

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

VANESSA CUNHA SILVA

**ACUMULAÇÃO DE CARBONO E INTERPRETAÇÕES PALEOHIDROLÓGICAS
DO LAGO DO BOTO – ARQUIPÉLAGO DE ANAVILHANAS, DURANTE O
HOLOCENO SUPERIOR**

MANAUS

2019

VANESSA CUNHA SILVA

**ACUMULAÇÃO DE CARBONO E INTERPRETAÇÕES PALEOHIDROLÓGICAS
DO LAGO DO BOTO – ARQUIPÉLAGO DE ANAVILHANAS, DURANTE O
HOLOCENO SUPERIOR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós –
Graduação em Geociências, da Universidade
Federal do Amazonas, como requisito para
obtenção do título de mestre em Geociências.
Área de concentração: Geociências.

ORIENTADORA: DRA. KEILA CRISTINA PEREIRA ANICETO

MANAUS

2019

Ficha Catalográfica

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

S586a	Silva, Vanessa Cunha Acumulação de carbono e interpretações Paleohidrológicas do lago do Boto – Arquipélago de Anavilhanas durante o Holoceno Superior / Vanessa Cunha Silva. 2019 80 f.: il. color; 31 cm. Orientadora: Keila Cristina Pereira Aniceto Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Amazonas. 1. Rio Negro. 2. Dinâmica Fluvial. 3. Acumulação de COT. 4. Paleohidrologia. I. Aniceto, Keila Cristina Pereira II. Universidade Federal do Amazonas III. Título
-------	---

VANESSA CUNHA SILVA

ACUMULAÇÃO DE CARBONO E INTERPRETAÇÕES
PALEOHIDROLÓGICAS DO LAGO DO BOTO - ARQUIPÉLAGO DE
ANAVILHANAS, DURANTE O HOLOCENO SUPERIOR

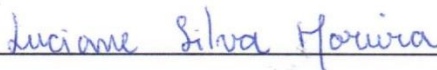
Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Geociências da
Universidade Federal do Amazonas,
como requisito parcial para obtenção do
Título de Mestre em Geociências, área de
concentração em Geociências.

Aprovado em 12 de agosto de 2019.

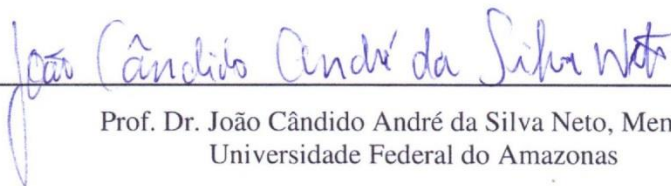
BANCA EXAMINADORA



Dr.^a Keila Cristina Pereira Aniceto, Presidente.
Universidade Federal do Amazonas



Prof.^a Dr.^a Luciane Silva Moreira, Membro.
Universidade Federal Fluminense



Prof. Dr. João Cândido André da Silva Neto, Membro.
Universidade Federal do Amazonas

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a minha família;

A minha orientadora professora Keila Aniceto pela oportunidade concedida e por todos os ensinamentos;

Aos professores Naziano Filizola, Rogério Marinho, Luciane Moreira, Renato Campello e Geziel Damasceno por todas as valiosas contribuições;

A Caroline Maia por sua prestatividade durante os muitos e-mails trocados.

A equipe da GEHITE – CPRM, André Martinelli, Patrícia, Luna, Bernardo, Cássio, Paulo, Carlos, Jussara, Gabi, Itaní, etc., pelo incentivo e apoio;

As instituições parceiras: UFF, ICMBio, IRD;

Aos membros do Grupo Hidrossistemas e o Homem na Amazônia (H2A);

Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFAM;

Aos professores e demais funcionários do programa, em especial ao secretário Marcos por seu eficiente trabalho.

A Universidade Federal do Amazonas – UFAM pela disponibilidade de um ensino público e de qualidade que me possibilitou formação desde a graduação;

A CAPES pelo financiamento desta pesquisa;

Aos técnicos de laboratório Alfredo e Leilane que muito contribuíram ao compartilhar um pouco de seus conhecimentos comigo;

Aos companheiros de mestrado e amigos que de alguma forma fizeram parte desta trajetória, Katy, Eliana, Patrícia, Elane, Tamna, Nayara, Yasmin, Asley, Pâmela, Izabela, Henrique, Lilian, Renan, Thiago Neto, Roberto, Fernando, Eduardo, Roseane, Tiago, Alice, etc.

Agradeço pelas discussões, cervejas e muitos e muitos cafés;

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente torceram pela concretização deste trabalho. Vocês foram essenciais e mais importantes do que imaginam.

*Toda a terra dourada está à sua frente e todos os
tipos de eventos imprevistos esperam de tocaia
para te surpreender e fazer você feliz por estar
vivo para ver.*

Jack Kerouac – Pé na Estrada

RESUMO

Estudos voltados à acumulação de Carbono e às condições Paleohidrológicas em ambientes lacustres são importantes para a compreensão do ciclo do carbono em sistemas de águas interiores e para ajudar a prever como estes ambientes podem reagir às mudanças climáticas futuras. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo realizar apontamentos sobre a acumulação de carbono e as condições Paleohidrológicas do lago do Boto (Arquipélago de Anavilhanas) durante o Holoceno superior. Para caracterizar a dinâmica hidrológica atual dos sistemas lacustres do arquipélago e identificar as alterações associadas à paisagem, foram utilizadas duas imagens do satélite Landsat 08, obtidas no período de águas altas e baixas do Rio Negro, além de dados hidrológicos. Para determinar o acúmulo de carbono no Lago Boto, 1 m de registro sedimentar foi analisado. O núcleo foi datado com espectrometria de massa do acelerador ^{14}C (AMS) e descrito; subsequentemente, foram medidos os teores de densidade aparente, granulometria e carbono orgânico total (TOC). Com estes resultados, as taxas de sedimentação, acumulação e estoque de carbono foram determinadas para cada centímetro da profundidade de 1 m. Para as condições atuais, foi observado que o Arquipélago de Anavilhanas está sujeito a grande amplitude de variação sazonal, mesmo sob condições regulares (médias fluviométricas diárias interanuais). Esta sazonalidade ocasiona uma série de modificações na paisagem ao longo destes períodos que impactam de modo diferenciado nos lagos. Foi observada uma variação da ordem de 10% na superfície de água exposta do arquipélago entre os períodos de águas baixas e altas e para os sistemas lacustres e áreas de “águas mortas” foi de 17%. Para 447 lagos identificados, 46% são lagos conectados aos canais do arquipélago durante o período de águas baixas, incluindo o lago do Boto, área deste estudo, e 54% são isolados neste período. Os resultados indicam que desde 1880 anos cal AP o lago do Boto apresenta condições de um ambiente lacustre com predomínio de baixa influência fluvial, no entanto, com algumas variações e uma tendência de aumento na acumulação de carbono e das taxas de sedimentação em direção ao topo. Entre 1880 a 854 anos cal AP as taxas de sedimentação foram de $0,03 \text{ cm.ano}^{-1}$ e taxas de acumulação média de carbono $94,84 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$. Entre 854 anos cal AP ao presente, as taxas de sedimentação foram de $0,07 \text{ cm.ano}^{-1}$ e taxas de acumulação média de carbono de $148,85 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$. No total, foi estimado um estoque de cerca de 230.987 toneladas de COT para a profundidade de 1 metro deste lago. Os resultados ressaltam a importância dos ambientes lacustres amazônicos na acumulação de carbono e evidenciam a necessidade da ampliação dos estudos nesta perspectiva.

Palavras-chave: Rio Negro, Dinâmica Fluvial, Acumulação de COT, Paleohidrologia.

ABSTRACT

The studies on carbon accumulation and paleohydrological conditions in lake environments are important for understanding the carbon cycle in inland water systems and to help predict how these environments can react to future climate changes. Therefore, this work had as objective to make notes on the accumulation of carbon and the paleohydrological conditions of Boto Lake (Anavilhanas Archipelago) during the Upper Holocene. In order to characterize the present hydrological dynamics of the lake systems of the archipelago and identify the alterations associated with the landscape, two images of the Landsat 08 satellite, obtained in the period of high and low waters of the Rio Negro, as well as hydrological data were used. To determine carbon accumulation in Lake Boto, 1 m of sedimentary record was analyzed. The core was dated with ^{14}C accelerator mass spectrometry (AMS) and described; subsequently were measured bulk density, grain size analysis and total organic carbon (TOC) contents. With these results, sedimentation rates, accumulation and stock carbon were determined for each centimeter of the depth of 1 m. For the current conditions, it has been observed that the Anavilhanas Archipelago is subject to a large range of seasonal variation, even under regular conditions (interannual daily fluviometric averages). This seasonality causes a series of changes in the landscape over these periods that impact differently on the lakes. A variation of around 10% in the exposed water surface of the archipelago was observed between periods of low and high water and for lacustrine systems and "dead water" areas was 17%. For 447 lakes identified, 46% are lakes connected to the archipelago canals during the low water period, including the Boto Lake, area of this study, and 54% are isolated during this period. The results indicate that since 1880 cal AP the lake of Boto has presented conditions of a lake environment with predominance of low river influence, however, with some variations and a tendency to increase in carbon accumulation and sedimentation rates towards the top. . Between 1880 to 854 years cal AP sedimentation rates were $0.03 \text{ cm}\cdot\text{year}^{-1}$ and average carbon accumulation rates $94.84 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{year}^{-1}$. Between 854 years cal AP at present, sedimentation rates were $0.07 \text{ cm}\cdot\text{year}^{-1}$ and average carbon accumulation rates of $148.85 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{year}^{-1}$. In total, a stock of about 230,987 tonnes of TOC was estimated for the 1 meter depth of this lake. The results highlight the importance of the Amazonian lake environments in carbon accumulation and highlight the need for further studies in this perspective.

Keywords: Black River, Fluvial Dynamics, Accumulation of TOC, Paleohydrology.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01:** Série temporal de insolação de Vostok. Escala temporal no eixo inferior e indicação das respectivas profundidades no eixo superior. (a) CO₂; (b) temperatura isotópica da atmosfera (c) CH₄; (d) $\delta^{18}\text{O}$ atm; (e) insolação em meados de junho a 65°N (em Wm⁻²). Fonte: Petit et al (1999).. 18
- Figura 02:** Esquema conceitual para o orçamento de carbono de um lago da Amazônia. Saídas e entradas, excluindo a produtividade primária líquida de fitoplâncton, perifita e macrófitas aquáticas (NPP). (1) COD em Água da chuva; (2); COP e COD em água corrente; (3) Liteira em área inundada; (4) Fluxo de COD líquido na infiltração de águas subterrâneas; (5) COP e COD em entradas de rio; (6) COP e COD em saídas para o rio; (7) Fluxo de metano; (8) Eliminação de dióxido de carbono; (9) Enterro. Fonte: Melack & Engle (2009). 20
- Figura 03:** Localização da área de estudo e do ponto de coleta do núcleo LBT-15-03 no Lago do Boto. 23
- Figura 04:** Bacia Sedimentar do Amazonas em amarelo, seus limites ao norte e sul são representados em rosa pelo Escudo das Guianas e Escudo Brasileiro, a leste e oeste são representados em linhas verdes pelo Arco do Gurupá e pelo Arco de Purus. Fonte: (CUNHA, 2000). 24
- Figura 05:** Estruturas neotectônicas maiores da região centro-oeste do Amazonas com destaque para a porção do baixo Rio Negro, onde se localiza a área de estudo. Fonte: Costa et al (1996). 25
- Figura 06:** Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas. Fonte: adaptado de Cunha et al (2007) 27
- ARTIGO 01**
- Figura 01:** Localização da área de estudo, com a indicação dos pontos de investigação (Lago do Castanho, do Cabeçudo e ponto de medições de descarga líquida).. 32
- Figura 02:** Cotograma com as cotas médias interanuais das estações fluviométricas do Porto de Manaus (1903 – 2018) e de Novo Airão (2014 – 2018). Cotas fluviométricas do ano hidrológico analisado (2016 – 2017) com destaque para a data das imagens Landsat 08 coletadas nos períodos hidrológicos semelhante as médias de cada período, destacadas pelos retângulos azul transparente. Barras em azul correspondem às medições de descarga líquida realizadas no período de águas altas e baixas do Rio Negro em uma seção a montante do arquipélago (Figura 01). Ambas as estações possuem referência topográfica local 35
- Figura 03:** Características geomorfológicas do Arquipélago de Anavilhanas observada no ano hidrológico 2016-2017. A área das ilhas são representadas na cor verde para o ano de 2017 (águas altas) e na cor rosa para o ano 2016 (águas baixas). As listas tracejadas delimitam os domínios A, B e C... 37
- Figura 04:** Variação espacial da superfície de água exposta (de 9,59 metros) no Arquipélago de Anavilhanas observada no ano hidrológico 2016-2017. Na cor cinza está representada a superfície exposta durante o período de águas baixas (2016) e na cor azul a superfície exposta durante as águas altas (2017). As listas tracejadas delimitam os domínios subdivididos para o arquipélago.. 38
- Figura 05:** Espacialização dos lagos presentes no Arquipélago de Anavilhanas com base no

período de águas baixas de 2016, destacado na cor azul. Os pontos verdes representam os lagos que apresentam conexão com a dinâmica hidrológica dos principais canais neste período (águas baixas) e os pontos na cor laranja representam os lagos isolados. As listas tracejadas delimitam os domínios subdivididos para o arquipélago. 39

Figura 06: Variação espacial da superfície de água exposta (de 9,59 metros) dos sistemas lacustres do Arquipélago de Anavilhanas observada no ano hidrológico 2016-2017. Na cor cinza está representa a superfície mapeada no período de águas baixas (2016) e na cor azul está mapeada a superfície observada no período de águas altas (2017). As listas tracejadas delimitam os domínios subdivididos para o arquipélago.. 40

Figura 07: A, B Lago do Castanho em 12/10/2017. C, D Lago do Cabeçudo em 26/04/2018. A eclipse indica o nível máximo atingido.. 41

Figura 08: Síntese das principais características observadas nos domínios A, B, C. Nos quadros à esquerda estão representados os tipos de ilhas e lagos predominantes para cada domínio..... 44

ARTIGO 02

Figura 01: Localização da área de estudo e do ponto de coleta do testemunho LBT-15-03 no Lago do Boto. 53

Figura 02: (A) Motor vibrador com mangote, usado para construção do vibra-core. (B) Tubos de alumínio utilizados para coleta do testemunho. (C) Procedimento de coleta do testemunho LBT-15-03 em 2015.. 55

Figura 03: Mapa da variação da superfície de água exposta do lago do Boto durante o ano hidrológico 2016/2017. Gráfico das cotas médias interanuais diárias do Rio Negro na estação do Porto de Manaus com pontos indicando a cota referente a data das imagens selecionadas. 58

Figura 04: Dados de densidade, teor de água, %C, Taxas de acumulação de carbono, Estoque de carbono e fracionamento granulométrico para o testemunho estudado..... 61

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 01

Tabela 01: Imagens selecionadas. Fonte: Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS (glovis.usgs.gov/) 34

Tabela 02: Dados hidrométricos adquiridos a montante de Anavilhanas (Figura 1) referenciados as cotas fluviométricas da estação de Novo Airão. Fonte: Marinho & Filizola (no prelo). 36

Tabela 03: Dados de áreas de Anavilhanas obtidos por Sensoriamento Remoto.. 42

ARTIGO 02

Tabela 01: Datações ^{14}C com idade calibrada cal AP. 59

Tabela 02: Resultados obtidos no testemunho sedimentar LBT-15-03.. 60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADCP - Acoustic Doppler Current Profiler (Perfilador Doppler Acústico de Corrente)
AMS – Accelerator Mass Spectrometry (Espectrômetro de Massa com Aceleradores)
ANA – Agência Nacional de Águas
Cal AP – Calibrado Antes do Presente
COD – Carbono Orgânico Dissolvido
COP – Carbono Orgânico Particulado
COT – Carbono Orgânico Total
ECOT – Estoque de Carbono Orgânico Total
EIA – Estudo de Impacto Ambiental
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IRD - Institut de Recherche Pour le Développement
IRMS - Isotope Ratio Mass Spectrometer (Espectrômetro de Massa com Razão Isotópica)
LBT – Lago do Boto
LOE - Luminescência Opticamente Estimulada
MMA – Ministério do Meio Ambiente
NIR – Near Infrared (Infravermelho Próximo)
OLI – Operational Terra Imager (Imageador Operacional da Terra)
RIMA – Relatório de Impacto Ambiental
SENAMHI - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia do Perú)
SNIRH - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SWIR – ShortWave InfraRed (Infravermelho de Onda Curta)
TFI – Terraço Fluvial Inferior
TFS – Terraço Fluvial Superior
UFF – Universidade Federal Fluminense
USGS - United States Geological Survey (Serviço Geológico Americano)

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	13
CAPÍTULO I	15
1. INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	16
1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
1.2.1 RELAÇÃO ENTRE CO ₂ ATMOSFÉRICO E AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS PÓS-REVOLUÇÃO INDUSTRIAL.....	17
1.2.2 A ACUMULAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO EM AMBIENTES LACUSTRES DA REGIÃO AMAZÔNICA	19
CAPÍTULO II.....	22
2. ÁREA DE ESTUDO	22
2.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	22
2.2 CONTEXTO GEOLÓGICO	24
2.2.1 GEOLOGIA DO BAIXO RIO NEGRO	25
CAPÍTULO III	28
3. RESULTADOS	28
ARTIGO 01	
3.1 DINÂMICA HIDROLÓGICA DOS SISTEMAS LACUSTRES DO ARQUIPÉLAGO DE ANAVILHANAS.....	28
1. Introdução	29
1.2 Área de estudo	31
2. Materiais, métodos e técnicas	33
2.1 Dados hidrológicos.....	33
2.2 Imagens do satélite LandSat 8	33
3. Resultados	35
3.1 Variabilidade hidrológica do baixo Rio Negro	35
3.2 Características geomorfológicas e variabilidade da superfície de água exposta do Arquipélago de Anavilhanas	36
3.3 Caracterização e variabilidade da superfície de água exposta dos sistemas lacustres do Arquipélago de Anavilhanas	38
3.4 Observações pontuais de campo nos lagos do Castanho e do Cabeçudo.....	40
4. Discussões	42
5. Conclusões	45
6. Referências	46

ARTIGO 02

3.2 ACUMULAÇÃO DE CARBONO E INTERPRETAÇÕES PALEO HIDROLÓGICAS NO LAGO DO BOTO	49
1. Introdução	50
2. Materiais e métodos	51
2.1 Área de estudo.....	51
2.2 Dados	53
2.3 Métodos	54
2.3.1 Análises de imagem	54
2.3.2 Amostragem e Análises do testemunho sedimentar LBT-15-03	54
2.3.2 Datação radiocarbono	55
2.3.3 Fracionamento granulométrico.....	56
2.3.4 Teor de água e densidade aparente.....	56
2.3.5 Carbono Orgânico Total - COT	56
2.3.6 Taxas de sedimentação e taxas de acumulação de carbono.....	56
2.3.7 Estoque de Carbono Orgânico Total - ECOT	57
3. Resultados	57
3.1 Dinâmica hidrológica e aspectos morfológicos do Lago do Boto	57
3.2 Testemunho sedimentar LBT-15-03	58
3.2.1 Litologia, cronologia e taxas de sedimentação	58
3.2.2 Granulometria	59
3.2.3 Densidade aparente e teor de água	59
3.2.4 COT no lago do Boto: Acumulação e estoque.....	59
4. Discussões	60
4.1 Dinâmica Paleohidrológica e acumulação de COT no lago do Boto.....	60
4.2 Estoque de carbono do lago do Boto.....	64
4.3 Discussões sobre a morfogênese e idade do Arquipélago de Anavilhanas	64
5. Conclusões	66
6. Referências	67
CAPÍTULO IV.....	71
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação de mestrado intitulada de: **“ACUMULAÇÃO DE CARBONO E INTERPRETAÇÕES PALEOHIDROLÓGICAS DO LAGO DO BOTO – ARQUIPÉLAGO DE ANAVILHANAS DURANTE O HOLOCENO SUPERIOR”** é apresentada em quatro capítulos constituídos da seguinte maneira:

Capítulo I: Introdução e revisão bibliográfica

Neste capítulo é apresentada uma contextualização do tema estudado, as problemáticas envolvidas e a importância da realização de estudos voltados à compreensão do ciclo global do carbono em ecossistemas de águas interiores, especialmente em ambientes lacustres da Bacia Hidrográfica Amazônica. Por fim, são expostos os objetivos definidos para esta dissertação.

