

Análise multitemporal do sistema fluvial Solimões-Amazonas entre os tributários Purus e Negro, Amazônia Ocidental, Brasil

Multitemporal analysis of the Solimões-Amazonas river system between the Purus and Negro tributaries, Western Amazon, Brazil

Marcel Silva Passos¹ e Emílio Alberto Amaral Soares¹

¹Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Departamento de Geociências – DEGEO, Programa de Pós-graduação em Geociências – PPGGEO, Campus Universitário, CEP 69077-000, Manaus, AM, Brasil (marcel.silva.k2@gmail.com; easoares@ufam.edu.br)

Recebido em 14 de maio de 2015; aceito em 28 de janeiro de 2016

Resumo

Nas últimas décadas, as feições geomorfológicas de trechos do sistema fluvial Solimões-Amazonas têm sido estudadas por meio de imagens de sensores remotos, aliados a dados de análise multitemporal, destacando principalmente as modificações morfológicas das planícies aluviais e canais deste sistema. Os primeiros estudos utilizavam bases cartográficas de menor precisão em comparação às atuais e não consideravam alguns fatores como a cota dos rios, tipos de sensores e imprecisões na aquisição dos dados, o que diminui a acurácia dos dados. Atualmente, dentre os fatores mais enfatizados na análise desse sistema fluvial, destacam-se a taxa de migração dos canais e a definição do estilo fluvial em diferentes trechos, que variam entre os tipos mais conhecidos na literatura. Este trabalho demonstra por meio da análise multitemporal de imagens Landsat-5/TM a fase final de evolução do sistema fluvial Solimões-Amazonas, no trecho entre os tributários Purus e Negro, no decorrer dos anos de 1991 e 2011. As interpretações indicam leve predominância dos processos deposicionais em relação aos erosivos no trecho analisado, com áreas de 8,56 km² e 6,86 km², respectivamente, obtendo-se assim uma taxa de migração média de 0,32%/ano. Os processos deposicionais se concentram principalmente na parte convexa dos meandros e nas áreas a jusante das ilhas, incluindo a formação de novas ilhas, e os erosivos na parte côncava dos meandros e a montante das ilhas. Apesar da dinâmica de erosão e deposição observada no trecho estudado deste sistema, foi possível constatar o elevado padrão de estabilidade dos canais, o qual é coerente com dados batimétricos e de taxa de migração de estudos geológicos regionais, que ajudam a caracterizar o atual estilo fluvial *anabranching*.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Terraços fluviais; Sistema fluvial Solimões-Amazonas; *Anabranching*.

Abstract

The geomorphological features of some stretches of the Solimões-Amazonas river system have been studied in the past decades by means of remote sensing images combined with multitemporal analyses, which mainly highlighted the morphological changes in the system's floodplains and channels. Early studies used cartographic databases less accurate than the current ones and did not take into account certain factors, such as the contours the river valley, sensor type, and data incompleteness, thus reducing accuracy. Currently, channel migration rate and definition of the fluvial style in different river stretches, which vary amongst the most well-known types in literature, stand out among the most emphasized factors in the analysis of this river system. This work demonstrates, by means of multitemporal analysis of Landsat-5/TM images, the final stage of evolution of the Solimões-Amazonas river system, in the stretch between the Purus and Negro tributaries, from 1991 to 2011. Interpretations point out a slight predominance of depositional processes relative to the erosive ones along the analyzed stretches, covering areas of 8.56 km² and 6.86 km², thereby attaining a mean migration rate of 0.32%/year. The depositional processes are mainly concentrated on the convex part of the meanders and areas downstream of the islands, including the formation of new islands, the erosive on the concave part of the meanders and upstream the islands. Despite the erosion and deposition dynamics observed in the study areas, it was possible to ascertain a high stability pattern for the channels, which showed to be consistent with the bathymetric data and migration rate values found during regional geological studies, which helped characterize the current river style as *anabranching*.

Keywords: Remote sensing; Fluvial terraces; Solimões-Amazonas river system; *Anabranching*.

INTRODUÇÃO

Desde a década de 1970, os rios amazônicos têm sido investigados por meio de produtos de sensores remotos, que mostram um padrão misto, envolvendo principalmente os estilos de canais retilíneos, meandantes e entrelaçados definidos por Leopold e Wolman (1957), além das formas transicionais e anastomosadas (Knighton, 1998), tradicionalmente reconhecidas na literatura e enfatizadas por Miall (1977) e Schumm (1977). Atualmente, o sistema fluvial Solimões-Amazonas tem sido classificado como *anabranching* por Latrubesse (2008) ou *anastomosing* por Kalliola et al. (1992), Mertes et al. (1996), Latrubesse e Franzinelli (2002), Rozo (2004) e Rozo et al. (2012). O termo *anabranching* tem sido utilizado para caracterizar uma rede interconectada de canais separados por ilhas vegetadas e planícies de inundação, sendo aplicado a qualquer padrão de multicanaís (Nanson e Knighton, 1996), enquanto rios *anastomosing* correspondem a um tipo de baixa energia, dentro do estilo *anabranching*, com planície de inundação rica em matéria orgânica e coesiva (Nanson e Knighton, 1996; Makaske, 2001).

Nas últimas décadas, a análise multitemporal do sistema Solimões-Amazonas tem sido utilizada principalmente com

base em produtos de sensores remotos. Um dos trabalhos pioneiros foi o de Mertes et al. (1996), que analisaram este sistema desde Iquitos (Peru) até a foz do rio Amazonas, destacando as modificações e mobilidade dos canais em diversos trechos. Estudos recentes definiram valores de taxas de erosão, deposição e migração dos canais do sistema Solimões-Amazonas entre os tributários Negro e Madeira (Rozo, 2004; Rozo et al., 2005, 2012), na confluência do rio Japurá com o rio Solimões (Peixoto et al., 2009) e no trecho do rio Solimões na fronteira tríplice Brasil-Peru-Colômbia (Rozo e Soto, 2009, 2010; Rozo et al., 2014).

Neste estudo, a análise multitemporal deste sistema fluvial entre os tributários Purus e Negro (Figura 1), por meio de imagens Landsat-5/TM no período de 20 anos (1991 a 2011), permitiu definir áreas de erosão e deposição, as quais, integradas a dados hidrológicos, batimétricos e geocronológicos disponíveis, ajudaram a definir o padrão de estabilidade dos canais.

CONTEXTO GEOLÓGICO

A bacia de drenagem do rio Amazonas é a maior bacia hidrográfica do mundo, cobrindo uma área de aproximadamente $6,1 \times 10^6$ km² (Guyot et al., 2007; Latrubesse, 2008), desde

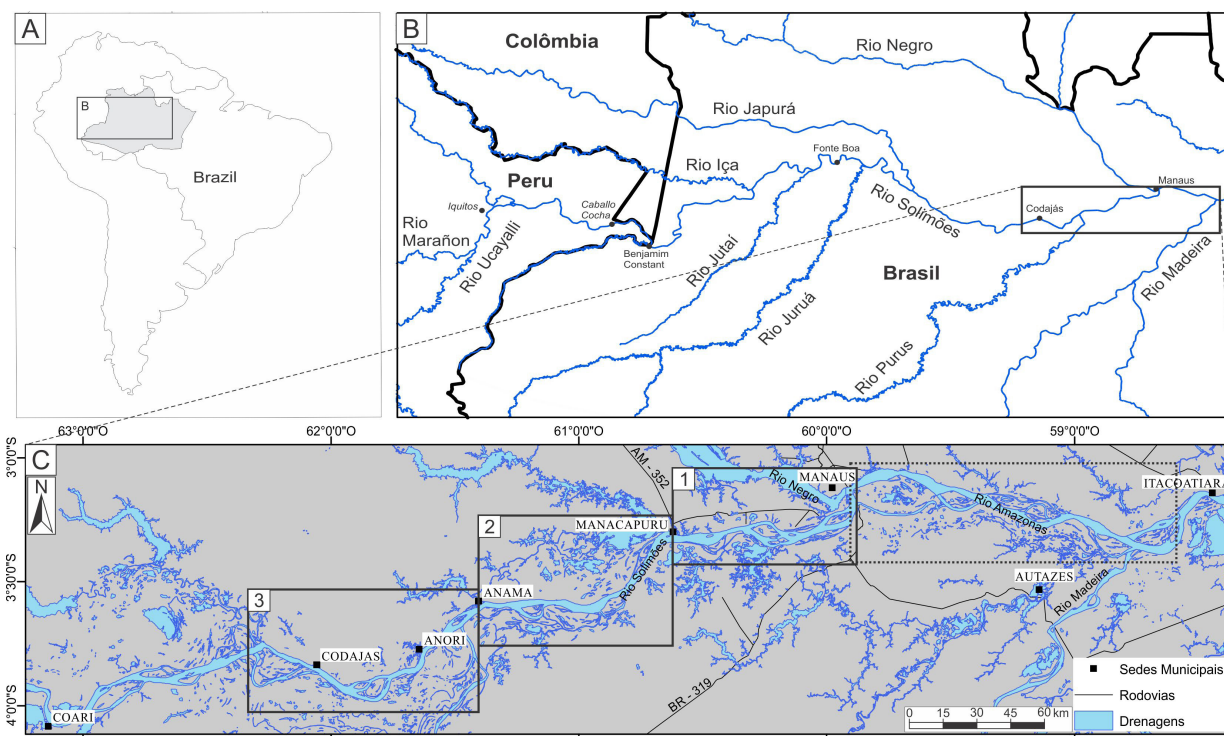


Figura 1. (A) Mapa da América do Sul, (B) destaca parte da rede de drenagem do sistema fluvial Solimões-Amazonas, dos seus principais afluentes até a confluência com o rio Madeira, onde foram realizados os principais estudos de análise multitemporal descritos na literatura. (C) Mostra a rede de drenagem e as vias de acesso da região entre Coari e Itacoatiara, destacando os trechos estudados (áreas 1, 2 e 3) entre os tributários Purus e Negro e retângulo pontilhado, entre o Negro e o Madeira, referente aos estudos de Rozo (2004) e Rozo et al. (2005, 2012).

