*. 1989. 70(2): p.503-507.

ZANCAN FILHO, Luis Carlos; QUADROS, Telmo Fernando Perez de. Efeito da dinâmica fluvial e da ação antrópica sobre a erosão de margens fluviais: o caso da mineração de areia no rio Jacuí. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 11, p. 49-64, 2017.