A revisão bibliográfica apresenta um tópico sobre a relação entre as concentrações de CO₂ e as condições climáticas ao longo do tempo, com enfoque ao período pós-revolução industrial. No tópico seguinte são apresentados resultados de estudos anteriores realizados em lagos da região Amazônica, onde são apontadas as principais características identificadas pelos autores relacionados à acumulação de carbono.

Capítulo II: Área de estudo e contexto geológico

Neste capítulo é apresentada a localização geográfica da área de estudo e os meios de acesso disponíveis. Em seguida, é descrito o contexto geológico da área, detalhando a localização, contexto tectônico e preenchimento da Bacia Sedimentar, especificamente na região do baixo Rio Negro, onde se desenvolveu este estudo.

Capítulo III: Resultados e Discussões

Neste capítulo os resultados são apresentados subdivididos em dois artigos científicos. Em cada artigo estão descritas as principais características ambientais da área de estudo e os materiais e os procedimentos metodológicos realizados para alcançar os objetivos propostos nesta dissertação.

O primeiro artigo trata-se de um estudo voltado a caracterização dos sistemas lacustres do Arquipélago de Anavilhanas e avaliação da variação sazonal espacial da superfície de água exposta em condições próximas as médias fluviométricas interanuais para cada período, utilizando dados de Sensoriamento Remoto e dados hidrológicos. Os resultados obtidos, fora

do contexto de eventos extremos contribuíram na compreensão da dinâmica Paleohidrológica e acumulação de Carbono Orgânico Total – COT apresentada no segundo artigo. Este artigo foi submetido para avaliação na Revista de Geociências da Universidade Estadual Paulista – UNESP atendendo ao critério exigido para defesa da dissertação.

O segundo artigo trata-se especificamente do estudo da Acumulação de carbono orgânico e das interpretações Paleohidrológicas do Lago do Boto. Inicialmente realizou-se uma caracterização hidrológica do Lago do Boto com base em imagens Landsat 08. Em seguida foram interpretados os resultados obtidos em um metro de um testemunho sedimentar de aproximadamente 1880 anos cal AP coletado neste lago.

Capítulo IV: Considerações finais e referências bibliográficas

Neste capítulo são apresentadas de forma sucinta as principais interpretações feitas neste estudo. São realizadas observações e considerações gerais sobre os resultados obtidos e a indicação de aspectos interessantes a serem contemplados em estudos futuros, objetivando melhorias na compreensão da acumulação de carbono orgânico no Lago do Boto e das suas condições Paleohidrológicas.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

O aumento das emissões antropogênicas de dióxido de carbono (CO_2) para a atmosfera desde o início da Era Industrial têm sido interpretado como um dos principais indutores das alterações climáticas globais (CIAIS et al, 2013; IPCC, 2013; JOOS & SPAHNI, 2008). Joos e Spahni (2008) observam que as taxas de aumento do CO_2 e demais gases do efeito estufa, foi maior durante esse intervalo do que em qualquer outro período comparável durante os últimos 16.000 anos. Somente em 2011, as concentrações atmosféricas do dióxido de carbono (CO_2) foram $391,31 \pm 0,13$ ppm, cerca de 40% superior aos níveis pré-industriais (IPCC, 2013; LE QUÉRÉ et al, 2013), já em 2018 estima-se que tenham atingido um total médio de 407,84 ppm (DLUGOKENCKY & TANS, 2019).

Deste modo, a quantificação e redistribuição do carbono entre a atmosfera, o oceano e a biosfera terrestre, é uma informação valiosa para a compreensão do seu ciclo global e consequentemente, para apoiar o desenvolvimento de políticas climáticas e para projetar condições futuras (LE QUÉRÉ et al, 2018). As medições são feitas a partir de uma variedade de dados, algoritmos, estatísticas e estimativas, no entanto, apesar do aperfeiçoamento dos métodos, há ainda incertezas nessas quantificações (IPCC, 2013; LE QUÉRÉ et al, 2013; MOLION, 2008).

Uma das principais problemáticas no balanço médio global de carbono é a existência de um sumidouro global de carbono terrestre residual calculado somente pela diferença das emissões totais estimadas pela estimativa das mudanças na atmosfera, oceanos e biosfera terrestre (LE QUÉRÉ et al, 2013; 2018). Outra questão que tem se destacado nas discussões, trata-se dos ecossistemas de águas interiores (lagos, rios e reservatórios), que raramente foram considerados como componentes quantitativos potencialmente importantes em relação ao ciclo global do carbono (COLE et al, 2007).

No entanto, estudos recentes tem evidenciado a importância desses sistemas na acumulação de carbono orgânico, especialmente em ambientes lacustres da região amazônica (AMORIM et al, 2009; ANICETO et al, 2014; COSTA, 2006; CORDEIRO et al, 2008; CONTRERA, 2017; MOREIRA et al, 2012; MOREIRA et al, 2013; QUINTANA - COBO et al, 2018). Sanders et al (2017) observa que apesar da grande variabilidade, as taxas de acumulação de carbono em lagos amazônicos são significativamente superiores às taxas de

acumulação observadas em outros sistemas lacustres do mundo. No entanto, ainda há poucas amostras disponíveis, sendo necessários dados adicionais para melhorar estas estimativas e diminuir os erros associados (CORDEIRO et al, 2008; MOREIRA et al, 2012; SANDERS et al, 2017).

Os ambientes lacustres também são considerados como importantes fontes de informações Paleoambientais e Paleoclimáticas, pois o material sedimentado guarda os registros dos processos pretéritos que ocorreram *in situ* e em sua bacia de drenagem (MEYERS, 2003). A matéria orgânica presente nos sedimentos carrega uma série de indicadores geoquímicos que nos permitem inferir sobre a biota local e regional (MEYERS, 2003), enquanto as características granulométricas dos sedimentos depositados registram informações a cerca da hidrodinâmica dos lagos, especialmente aqueles presentes em sistemas de várzeas, que são influenciados pelas variações hidrológicas do canal principal (AMORIN et al, 2009; ANICETO et al, 2014; COSTA, 2006; CONTRERA, 2017; IRION et al, 2006; MOREIRA, 2008; MOREIRA et al, 2012; MOREIRA-TURCQ et al, 2014).

Portanto, a importância da realização de estudos em ambientes lacustres da região Amazônica é justificada pela necessidade da melhor compreensão do ciclo do carbono nos sistemas de águas interiores, especialmente na maior bacia hidrográfica do mundo. Pela ainda baixa quantidade de estudos nesta perspectiva na Amazônia e para contribuir no conhecimento das características paleoambientais da região, a fim de entender como estes ambientes podem reagir às mudanças climáticas futuras.

Nesta perspectiva, para este estudo foi selecionado o lago do Boto, localizado no Arquipélago de Anavilhanas – baixo curso do Rio Negro. O arquipélago é constituído por um conjunto de ilhas com lagos em seu interior, canais e bancos de areia. Trata-se de uma área protegida no estado do Amazonas como Parque Nacional com mais de 350.000 hectares, com relevância internacional para a manutenção da biodiversidade reconhecida por meio da convenção Ramsar (MMA, 2018).

1.1 OBJETIVOS

A pesquisa teve como objetivo geral avaliar a acumulação de carbono orgânico total e as variações Paleohidrológicas do lago do Boto - Arquipélago de Anavilhanas durante os últimos 1880 anos. Em nível específico, este trabalho teve como metas:

- Identificar as características da atual dinâmica hidrológica dos sistemas lacustres do

Arquipélago de Anavilhanas;

- Definir as taxas de sedimentação e de acumulação de Carbono no lago do Boto;
- Analisar as variações Paleohidrológicas dos últimos 1880 anos a partir da caracterização do material sedimentado.
- Estimar o estoque total de carbono orgânico acumulado no lago do Boto nos últimos 1880 anos;

1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1 RELAÇÃO ENTRE CO₂ ATMOSFÉRICO E AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS PÓS-REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

O ciclo do carbono apresenta-se subdividido em dois grandes domínios de reservatórios conectados por meio de fluxos de grandeza e escala temporal diferenciada. Um ciclo rápido, cujos representantes são especialmente a atmosfera, os oceanos, a vegetação, solos e águas continentais e, um ciclo lento, cujos principais representantes são as rochas sedimentares. Este reservatório de ciclo lento, em condições normais interage com o ciclo rápido por meio de fluxos oriundos de processos como o vulcanismo, o intemperismo, a erosão e a sedimentação marinha (CIAIS et al, 2013).

O CO₂ é um dos principais gases do efeito estufa, apresenta a propriedade de absorver radiação infravermelha (calor) e consequentemente contribuir para o aumento natural da temperatura da atmosfera terrestre (KUMP, 2002). Suas concentrações apresentaram boa sincronia com as oscilações de temperatura do ar em tempos pretéritos, conforme identificado nos testemunhos de gelo Vostok – Antártida oriental (PETIT et al, 1999). No entanto, destaca-se que as concentrações atuais desses gases são indicadas como sem precedentes em relação aos registros pretéritos obtidos em análises de testemunhos de gelo, englobando um período que corresponde os últimos 420.000 anos (JOOS & SPAHNI, 2008; PETIT et al, 1999) (Figura 01).

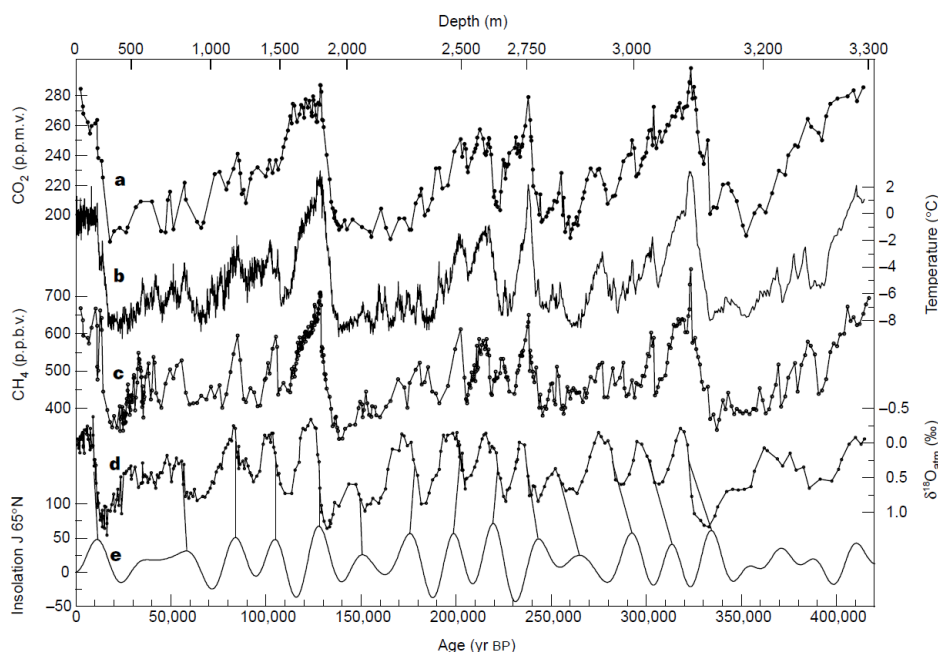


Figura 01: Série temporal de insolação de Vostok. Escala temporal no eixo inferior e indicação das respectivas profundidades no eixo superior. (a) CO₂; (b) temperatura isotópica da atmosfera (c) CH₄; (d) δ¹⁸O atm; (e) insolação em meados de junho a 65°N (em Wm⁻²). Fonte: Petit et al (1999).

Desde o início da Era Industrial, a extração de combustíveis fósseis dos reservatórios geológicos, e sua combustão, resultaram na transferência de quantidades significativas de carbono fóssil do domínio lento para o domínio rápido, causando assim, um número sem precedentes de perturbações no ciclo do carbono (CIAIS et al, 2013).

No período entre 1750 a 2011, as emissões de CO₂ provenientes da queima de combustíveis fósseis e da produção de cimento lançaram 375 ± 30 PgC para a atmosfera, enquanto se estima que o desmatamento e outras mudanças no uso dos solos tenham liberado cerca de 180 ± 80 PgC (CIAIS et al, 2013). Somente em 2011, as concentrações atmosféricas do dióxido de carbono (CO₂) foram $391,31 \pm 0,13$ ppm, cerca de 40% superior aos níveis pré-industriais (IPCC, 2013; LE QUÉREÉ et al, 2013). Já em 2017, estima-se que as concentrações atmosféricas de CO₂ tenham atingido um total médio de $405 \pm 0,1$ ppm (LE QUÉREÉ et al, 2018).

As emissões globais de CO₂ fóssil aumentaram em média de $3,1 \pm 0,2$ GtC ano⁻¹ na década de 1960 para em média $9,4 \pm 0,5$ GtC ano⁻¹ entre 2008–2017. A taxa de aumento de CO₂ atmosférico aumentou de $1,7 \pm 0,07$ GtC ano⁻¹ na década de 1960 para $4,7 \pm 0,2$ GtC ano⁻¹ em 2008–2017 com importantes variações decadais (LE QUÉREÉ et al, 2018).

Joos e Spahni (2008) observam que as taxas de aumento do CO₂ e demais gases do efeito estufa, foi maior durante a Era Industrial do que em qualquer outro período comparável durante os últimos 16.000 anos. Que as taxas de aumento da forçante antropogênica do último século é excepcionalmente alta no contexto das forçantes naturais do milênio passado. Diante deste contexto, a mudança climática global está sendo associada a uma causa de origem antropogênica, que está progredindo a uma velocidade sem precedentes em relação aos últimos 22.000 anos (JOOS & SPAHNI, 2008).

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC (2013), as observações instrumentais feitas nos últimos 157 anos mostram que a temperatura da superfície terrestre tem aumentado globalmente, com importantes variações regionais. Entre 1910 a 1940 ocorreu um aumento de 0,35 °C e mais acentuadamente entre 1970 a 2006 com um aumento de 0,55 °C. Já a temperatura média global dos oceanos aumentou cerca de 0,74 °C nos últimos 100 anos (1906 a 2005). Ainda de acordo com observações feitas pelo IPCC (2013), são evidências que confirmam o aquecimento global, o aquecimento dos oceanos, o aumento do nível do mar, derretimento das geleiras, o recuo do gelo marinho no ártico e a diminuição da cobertura de neve no hemisfério norte. Falloon et al (2007) indica que de acordo com os resultados de emissões de CO₂ do modelo Given IS92a, no período entre 2000 e 2100 as temperaturas médias globais devem aumentar em cerca de 5° C nos países estudados (Kenya, Jordan, Índia e Brasil) e a concentração média atmosférica de CO₂ deverá chegar a 980 ppm ao fim deste período.

1.2.2 A ACUMULAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO EM AMBIENTES LACUSTRES DA REGIÃO AMAZÔNICA

A biota terrestre é considerada como um sumidouro de carbono atmosférico (CORDEIRO et al, 2008), onde a Amazônia desempenha um papel importante no ciclo de carbono planetário, e pode ser considerada como uma região de grande risco do ponto de vista das influências das mudanças climáticas (NOBRE et al, 2009). As estimativas dos estoques e fluxos de carbono nesta região ainda apresentam altos níveis de incerteza, porém tem sido observado um progresso contínuo na redução disto (FEARNSIDE, 2008).

Na região Amazônica, estima-se que as zonas de inundação representem uma área de cerca de 300.000 km², sendo 200.000 km² de várzea e 100.000 km² de igapó (JUNK, 1993; JUNK, 1997 Apud AMORIN, 2006. Sendo que o termo várzea se aplica as áreas inundáveis

pelos rios de água branca e o termo igapó aos rios de águas pretas ou claras (PRANCE, 1980).

Nas áreas correspondentes as planícies de inundação, principalmente do sistema Solimões – Amazonas e o Negro verifica-se a ocorrência de lagos extensos, onde as trocas de sedimentos entre o canal fluvial principal e as várzeas é constante (MOREIRA-TURCQ et al, 2014). Estes lagos podem apresentar conexão permanente ou não entre si, ou com o rio, por meio de canais, o que permite que acompanhem o regime hidrológico, sendo que durante o período de águas altas os lagos podem ter suas superfícies triplicadas (AMORIN, 2006).