suas nascentes nos Andes Peruanos até sua foz no oceano Atlântico. Em área, esta bacia continental se estende por vários países da América do Sul, como Brasil (63%), Peru (17%), Bolívia (11%), Colômbia (5,8%), Equador (2,2%), Venezuela (0,7%) e Guiana (0,2%) e concentra cinco (Amazonas, Madeira, Negro, Japurá e Tapajós) dos onze maiores rios do planeta (Latrubesse et al., 2005a, 2005b). Entre os afluentes principais se destacam, na margem esquerda, os rios Japurá, Negro e Trombetas e, na margem direita, os rios Juruá, Purus e Madeira. Entre os Andes e os Escudos das Guianas e Brasil Central, há o domínio da planície de inundação do sistema fluvial Solimões-Amazonas, cobrindo cerca de 44% da bacia (Guyot et al., 2007).

Em partes da Amazônia Central e Ocidental, o nível de detalhamento sedimentológico e estratigráfico (incluindo dados de datação) é inadequado e tem dificultado a caracterização das unidades litoestratigráficas cretáceas-cenozoicas aflorantes. Rossetti et al. (2005), no trecho entre Tabatinga e a foz do rio Amazonas, descrevem depósitos sedimentares das formações Alter do Chão (Cretáceo) e Solimões (Mioceno), que são sobrepostos por unidades quaternárias (Q1, Q2, Q3 e Q4), com idades entre 43.700 e 130 anos AP, e que formam cinturões alongados na direção NW-SE. No mapa geológico de Maia e Marmo (2010), entre Manaus e Codajás, apresentam-se depósitos sedimentares das formações Alter do Chão (Cretáceo) e Içá (Plioceno), sobrepostos por aluviões e terraços holocênicos e pleistocênicos.

Estudos geológicos detalhados na região entre Manacapuru-Manaus-Autazes, Amazônia Central (Soares, 2007; Soares et al., 2010; Gonçalves Júnior, 2013), permitiram definir sobre as unidades do Cretáceo-Mioceno (formações Alter do Chão e Novo Remanso) três níveis de terraços fluviais quaternários, constituídos principalmente de areia e lama (argila e silte), com estratificação heterolítica inclinada, que apresentam idade entre 240.000 e 1.300 anos AP. Os terraços estão dispostos em faixas paralelas às margens do sistema fluvial Solimões-Amazonas e são contínuos por dezenas de quilômetros. A presença de paleocanais sobre os terraços (Mertes et al., 1996; Latrubesse e Franzinelli, 2002; Teixeira e Soares, 2011; Soares e Teixeira, 2011; Horbe et al., 2011; Gonçalves Júnior, 2013) evidencia períodos de avulsão e retomada da sedimentação e, juntamente com a estratificação heterolítica, ajuda a caracterizar a predominância do estilo fluvial meandrante do sistema fluvial Solimões-Amazonas no Pleistoceno Superior-Holoceno Inferior, que difere do atual estilo *anastomosing-anabranching*, que começou a se desenvolver a partir de 6.000 anos AP (Soares, 2007). Segundo este autor, a mudança de estilo meandrante para anastomosado foi associada à ascensão do nível de base regional, em função da subida do nível do mar e/ou movimentos tectônicos. Outros estudos (Fredsoe, 1978; Crosato e Mosselman, 2009; Petrovski et al., 2012) relacionam esta mudança à declividade, velocidade, largura e profundidade dos canais.

Parte do padrão de drenagem do sistema fluvial Solimões-Amazonas está condicionada a lineamentos tectônicos e falhas, com direções preferenciais N-S, E-W, ENE-WSW, NE-SW e NW-SE, descritos em diversos estudos (Sternberg, 1950; Franzinelli e Latrubesse, 1993; Costa et al., 1996; Bemerguy, 1997; Franzinelli e Igreja, 1990; Igreja et al., 1990; Igreja, 1999; Gonzaga et al., 2000; Latrubesse e Franzinelli, 2002; Riccomini et al., 2012; Silva et al., 2007; Ibanez et al., 2014, entre outros). Este sistema fluvial, na confluência com o rio Purus, apresenta uma tendência NE-SW que se estende por cerca de 75 km, mudando abruptamente para a direção E-W, e posteriormente para ENE-WSW, na confluência com o rio Manacapuru, onde se estende por cerca de 40 km, passando novamente para a direção NE-SW até a confluência com o rio Negro, em Manaus (Igreja et al., 1990; Franzinelli e Latrubesse, 1993; Latrubesse e Franzinelli, 2002) (Figura 2). Os conjuntos de falhas e lineamentos descritos e que permitiram o desenvolvimento de bacias romboédricas associam-se a um sistema transcorrente dextral (Araújo, 1972; Porshe, 1985; Franzinelli e Igreja, 2002; Bezerra, 2003; Silva et al., 2003, 2007; Silva, 2005). Igreja (1999) define que o modelo atual da região Amazônica pode ser simplificado em cinco direções estruturais (WSW-ENE, N60W, N50E, N10E e N45W), que refletem falhas transcorrentes que afetam partes da Placa Sul-Americana sob tensões causadas pelas colisões da Placa de Nazca (a oeste) e a Placa do Caribe (ao norte), acentuadas no Mioceno.

O sistema fluvial Solimões-Amazonas apresenta descarga média anual de 209.000 m³/s (Latrubesse, 2008), carga em suspensão de aproximadamente 1.000 Mt/ano (Meade et al., 1985 apud Mertes et al., 1996), produzindo cerca de 167 t/km² ano de sedimento (Latrubesse, 2008), e está condicionado a um sistema fluvial misto, apresentando variações em determinados trechos. Latrubesse (2008) caracteriza este sistema fluvial como *anabranching*, assim como alguns dos seus principais tributários, como os rios Japurá, Negro e Madeira, sendo característico dos grandes rios tropicais que apresentam descarga anual superior a 17.000 m³/s, com exceção do rio Mississipi. Os estudos de Knighton e Nanson (1993) e Roza e Soto (2010) atribuem este estilo ao sistema Solimões-Amazonas apenas na região andina, que muda para o estilo anastomosado na Amazônia brasileira. De forma mais detalhada, Latrubesse (2008, 2012) classifica parte deste sistema, entre os tributários Purus e Negro, de *anabranching* de baixa sinuosidade.

Apesar de escassos, existem dados batimétricos descritivos de alguns trechos do sistema fluvial Solimões-Amazonas obtidos na Missão Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica (Hybam, 2014) que mostram características do leito dos canais ao longo de vários anos. Entretanto, a região mais estudada é a zona de confluência deste sistema com o rio Negro, conforme demonstrado nos estudos de Park e Latrubesse (2015), Ianniruberto et al. (2015) e Trevethan et al.