Melack & Engle (2009) apresentam um esquema do orçamento de carbono para um lago na região amazônica, onde verificou-se as diversas possibilidades de entrada de carbono orgânico dissolvido (COD) e carbono orgânico dissolvido e particulado (COP) para um lago. O COD e o COP podem ser transportados através do escoamento superficial pela água corrente e da liteira em área inundada, além de entrar e sair do lago transportado pelo rio. A entrada de COD pode ocorrer também por meio da água da chuva e por infiltração de água subterrânea. Na superfície do lago verifica-se o fluxo de metano e de dióxido de carbono para atmosfera, no entanto destaca-se neste modelo que parte desse carbono que entra no lago é enterrada na porção central através dos processos de sedimentação (Figura 02).

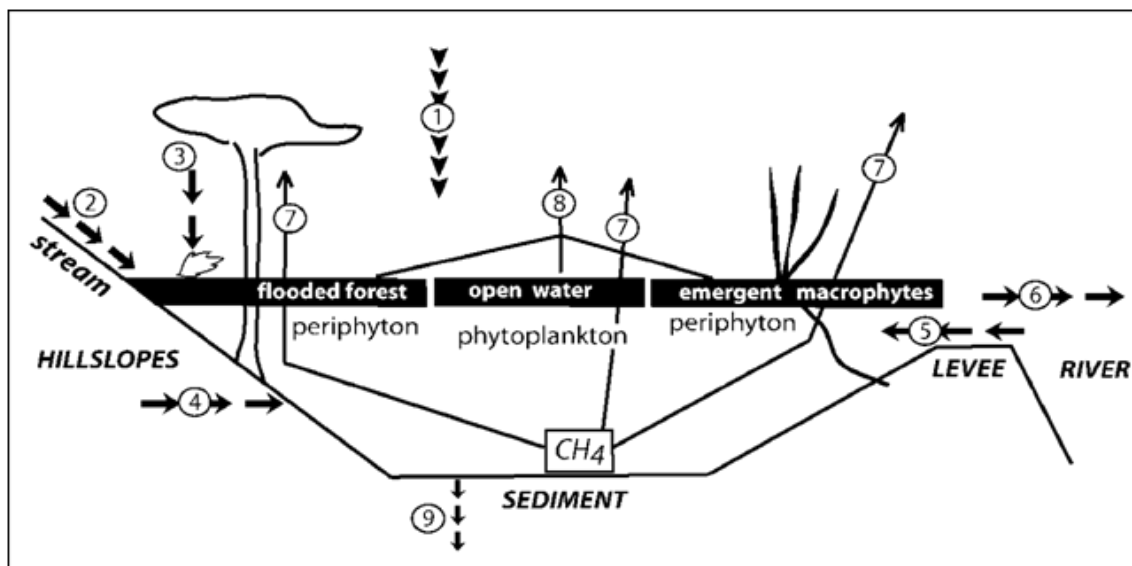


Figura 02: Esquema conceitual para o orçamento de carbono de um lago da Amazônia. Saídas e entradas, excluindo a produtividade primária líquida de fitoplâncton, perifita e macrófitas aquáticas (NPP). (1) COD em Água da chuva; (2); COP e COD em água corrente; (3) Liteira em área inundada; (4) Fluxo de COD líquido na infiltração de águas subterrâneas; (5) COP e COD em entradas de rio; (6) COP e COD em saídas para o rio; (7) Fluxo de metano; (8) Eliminação de dióxido de carbono; (9) Enterro. Fonte: Melack & Engle (2009).

Cordeiro et al (2008) observa que as taxas de sedimentação em lagos estão relacionadas com suas características, especificamente com o tipo de conexão que o lago possui com o canal principal, ou seja, se é permanente ou temporária, com a proximidade do lago com o canal principal, pois lagos próximos ao canal principal tendem a ser mais influenciados pelas características físico químicas do canal, e por conta da geometria dos canais de conexão, no sentido de serem mais ou menos meandrosos.

Ao comparar as taxas de acumulação de carbono obtidas a partir de estudos em lagos de várzea com aquelas obtidas em lagos isolados da dinâmica fluvial, Cordeiro et al (2008) identificou que os lagos de várzea Santa Nina e Acarabixi, diretamente influenciados pelos rios Amazonas e Negro, respectivamente, apresentaram taxas de acumulação de carbono chegando a valores superiores a $400 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, enquanto que os lagos isolados como da Pata, Caracanã e Carajás apresentaram valores mais reduzidos, com raros registros superiores a $20 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$. Posteriormente, Aniceto et al (2014) observou no Lago Quistococha durante o período de maior influência fluvial também maiores taxas de acumulação de carbono.

Nos lagos com conexão direta com a dinâmica fluvial do canal principal as taxas de sedimentação são superiores, em virtude da intensa dinâmica fluvial a qual estes sistemas estão submetidos. Nessas condições, mesmo com baixas concentrações de COT, grandes quantidades de carbono são armazenadas nesses lagos, porém ficam diluídas na grande quantidade de sedimento depositado (ANICETO et al, 2014; CONTRERA, 2017). Já nos lagos isolados, ou durante as fases de isolamento de um lago, são registradas baixas taxas de sedimentação em virtude da diminuição da influência fluvial, no entanto os percentuais de COT costumam ser mais elevados (ANICETO et al, 2014; CORDEIRO et al, 2008; CONTRERA, 2017; MOREIRA et al, 2013 e QUINTANA – COBO et al, 2018).

Essa situação pode ser observada no lago Airo, no qual Contrera (2017) identifica três fases de sedimentação, onde durante o período de maior influência fluvial os percentuais de COT foram de aproximadamente 1,40% e as taxas de acumulação de carbono chegaram a cerca de $52,48 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ e durante o período de menor influência os percentuais de COT aumentaram para 34,15% e as taxas de acumulação diminuíram para $3,48 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$.

CAPÍTULO II

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O Arquipélago de Anavilhanas está localizado no baixo curso do Rio Negro, a noroeste da cidade de Manaus – Amazonas (Figura 03). O acesso pode ser feito a partir da cidade de Manaus por via fluvial subindo o Rio Negro ou por via terrestre seguindo as rodovias AM – 070 e AM – 352 que dão acesso a cidade de Novo Airão, totalizando um percurso de cerca de 195 km. O arquipélago faz parte de uma unidade de conservação criada pelo Decreto no 86.061, de 02 de junho de 1981 como estação ecológica e, modificada pela Lei Nº 11.799, de 29 de outubro de 2008 que a transformou em Parque Nacional de Anavilhanas. Sua sede administrativa localiza-se em um escritório Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, na cidade de Nova Airão - Amazonas, cuja população aproximada é cerca de 18.133 habitantes (IBGE, 2017).

Em Março de 2015 pesquisadores da Universidade Federal Fluminense realizaram uma expedição de campo em Anavilhanas e na ocasião realizaram a coleta do testemunho sedimentar LBT-15-03 no Lago do Boto (S 02°27.508' e W 60°58.779'). Este lago está localizado no interior de uma ilha fluvial do Arquipélago de Anavilhanas, a montante da sede municipal de Novo Airão (Figura 03). Trata-se de um dos lagos mais extensos do parque, conectado a dinâmica fluvial do Rio Negro por meio de um canal de ligação em sua porção sudeste. O seu acesso só é possível por meio fluvial pelo Rio Negro, entrando no seu canal de ligação ou por meio das áreas de inundadas durante os períodos de águas altas, neste segundo caso é imprescindível à utilização de embarcação de pequeno porte.

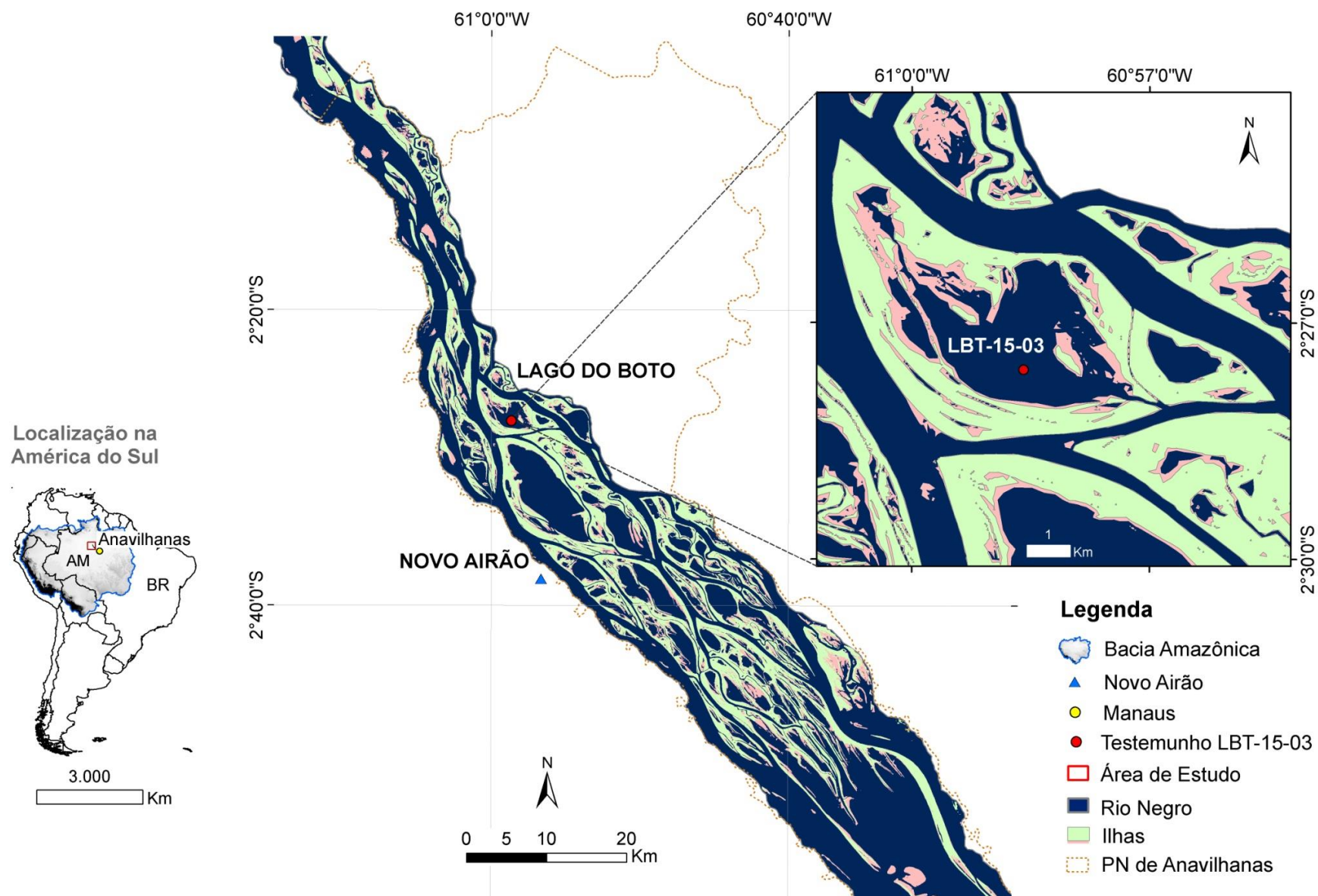


Figura 03: Localização da área de estudo e do ponto de coleta do núcleo LBT-15-03 no Lago do Boto.

2.2 CONTEXTO GEOLÓGICO

A área estudada está inserida no contexto geológico da Bacia Sedimentar intracratônica do Amazonas (Figura 04) com aproximadamente 500.000 km² de área (CUNHA et al, 2007), cujos limites coincidem na porção leste com o arco Gurupá, a oeste com o arco do Purus, ao norte com o escudo das Guianas e ao sul com o escudo Brasileiro (CUNHA et al, 1994). O seu preenchimento sedimentar Fanerozoico atinge quase 6.000 m de espessura (MATSUDA et al, 2010). Sua origem está relacionada a esforços no fechamento do Ciclo Brasileiro onde, em condições pós-orogênicas, várias unidades sedimentares foram acumuladas sobre a recém-estabilizada Plataforma Sul-Americana (CUNHA et al, 2007).

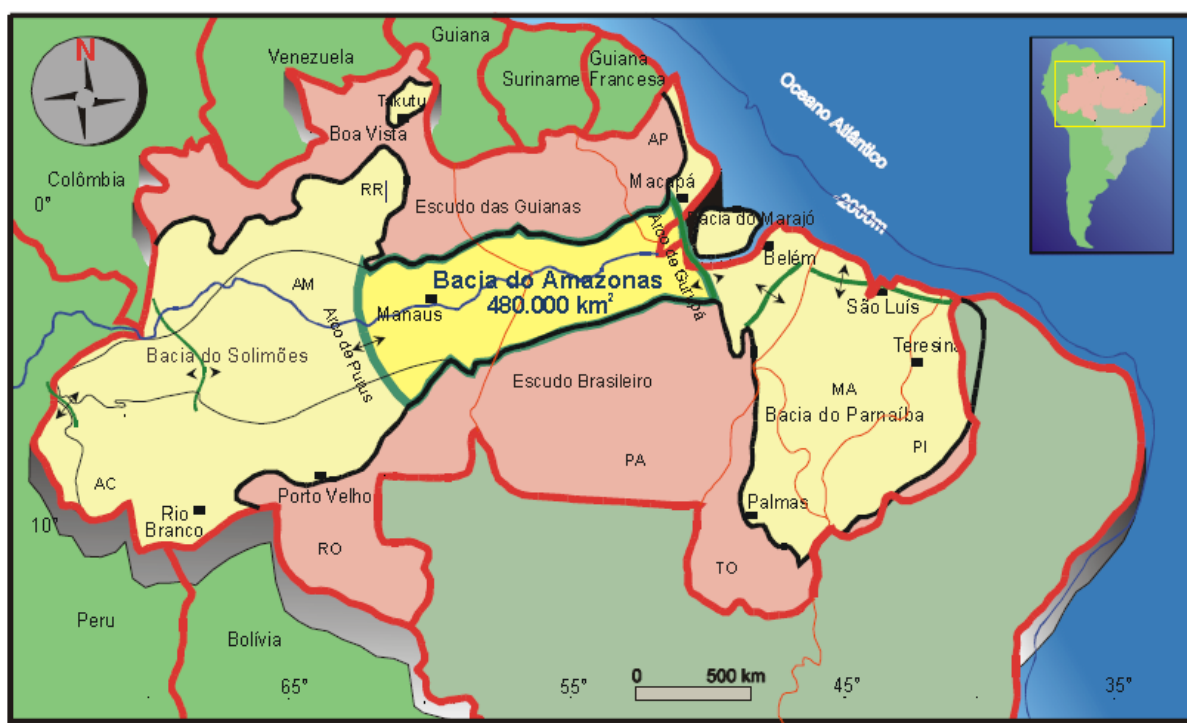


Figura 04: Bacia Sedimentar do Amazonas em amarelo, seus limites ao norte e sul são representados em rosa pelo Escudo das Guianas e Escudo Brasileiro, a leste e oeste são representados em linhas verdes pelo Arco do Gurupá e pelo Arco de Purus. Fonte: (CUNHA, 2000).

De modo geral, as linhas estruturais mestras da Bacia Sedimentar do Amazonas desenvolvem-se nas direções NW-SE, NE-SW, E-W (REIS & ALMEIDA, 2010). Sendo a neotectônica da região amazônica marcada por estruturas, sequências sedimentares, padrões de rede de drenagem e sistemas de relevo (COSTA et al, 1996).

De acordo com Costa et al (1996), no baixo Rio Negro a estruturação é definida principalmente por falhas normais de direção NW-SE interagindo com falhas maiores E-W, transcorrentes dextrais, resultando no desenvolvimento bacias romboédricas transtensivas (Figura 05). A margem direita do Rio Negro é controlada por uma grande falha de direção NW (LATRUBESSE & FRANZINELLI, 2005).

A neotectônica é responsável pela profundidade do canal e pela ocorrência de falésias em alguns pontos das margens do Rio Negro, e de acordo com Franzinelli & Igreja (2002) também é um possível fator que influenciou na origem das ilhas. Além disso, o sistema Negro também tem sua evolução intimamente ligada ao comportamento do sistema Solimões/Amazonas associado a respostas a mudanças climáticas durante o Holoceno (LATRUBESSE & FRANZINELLI, 2005).

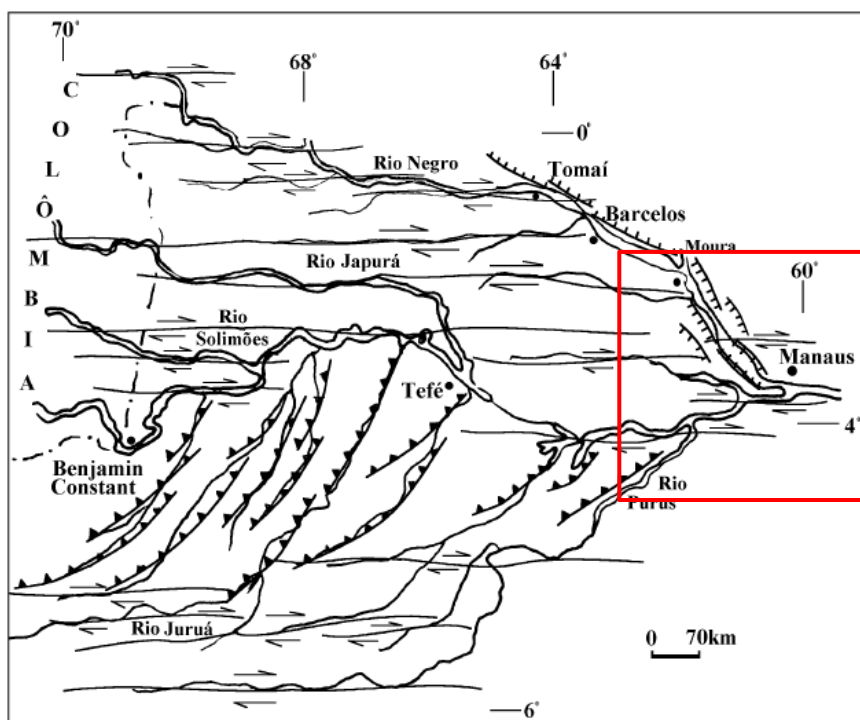


Figura 05: Estruturas neotectônicas maiores da região centro-oeste do Amazonas com destaque para a porção do baixo Rio Negro, onde se localiza a área de estudo. Fonte: Costa et al (1996).