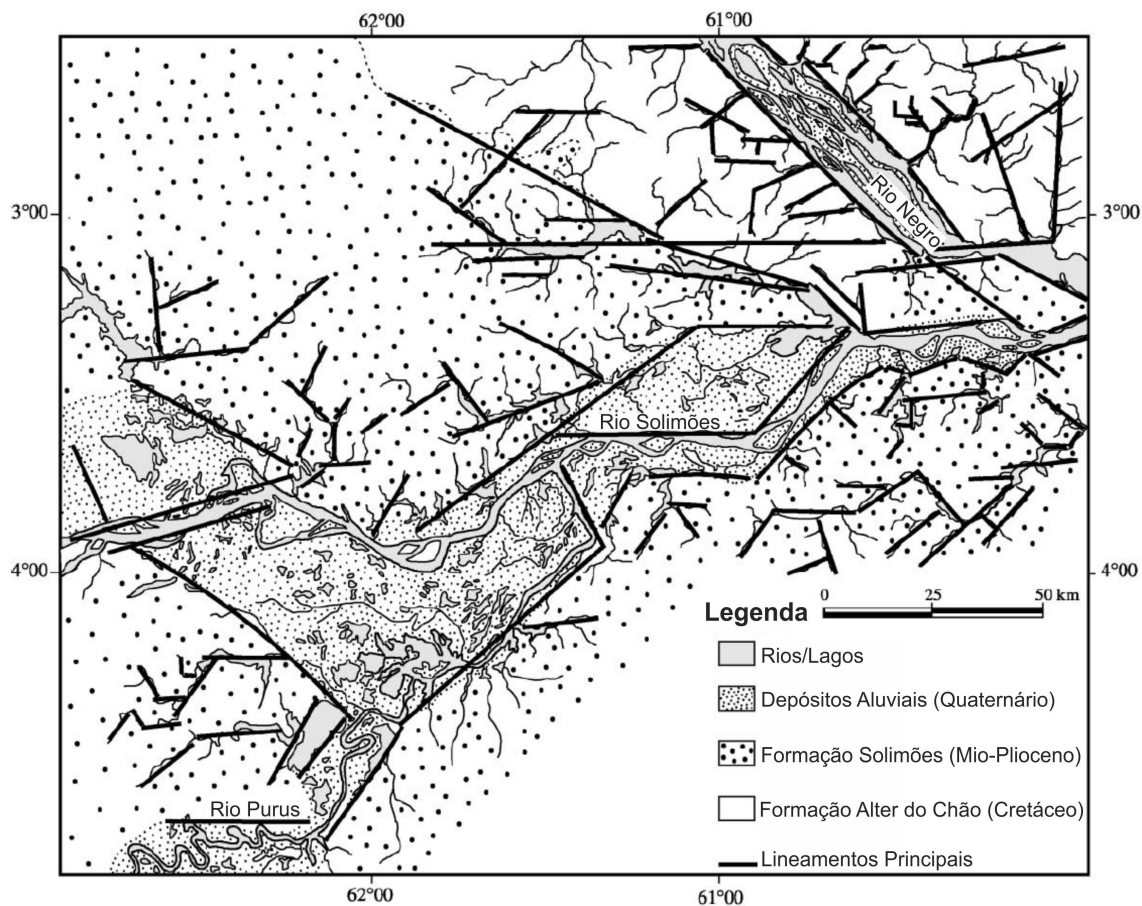


Figura 2. Principais lineamentos estruturais no trecho do sistema fluvial Solimões-Amazonas, entre os tributários Purus e Negro. Fonte: Latrubesse e Franzinelli (2002).

(2015a, 2015b), que relacionam dados batimétricos com vazão, largura, profundidade e sazonalidade dos rios, constatando um aumento da rugosidade do leito e da vazão após a zona de confluência. Nesta zona, Franzinelli (2011) integrou o maior conjunto de dados batimétricos deste sistema, com 16 perfis de direção geral NW-SE, dispostos num trecho de aproximadamente 13 km, onde é possível observar a estabilidade dos canais e de parte das ilhas da Xiborena e do Careiro (Figura 3, perfis 1 a 16), num período de 20 anos (1978 a 1998), além da deposição de barras submersas e migração do depocentro dos canais (Figura 3).

MATERIAIS E MÉTODOS

A análise multitemporal do sistema fluvial Solimões-Amazonas, entre Manaus e Codajás, utilizou imagens do sensor Landsat-5/TM cedidas gratuitamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2014), as quais foram escolhidas em função da maior variação temporal, menor cobertura de nuvens e menores cotas do sistema fluvial Solimões-Amazonas no intervalo de tempo analisado.

Neste contexto, foram utilizadas imagens disponíveis nas datas de 12/11/1991, 27/09/1995, 29/11/2009 e 25/10/2011, com cotas de 720 cm, 770 cm, 801 cm e 826 cm, respectivamente.

As imagens foram processadas na composição colorida 543 (RGB) do sensor Landsat-5/TM, que mostra maior diferenciação entre solo, vegetação e água, permitindo, assim, uma melhor identificação dos aspectos geomorfológicos, segundo a metodologia proposta por Rosa (2009), que enfatiza as características de cada composição das bandas do Sensor TM. O georreferenciamento foi efetuado com base nas imagens do mesmo sensor, obtidas no U.S. Geological Survey (USGS, 2014), as quais não foram utilizadas neste estudo, em função da indisponibilidade dos intervalos desejados. Posteriormente, as imagens brutas foram submetidas aos pré-processamentos de correção atmosférica, visando minimizar o efeito de dispersão da energia eletromagnética nas partículas de água suspensas na atmosfera e aumento linear de contraste, para a obtenção da máxima variância do histograma, gerando melhor contraste na composição colorida. Na Amazônia, esta correção tem sido aplicada em imagens Landsat por diversos autores (Soares e Teixeira, 2011; Hayakawa, 2011; Passos et al., 2013; Passos e Soares, 2013)

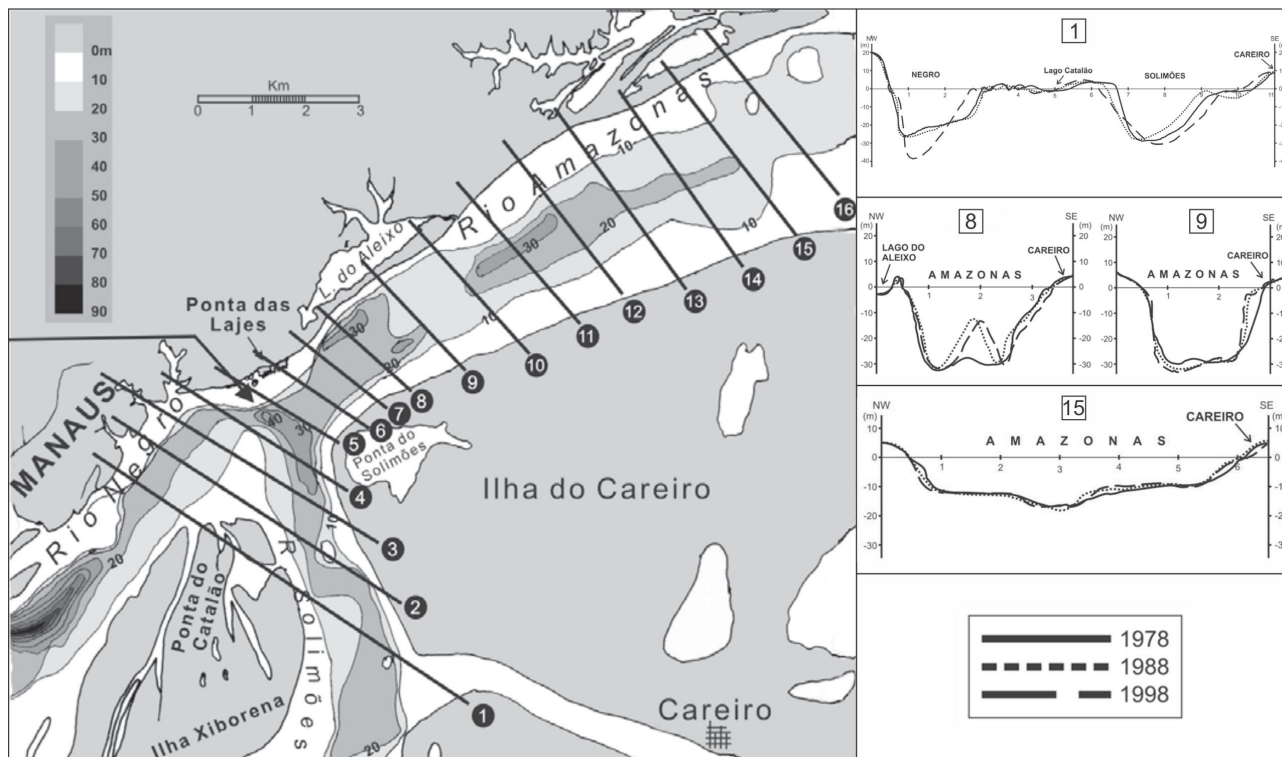


Figura 3. Dados batimétricos na região de confluência do rio Negro com o sistema Solimões-Amazonas, em destaque os perfis 1, 8, 9 e 15, que mostram a estabilidade dos canais e das ilhas da Xiborena e do Careiro, entre 1978 e 1998. Fonte: Modificado de Franzinelli (2011).

na caracterização de feições de paleocanais, delimitação de áreas de deposição e erosão e análises multitemporais.

Devido à grande extensão do trecho estudado do sistema fluvial Solimões-Amazonas, cerca de 350 km, optou-se pela sua divisão nas áreas 1, 2 e 3 da Figura 1. A área 1 se limita entre os municípios de Manaus e Manacapuru, a área 2 entre Manacapuru e Anori e a área 3 entre Anori e Codajás. Na análise das áreas 1 e 2 foram utilizadas as imagens de 1991 e 2009, e da área 3 as imagens de 1995 e 2011, com variações de cotas de 81 cm e 56 cm, respectivamente. Nas análises multitemporais obtidas para o sistema Solimões-Amazonas em diversos estudos, estes valores de cotas estão próximos aos realizados em diferentes trechos, podendo ser comparados ao valor de 52 cm obtido na fronteira tríplice Brasil-Peru-Colômbia (Rozo e Soto, 2010; Rozo et al., 2014), ao valor de 82 cm no trecho entre os tributários Negro e Madeira (Rozo, 2004) e ao intervalo de 100 a 290 cm na confluência com o rio Japurá (Peixoto et al., 2009). As variações de cota têm sido relacionadas principalmente às datas de aquisição das imagens, que dependem da resolução temporal do sensor Landsat (intervalos de 16 dias) e cobertura de nuvens que, consequentemente, influenciam na quantificação das áreas de erosão e deposição. Entretanto, as incertezas geradas na quantificação não têm sido consideradas nos estudos, em

função da escala regional e resolução espacial (em média 30 m) dos sensores utilizados.

Com base nas imagens, foram criados dados vetoriais (escala de 1:75.000) por meio de fotointerpretação e digitalização manual dos canais (que incluem ilhas e margens) e, a partir da diferença dos contornos das ilhas e margens, foram definidas as áreas de erosão e deposição. Para o cálculo da taxa de migração dos canais (ilhas e margens), utilizou-se a diferença entre as áreas inicial e final, dividida pelo número de anos e o resultado recalculado em porcentagem.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados da análise multitemporal adquiridos neste estudo demonstraram as principais mudanças morfológicas geradas, entre 1991 e 2011, pelos processos de erosão e deposição das ilhas e margens e que, juntas, delimitam os canais do sistema fluvial Solimões-Amazonas, conforme demonstrado nas Tabelas 1, 2, 3 e 4 e na Figura 4. Em geral, houve predominância dos processos deposicionais nas margens (3,94 km²) e nas ilhas (4,62 km²), totalizando uma deposição de 8,56 km² nos canais em relação aos processos erosivos, que apresentam valores de 3,20 km² (margens) e 3,66 km² (ilhas), perfazendo uma área de erosão total de

Tabela 1. Áreas de erosão e deposição obtidas nas margens.

<i>Região/Área</i>	<i>Margens</i>			
	Área inicial	Área final	Erosão	Deposição
Área 1	29,58 km ²	29,44 km ²	1,82 km ²	1,53 km ²
Área 2	31,01 km ²	31,26 km ²	0,96 km ²	1,21 km ²
Área 3	33,12 km ²	33,89 km ²	0,42 km ²	1,20 km ²
TOTAL	93,72 km ²	94,60 km ²	3,20 km ²	3,94 km ²

Tabela 2. Áreas de erosão e deposição obtidas nas ilhas.

<i>Região/Área</i>	<i>Ilhas</i>			
	Área inicial	Área final	Erosão	Deposição
Área 1	9,62 km ²	10,32 km ²	1,29 km ²	2,26 km ²
Área 2	10,16 km ²	10,05 km ²	1,47 km ²	1,36 km ²
Área 3	17,50 km ²	17,61 km ²	0,89 km ²	1,00 km ²
TOTAL	37,29 km ²	37,98 km ²	3,66 km ²	4,62 km ²

Tabela 3. Áreas de erosão e deposição obtidas nos canais.

<i>Região/Área</i>	<i>Canal</i>			
	Área inicial	Área final	Erosão	Deposição
Área 1	19,96 km ²	19,12 km ²	3,11 km ²	3,79 km ²
Área 2	20,85 km ²	21,21 km ²	2,44 km ²	2,57 km ²
Área 3	15,62 km ²	16,28 km ²	1,31 km ²	2,19 km ²
TOTAL	56,43 km ²	56,61 km ²	6,86 km ²	8,56 km ²

Tabela 4. Taxas de migração anuais médias obtidas.

<i>Local</i>	<i>Região</i>			
	Área 1	Área 2	Área 3	TOTAL
Margens	0,49%	0,81%	2,33%	0,94%
Ilhas	7,27%	1,10%	0,61%	1,86%
Canais	4,23%	1,73%	4,26%	0,32%

6,86 km² nos canais. A diferença da área inicial (obtida em 1991 e 1995) e final (obtida em 2009 e 2011), dividida pelo número de anos, permitiu definir taxa de migração de 0,94%/ano para as margens e de 1,86%/ano para as ilhas, cuja integração resultou na taxa de migração final de 0,32%/ano para os canais.

A integração das áreas 1, 2 e 3 (Figura 1C) no trecho estudado do sistema Solimões-Amazonas revelou a predominância dos processos deposicionais em relação aos erosivos, com áreas de 8,56 km² e 6,86 km², respectivamente (Tabelas 1, 2, 3 e 4 e Figura 5). Entretanto, deve-se considerar que esses valores não abrangem as variações relacionadas à acreção vertical (agração), bem como os processos de deposição e/ou erosão relacionados à sazonalidade anual dos rios amazônicos, que varia até cerca de 15 m, conforme citado no estudo de Marinho e Melo (2009).

A deposição por acreção vertical foi ressaltada nos depósitos aluviais de trechos do sistema Solimões-Amazonas por Mertes et al. (1996), onde a taxa de sedimentação varia entre 0,56 e 1,35 cm/ano (Turcq et al., 2004; Cordeiro et al., 2008).

Os cálculos de área nas ilhas e margens dos múltiplos canais deste sistema, juntamente com as interpretações temporais das imagens analisadas, permitiram definir que os processos de deposição e erosão são praticamente inexistentes nos trechos menos sinuosos das margens dos canais, tornando-se mais evidentes nos trechos mais sinuosos (meandantes). Estas observações também foram descritas em diversos rios (Leopold e Wolman, 1957; Nanson e Knighton, 1996; Willis e Tang, 2010; Labrecque et al., 2011; Passos e Soares, 2013; Passos et al., 2013).

Os processos deposicionais se concentraram na parte interna (convexa) das curvaturas e a jusante das ilhas (Figura 5A), enquanto os erosivos foram mais atuantes na parte externa (côncava) das curvaturas dos canais (principais e secundários) e a montante das ilhas. Particularmente, os processos erosivos têm sido associados principalmente ao fenômeno de “terras caídas”, que erode a base dos “barrancos” gerando o desmoronamento do pacote sedimentar (Figura 5B e C). Sternberg (1950) associa esse fenômeno a atividades sísmicas na Amazônia.

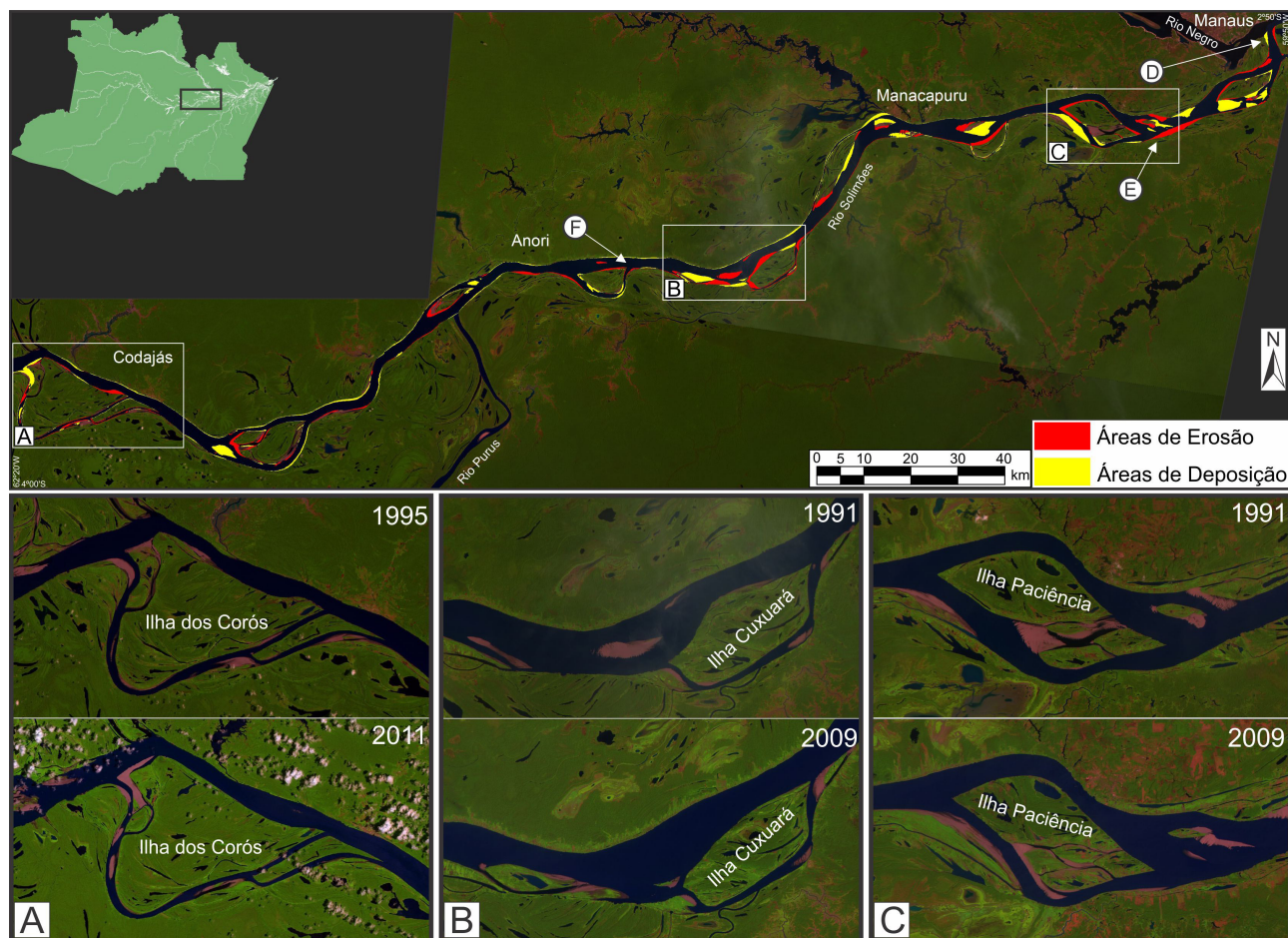


Figura 4. Imagens Landsat-5/TM do sistema fluvial Solimões-Amazonas, entre Manaus e Codajás, apresentando as áreas de erosão (vermelho) e deposição (amarelo), destacando as modificações ocorridas em determinados trechos das áreas 3 (A), 2 (B) e 1 (C). As indicações das áreas de deposição (D) e erosão (E e F) são demonstradas na Figura 5.