2.2.1 GEOLOGIA DO BAIXO RIO NEGRO

A área do baixo curso do Rio Negro onde está localizado o Arquipélago de Anavilhanas está inserida na Bacia Sedimentar do Amazonas, onde afloram as rochas siliciclásticas das Formações Nhamundá (Paleozoico), na porção norte e Alter do Chão (Cretáceo) na porção sul (ALVES, 2013; BARBOSA, 2015), com recobrimento de depósitos

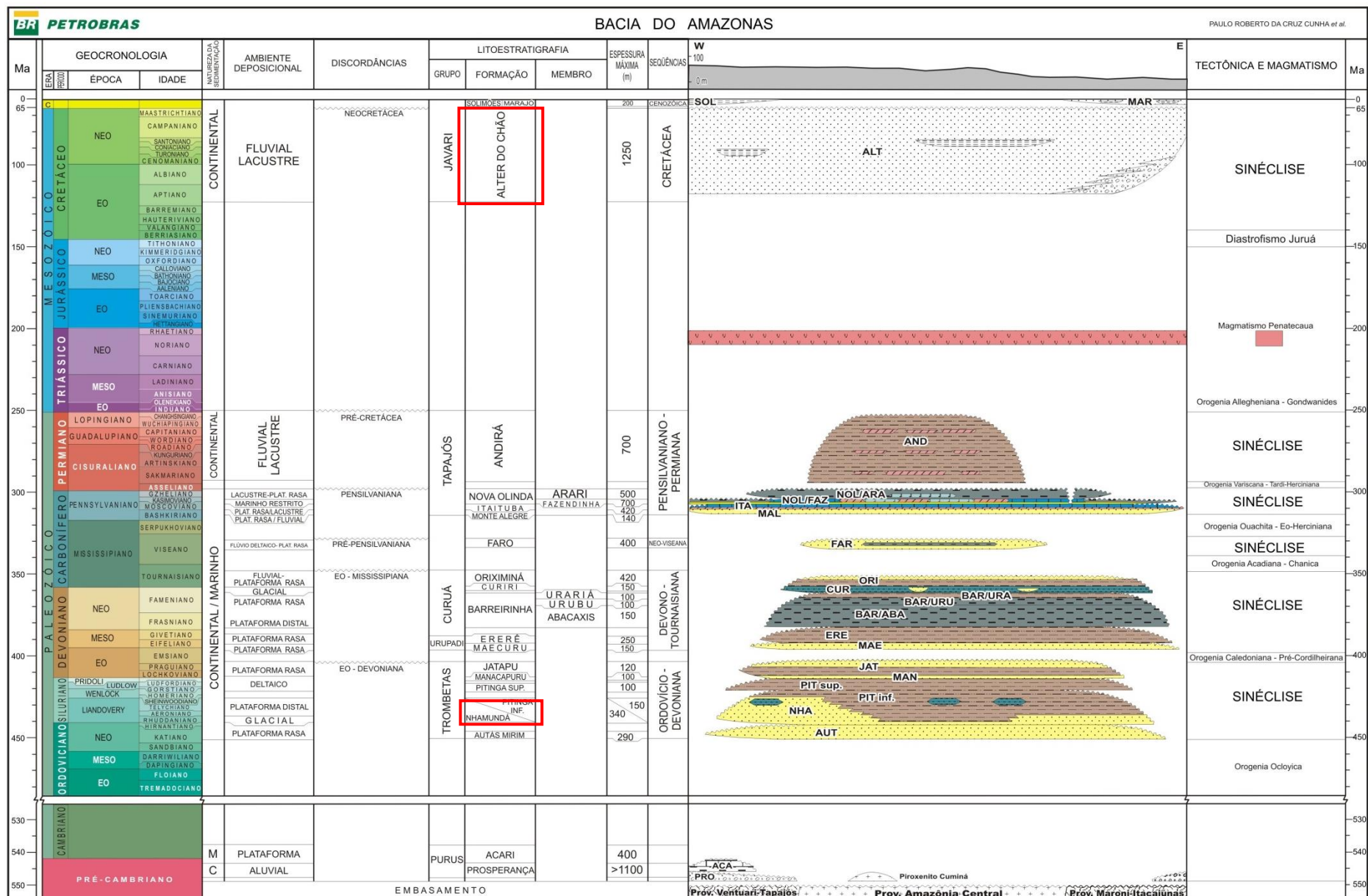
Miocênicos, denominados informalmente de Formação Novo Remanso (SOARES et al, 2015) (Figura 06).

A formação Nhamundá chega a apresentar até 450 m de espessura e se destaca apenas no cinturão de afloramento noroeste dos rios Negro para Pitinga e as melhores exposições são encontradas ao longo do rio Urubu (CAPUTO, 1984). É constituída predominantemente por arenitos finos a médios, com subordinada intercalação de folhelho, siltito e diamictito na proximidade do topo da seção (REIS et al, 2006). O ambiente de sedimentação é caracterizado com sendo fluvial e litorâneo sob condições glaciais (CAPUTO, 1984) (Figura 06).

A formação Alter do Chão alcança até 600 m de espessura no centro da bacia (CAPUTO, 1984), é constituída por arenitos, argilitos, arenitos caulíníticos e restritos arenitos silicificados, estes conhecidos como “arenito Manaus” (SOARES et al, 2015). Os sedimentos presentes nesta formação são pouco consolidados e estão sob um manto de intemperismo de aproximadamente 20 m de espessura, capeado por latossolo amarelo (TEXEIRA, 2010). Tem sido atribuído para a unidade um sistema deposicional continental ciclos de ambientes fluviais (CAPUTO, 2011; MENDES et al, 2012; REIS et al, 2006) (Figura 06).

Aos depósitos miocênicos da Bacia Sedimentar do Amazonas tem sido atribuída informalmente à denominação de Formação Novo Remanso. A unidade é caracterizada predominantemente por arenitos, com conglomerados e pelitos subordinados, característicos de um paleossistema fluvial meandrante, com fácies de canal, barra em pontal, planície de inundação e *crevasse play* (SOARES et al, 2015) (Figura 06).

Por fim, os depósitos aluviais quaternários das margens e da calha do canal, neste trecho são representando pelas ilhas do arquipélago. Estas ilhas são constituídas por sedimentos lamosos distribuídos entre silte e argila (FRANZINELLI & IGREJA, 2002). Já os principais canais do arquipélago apresentam exposições de mega dunas durante os períodos de vazante (ALVES, 2013).



CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

3.1 DINÂMICA HIDROLÓGICA DOS SISTEMAS LACUSTRES DO ARQUIPÉLAGO DE ANAVILHANAS

Neste capítulo os resultados são apresentados em um artigo científico, submetido a um periódico de avaliação B2 pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

Caracterização hidrológica dos sistemas lacustres do Arquipélago de Anavilhanas com base em Sensoriamento Remoto

Hydrological characterization of Anavilhanas archipelago lake systems by Remote Sensing

¹Vanessa Cunha Silva; ¹Keila Pereira Aniceto; ²Rogério Ribeiro Marinho & ¹Naziano Pantoja Filizola

¹Universidade Federal do Amazonas - Instituto de Ciências Exatas – Departamento de Geologia
Av. General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 1200 - Coroado I, 69067-005, Manaus – AM, Brasil

²Universidade Federal do Amazonas - Instituto de Filosofia, Ciências Humanas e Sociais – Dep. de Geografia
Av. General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 1200 - Coroado I, 69067-005, Manaus – AM, Brasil
E-mails: wanessavc01@gmail.com; keilaniceto@ufam.edu.br; rogeo@ufam.edu.br;
nazianofilizola@ufam.edu.br

Resumo

Este estudo caracterizou os sistemas lacustres do Arquipélago de Anavilhanas e avaliou a variação espacial da superfície de água em condições próximas as médias fluviométricas interanuais para cada período, utilizando imagens do Landsat 08 e dados fluviométricos do Rio Negro. A variação sazonal observada para todo o arquipélago foi na ordem de 10%. Para os sistemas lacustres e áreas de “águas mortas” foi de 17%. Para 447 lagos identificados, 46% possuem conexão com os canais do arquipélago durante o período de águas baixas e 54% ficam isolados neste período. Foram apontados três domínios para o Arquipélago. No domínio A (montante) o rio é relativamente estreito e as ilhas e lagos são menores. No domínio B (centro) o rio é relativamente mais largo e as ilhas e lagos são de grandes extensões. No domínio C (jusante) o rio apresenta largura semelhante ao domínio A e as ilhas estreitas, alongadas e sinuosas com lagos alongados e abertos. O domínio C apresentou menor variação sazonal e um maior número de lagos conectados, o que pode estar associado às características geomorfológicas e as condições hidráulicas dadas pela influência do barramento hidráulico do Rio Solimões.

Palavras – chave: Rio Negro; Geomorfologia fluvial; Sensoriamento remoto.

Abstract

This study characterized the Anavilhanas Archipelago lake systems and evaluated the spatial variation of the water surface under conditions close to the interannual fluviometric averages for each period,

using Landsat 08 images and Rio Negro fluviometric data. The seasonal variation observed for the entire archipelago was around 10%. For lake systems and “dead water” areas it was 17%. For 447 lakes identified, 46% are connected to the archipelago canals during the low water period and 54% are isolated during this period. Three domains were pointed to the Archipelago. In domain A (upstream) the river is relatively narrow and the islands and lakes are smaller. In domain B (center) the river is relatively wider and the islands and lakes are large. In domain C (downstream) the river is similar in width to domain A and the narrow, elongated and winding islands with elongated and open lakes. The C domain presented less seasonal variation and a larger number of connected lakes, which may be associated with the geomorphological characteristics and hydraulic conditions given by the influence of the Solimões River hydraulic bus.

Keywords: Rio Negro; Fluvial geomorphology; Remote sensing.

1. Introdução

O Arquipélago de Anavilhanas está localizado no baixo curso do Rio Negro, o principal afluente da margem esquerda do Rio Amazonas e maior rio de águas pretas da Bacia Amazônica. Trata-se de um complexo sistema fluvial de ilhas com lagos em seu interior, constituídas por sedimentos finos e recobertas por vegetação, onde durante o período de águas altas são completamente inundadas formando os igapós (LATRUBESSE & FRANZINELLI, 2005). Este arquipélago faz parte de uma área protegida no estado do Amazonas denominada de Parque Nacional de Anavilhanas, com mais de 350.000 hectares. Apresenta relevância internacional para a manutenção da biodiversidade reconhecida por meio da convenção Ramsar, que trata das zonas úmidas do planeta (MMA, 2018).

De acordo com Latrubesse & Franzinelli (2005) as ilhas de Anavilhanas correspondem a 40,6% da área total do arquipélago, sendo que os lagos e as porções de “águas mortas” ocupam aproximadamente 25,9% do arquipélago. Estes lagos e os canais foram interpretados por Marinho et al (2017a) como os setores mais afetados por eventos climáticos extremos, nesta região. Destaca-se também que, os sistemas de igapós assim como os de Anavilhanas, apresentam biota altamente sensível a mudanças nos ciclos hidrológicos, ocasionadas por mudanças climáticas ou represamento do rio (JUNK et al, 2015).

Deste modo, a importância da realização de estudos hidrológicos e geomorfológicos nesta região se dá principalmente em virtude da recorrência de eventos extremos, especialmente a partir do ano 2005, das intervenções previstas em sua área de influência e para dar suporte à gestão sustentável do parque. Pois, estudos recentes têm demonstrado que os eventos hidrológicos extremos estão sendo registrados com maior frequência nos últimos anos na região Amazônica (MARENGO et al, 2011; MARENGO & ESPINOZA, 2016).

Além disso, encontra-se em andamento o estudo (EIA/RIMA) para construção da usina hidrelétrica de Bem Querer no Rio Branco, maior afluente do Rio Negro, cujas águas alcançam o arquipélago (MME/EPE, 2017; EPE, 2019).

Destaca-se, que a instalação de uma hidrelétrica pode ocasionar uma série de interferências no regime hidrológico e no ecossistema de uma bacia, que não se restringem apenas a seu ponto de implantação (FEARNSIDE, 2015). Tais impactos estão associados à alteração no aporte de sedimentos, modificação da geometria hidráulica do rio, crescimento maciço de macrófitas aquáticas, deteriorização da qualidade da água, impactos ao balanço total de CO₂, perda de espécie de plantas e animais, entre outros impactos já observados em barragens construídas na região Amazônica (JUNK & MELLO, 1990; ASSAHIRA et al, 2017; FEARNSIDE, 2015; LATRUBESSE et al, 2017), que podem ser ainda mais agravantes associados a eventos extremos.

Face ao contexto acima descrito, uma das dificuldades para o melhor conhecimento do sistema hidrológico no arquipélago é a ausência de dados na região. Devido principalmente às extensas dimensões do parque, as dificuldades logísticas de acesso e custo operacional, na região de Anavilhanas há uma baixa densidade de estações hidrométricas e as séries de dados são de curta duração. Em geral, são usados os dados registrados na estação fluviométrica do porto de Manaus localizada 143 km a jusante. No entanto, Manaus sofre com o efeito de barramento hidráulico do rio Solimões sobre o Negro, descrito por Meade et al (1991) e por Filizola et al (2011). Neste sentido, não se conhece como esse efeito se propaga para montante, bem como existem poucos ou quase nenhum dado que trate sobre a hidrogeomorfologia de Anavilhanas.

Nesta perspectiva, o Sensoriamento Remoto constitui ferramenta de uso consolidado como alternativa para o preenchimento das lacunas de dados, especialmente nos estudos voltados a análises temporais sobre grandes áreas. É uma ferramenta que possibilita o dimensionamento e a visualização espacial dos fenômenos estudados, como observado nos trabalhos de Latrubesse & Franzinelli (2005); Gentirana et al (2009); Gentirana (2009); Zani (2013); Cremon (2016); Almeida-Filho et al (2016); Marinho et al (2017a); Marinho et al (2017b); Muniz et al (2017), Marinho et al (no prelo) entre outros, desenvolvidos nas bacias do Rio Negro e do Rio Branco.

Com o uso desta técnica, trabalhos anteriores (ALMEIDA-FILHO et al, 2016; MARINHO et al, 2017a) mapearam e quantificaram a variação espacial da superfície de água

exposta no Arquipélago de Anavilhanas utilizando imagens dos sensores: Landsat 05 (sensor TM) em dois períodos distintos do ciclo hidrológico além de testar outros produtos como imagens do satélite de abertura sintética ALOS-PALSAR, para avaliar eventos extremos na região. No entanto, eventos extremos correspondem a condições de exceção. Como referência mais propícia para estudos de manejo de ecossistemas, biodiversidade e mesmo climáticos, os períodos próximos das médias fluviométricas interanuais são mais adequados. Assim, este tipo de mapeamento constitui um desafio numa região como Anavilhanas. Em especial que seja correlacionado fazendo-se uso conjunto de dados fluviométricos *in situ* e dados de sensores remotos. Ademais, não há registros de estudos hidrológicos ou geomorfológicos sendo direcionados especificamente aos sistemas lacustres deste arquipélago.

Diante deste cenário, este estudo buscou realizar uma caracterização dos sistemas lacustres do Arquipélago de Anavilhanas e avaliar qual a variação espacial da superfície de água exposta entre águas altas e baixas a partir de Sensoriamento Remoto. Foram utilizadas imagens Landsat 08 (sensor OLI), tendo como base o ano hidrológico 2016-2017. O ano hidrológico foi escolhido, em virtude da disponibilidade de imagens em datas em que o Rio Negro apresentou cota similar às cotas médias interanuais para cada período hidrológico, não sendo necessariamente a cota máxima registrada no período analisado. Deste modo, buscou-se documentar e referenciar dados *in situ* com dados de sensores remotos em períodos hidrológicos “normais” do Rio Negro.

1.1 Área de estudo

O Rio Negro está localizado na porção noroeste da Bacia Amazônica e sua foz localiza-se no Rio Solimões em frente a cidade de Manaus (AM), a partir de onde o rio principal da bacia, passa a denominar-se Amazonas. O clima da região do baixo Rio Negro é caracterizado como tropical chuvoso, ou equatorial com temperaturas altas com médias mensais de 25 a 28°, com amplitude anual menor que 3° e precipitação pluvial abundante e bem distribuída durante todo o ano (AYOADE, 1996). As precipitações anuais da Bacia do Rio Negro apresentam média de 2000 a 2200 mm (SOMBROEK, 2001), entretanto, em determinadas áreas na fronteira entre Brasil, Venezuela e Colômbia esse valor pode chegar a 3500 mm (FISCH et al, 1998). O Rio Negro possui uma descarga líquida média anual de aproximadamente 29.000 m³/s e 696.000 km² de área de drenagem (FILIZOLA, 1999; FILIZOLA & GUYOT, 2009). Apresenta regime do tipo equatorial, com um pico de águas altas mais acentuado no meio do ano (MOLINIER et al, 1996), águas pobres em sólidos

suspensos e cor marrom avermelhada (pretas quando em grande volume) em decorrência da presença de substâncias húmicas lixiviadas de solos podzólicos da região (JUNK et al, 2015). É importante destacar que na região do baixo Rio Negro, incluindo a área em estudo, os níveis sofrem influência do barramento hidráulico ocasionado pelo Rio Solimões (MEADE et al, 1991; FILIZOLA et al, 2011). O que faz com que estes dois rios apresentem comportamento semelhante no regime hidrológico de Manaus até a região de Moura (Figura 01), próximo da foz do rio Branco.

Na região de Anavilhanas (Figura 01), o Rio Negro apresenta um padrão “anabranching”, com uma tipologia de múltiplos canais separados por ilhas, que possuem lagos interiores (LATRUBESSE & STEVAUX, 2015). As ilhas são compostas por sedimentos finos e cobertas por vegetação, trata-se de um ecossistema de florestas baixas, pouco diversificadas que durante os períodos de águas altas são inundadas formando os igapós, uma nomenclatura regional dada às florestas sazonalmente inundadas pelos rios de águas pretas (LATRUBESSE & FRANZINELI, 2005; AB’SABER, 1998; PIEDADE et al, 2005; PRANCE, 1980). Já durante os períodos de águas baixas, é registrada a ocorrência de extensas barras fluviais arenosas ao longo dos canais que compõem o complexo de ilhas (ALVES, 2013).