Em quase duas décadas, entre 1991 e 2009, os processos de erosão e deposição são bem evidentes na região, mundialmente conhecida pelo fenômeno do “encontro das águas”, na zona de confluência do rio Negro com o sistema Solimões-Amazonas, onde a porção oeste da ilha do Careiro diminuiu cerca de 600 m e a porção leste da ilha da Xiborena aumentou aproximadamente 1.200 m (Figura 6). O deslocamento regular da zona de confluência para leste em 18 anos, por aproximadamente 1 km, é evidente no perfil batimétrico 1 da Figura 3 de Franzinelli (2011), que também destaca mudanças nas direções das barras acrecionárias da ilha de Xiborena, de NE-SW a oeste para N-S a leste, indicando uma mudança gradual no ângulo de confluência entre os rios, de 15° (1978) para 90° (1998) (Franzinelli, 2011), chegando aos 75° (2009). Com base em dados batimétricos, Ianniruberto et al. (2015) definiram, neste mesmo trecho, deposição subaquática nas ilhas de Xiborena e do Careiro.

Mudanças morfológicas dos canais, relacionadas a trechos de erosão e deposição, foram relatadas em diversos

rios amazônicos. Nas margens do rio Madeira, Teixeira e Maia (2008, 2009) definiram um trecho de erosão (de até 1.500 m) e deposição (de até 1.800 m) entre os anos de 1987 e 2007, enquanto nas margens do rio Branco, Sander (2015) mapeou um trecho erosivo de 750 m entre 2002 e 2013.

Os alinhamentos, inflexões e sinuosidades dos canais do sistema fluvial Solimões-Amazonas no trecho estudado contribuíram para a evolução dos processos erosivos e deposicionais. Nos trechos onde ocorre o estreitamento do canal, há um aumento do fluxo das águas, gerando aumento da velocidade das águas e da competência do sistema nestes locais, consequentemente intensificando os processos erosivos. Em contraposição, nos locais de alargamento do canal, ocorre a diminuição dos fatores citados, predominando os processos deposicionais. Esta relação é destacada no estudo de Mertes et al. (1996) para alguns trechos deste sistema.

Dados de vazão deste sistema fluvial, no trecho entre Manacapuru e Manaus, são variáveis (Tabela 5), conforme também enfatizados nos principais estudos hidrológicos



Figura 5. (A) Área de deposição na porção leste da ilha da Xiborena (D da Figura 4). (B e C) Áreas de erosão na margem do rio Solimões, próximo a Iranduba (E da Figura 4) e no trecho entre Manacapuru e Anori (F da Figura 4).

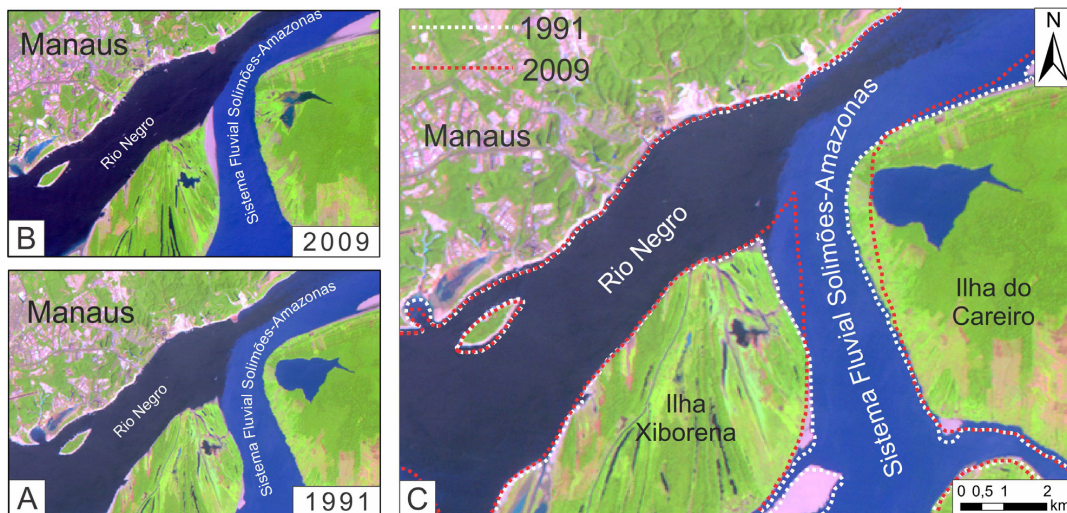


Figura 6. Modificações morfológicas na região de confluência do rio Negro com o sistema fluvial Solimões-Amazonas, entre 1991 (A) e 2009 (B), demonstrado pelas áreas de deposição (linha pontilhada vermelha) e erosão (linha pontilhada branca) (C).

regionais (Filizola et al., 2009; Filizola e Guyot, 2009; Laraque et al., 2009; Franzinelli, 2011), podendo o valor de vazão dobrar quando relacionadas as enchentes e vazantes (Filizola et al., 2009). As mudanças morfológicas dos canais estão diretamente relacionadas às modificações (tamanho e forma) e surgimento de ilhas e de barras marginais, que geram variações de gradiente e velocidade de fluxo e, conseqüentemente, influenciam na intensidade dos processos erosivos e deposicionais.

O sistema fluvial Solimões-Amazonas apresenta uma declividade média de 2 cm/km em sua porção média e inferior, com velocidade variando entre 2 e 7 km/h, carreando sedimentos finos (areia fina a argila) em suspensão (Carvalho et al., 2009) com pouco poder abrasivo, já que segundo (Hjulstrom, 1935 apud Christofolletti, 1981) a velocidade mínima necessária para gerar abrasão no leito do canal seria de aproximadamente 43,2 km/h (12 m/s).

Tabela 5. Dados de vazão do sistema Solimões-Amazonas, entre os tributários Manacapuru e Negro.

Período	Estação de coleta	Vazão
25/11/2011	Manacapuru	58.382,58 m ³ /s
29/11/2009	Manacapuru	55.476,46 m ³ /s
27/09/1995	Manacapuru	53.136,00 m ³ /s
12/11/1991	Manacapuru	73.816,60 m ³ /s

Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA, 2014).

Provavelmente, os principais fatores que geram os processos erosivos neste sistema são as correntes turbulentas e a grande pressão vertical, as quais são associadas à grande vazão, que atinge cerca de 240.000 m³/s (Carvalho et al., 2009). As maiores modificações morfológicas dos canais estão relacionadas à maior capacidade de transporte e velocidade de fluxo nas enchentes máximas (Strasser, 2002, 2008). Particularmente, Carvalho et al. (2009) associam a erosão do rio Amazonas à pressão vertical exercida pelo volume de água.

Diferentes valores de taxa de migração dos canais têm sido atribuídos a trechos distintos do sistema fluvial Solimões-Amazonas, cuja variação depende, basicamente, da declividade do terreno e do intervalo de anos analisados (Tabela 6). Na região Andina, os valores de taxa de migração obtidos são mais elevados e variados, conforme demonstrado nos estudos de Rozo e Soto (2009, 2010) e Rozo et al. (2014), que encontraram valores de 0,24%/ano (1999-2004), 0,48%/ano (1986-2004), 0,55%/ano (1986-1999), 1,4% (1978-2006), de 1,9% (1986-1994) e 2,0%/ano (1994-2001) na região entre Caballo Cocha (Peru) e Benjamim Constant (Brasil). Entretanto, o valor de 37%/ano (1979-1983) foi definido por Kalliola et al. (1992) na região de confluência dos rios Ucayali e Marañon, entre as cidades de Requena e Iquitos (Peru). O trabalho de Peixoto et al. (2009), na região de confluência entre os rios Solimões e Japurá, demonstrou taxas de migração variando entre 1,4 e 2,5%/ano (1984-2005).

Tabela 6. Integração dos dados de taxa de migração do sistema fluvial Solimões-Amazonas nas últimas décadas.

Trabalhos	Período		Espaço temporal	Rio	Região	Taxa de migração
Kalliola et al. (1992)	1979	1983	4 anos	Solimões	Entre os rios Ucayali e Marañon	37,00%/ano
Mertes et al. (1996)	1979-1980	1971-1972	8 anos	Solimões	Entre Iquitos (Peru) e Obidos (Pará-Brasil)	3,00%/ano
	1853	1971-1972	119 anos	Solimões	Xibeco e Fonte Boa	1,00%/ano
Roza (2004)	1986	2001	15 anos	Amazonas	Entre os rios Negro e Madeira	0,02%/ano
	1986	1999	13 anos			0,55%/ano
Roza e Soto (2009)	1999	2004	5 anos	Solimões	Entre ilha Corea (Colômbia) e ilha Amorosa (Amazonas-Brasil)	0,24%/ano
	1986	2004	18 anos			0,48%/ano
	1984	1986	2 anos			2,50%/ano
Peixoto et al. (2009)	1986	1993	7 anos			1,80%/ano
	1993	1997	4 anos	Solimões	Região de confluência com o rio Japurá	1,40%/ano
	1997	2000	3 anos			2,00%/ano
	2000	2005	5 anos			1,60%/ano
	1984	2005	21 anos			1,80%/ano
Roza e Soto (2010)	1978	2006	28 anos	Solimões		Entre Tabatinga e Benjamim Constant
Roza et al. (2012)	1978	2009	31 anos	Amazonas	Entre os rios Negro e Madeira	0,60%/ano
	1986	1994	8 anos		Entre Caballo Cocha (Peru) e Benjamim Constant (Amazonas-Brasil)	2,00%/ano
Roza et al. (2014)	1994	2001	7 anos	Solimões		1,90%/ano
	1995	2011	16 anos		Entre Codajás e Anori	4,26%/ano
Dados obtidos neste estudo	1991	2009	18 anos	Solimões	Entre Anori e Manacapuru	1,73%/ano
	1991	2009	18 anos		Entre Manacapuru e Manaus	4,23%/ano
	1991	2011	20 anos		Entre Codajás e Manaus	0,32%/ano

As modificações morfológicas definidas no sistema Solimões-Amazonas, no trecho entre os tributários Purus e Negro, demonstraram uma taxa de migração em torno de 0,32%/ano (1991-2011), com variações de 4,26%/ano (1991-2009) entre Codajás e Anori, 1,73%/ano (1995-2011) entre Anori e Manacapuru, e 4,23%/ano (1995-2011) entre Manacapuru e Manaus. Por fim, no trecho entre os tributários Negro e Madeira, este sistema apresenta taxas de migração entre 0,02%/ano (1986-2001) e 0,6%/ano (1978-2009), definidas por Rozo (2004) e Rozo et al. (2005, 2012), cuja variação é coerente com a taxa de 0,32%/ano obtida neste estudo para o trecho deste sistema a jusante, entre os tributários Purus e Negro (áreas 1, 2 e 3 da Figura 1). A relação mais precisa dos dados destes estudos deve-se principalmente à metodologia aplicada no cálculo de taxa de migração, que considerou produtos de sensores remotos semelhantes (de mesma resolução espacial, espectral e radiométrica), assim como o intervalo de tempo e a proximidade das áreas estudadas, que exibem padrões de declividade e controle estrutural semelhante.

A elevada estabilidade dos canais do sistema Solimões-Amazonas no trecho estudado pode estar associada a alguns fatores, como: 1) o barramento na margem esquerda deste sistema, no trecho entre os tributários Manacapuru e Madeira, por rochas siliciclásticas cretáceas-neógenas que impedem sua migração para norte (Soares, 2007; Rozo et al., 2012); 2) a maior subsidência deste sistema a jusante da confluência com o rio Negro (Meade et al., 1985; Filizola e Guyot, 2009; Filizola et al., 2009), que pode ter criado maior espaço de acomodação e induzido os processos de agradação vertical, favorecendo a estabilidade dos canais; 3) a elevada estabilidade lateral dos canais individuais deste sistema, a qual pode ser relacionada à combinação do grau de coesão das barras marginais e ilhas e fitoestabilização (Soares, 2007). A variação desses parâmetros tem sido discutida em diversos estudos (Smith, 1976; Cairncross et al., 1988; Makaske, 2001). A coesão é aumentada pela granulação mais fina dos sedimentos, que tornam os bancos mais coesos (Ikeda, 1989; Törnqvist, 1993), conforme verificado nas camadas de lama (silte e argila) que compõem a estratificação heterolítica inclinada das ilhas e barras marginais desse sistema fluvial. Além disso, a maioria das ilhas é vegetada (inclusive por vegetação de médio a grande porte) e apresenta tempo de fixação entre 1.300 e 7.500 anos AP, de acordo com dados de datação por luminescência de cristais e radiocarbono obtidos nos estudos de Sternberg (1960), Absy (1979), Soares (2007), Soares et al. (2010) e Rozo et al. (2012).

O valor da taxa de migração de 0,32%/ano obtido neste estudo para o sistema Solimões-Amazonas é semelhante aos valores obtidos para os rios Araguaia (0,20%/ano) e Paraguai (0,26%/ano e 1,99%/ano), conforme demonstrando nos estudos de Prado e Latrubesse (2001) e Justiniano (2010), respectivamente. Entretanto, a comparação deste valor com os descritos na literatura para os grandes rios do mundo,

como Mississippi (EUA), Nilo (Egito) e Brahmaputra-Jamuna (Bangladesh), não foi possível, devido às diferentes metodologias empregadas. Para esses sistemas, os valores de taxa de migração foram obtidos por meio da relação entre unidade linear/tempo (m/ano) e/ou unidade de área/tempo (km²/ano), conforme demonstrado nos estudos de Hudson e Kesel (2000) para o Mississippi, de Ahmed e Fawzi (2011) para o Nilo e de Sarker et al. (2014) e Baki e Gan (2012) para o sistema Brahmaputra-Jamuna.

CONCLUSÕES

A análise multitemporal obtida em 20 anos (1991-2011) para o trecho do sistema fluvial Solimões-Amazonas, entre os tributários Purus e Negro, demonstrou a elevada estabilidade deste sistema, com leve predominância dos processos deposicionais em relação aos erosivos.

A área de deposição para o trecho estudado foi de cerca de 8,56 km², enquanto a de erosão foi de cerca de 6,86 km², no mesmo período. Os processos deposicionais foram associados à coalescência de bancos arenosos nas ilhas e barras marginais, bem como à formação de novas ilhas. Os processos deposicionais são mais evidentes nos trechos mais largos dos canais e porções convexas dos meandros, enquanto os processos erosivos são caracterizados pela erosão completa ou parcial de ilhas e barras marginais, mais evidente em trechos de estreitamento dos canais e porções côncavas dos meandros.

A quantificação das áreas inicial e final do trecho estudado permitiu definir uma taxa de migração média de 0,32%/ano para os canais do sistema Solimões-Amazonas, sendo condizente com a variação de 0,2 a 2,5%/ano obtida, respectivamente, por Rozo (2004) e Peixoto et al. (2009) para trechos deste sistema. A baixa taxa de migração obtida, juntamente com a coesão e fitoestabilização das barras marginais e ilhas, permite associar este sistema ao estilo fluvial *anabranching*.

REFERÊNCIAS

- Absy, M. L. (1979). *A palynological study of Holocene sediments in the Amazon basin*. Tese (Doutorado). Amsterdam: University of Amsterdam.
- Agência Nacional de Águas (ANA). (2014). Acesso em 30 de janeiro de 2014, <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>.
- Ahmed, A. A., Fawzi, A. (2011). Meandering and bank erosion of the River Nile and its environmental impact on the area between Sohag and El-Minia, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, 4(1-2), 1-11. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-009-0048-y>.