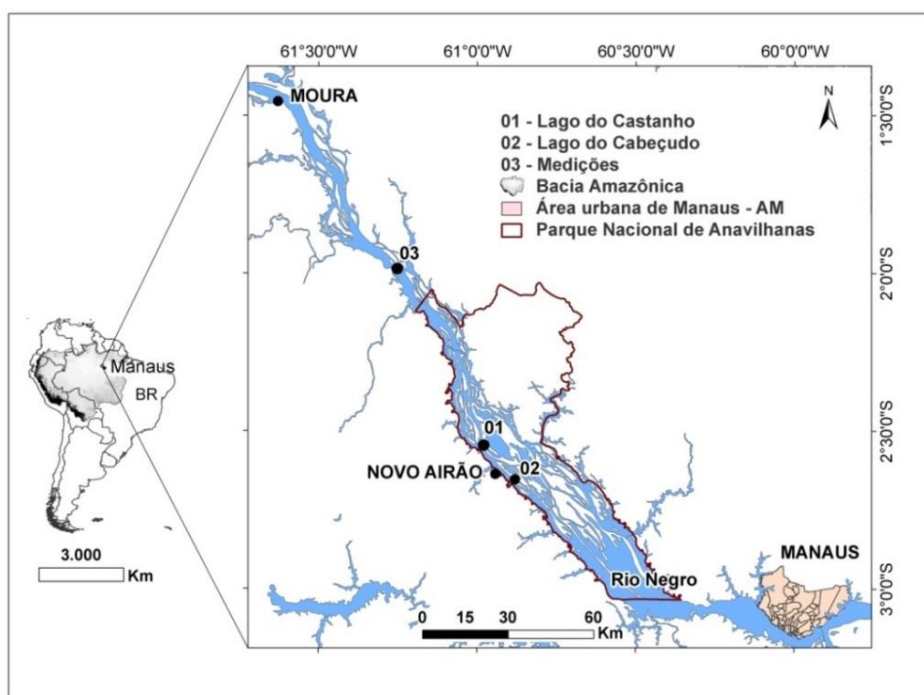


Figura 01: Localização da área de estudo, com a indicação dos pontos de investigação (Lago do Castanho, do Cabeçudo e ponto de medições de descarga líquida).

2. Materiais, métodos e técnicas

2.1 Dados hidrológicos

A caracterização hidrológica foi realizada a partir da série histórica de cotas fluviométricas da estação do Porto de Manaus, correspondente ao período de 1903 a 2018 e de Novo Airão correspondente ao período de 2014 a 2018. Os dados foram adquiridos na plataforma digital do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH (www.snirh.gov.br). Posteriormente, foram calculados os níveis médios históricos que serviram de base na seleção das imagens de satélites.

Medições da descarga líquida, área molhada, largura, profundidade e velocidade, foram realizadas em uma seção transversal do Rio Negro localizada à montante de Anavilhanas (Figura 01). Os dados foram coletados em novembro de 2016 e maio de 2017 com o uso de um Perfilador Doppler Acústico de Corrente (ADCP) operando na frequência de 600 kHz, conectado a um receptor DGPS. O Software utilizado para aquisição e processamento dos dados deste equipamento é o WinRiver II da RD Instruments. As medições foram realizadas seguindo as recomendações da ANA (2014) e de Filizola et al (2009).

2.2 Imagens do Satélite Landsat 08

O Landsat 08, lançado em 2013, é o oitavo satélite de um projeto desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres, cujas observações foram iniciadas na segunda metade da década de 60. Apesar do surgimento de novos programas e do avanço nas técnicas de sensoriamento remoto, a série Landsat mantém sua importância em destaque devido seu acervo histórico e a contínua atualização tecnológica com a manutenção de características importantes (INPE, 2019). O Landsat 08 apresenta órbita circular, polar, heliossíncrona, a 705 km de altitude e inclinação de 98,2°. O seu sensor OLI captura imagens em 9 bandas espectrais com 30 metros de resolução espacial, incluindo uma faixa pancromática com 15 metros de resolução espacial, fornece dados com resolução temporal de 16 dias (USGS, 2019; INPE, 2019).

No uso de técnica de sensoriamento remoto óptico, duas regiões espectrais possuem melhor capacidade de delimitar áreas com a presença de corpos d'água, o infravermelho próximo e o infravermelho médio (JENSEN, 2009). Nesses intervalos espectrais a boa capacidade de mapeamento dos corpos d'água ocorre devido a grande quantidade de energia

de fluxo radiante absorvida pela água. Este fator faz com que em imagens de sensores que operam nestes comprimentos de onda, áreas cobertas com água possuam menor resposta em relação às áreas de terra firme. Porém, quando o corpo d'água possui uma quantidade razoável de componentes opticamente ativos, como sedimentos em suspensão, o infravermelho próximo (NIR) não é absorvido totalmente, tornando assim o infravermelho médio (SWIR) o comprimento de onda mais apto para se trabalhar com a diferenciação entre áreas de terra firme e água. Sendo assim, para este trabalho foram utilizadas as bandas correspondentes ao infravermelho próximo do satélite Landsat 08 (sensor OLI), (Tabela 01) obtidas em plataforma digital do Serviço Geológico Americano - USGS.

A seleção das imagens baseou-se nas datas com menor cobertura de nuvens e na variação média interanual entre os períodos de águas altas e baixas do Rio Negro, observados na estação fluviométrica do Porto de Manaus (Figura 02). A variação observada nas cotas do Rio Negro entre as imagens de 30/07/2017 (águas altas) e de 15/10/2016 (águas baixas) foi de 9,37 m, sendo 22 cm acima da variação média interanual observada na série histórica, que é de 9,59 m. (Tabela 1).

Missão	Data	Banda	Resolução espacial	Cota no Rio Negro (Manaus/Novo Airão)	Cota Média Histórica (Manaus)	
Landsat 08	15/10/2016	05	30 m	18,26 m / 7,81 m	Águas baixas	18,21 m
Landsat 08	30/07/2017	05	30 m	27,63 m / 17,03 m	Águas altas	27,80 m

Tabela 01: Imagens selecionadas. Fonte: Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS (glovis.usgs.gov/).

Para a identificação da área correspondente à superfície de água exposta, inicialmente as bandas analisadas foram reprojetadas para a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum WGS 1984 zona 20S. Posteriormente a classificação foi executada conforme proposta de Zani et al (2010), que consiste da operação de fatiamento (*slicing*) dos números digitais da banda 05 do Landsat 08 para classificar áreas como água e não água, em seguida as imagens geradas foram vetorizadas e as áreas foram quantificadas em software SIG.

A quantificação dos lagos presentes no Arquipélago e o tipo de conexão que estes possuem com o canal principal foi realizado por interpretação visual nas imagens de 2016.

3. Resultados

3.1 Variabilidade hidrológica do baixo Rio Negro

A partir dos registros da série histórica da estação do Porto de Manaus (1903-2018) observa-se que o Rio Negro apresenta as cotas máximas entre os meses de maio a julho com pico de águas altas registrado predominantemente no mês de junho. As cotas mínimas ocorrem entre os meses de outubro a janeiro, com mínimo predominantemente entre os meses de outubro e novembro. A variação média entre os períodos de águas altas e baixas nesta porção do Rio Negro é de 9,59 m, com cota média para águas altas de 27,80 m e a média para águas baixas de 18,21 m, conforme apresentado na figura 02. A estação de Novo Airão apresenta ainda um série curta de dados (2014 a 2018), no entanto é possível verificar na figura 02 que segue o mesmo comportamento apresentado pela estação do Porto de Manaus.

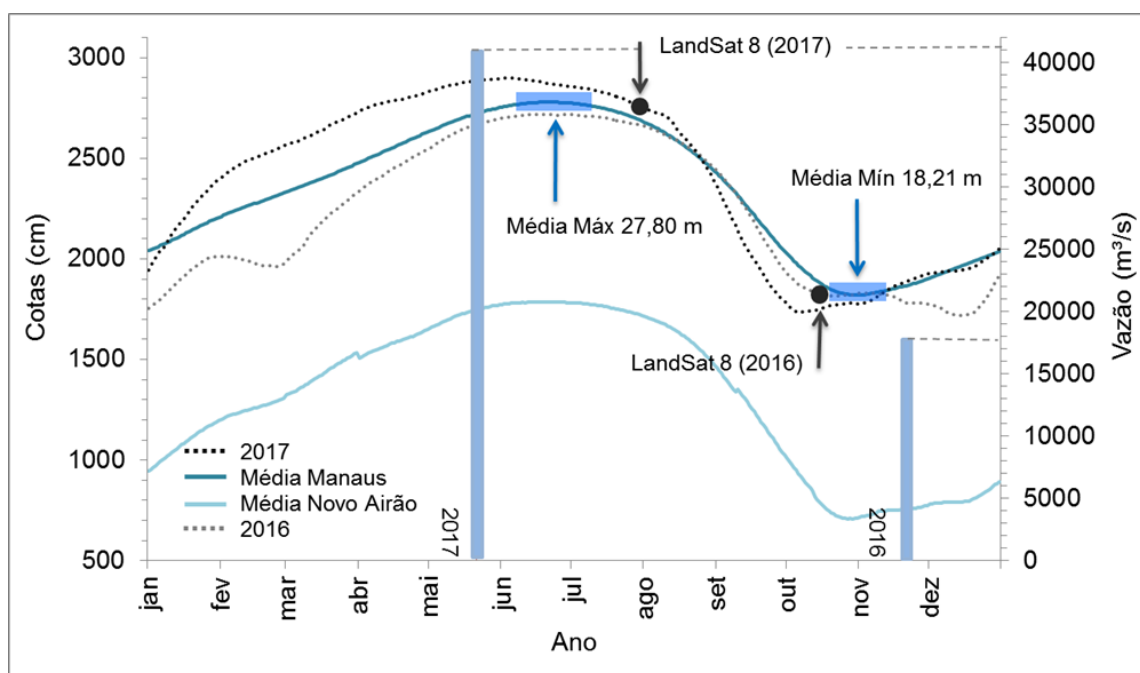


Figura 02: Cotagrama com as cotas médias interanuais das estações fluviométricas do Porto de Manaus (1903 – 2018) e de Novo Airão (2014 – 2018). Cotas fluviométricas do ano hidrológico analisado (2016 – 2017) com destaque para a data das imagens Landsat 08 coletadas nos períodos hidrológicos semelhante as médias de cada período, destacadas pelos retângulos azul transparente. Barras em azul correspondem às medições de descarga líquida realizadas no período de águas altas e baixas do Rio Negro em uma seção a montante do arquipélago (Figura 01). Ambas as estações possuem referência topográfica local.

Os dados da tabela 02 apresentam os resultados das medições hidrométricas realizadas durante os períodos de águas altas e baixas do Rio Negro no ano hidrológico analisado. A descarga líquida medida em maio de 2017 (águas altas) correspondeu 40.626 m³/s. Já a descarga líquida medida em novembro de 2016 (águas baixas) foi de 17.676 m³/s, cerca de

2,30 vezes menor do que a descarga observada durante as águas altas.

Data	Período	Cota N.A. (m)	Vazão (m ³ /s)	Velocidade média do fluxo (m/s)	Área da seção (m ²)	Largura da seção (m)	Profundidade média (m)	Profundidade máxima (m)
nov-16	Seca	7,32	17.676	0.55	33.169	2.720	12	20
mai-17	Cheia	18,13	40.626	0.70	60.234	2.797	22	30

Tabela 02: Dados hidrométricos adquiridos a montante de Anavilhanas (Figura 1) referenciados as cotas fluviométricas da estação de Novo Airão. Fonte: Marinho & Filizola (no prelo).

3.2 Características geomorfológicas e variabilidade da superfície de água exposta do Arquipélago de Anavilhanas

O Arquipélago de Anavilhanas possui aproximadamente 140 km de extensão com largura variando de 5 km a 21 km. De modo geral, é mais estreito a montante e mais largo na porção central e a jusante. Essa diferenciação também é observada nas características geomorfológicas e distribuição espacial das ilhas e lagos presentes. Com base nestas características e para fins de análise no presente estudo, o arquipélago foi subdividido em três domínios. O domínio A (Figura 03) apresenta, no contexto da região do estudo, largura do rio relativamente estreita, ilhas e lagos relativamente menores e em menor quantidade, os quais estão espacialmente concentrados nas margens mais côncavas. As ilhas apresentam formatos alongados com lagos internos de formatos variados, predominante lagos com formatos estriados e de pequenas proporções relativas. Na região central do canal, durante as águas baixas emergem as barras arenosas.

O domínio B (Figura 03) é caracterizado por apresentar largura do canal relativamente maior que o domínio A, ilhas largas e lagos de grandes extensões, acompanhando o formato das ilhas em que estão inseridos. Nesta porção estão localizados os maiores lagos do arquipélago, sendo o lago do Apacú o maior deles, com aproximadamente 15 km de comprimento e 5 km de largura. O lago Apacú está conectado ao rio por meio de um canal na porção sul (jusante) durante todos os períodos hidrológicos, a exceção de eventos extremos de águas baixas, conforme observado no ano de 2010 por Marinho et al (2017a).

O domínio C (Figura 03), por sua vez, apresenta largura semelhante ao domínio B. Em ambos ocorrem de um maior número de afluentes ao longo do Arquipélago, conforme

pode ser observado na figura 03. No entanto, o domínio C apresenta ilhas estreitas, alongadas e sinuosas com comprimento alcançando até 55 km. No geral, são registrados alguns lagos de formato arredondado, predominando aqueles de formato alongado e aberto conforme as ilhas. Na parte sul (jusante) ocorre o setor denominado por Latrubesse & Franzinelli (2005) como área de águas mortas e ilhas com morfologia “fantasma”.

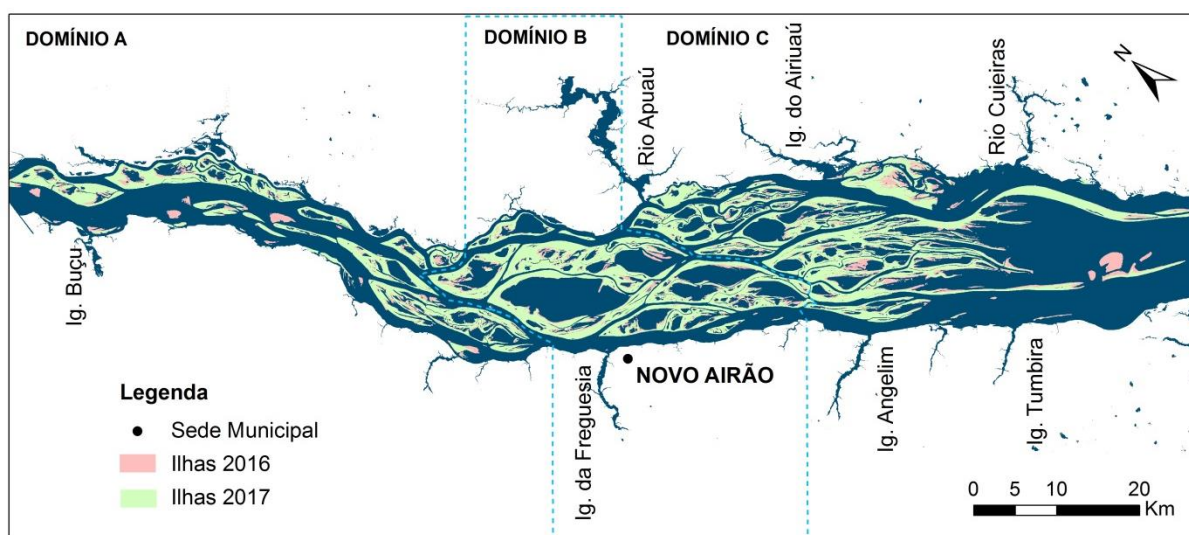


Figura 03: Características geomorfológicas do Arquipélago de Anavilhanas observada no ano hidrológico 2016-2017. A área das ilhas são representadas na cor verde para o ano de 2017 (águas altas) e na cor rosa para o ano de 2016 (águas baixas). As listas tracejadas delimitam os domínios A, B e C.

A variabilidade média interanual de 9,59 metros entre águas altas e baixas do Rio Negro observada em Manaus é refletida nos aspectos da paisagem, especialmente por meio da mudança nas áreas correspondentes à superfície de água exposta. Associada a essa variação média do nível do Rio Negro, observou-se uma variação de aproximadamente 163 km² na superfície de água exposta, o que representa oscilação da ordem de 10%. Durante as águas baixas de 2016 a superfície ocupada era de 1.342 km² e nas águas altas essa área aumentou para aproximadamente 1.505 km² (Figura 04).

Para o domínio A observou-se um aumento de 41,372 km² de área (+ 11,29%) entre as águas baixas de 2016 e as águas altas de 2017. No domínio B esse aumento correspondeu a 36,174 km² de área (+ 11,19%) e para o domínio C foi de 84,689 km² (+ 10,65%) (Figura 04).

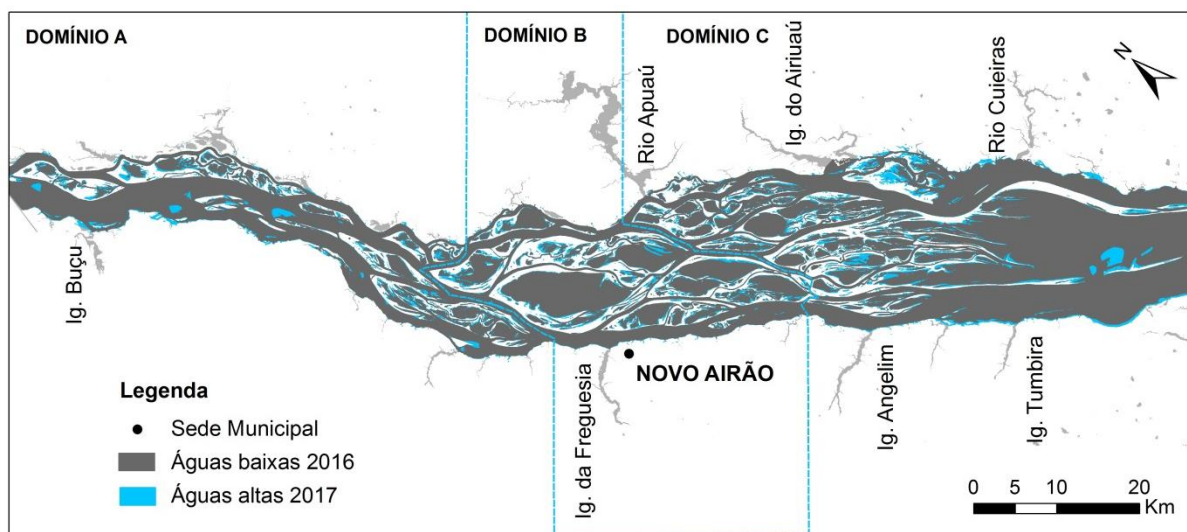


Figura 04: Variação espacial da superfície de água exposta (de 9,59 metros) no Arquipélago de Anavilhanas observada no ano hidrológico 2016-2017. Na cor cinza está representada a superfície exposta durante o período de águas baixas (2016) e na cor azul a superfície exposta durante as águas altas (2017). As listas tracejadas delimitam os domínios subdivididos para o arquipélago.