- Araújo, J. B. (1972). *Reavaliação dos dados de refração sísmica na Bacia do Amazonas*. Belém: PETROBRAS/RENOR. Relatório Interno.
- Baki, A. B. M., Gan, T. Y. (2012). Riverbank migration and island dynamics of the braided Jamuna River of the Ganges-Brahmaputra basin using multi-temporal Landsat images. *Quaternary International*, 263, 148-161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2012.03.016>.
- Bemerguy, R. L. (1997). *Morfotectônica da Calha do Rio Amazonas*. Tese (Doutorado). Belém: Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará.
- Bezerra, P. E. L. (2003). *Compartimentação morfotectônica do interflúvio Solimões-Negro*. Tese (Doutorado). Belém: Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará.
- Cairncross, B., Stanistreet, I. G., Mccarthy, T. S., Ellery, W. N., Ellery, K., Grobicki, T. S. A. (1988). Paleochannels (stone rolls) in coal seams: modern analogues from fluvial deposits of the Okavango Delta, Botswana, Southern Africa. *Sedimentary Geology*, 57(1-2), 107-118. [http://dx.doi.org/10.1016/0037-0738\(88\)90020-6](http://dx.doi.org/10.1016/0037-0738(88)90020-6).
- Carvalho, J. A. L., Igreja, H. L. S., Cunha, S. B., Carneiro, D. S. (2009). Episódio de terras caídas no rio Amazonas: caso Costa da Águia, Parintins-AM. *XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, v. 18, 1-11. Campo Grande: ABRH.
- Christofoletti, A. (1981). *Geomorfologia fluvial: o canal fluvial* (2. ed.). São Paulo: Edgard Blücher. 313 p.
- Cordeiro, R. C., Turcq, P. F. M., Turcq, B., Moreira, L. S., Rodrigues, R. C., Costa, R. L., Sifeddine, A., Simões Filho, F. F. L. (2008). Acumulação de Carbono em Lagos Amazônicos como indicador de eventos Paleoclimáticos e Antrópicos. *Oecologia Brasiliensis*, 12(1), 116-140.
- Costa, J. B. S., Bemerguy, R. L., Hasui, Y., Borges, M. S., Ferreira Júnior, C. R. P., Bezerra, P. E. L., Costa, M. L., Fernandes, J. M. G. (1996). Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Geonomos*, 4(2), 23-44. <http://dx.doi.org/10.18285/geonomos.v4i2.199>.
- Crosato, A., Mosselman, E. (2009). Simple physics-based predictor for the number of river bars and the transition between meandering and braiding. *Water Resources Research*, 45(3), 1-14. <http://dx.doi.org/10.1029/2008WR007242>.
- Filizola, N. P., Guyot, J. L. (2009). Suspended sediment yields in the Amazon basin: an assessment using the Brazilian national data set. *Hydrological Processes*, 23(22), 3207-3215. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.7394>.
- Filizola, N. P., Spinola, N. M., Arruda, W., Seyler, F., Calmant, S., Silva, J. (2009). The Rio Negro and Rio Solimões confluence point - hydrometric observations during the 2006/2007 cycle. *River, coastal and estuarine morphodynamics*, v. 2, 1003-1006. Santa Fé-Argentina.
- Franzinelli, E. (2011). Características morfológicas da confluência dos rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil). *Revista Brasileira de Geociências*, 41(4), 587-596.
- Franzinelli, E., Igreja, H. L. S. (1990). Utilização de sensoriamento remoto na investigação na área do Baixo Rio Negro e Grande Manaus. *VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 3, 641-648. Manaus: INPE.
- Franzinelli, E., Igreja, H. L. S. (2002). Modern sedimentation in the lower Negro River, Amazon State, Brazil. *Geomorphology*, 44(3-4), 259-271. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X\(01\)00178-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00178-7).
- Franzinelli, E., Latrubesse, E. (1993). The use of remote sensing in a neotectonic study in the Amazon Basin. *Bull Inqua*, 16, 10-13.
- Fredsoe, J. (1978). Sedimentation of river navigation channels. *Journal of the Hydraulic Division*, 104(2), 223-236.
- Gonçalves Júnior, E. S. (2013). *Terraços fluviais quaternários das regiões de Careiro-da-Várzea, Manaquiri, Careiro-Castanho e Autazes, Amazônia Central*. Dissertação (Mestrado). Manaus: Universidade Federal do Amazonas.
- Gonzaga, E. G., Gonçalves, E. T. T., Coutinho, L. F. C. (2000). Petroleum geology of the Amazon Basin, Brazil: modeling of hydrocarbon generation and migration. In: M. R. Mello, B. J. Katz (Eds.), *Petroleum System of South America Margins*, v. 73, 159-178.
- Guyot, J. L., Jouanneau, J. M., Soares, L., Boaventura, G. R., Maillet, N., Lagane, C. (2007). Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. *Catena*, 71(2), 340-356. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2007.02.002>.
- Hayakawa, E. H. (2011). *Paleoformas e sistemas de drenagem da Bacia do Baixo Rio Madeira, AM: Interpretação de dados de sensoriamento remoto*. Tese (Doutorado). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Hjulstrom, F. (1935). Studies of the morphological activity of Rivers as illustrated by the river Fyris. *Bulletin of the Geological Institute University of Uppsala*, 25, 221-528.
- Horbe, A. M. C., Behling, H., Nogueira, A. C. R., Mapes, R. (2011). Environmental changes in the western Amazonia: morphological framework, geochemistry, palynology and radiocarbon dating data. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 83(3), 863-874. PMID:21830005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652011005000030>.
- Hudson, P. F., Kesel, R. H. (2000). Channel migration and meander-bend curvature in the lower Mississippi River prior to major human modification. *Geology*, 28(6), 531-534. [http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613\(2000\)28<531:CMA MCI>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613(2000)28<531:CMA MCI>2.0.CO;2).
- Hybam. (2014). Acesso em 3 de março de 2014, <www.ore-hybam.org>.

- Ianniruberto, M., Trevethan, M., Filizola, N., Santos, A. M., Andrade, J. F. P., Pinheiro, A. N. D. V. (2015). River bed morphology and stratigraphy at the confluence of Rio Negro and Rio Solimões. *Andean and Amazonian rivers: deciphering the global change from the hydroclimatic variability in the critical zone - 6th Observation Service HYBAM Scientific Meeting*. Cuzco, Peru.
- Ibanez, D. M., Riccomini, C., Miranda, F. P. (2014). Is the current stress state in the Central Amazonia caused by surface water loading? *Journal of South American Earth Sciences*, 55, 19-28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2014.07.002>.
- Igreja, H. L. S. (1999). *Aspectos do Modelo Neotectônico da Placa Sul-Americana na Província Estrutural Amazônica, Brasil*. Tese (Livro Docência). Manaus: Universidade Federal do Amazonas.
- Igreja, H. L. S., Borges, M. S., Alves, R. J., Costa, P. S. C. Jr, Costa, J. B. S. (1990). Estudos neotectônicos nas ilhas do Outeiro e Mosqueiro, NE do Estado do Pará. *36º Congresso Brasileiro de Geologia (CBG)*, v. 5, 2110-2123. Natal: SBG.
- Ikeda, H. (1989). Sedimentary controls on channel migration and origin of point bars in sand-bedded meandering rivers. In: S. Ikeda, G. Parker (Eds.), *River meandering*, v. 12, 51-68. Washington: American Geophysical Union.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. (2014). Acesso em 3 de fevereiro de 2014, <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>.
- Justiniano, L. A. A. (2010). *Dinâmica fluvial do rio Paraguai entre a foz do Sepotuba e a foz do Cabaçal*. Dissertação (Mestrado). Cáceres: Instituto de Ciências Naturais e Tecnológicas, Universidade do Estado de Mato Grosso.
- Kalliola, R., Salo, J., Puhakka, M., Rajasilta, M., Häme, T., Neller, R. J., Rasänen, M. E., Danjoy Arias, W. A. (1992). Upper Amazon channel migration. *Naturwissenschaften*, 79, 75-79. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01131806>.
- Knighton, A. D. (1998). *Fluvial forms and processes: a new perspective*. New York. 383 p.
- Knighton, A. D., Nanson, G. C. (1993). Anastomosis and the continuum of the channel pattern. *Earth Surface Processes and Landforms*, 18(7), 613-625. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.3290180705>.
- Labrecque, P. A., Hubbard, S. M., Jensen, J. L., Nielsen, H. (2011). Sedimentology and stratigraphic architecture of a point bar deposit, Lower Cretaceous McMurray Formation, Alberta, Canada. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 59(2), 147-171. <http://dx.doi.org/10.2113/gscpgbull.59.2.147>.
- Laraque, A., Guyot, J. L., Filizola, N. (2009). Mixing processes in the Amazon River at the confluences of the Negro and Solimões Rivers, Encontro das Águas, Manaus, Brazil. *Hydrological Processes*, 23(22), 3131-3140. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.7388>.
- Latrubesse, E. M. (2008). Patterns of anabranching channels The ultimate end-member adjustment of mega rivers. *Elsevier Science B. V. Geomorphology*, 101(1-2), 130-145. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.035>.
- Latrubesse, E. M. (2012). Lakes Paleolakes and Reservoirs in the Amazon basin. In: R.W. Bengtsson, R. Herschy (Eds.), *Encyclopedia of Lakes, Paleolakes and Reservoirs*. Springer Verlag. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6>.
- Latrubesse, E. M., Franzinelli, E. (2002). The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. *Elsevier Science B. V. Geomorphology*, 44(3-4), 241-257. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X\(01\)00177-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00177-5).
- Latrubesse, E. M., Stevaux, J. C., Sinha, R. (2005a). Tropical rivers. *Geomorphology*, 70(3-4), 187-206. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.02.005>.
- Latrubesse, E. M., Stevaux, J. C., Sinha, R. (2005b). Grandes sistemas fluviais tropicais: uma visão geral. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 6(1), 1-18.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G. (1957). *River channel patterns: braided, meandering, and straight*. United States: Geological Survey Professional Paper. 282 p.
- Maia, M. A. M., Marmo, J. L. (2010). *Geodiversidade do Estado do Amazonas*. Manaus: CPRM. 275 p.
- Makaske, B. (2001). Anastomosing rivers: a review of their classification, origin and sedimentary products. *Earth-Science Reviews*, 53(3-4), 149-196. [http://dx.doi.org/10.1016/S0012-8252\(00\)00038-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0012-8252(00)00038-6).
- Marinho, R. R., Melo, E. (2009). Análise multitemporal da geomorfologia fluvial do rio Solimões entre dois períodos (Cheia e Vazante). *XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 14, 4765-4772. Natal: INPE.
- Meade, R. H., Dunne, T., Richey, J. E., Santos, U. M., Salati, E. (1985). Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon river of Brazil. *Science*, 228(4698), 488-490. PMID:17746891. <http://dx.doi.org/10.1126/science.228.4698.488>.
- Mertes, L. A. K., Dunne, T., Martinelli, L. A. (1996). Channel-floodplain geomorphology along the Solimões-Amazon River, Brazil. *Geological Society of America Bulletin*, 108(9), 1089-1107.
- Miall, A. D. (1977). A review of the braided-rivers depositional environment. *Earth-Science Reviews*, 13(1), 1-62. [http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252\(77\)90055-1](http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252(77)90055-1).
- Nanson, G. C., Knighton, A. D. (1996). Anabranching rivers: their cause, character and classification. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21(3), 217-239. [http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252\(77\)90055-1](http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252(77)90055-1).