3.3 Caracterização e variabilidade da superfície de água exposta dos sistemas lacustres do Arquipélago de Anavilhanas

O Arquipélago de Anavilhanas apresenta um complexo conjunto de lagos de diferentes dimensões e formatos, onde os maiores lagos identificados foram no domínio B. Com base na imagem Landsat 08 de 2016 (águas baixas) foram identificados no total a ocorrência de 447 lagos, 209 destes conectados aos principais e 238 isolados. No entanto, destaca-se que essa quantidade é variável em relação ao período hidrológico, dependendo dos níveis do Rio Negro, alguns destes lagos conectam-se entre si formando somente um lago e durante as águas altas todo o sistema lacustre de Anavilhanas se conecta ao Rio Negro por meio dos igapós. Essa quantidade também é variável de acordo com a escala de detalhe, pois ocorrem lagos de pequenas dimensões, não mapeados na escala deste estudo (Figura 05).

Os lagos conectados são predominantemente aqueles que apresentam maiores dimensões (Domínio B), enquanto os isolados são pequenos e localizados no entorno dos maiores. A conexão ocorre principalmente por canais estreitos dos lagos maiores para os canais principais, alguns destes lagos apresentam conexão secundária, ou seja, estão ligados a um lago que por sequência se conecta ao regime do arquipélago. Há ainda os setores de relativa baixa hidrodinâmica em função da geomorfologia das ilhas que estão inseridos e que são conectados de forma mais ampla ao regime dos canais principais. Destaca-se que estes pontos de conexão entre os lagos e os canais durante os períodos de águas baixas ocorrem

predominantemente na porção a jusante dos lagos em cerca de 66,51% deles. Em 27,75% dos lagos ocorrem nas laterais e apenas 5,74% dos lagos apresentam conexão na sua porção a montante. No entanto, alguns destes apresentam ainda mais de um ponto de conexão em diferentes porções.

No período de águas baixas de 2016, no domínio A foram identificados 51 lagos conectados e 67 lagos isolados, no domínio B foram 45 lagos conectados e 102 lagos isolados, destaca-se que neste domínio ocorrem os maiores lagos do arquipélago e estes são predominantemente conectados, já no domínio C foram identificados 113 lagos conectados e 69 lagos isolados (Figura 05).

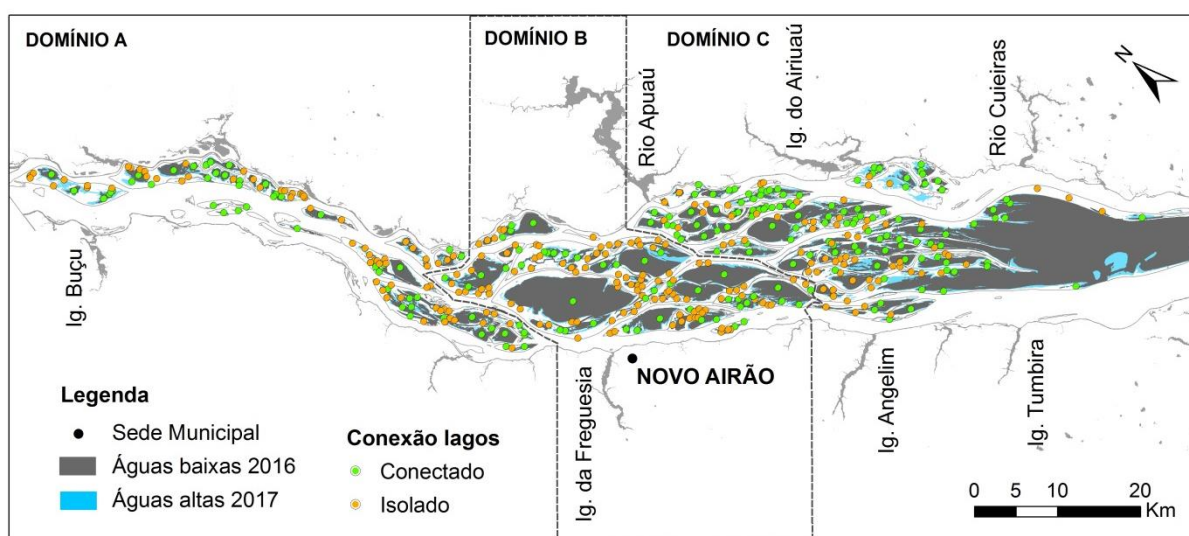


Figura 05: Espacialização dos lagos presentes no Arquipélago de Anavilhanas com base no período de águas baixas de 2016, destacado na cor azul. Os pontos verdes representam os lagos que apresentam conexão com a dinâmica hidrológica dos principais canais neste período (águas baixas) e os pontos na cor laranja representam os lagos isolados. As listas tracejadas delimitam os domínios subdivididos para o arquipélago.

Associada a variação média de 9,59 m do nível do Rio Negro observada na estação de Manaus, observou-se um aumento de cerca de 114,86 km² (+ 17,27%) na superfície de água exposta dos lagos e dos setores de águas mortas/baixa hidrodinâmica existentes no arquipélago entre 2016 (águas baixas) e 2017 (águas altas). Em 2016 essas áreas corresponderam a 550,071 km² e em 2017 passaram para 664,931 km² (Figura 06).

No domínio A em 2016 (águas baixas) a superfície de águas expostas dos sistemas lacustres foi de 48,239 km² e em 2017 (águas altas) aumentou para 67,196 km² (+ 28,95%). No domínio B em 2016 (águas baixas) essas áreas foram de 164,308 km² e em 2017 (águas

altas) aumentou 197,901 km² (+ 16,97%). Já no domínio C em 2016 (águas baixas) as áreas corresponderam a 337,524 km² e em 2017 (águas altas) aumentaram para 399,834 km² (+15,58%) (Figura 06). Entre os três domínios é observado um decréscimo no percentual de variação de jusante para montante, sendo o domínio C o que menos apresentou variação. Esta situação pode estar refletindo as condições do barramento hidráulico exercido pelo Rio Solimões sobre o Rio Negro, conforme descrito por Meade et al (1991) e Filizola et al (2011).

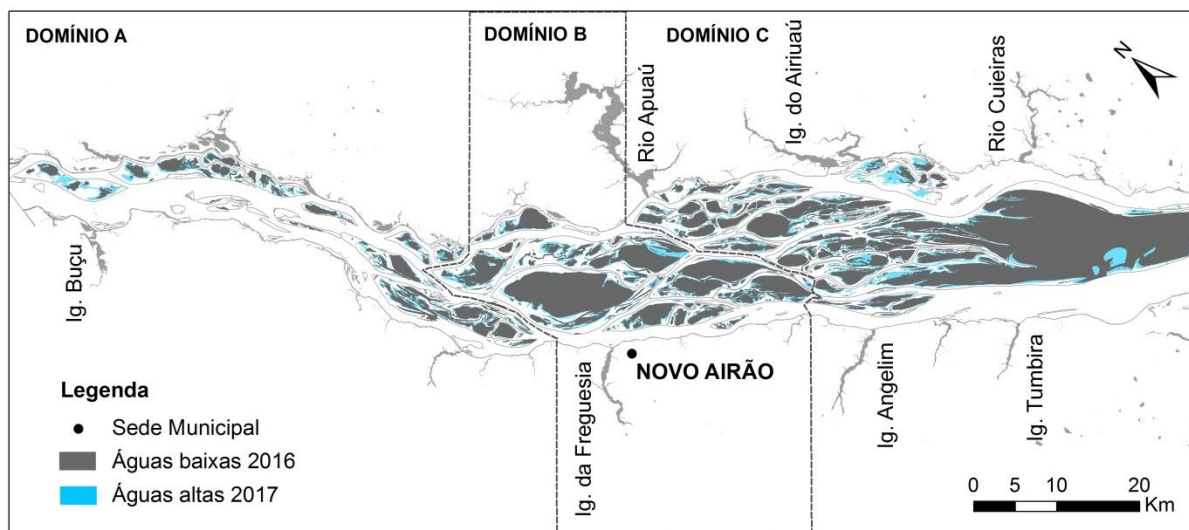


Figura 06: Variação espacial da superfície de água exposta (de 9,59 metros) dos sistemas lacustres do Arquipélago de Anavilhanas observada no ano hidrológico 2016-2017. Na cor cinza está representada a superfície mapeada no período de águas baixas (2016) e na cor azul está mapeada a superfície observada no período de águas altas (2017). As listas tracejadas delimitam os domínios subdivididos para o arquipélago.

3.4 Observações pontuais de campo nos lagos do Castanho e do Cabeçudo

Visando checar em campo as observações feitas por imagem foram visitados os lagos do Castanho e do Cabeçudo (Figura 7) no período de águas baixas de 2017 (Castanho) e no período de águas altas de 2018 (Cabeçudo). O lago do Castanho está localizado no domínio B, na margem direita do arquipélago, a montante da sede municipal de Novo Airão. Trata-se de um lago relativamente pequeno com formato alongado, isolado da dinâmica fluvial do canal principal durante as águas baixas, onde o acesso é feito por via terrestre adentrando as áreas vegetadas da ilha ao seu entorno. Entre os períodos de águas baixas de 2016 e águas altas de 2017 foi observada um aumento de cerca de 17% na superfície exposta do lago. Em 2016 a superfície do lago correspondeu a uma área de 0,959 km² e em 2017 passou para 1,169 km². Em 12/10/2017 neste lago a cota do Rio Negro em Manaus foi de 17,43 m, o que corresponde a 0,78 m abaixo da cota média para o período de águas baixas, que costuma

ocorrer neste período. As margens do lago estavam expostas, sendo caracterizada por uma combinação de sedimentos finos, fragmentos vegetais e a presença de vegetação rasteira tipo gramíneas (Figura 07A, B).

O Lago do Cabeçudo também está localizado no domínio B, na margem direita do arquipélago, a jusante da sede municipal de Novo Airão. Este lago apresenta tamanho médio, em relação ao anterior e formato arredondado, isolado da dinâmica fluvial do arquipélago nas águas baixas, mais durante as águas altas é conectado pelas áreas de igapó. Entre as águas baixas de 2016 e as águas altas de 2017 foi observado um aumento de cerca de 9% na superfície de água exposta do lago, onde a área passou de 1,903 km² para 2,082 km². Na ocasião da visita neste lago (26/04/2018), a cota do Rio Negro em Manaus foi de 25,80 m, o que corresponde 2,0 m abaixo da cota média para o período de máxima, que normalmente ocorre no mês de junho. Nesta cota, observou-se que os níveis do lago já se apresentavam significativamente elevados, alcançando a copa das árvores de seu entorno, deixando registrado nos seus troncos as marcas da altura máxima atingida pelas águas (Figura 74C, D).

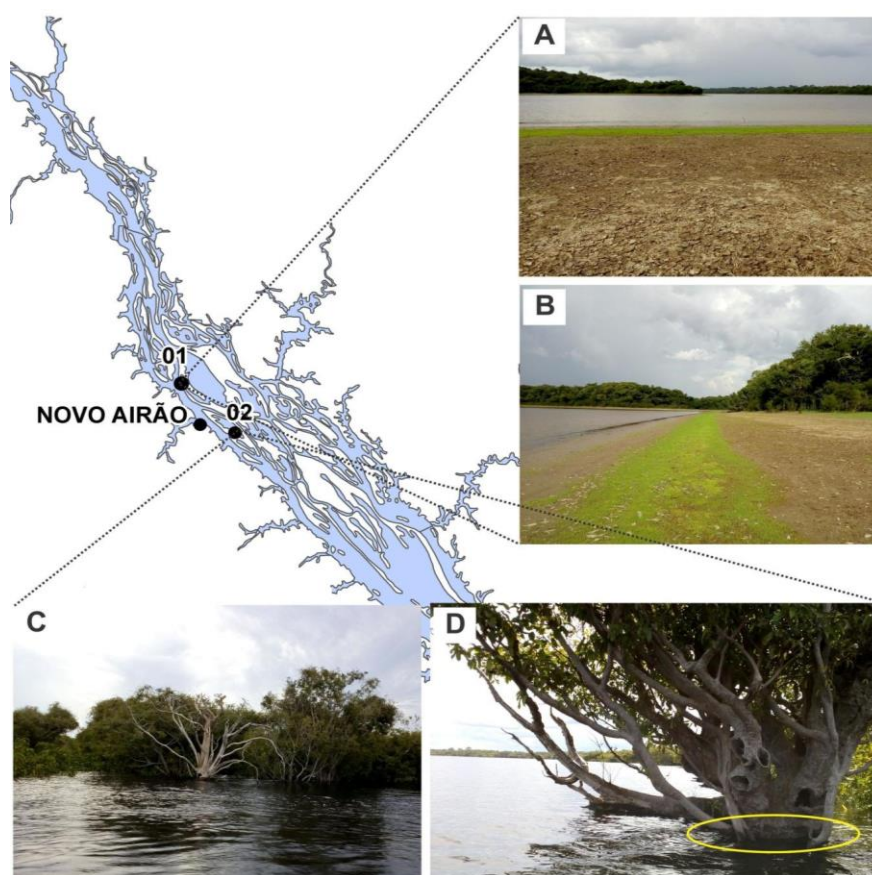


Figura 07: A, B Lago do Castanho em 12/10/2017. C, D Lago do Cabeçudo em 26/04/2018. A eclipse indica o nível máximo atingido.

4. Discussões

Os resultados obtidos neste estudo indicam variações da ordem de 10% na superfície de água exposta observada, em condições de cota semelhante às médias interanuais. Em estudo semelhante, no entanto em condições extremas, Almeida-Filho et al (2016) e Marinho et al (2017a) utilizaram a banda 04 do sensor TM pertencente a missão Landsat 05 que apresenta as mesmas características do Landsat 08, com 30 metros de resolução espacial. No entanto, os autores citados, não tiveram a oportunidade de verificar as relações dos dados obtidos com informações de campo, e de comparar com dados hidrológicos de estação próxima, especialmente por conta da implantação recente (2013) de uma estação fluviométrica no arquipélago, especificamente na sede municipal de Novo Airão.

Durantes os eventos extremos de águas altas de 2009 e águas baixas de 2010, Almeida – filho et al (2016) registraram variação da ordem de 53% na superfície de água exposta no arquipélago. Em estudo semelhante para o mesmo período, Marinho et al (2017a) identificou uma variação semelhante e da ordem de 49%. Quando comparadas estas variações de condições extremas com o identificado neste estudo, condições próximas das médias interanuais, observou-se diferença em torno de 40%.

Os dados obtidos por Almeida Filho et al (2016) durante as águas altas de 2009 apresentaram aproximadamente 11% a mais de área inundada em relação ao observado neste estudo. Já durante as águas baixas de 2010, apresentaram uma diminuição de aproximadamente 32%, conforme apresentado na tabela 03.

Situação	Data	Superfície de água livre	Referência
Cota Média	Águas altas - 2017	1.505 km ²	Este estudo
Cota Média	Águas baixas - 2016	1.342 km ²	
	Variação	- 163 km²	
Evento Extremo	Águas altas - 2009	1.700 km ²	Almeida – filho <i>et al.</i> (2016)
Evento Extremo	Águas baixas - 2010	905 km ²	
	Variação	- 795 km²	

Tabela 03: Dados de áreas de Anavilhanas obtidos por Sensoriamento Remoto.

No mesmo estudo, Almeida Filho et al (2016) também apresentaram resultados obtidos por imagens radar ALOS - PALSAR, para o período de águas altas de 2009, na qual

identificaram cerca de 415 km² correspondentes à floresta inundada (igapó) no arquipélago, já a área correspondente à superfície de água exposta foi 1.534 km², que somadas totalizam 2.048 km², significando um aumento de cerca de 27% em área referente à vegetação inundada. Se adotado este mesmo percentual de áreas de vegetação inundadas para as águas altas de 2017, com dados deste estudo, tem-se uma área correspondente a 406 km², totalizando 1.911 km² de área em condições de cotas médias interanuais para o período.

Os resultados indicam diferenciações significativas em relação às ilhas e lagos que compõem o arquipélago. Trabalhos anteriores também apontam diferenciações semelhantes em relação à geomorfologia das ilhas e lagos que corroboram com as definições dos domínios aqui apresentadas (Figura 08) (CUNHA, 2017; LATRUBESSE & FRANZINELLE, 2005). De acordo com Cunha (2017) nas porções de montante e central do arquipélago, aqui classificadas como domínios A e B, as ilhas são relativamente mais altas e na porção a jusante, correspondente ao domínio C, apresentam menores elevações. Latrubesse & Franzinelli (2005) também apontam para a altura das ilhas diminuído gradualmente de montante para jusante, além de modificações na vegetação, que passa de uma floresta arborizada inundada (floresta de igapó) para uma vegetação arbustiva baixa (LATRUBESSE & FRANZINELLI, 2005).

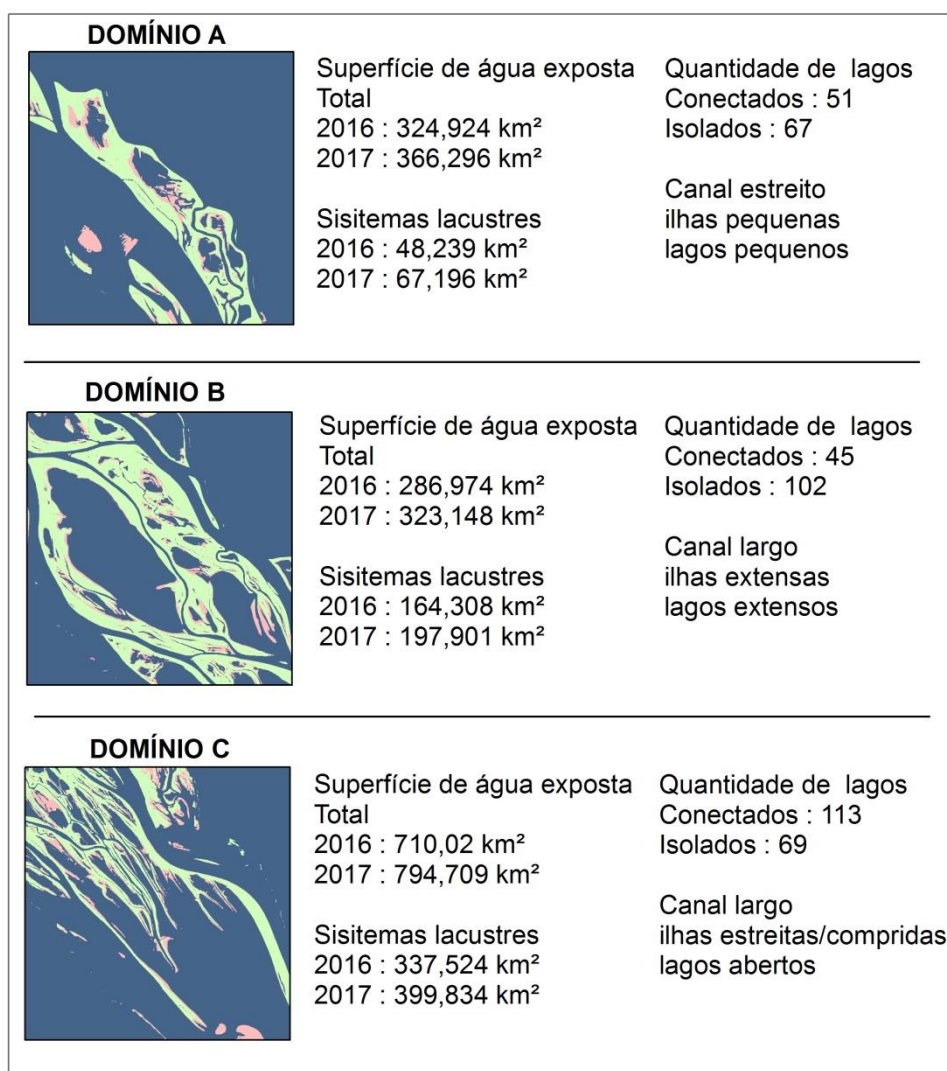


Figura 08: Síntese das principais características observadas nos domínios A, B, C. Nos quadros à esquerda estão representados os tipos de ilhas e lagos predominantes para cada domínio.

Destaca-se que em relação ao tipo de conexão dos sistemas lacustres identificados, observou-se que o domínio C apresentou maior quantidade de lagos conectados enquanto que nos domínios A e B predominaram lagos isolados. O percentual de variação da superfície de água exposta dos sistemas lacustres também foi inferior no domínio C. Acredita-se que essa singularidade seja resultado da geomorfologia dos lagos, predominantemente abertos, também podendo estar associado à altitude das ilhas, mais baixas nesta porção e sob condições hidrológicas vinculadas ao barramento hidráulico ocasionado pelo Rio Solimões sobre o Rio Negro, conforme discutido por Meade et al (1991) e Filizola et al (2011).

5. Conclusões

O Arquipélago de Anavilhanas está sujeito a uma grande amplitude de variação sazonal, mesmo sob condições regulares (médias fluviométricas diárias interanuais). Estas sazonalidade ocasiona uma série de modificações na paisagem ao longo destes períodos. Estas alterações impactam de modo diferente os lagos da região. Estes lagos também apresentam características geomorfológicas diferenciadas, aparentemente em função de condições hidrológicas dadas tanto pelos fluxos de montante, quanto pela influência do barramento hidráulico do Rio Solimões. Compreender a dinâmica hidrológica dos sistemas lacustres deste arquipélago constitui-se num desafio face às suas complexidades. O presente estudo mostrou características fora do contexto de eventos extremos que podem servir de referência (linha de base) para estudos de impacto tanto nos canais, quanto nos sistemas lacustres. Assim, resumidamente este estudo permitiu identificar que:

- A variação sazonal média do Rio Negro encontrada, entre águas altas e baixas, no período estudado, foi da ordem de 9,6 m;
- Associada à variação acima descrita, observou-se, em área, uma variação na ordem de 10% nas áreas correspondentes a superfície de água exposta do arquipélago.
- Dentre os três domínios utilizados para análise, o domínio C (porção mais a jusante) apresentou menor variação de superfície de água exposta entre os períodos estudados nos sistemas lacustres. Esta característica pode estar relacionada às condições hidráulicas dadas pelo barramento hidráulico do Rio Solimões sobre o Rio Negro.
- Verificou-se, portanto, que em área, sob condições de “normalidade”, a variação é pequena no contexto geral, porém as consequências nos sistemas lacustres é diferenciada. Nestes sistemas como um todo, a variação situou-se em torno de 17%, incluindo os setores de “águas mortas” ou de baixa hidrodinâmica. No domínio A variação foi da ordem de 29%, no B de 17% e no C de 15,6%.
- No domínio C, observou-se maior número de lagos conectados (113) em relação aos demais domínios de montante, 51 em A e 45 em B. O menor número de conexões dos lagos no domínio B parece estar condicionado à situação do canal local do Rio Negro apresentar largura em torno de 20 km.
- Assim, para um total de 447 lagos, observou-se que 46% são lagos conectados aos canais do arquipélago durante o período de águas baixas e 54% ficam isolados neste período.

- Esta última observação tem grande relevância para estudos de condições paleoambientais relacionadas aos processos de sedimentação lacustre que podem ter contribuído para a formação do arquipélago de Anavilhanas.

6. Referências

- AB'SÁBER, A. N. **Bases para o estudo dos ecossistemas da Amazônia brasileira**. Estudos Avançados. São Paulo, v. 16, n° 45, p. 7-30, 2002. Texto publicado originalmente em inglês em FREITAS, M. L. D. *Amazônia – Heaven of a New World*. Rio de Janeiro: Campus, 1998.
- ALMEIDA – FILHO, R.; SHIMABUKURO, Y. E.; BEISL, C. H. **Assessment of landscape changes in the Anavilhanas Archipelago during the flood peak and drought events in the Rio Negro, central Amazônia, Brazil**. Revista Brasileira de Cartografia, 68(5): 957-964, 2016.
- ALVES, N. de S. **Mapeamento hidromorfodinâmico do complexo fluvial de Anavilhanas. Contribuição aos estudos de Geomorfologia Fluvial de rios amazônicos**. São Paulo: USP, Tese de Doutorado (Programa de Pós Graduação em Geografia Física), 2013.
- ANA, Agência Nacional de Águas. **Medição de descarga líquida em grandes rios: Manual Técnico**. 2 ed. Brasília: ANA, 94p., 2014.
- ASSAHIRA, C.; PIEDADE, M. T.; TRUMBORE, S. E.; WITTMANN, F.; CINTRA, B. B. L.; BATISTA, E. S.; RESENDE, A. F. & SCHONGART, J. **Tree mortality of a flood-adapted species in response of hydrographic changes caused by an Amazonian river dam**. Forest Ecology and Management, 396: 113–123. 2017.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os Trópicos**. 4ª Ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 1996.
- CREMON, E. H. **Evolução quaternária do Rio Branco - Norte da Amazônia - com base em dados orbitais e geológicos**. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Tese de Doutorado, 113p., 2016.
- CUNHA, D. F. da. **Evolução Sedimentar do Arquipélago de Anavilhanas no baixo Rio Negro, Amazônia Central**. São Paulo: USP, Dissertação (Mestrado em Geociências), 2017.
- EPE. **UHE Bem Querer**. Disponível em: <<http://www.uhebemquerer.com.br/biblioteca-digital/>>. Acesso em: 25fev2019.
- FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras**. Manaus: Editora do INPA, 296p., 2015.
- FILIZOLA, N. & GUYOT, J. L. **Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia**. Revista Brasileira de Geociências, 41(4): 566-576, 2011.
- FILIZOLA, N. GUYOT, J. L. **Suspended sediment yields in the Amazon basin: an assessment using the Brazilian national data set**. Hydrological Process. v. 23, p. 3207 – 3215, 2009.
- FILIZOLA, N. P. **O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da bacia Amazônica Brasileira**. Brasília: ANEEL, 63p., 1999.
- FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L.; GUIMARÃES, V. **Measuring the discharge of the Amazon**

River using Doppler technology (Manacapuru, Amazonas, Brazil). Hydrological Processes, 23(22): 3151–3156, 2009.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. **Uma Revisão Geral sobre o Clima da Amazônia.** Acta Amazônica, Vol. 28, n.2, p. 101-126, 1998.

GENTIRANA, A. C. V. **Contribuições da Altimetria Espacial à Modelagem Hidrológica de Grandes Bacias na Amazônia.** Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 2009. 299p.

GENTIRANA, A. C. V.; BONNET, M.; ROTUNNO FILHO, O. C. & MANSUR, W. J. **Improving hydrological information acquisition from DEM processing in floodplains.** Hydrol. Process. 23: 502 – 514, 2009.

INPE. **Landsat.** Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/Landsat>>. Acesso em: 15Jul2019.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução de José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador) et. al. São José dos Campos, SP: Parêntese, 598p., 2009.

JUNK, W. J.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J. & PIEDADE, M. T. F. **A classification of the major habitats of Amazonian black-water river floodplains and a comparison with their white-water counterparts.** Wetlands Ecol Manage, 23: 677–693, 2015.

JUNK, W.J.; MELLO, J.A.S.N. **Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia Amazônica brasileira.** Estud. av. vol.4 no. 8. São Paulo Jan./Apr. 1990.

LATRUBESSE, E. M. & FRANZINELLI, E. **The Late Quaternary Evolution Of The Negro River, Amazon, Brazil: Implications For Island And Floodplain Formation In Large Anabranching Tropical Systems.** Geomorphology, 70: 372-397, 2005.

LATRUBESSE, E. M. & STEVAUX, J. C. **The Anavilhanas and Mariuá Archipelagos: Fluvial Wonders from the Negro River, Amazon Basin.** In: Vieira, B. C., Salgado, A. A. R., Santos, L. J. C. (Eds.) Landscapes and Landforms of Brazil. Springer, 267p., 2015.

LATRUBESSE, E. M.; ARIMA, E. Y.; DUNNE, T.; PARK, E.; BAKER, V. R.; D'HORTA, F. M.; WIGHT, C.; WITTMANN, J. Z.; BAKER, P. A.; RIBAS, C. C.; NORGAARD, R. B.; FILIZOLA, N.; ANSAR, A.; FLYVBJERG, B. & STEVAUX, J. C. **Damming the rivers of the Amazon basin.** Nature, v. 546, n. 7658, p. 363-369, 2017.

MARENGO, J. A. & ESPINOZA, J. C. **Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts.** International Journal of Climatology, 36: 1033 – 1050, 2016.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; SOARES, W. R.; ALVES, L. M. & NOBRE, C. A. **Extreme climatic events in the Amazon basin.** Geophysical Research Letters, 38: 1-5, 2011.

MARINHO, R. R.; FILIZOLA JUNIOR, N. P. & CARDENAS, E. N. A. **Variabilidade hidrológica no arquipélago de Anavilhanas observada por sensoriamento remoto orbital.** In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR. Santos – SP, 2017. Resumos expandidos, Santos – SP, INPE, p. 2624-2629., 2017a.

MARINHO, R. R.; SILVA, V. C. & FILIZOLA, N. P. **Deteção da variabilidade do nível do rio Branco (RR) e do rio Jamari (RO) por satélites altimétricos.** Acta Geográfica, 11(26): 102-117, 2017b.

MEADE, R. H.; RAYOL, J. M.; CONCEIÇÃO, S. C. & NATIVIDADE, J. R. G. **Backwater effects in the Amazon River basin of Brazil**. *Environmental Geology and Water Sciences*, 18(2): 105-114, 1991.

MMA. **Sítios Ramsar**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/instrumentos-de-gestao/s%C3%ADtios-ramsar>. Acessado em: 25Jul2018.

MME/EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Brasília, MME/EPE, 271p., 2017.

MOLINIER, M.; GUYOT, J. L.; OLIVEIRA, E. & GUIMARÃES, V. **Les Régimes Hydrologiques de L'amazone et de ses Affluents**. In: CHEVALLIER P. & POUYAUD B. (eds.) *L'hydrologie Tropicale: Géoscience et Outil Pour le Développement*. Paris: IAHS, 238: 209-222, 1996.

MUNIZ, L. DA S.; SILVA, V. C.; MARINHO, R. R. & FILIZOLA JUNIOR, N. P. **Análise multitemporal da seca de 2016 no Rio Branco: uma avaliação preliminar da variabilidade hidrológica**. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, Santos – SP, 2017. Resumos expandidos, Santos – SP, INPE, p. 3098-3105.

PIEDEDE, M.T.F.; JUNK, W.J.; ADIS, J.; PAROLIN, P. **Ecologia, zonação e colonização da vegetação arbórea das ilhas de Anavilhanas**. São Leopoldo: Instituto Anchietano de Pesquisas, Pesquisas Botânicas, N° 56: 117-144., 2005.

PRANCE, G. T. **A terminologia dos tipos de florestas amazônicas sujeitas a inundação**. *Acta Amazônica*, 10(3): 495-504, 1980.

SOMBROEK, W. **Spatial and Temporal Patterns of Amazon Rainfall**. *Journal of the Human Environment*, v. 30, n. 7, p. 388–396, 2001.

USGS. **Landsat Missions**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/Landsat/Landsat-8>. Acesso em: 18Jul2019.

ZANI, H. **Deteção e caracterização do megaleque Viruá (RR) com dados multisensores e geológicos: influência nos padrões atuais de vegetação**. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Tese de Doutorado, 2013. 145p.

ZANI, H.; MARINHO, R. R. & GAVLAK, A. A. **Avaliação de métodos para extração de corpos d'água e áreas inundadas em imagens Landsat-TM**. In: VIII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, Belo Horizonte-MG, 2010. Anais, Belo Horizonte-MG, CD-ROM.

3.2 ACUMULAÇÃO DE CARBONO E INTERPRETAÇÕES PALEO HIDROLÓGICAS NO LAGO DO BOTO

Neste capítulo os resultados são apresentados em um artigo científico, que após defesa desta dissertação deverá ser submetido a um periódico de avaliação B1 pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

**Acumulação de carbono e interpretações Paleohidrológicas no lago do Boto –
Arquipélago de Anavilhanas durante o Holoceno Superior**
*Carbon accumulation and Paleohydrological interpretations in Lake Boto - Anavilhanas
archipelago during the Upper Holocene*

Resumo

Este artigo teve como objetivo realizar apontamentos sobre a acumulação de carbono e as condições Paleohidrológicas do lago do Boto – Arquipélago de Anavilhanas durante o Holoceno superior. Foram realizadas análises de imagens do satélite Landsat 08 para caracterização hidrológica do lago e quantificação de sua área. Também foi analisado 1 m de um testemunho sedimentar coletado no lago do Boto. O testemunho foi descrito, datado por ^{14}C e determinados sua densidade, teor de água, teores de COT e percentuais granulométricos. Os resultados indicam que desde 1880 anos cal AP o lago apresenta condições de um ambiente lacustre com predomínio de baixa influência fluvial, no entanto, com algumas variações e uma tendência de aumento na acumulação de carbono e das taxas de sedimentação em direção ao topo. Entre 1880 a 854 anos cal AP predominaram taxas de sedimentação de $0,03 \text{ cm.ano}^{-1}$ e taxas de acumulação de carbono média $94,84 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$. Já o período de 854 anos cal AP ao presente, as taxas de sedimentação foram de $0,07 \text{ cm.ano}^{-1}$ e taxas de acumulação de carbono média de $148,85 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$. No total, foi estimado um estoque de cerca de 230.987 toneladas de COT para a profundidade de 1 metro deste lago. Os resultados ressaltam a importância dos ambientes lacustres amazônicos na acumulação de carbono e evidenciam a necessidade da ampliação dos estudos nesta perspectiva.

Palavras – chave: Arquipélago de Anavilhanas; Paleohidrologia; Acumulação de COT.

Abstract

This work had as objective to make notes on the carbon accumulation and the Paleo - hydrological conditions of the Boto lake - Anavilhanas Archipelago during the Upper Holocene. Landsat 08 satellite images were analyzed for the hydrological characterization of the lake and its area quantification. We also analyzed 1 m of a sedimentary core collected at Boto lake. The core was described, dated ^{14}C and determined its density, water content, TOC contents and granulometric percentages. The results indicate that since 1880 years cal AP the lake has presented conditions of a lake environment with predominance of low river influence, however, with some variations and a tendency to increase in carbon accumulation and sedimentation rates towards the top. Between 1880 to 854 years cal AP sedimentation rates of $0.03 \text{ cm.year}^{-1}$ and average carbon accumulation rates predominated $94.84 \text{ g.m}^{-2}.\text{year}^{-1}$. For the 854-year cal AP period at present, sedimentation rates were $0.07 \text{ cm.year}^{-1}$ and average carbon accumulation rates of $148.85 \text{ g.m}^{-2}.\text{year}^{-1}$. In total, a stock of about 230,987 tonnes of TOC was estimated for the 1 meter depth of this lake. The results highlight the importance of the Amazonian lake environments in carbon accumulation and highlight the need for further studies in this perspective.

Keywords: Anavilhanas Archipelago; Paleohydrology; Accumulation of TOC.

1. Introdução

Perturbações antropogênicas no ciclo global do carbono desde o início da Era Industrial estão causando um aumento significativo nas taxas de emissões dióxido de carbono (CO_2) para atmosfera. Como consequência esse aumento está sendo interpretado como uma das principais causas das alterações climáticas globais (CIAIS et al, 2013; IPCC, 2013; JOOS & SPAHNI, 2008). Neste sentido, a quantificação e redistribuição do carbono entre a atmosfera, o oceano e a biosfera terrestre, é uma informação valiosa e necessária para a compreensão do ciclo global, para apoiar o desenvolvimento de políticas climáticas e para projetar condições futuras (LE QUÉRÉ et al, 2018).