- org/10.1002/(SICI)1096-9837(199603)21:3<217::AID-ESP611>3.0.CO;2-U.
- Park, E., Latrubesse, E. M. (2015). Surface water types and sediment distribution patterns at the confluence of mega rivers: the Solimões-Amazon and Negro rivers junction. *Water Resources Research*, 51(8), 6197-6213.
- Passos, M. S., Soares, E. A. A. (2013). Análise bitemporal do Rio Solimões no trecho entre Manacapuru e Codajás (Amazônia Ocidental) por meio de imagens Landsat-5/TM. *XIII Simpósio de Geologia da Amazônia*, v. 13, 517-519. Belém: SBG.
- Passos, M. S., Soares, E. A. A., Salazar, C. A. (2013). Análise bitemporal do Rio Solimões no trecho entre Manacapuru e Manaus (Amazônia Central) por meio de imagens Landsat-5/TM. *XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 16, 3627-3634. Foz do Iguaçu: INPE.
- Peixoto, J. M. A., Nelson, B. W., Wittmann, F. (2009). Spatial and temporal dynamics of river channel migration and vegetation in central Amazonian white-water floodplains by remote-sensing techniques. *Remote Sensing of Environment*, 113(10), 2258-2266. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2009.06.015>.
- Petrovski, J., Székely, B., Timár, G. (2012). A systematic overview of the coincidences of river sinuosity changes and tectonically active structures in the Pannonian Basin. *Global and Planetary Change*, 98-99, 109-121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.08.005>.
- Porshe, E. (1985). *Tectônica da faixa de dobramentos do Juruá; Bacia do Alto Amazonas, Brasil: um modelo estrutural*. Dissertação (Mestrado). Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto.
- Prado, R. E., Latrubesse, E. M. (2001). Dinâmica evolutiva dos processos de erosão e sedimentação no canal do rio Araguaia no trecho, Barra do Garças (MT) e a ilha do Bananal, no período entre as décadas de 60 e 90. *VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão*. Goiânia.
- Riccomini, C., Soares, E. A. A., Sant'anna, L. G., Ibanez, D. M., Taga, V. Y., Andrade, L. S. (2012). O rift continental da Amazônia Central. *46º Congresso Brasileiro de Geologia*. Santos: SBG.
- Rosa, R. (2009). *Introdução ao sensoriamento remoto* (7. ed.). Uberlândia: EDUFU. 264 p.
- Rossetti, D. F., Todolo, P. M., Góes, A. M. (2005). New geological framework for Western Amazonia (Brazil) and implications for biogeography and evolution. *Quaternary Research*, 63(1), 78-89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.yqres.2004.10.001>.
- Rozo, J. M. G. (2004). *Evolução Holocênica do Rio Amazonas entre a Ilha do Careiro e a foz do Rio Madeira*. Dissertação (Mestrado). Manaus: Universidade Federal do Amazonas.
- Rozo, J. M. G., Nogueira, A. C. R., Carvalho, A. S. (2005). Análise multitemporal do sistema fluvial do Amazonas entre a ilha do Careiro e a foz do Rio Madeira. *XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 12, 1875-1882. Goiânia: INPE.
- Rozo, J. M. G., Nogueira, A. C. R., Castro, C. S. (2014). Remote sensing-based analysis of the planform changes in the Upper Amazon River over the period 1986 e 2006. *Journal of South American Earth Sciences*, 51, 28-44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2013.12.004>.
- Rozo, J. M. G., Nogueira, A. C. R., Truckenbrodt, W. (2012). The anastomosing pattern and the extensively distributed scroll bars in the middle Amazon River. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37(14), 1471-1488. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.3249>.
- Rozo, J. M. G., Soto, C. C. (2009). Multitemporal analysis of the Amazon River between Corea Island (Colombia) and Aramosa Island (Brazil). *XII Congreso Colombiano de Geologia*, v. 12, 13-17. Paipa, Colômbia.
- Rozo, J. M. G., Soto, C. C. (2010). Quantification of change and migration rates in the Amazon River. *45º Congresso Brasileiro de Geologia*. Belém: SBG.
- Sander, C. (2015). *Geomorfologia da planície aluvial do alto rio branco em Roraima: dinâmica e processos evolutivos*. Tese (Doutorado). Maringá: Universidade Estadual de Maringá.
- Sarker, M. H., Thorne, C. R., Aktar, M. N., Ferdous, M. R. (2014). Morpho-dynamics of the Brahmaputra–Jamuna River, Bangladesh. *Geomorphology*, 215, 45-59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.07.025>.
- Schumm, S. A. (1977). *The fluvial system*. New York: Wiley Interscience. 338 p.
- Silva, C. L. (2005). *Análise da tectônica cenozoica da região de Manaus e adjacências*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Universidade Estadual Paulista.
- Silva, C. L., Horbe, A. M. C., Horbe, M. A., Morales, N., Costa, S. S., Rueda, J. R. J. (2003). Bacias quaternárias ao longo do Rio Solimões-Amazonas. *VIII Simpósio de Geologia da Amazônia*. Manaus: SBG.
- Silva, C. L., Morales, N., Crósta, A. P., Costa, S. S., Jiménez-Rueda, J. R. (2007). Analysis of tectonic-controlled fluvial morphology and sedimentary processes of the western Amazon Basin: an approach using satellite images and digital elevation model. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 79(4), 693-711. <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652007000400010>.

- Smith, D. G. (1976). Effect of vegetation on lateral migration of anastomosed channels of a glacier meltwater river. *Geological Society of America Bulletin*, 87(6), 857-860. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1976\)87<857:EOV OLM>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1976)87<857:EOV OLM>2.0.CO;2).
- Soares, E. A. A. (2007). *Depósitos pleistocenos da região de confluência dos rios Negro e Solimões, porção oeste de bacia do Amazonas*. Tese (Doutorado). São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Soares, E. A. A., Tatum, S. H., Riccomini, C. (2010). OSL age determinations of pleistocene fluvial deposits in central Amazonia. *Academia Brasileira de Ciências*, 82(3), 9-14.
- Soares, E. A. A., Teixeira, S. G. (2011). Fusão de imagens SAR-R99B e Landsat-7 para identificação de Paleocanais na planície aluvial do Rio Solimões, Amazônia Ocidental. *XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e III Encontro do Quaternário Sulamericano*, v. 13, 1-5. Armação dos Búzios: ABEQUA.
- Sternberg, H. O. R. (1950). Vales Tectônicos da planície Amazônica? *Revista Brasileira de Geografia*, 12(4), 3-26.
- Sternberg, H. O. R. (1960). Radiocarbon dating as applied to a problem of Amazonian morphology. *Congrès International de Géographie*, 2, 399-424.
- Strasser, M. A. (2002). *Estudo da geometria das formas de fundo no curso médio do rio Amazonas*. Dissertação (Mestrado). Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Strasser, M. A. (2008). *Dunas fluviais no rio Solimões-Amazonas: dinâmica e transporte de sedimentos*. Tese (Doutorado). Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Teixeira, S. G., Soares, E. A. A. (2011). Uso de imagens multi-sensores na identificação de paleocanais na planície aluvial do Rio Solimões, Amazônia Ocidental. *XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 14, 3611-3617. Curitiba: INPE.
- Teixeira, S., Maia, M. A. (2008). Análise multitemporal da dinâmica fluvial do Rio Madeira através de imagens de sensores remotos ópticos. *44º Congresso Brasileiro de Geologia*, v. 44, 26-31. Curitiba: SBG.
- Teixeira, S., Maia, M. A. (2009). Análise da dinâmica das margens do Rio Madeira (AM) no período de 1987 à 2007, a Partir de Imagens de Sensores Remotos Ópticos. *XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 14, 1559-1567. Natal: INPE.
- Törnqvist, T. E. (1993). Holocene alternation of meandering and anastomosing fluvial systems in the Rhine-Meuse Delta (Central Netherlands) controlled by sea-level rise and subsoil erodibility. *Journal of Sedimentary Petrology*, 63(4), 683-693.
- Trevethan, M., Martinelli, A., Oliveira, M., Ianniruberto, M., Gualtieri, C. (2015a). Fluid dynamics, sediment transport and mixing about the confluence of Negro and Solimões rivers, Manaus, Brazil. *36º IAHR World Congress*. The Hague, The Netherlands. Acesso em 17 de setembro de 2015, <<http://www.researchgate.net/publication/274064501>>.
- Trevethan, M., Ianniruberto, M., Oliveira, M., Martinelli, A., Filizola, N., Gualtieri, C. (2015b). *Morphodynamics and hydrodynamics features observed about the confluence of Negro and Solimões rivers, Brazil*. Acesso em 17 de setembro de 2015, <<http://www.researchgate.net/publication/276918575>>.
- Turcq, P. M., Jouanneaub, J. M., Turcq, B., Seyler, P., Weber, O., Guyot, J. L. (2004). Carbon Sedimentation at Lago Grande de Curuai, a Floodplain Lake in the low Amazon Region: Insights into Sedimentation Rates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 214(1-2), 27-40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.06.013>.
- U.S. Geological Survey – USGS. (2014). Acesso em 3 de fevereiro de 2014, <<http://glovis.usgs.gov/>>.
- Willis, B. J., Tang, H. (2010). Three-dimensional connectivity of point-bar deposits. *Journal of Sedimentary Research*, 80(5), 440-454. <http://dx.doi.org/10.2110/jsr.2010.046>.