As medições das concentrações de carbono nos diferentes componentes do seu ciclo, incluindo fluxos e reservatórios, são feitas a partir de uma variedade de dados, algoritmos, estatísticas e estimativas. No entanto, apesar do aperfeiçoamento dos métodos, há ainda incertezas nessas quantificações (MOLION, 2008; LE QUÉRÉ et al, 2013; IPCC, 2013).

Entre as principais problemáticas envolvidas no balanço médio global de carbono, está um sumidouro global de carbono terrestre residual calculado somente pela diferença das emissões totais estimadas pela estimativa das mudanças na atmosfera, oceanos e biosfera terrestre (LE QUÉRÉ et al, 2013; 2018), o que deixa em questão sua locação. Ademais, destaca-se que a representação dos sistemas de águas interiores em avaliações de escala global do carbono permanece limitada (COLE et al, 2007; AUFDENKAMPE et al, 2011), apesar de serem considerados importantes agentes no acoplamentos dos ciclos biogeoquímicos entre continente, atmosfera e oceanos (AUFDENKAMPE et al, 2011).

Neste contexto, os ecossistemas de águas interiores (lagos, rios e reservatórios), raramente foram considerados como componentes quantitativos potencialmente importantes em relação ao ciclo global do carbono (COLE et al, 2007). No entanto, estudos recentes têm destacado a importância dos sistemas lacustres na acumulação de carbono orgânico, especialmente na região amazônica (AMORIM et al, 2009; ANICETO et al, 2014; COSTA, 2006; CORDEIRO et al, 2008; CONTRERA, 2017; MOREIRA et al, 2012; MOREIRA et al, 2013; QUINTANA et al, 2018). De acordo com Sanders et al (2017) apesar da grande variabilidade, as taxas de acumulação de carbono em lagos amazônicos são significativamente superiores às taxas de acumulação observadas em outros sistemas lacustres do mundo. No

entanto, ainda há poucas amostras disponíveis, sendo necessários dados adicionais para melhorar estas estimativas e diminuir os erros associados (CORDEIRO et al, 2008; MOREIRA et al, 2012; SANDERS et al, 2017).

Na Amazônia, os lagos já estudados compreendem ambientes tanto de planície de inundação de importantes rios como Ucayali, Marañon, Solimões – Amazonas e Negro como também ambientes de terra firme. Cordeiro et al (2008) observa que as taxas de sedimentação nestes lagos estão relacionadas com características ambientais nas quais estão inseridos. O que consequentemente influencia nas taxas de acumulação de carbono (CORDEIRO et al, 2008; MOREIRA et al, 2013; ANICETO et al, 2014; CONTRERA, 2017 e QUINTANA – COBO et al, 2018). Ao comparar as taxas de acumulação obtidas a partir de estudos em lagos de várzea com aquelas obtidas em lagos isolados da dinâmica fluvial, Cordeiro et al (2008) identificou que os lagos de várzea, diretamente influenciados pelos rios Amazonas e Negro, respectivamente, apresentaram taxas de acumulação de carbono superiores aos lagos isolados.

Diante do contexto exposto, este artigo teve como objetivo analisar a acumulação de carbono e as características Paleohidrológicas do Lago do Boto, localizado no Arquipélago de Anavilhanas – baixo curso do Rio Negro. Este arquipélago faz parte de uma área protegida como Parque Nacional com mais de 350.000 ha, com importância internacional para a manutenção da biodiversidade reconhecida por meio da convenção Ramsar (MMA, 2018), onde até a data presente não há registros de publicações nesta temática. Para isto, foram utilizados dados hidrológicos, dados de Sensoriamento Remoto e 1 metro de profundidade de um testemunho sedimentar de 1880 anos de idade coletado neste lago.

2. Materiais e métodos

2.1 Área de estudo

O Rio Negro está localizado na porção noroeste da Bacia Amazônica, trata-se do maior afluente da margem esquerda do Rio Amazonas. O Clima da região do baixo Rio Negro é caracterizado como tropical chuvoso ou equatorial, temperaturas constantemente altas, médias mensais de 25 a 28°, amplitude anual menor que 3° e precipitação pluvial abundante e bem distribuída durante todo o ano (AYOADE, 1996). A bacia do Rio Negro tem uma das mais altas precipitações anuais da Amazônia brasileira, com média anual de 2000 a 2200 mm (SOMBROEK, 2001), entretanto, em determinadas áreas na fronteira entre Brasil, Venezuela e Colômbia esse valor pode chegar a 3500 mm (FISCH et al, 1998).

O Rio Negro apresenta descarga líquida média anual de 29.000 m³/s e 696.000 km² de área de drenagem (FILIZOLA, 1999). Seu regime é equatorial, com pico de águas altas mais acentuado no meio do ano (MOLINIER et al, 1996). No seu baixo curso, os níveis são fortemente influenciados pelo Rio Solimões, em decorrência do fenômeno de barramento hidráulico que este exerce em todos os seus afluentes (FILIZOLA et al, 2011; MEADE et al, 1991). Suas águas são de cor marrom avermelhada (pretas quando em grande volume) em virtude da presença de substâncias húmicas lixiviadas de solos podzólicos da região, são águas consideradas ácidas em função de apresentarem pH variando entre 4-5 (JUNK et al, 2015). Em consequência da baixa concentração de sedimentos em suspensão, cerca 7,9 mg.L⁻¹ (SIOLI, 1984), este rio descarrega uma quantidade média de 8.000.000 t.ano⁻¹ no sistema Solimões – Amazonas (FILIZOLA & GUYOT, 2011), uma quantidade insignificante se comparada a sua descarga líquida (LATRUBESSE & STEVAUX, 2015).

No seu baixo curso, o canal do Rio Negro apresenta um padrão anabranch, com uma tipologia de múltiplos canais separados por ilhas, que possuem lagos interiores (LATRUBESSE & STEVAUX, 2015), constituindo o Arquipélago de Anavilhas (Figura 01). As ilhas do arquipélago são formadas por sedimentos finos cobertos pela vegetação, inundadas durante os períodos águas altas formando os igapós e nas águas baixas expõem bancos ingremes que podem alcançar aproximadamente 7 m acima do fluxo mínimo (LATRUBESSE & FRANZINELLI, 2005). De acordo com Junk et al (2015) a biota dos igapós é considerada altamente sensível a mudanças nos ciclo hidrológico.

A área deste estudo compreende o Lago do Boto (LBT-15-03) (S 02°27.508' e W 60°58.779'), inserido no interior de uma ilha fluvial do Arquipélago de Anavilhanas (Figura 01). O lago do Boto está localizado em uma ilha próxima da margem esquerda do Rio Negro, a montante da sede municipal de Novo Airão. Seu acesso só é possível por meio fluvial a partir do canal de conexão com canal principal que este apresenta ou por meio das áreas de igapó durante as águas altas (Figura 01).

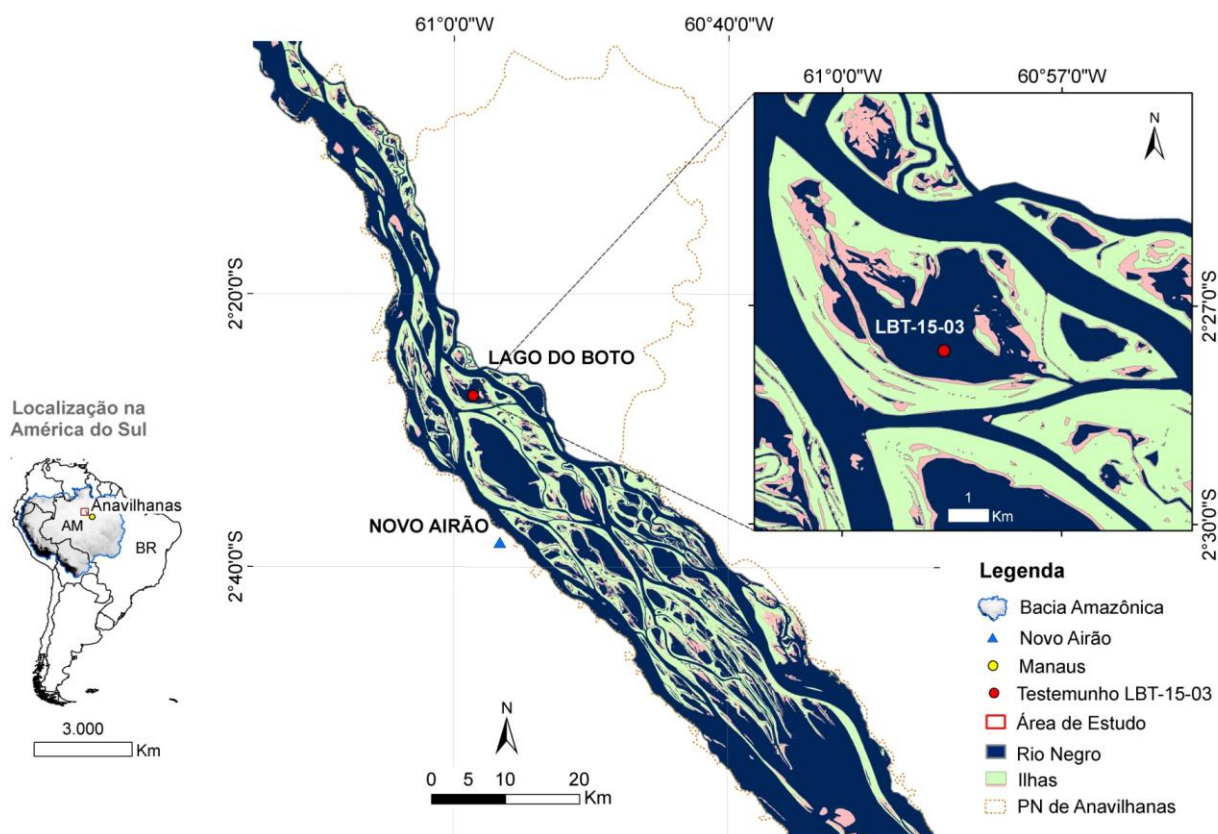


Figura 01: Localização da área de estudo e do ponto de coleta do testemunho LBT-15-03 no Lago do Boto.

2.2 Dados

Os materiais utilizados neste trabalho consistem na série histórica de cotas fluviométricas da estação do porto de Manaus disponibilizada pela Agência Nacional de Águas – ANA (www.snirh.gov.br/hidroweb/) e cotas médias históricas das estações de Nauta e Enapu, localizadas na região da Amazônia peruana. Ambas, adquiridas através da plataforma digital do Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia do Perú – SENAMHI (<https://www.senamhi.gob.pe>).

Duas imagens do satélite Landsat 08 (Sensor OLI) da região do baixo Rio Negro nas datas de 30/07/2017 e de 15/10/2016 e duas imagens do satélite Landsat 08 (sensor OLI) da região dos lagos Lagarto e Quistococha, na Amazônia peruana, nas datas de 03/09/2015 e 26/09/2015. Sendo todas as imagens obtidas por meio de plataforma digital do Serviço Geológico Americano – USGS (glovis.usgs.gov/).

Um testemunho sedimentar de 1 metro de profundidade coletado no lago do Boto em agosto de 2015. Também foram utilizados resultados de testemunhos coletados nos lagos

Lagarto e Quistococha, localizados na planície de inundação dos rios Marañón e Amazonas, na porção da Amazônia peruana, estes disponibilizados por meio de Quintana – Cobo et al (2018) e Aniceto et al (2014).

2.3 Métodos

2.3.1 Análises de imagem

Na técnica de Sensoriamento Remoto, as regiões espectrais correspondentes ao infravermelho próximo e o infravermelho médio são as que apresentam as melhores condições para o mapeamento de áreas com a presença de corpos d'água (JENSEN, 2009). Isso ocorre devido a grande quantidade de energia de fluxo radiante absorvida pela água nestes intervalos. Desta maneira, para este trabalho foram analisadas as bandas 05 de duas imagens do Landsat 08 (Sensor OLI). Este procedimento foi realizado com a finalidade de quantificar a área do lago do Boto e sua variação entre os períodos de águas altas e baixas.

A seleção das imagens baseou-se nas datas com menor cobertura de nuvens e nas condições hidrológicas do Rio Negro observadas na estação do Porto de Manaus. Desta forma, a imagem datada de 30/07/2017, selecionada para o período de águas altas, correspondeu à cota de 27,63 m enquanto a cota média interanual para este período é de 27,80 m. Para a imagem datada de 15/10/2016 correspondente ao período de águas baixas a cota do Rio Negro foi de 18,26 m enquanto a cota média deste período é de 18,21 m. O processo de identificação da superfície de água exposta foi realizado seguindo a proposta de Zani et al (2010), que corresponde ao fatiamento dos números digitais da banda do infravermelho próximo para classificar áreas com água e não água.

A seleção das imagens para quantificação das áreas dos lagos Lagarto e Quistococha também seguiu os mesmos critérios adotados anteriormente. Foram selecionadas em datas correspondentes ao período de águas baixas dos rios Marañon e Amazonas, identificados a partir das cotas médias históricas de estações fluviométricas presentes na área. Este processamento foi realizado com o objetivo de basear as estimativas dos estoques de COT nestes lagos.

2.3.2 Amostragem e Análises do testemunho sedimentar LBT-15-03

Para a coleta do testemunho sedimentar (LBT-15-03) em agosto de 2015, utilizou-se um “vibra-core”, que consiste em um vibrador de concreto com um tubo de alumínio de 7,5 cm de diâmetro e 3 mm de espessura acoplado na ponta. O equipamento foi mantido em uma

estrutura de apoio tipo mini plataforma, constituída por um conjunto de pequenas embarcações, um tripé artesanal feito em aço e uma talha de corrente manual, ficando submerso apenas o tubo de alumínio, que após ter atingir a profundidade desejada foi retirado e lacrado (Figura 02 - A, B, C).



Figura 02: (A) Motor vibrador com mangote, usado para construção do vibra-core. (B) Tubos de alumínio utilizados para coleta do testemunho. (C) Procedimento de coleta do testemunho LBT-15-03 em 2015.

Posteriormente, o testemunho foi aberto em seção longitudinal no Laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal Fluminense - UFF, com o auxílio de uma serra circular elétrica. Após a abertura, foram descritas suas características sedimentológicas, macroscópicas (textura) e óticas (cor) e separadas sub amostras para as seguintes análises:

2.3.2 Datação radiocarbono

As datações ^{14}C de 2 amostras foram realizadas em Espectrômetro de Massa com Aceleradores (AMS) NEC SSAMS no Beta Analytic e no Institut de Recherche Pour le Développement (IRD). Devido às variações naturais de ^{14}C na atmosfera, as idades obtidas foram calibradas utilizando a curva IntCal13.14C, no programa Calib 5.0.2 (disponível na internet, no site (<http://radiocarbon.pa.qub.ac.uk/calib/>)). A partir disso, as idades passaram a ser expressas em anos cal AP (antes do presente). O modelo cronológico de idade - profundidade foi desenvolvido baseado em uma curva de interpolação linear de níveis datados (tipo 1) a partir do CLAM, uma ferramenta do ambiente estatístico R.

2.3.3 Fracionamento granulométrico

As 50 sub amostras, selecionadas a cada 2 cm foram tratadas com peróxido de hidrogênio (H_2O_2) para remoção da matéria orgânica e em seguida com hexametáfosfato de sódio ($\text{Na}_{16}\text{P}_{14}\text{O}_{43} - 40\text{g L}^{-1}$) para dispersão das partículas. As leituras foram realizadas no Analisador de Partículas CILAS® 1064, no laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal Fluminense. Os resultados foram submetidos à classificação granulométrica de acordo com o diâmetro das partículas.

2.3.4 Teor de água e densidade aparente

Após abertura do testemunho, utilizou-se recipientes de peso e volume conhecido para realizar subamostragens a cada 1 cm, totalizando 100 sub amostras. As alíquotas foram pesadas e levadas a estufa a 40°C durante vários dias até se obter o peso estável seco. O teor de água e a densidade aparente foram determinados pelas seguintes equações:

Teor de água = $(\text{Peso úmido} - \text{Peso seco}) \times 100 / \text{Peso úmido}$

Densidade aparente = $\text{peso seco} / \text{volume total da amostra úmida (expresso em g.cm}^{-3}\text{)}$

2.3.5 Carbono Orgânico Total - COT

Para determinação dos teores de COT, foram analisadas 100 sub amostras, selecionadas a cada 1 cm do testemunho. As amostras foram secas, maceradas, acondicionadas em cápsulas de estanho e encaminhadas para análises. As determinações de Carbono Orgânico Total – COT foram realizadas com o Delta V IRMS (Isotope Ratio Mass Spectrometer) em interface com Flash EA, na Southern Cross University, Austrália.

2.3.6 Taxas de sedimentação e taxas de acumulação de carbono

A taxa de sedimentação corresponde a uma estimativa da quantidade de material sedimentado por ano. Seu cálculo foi feito por meio da razão entre duas profundidades e suas respectivas datações, onde o resultado é expresso em cm.ano^{-1} .

As taxas de acumulação de carbono foram calculadas através da multiplicação da concentração de COT pela densidade aparente de cada amostra. Por fim, este valor foi multiplicado pela taxa de sedimentação, obtendo-se o resultado expresso em $\text{g.cm}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, conforme representado pela equação a seguir:

Acumulação C = $\text{COT} \times \text{Da (g.cm}^{-3}\text{)} \times \text{Ts (cm.ano}^{-1}\text{)}$

Onde, COT corresponde ao teor de carbono orgânico total, Da consiste na densidade aparente e Ts a taxa de sedimentação. Posteriormente, o resultado foi convertido para $\text{g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$.

2.3.7 Estoque de Carbono Orgânico Total - ECOT

Para a estimativa do ECOT foi utilizada a área do lago do período de águas baixas, correspondente a 10,906 km^2 . A escolha se deu em virtude desta área permanecer com lamina d'água durante todo o ano hidrológico, a exceção apenas dos eventos extremos. Sendo assim, possivelmente apresente uma acumulação de COT mais homogênea.

$$\text{ECOT} = \text{COT (gC.gS)} \times \text{Da (g.cm}^3\text{)} \times \text{Vl (m}^3\text{)} / \text{Va (m}^3\text{)}$$

Onde, COT corresponde ao peso de carbono em 1 g de amostra (gC.g); Da a densidade aparente da amostra (g.cm^{-3}); Vl ao volume do lago em 01 cm de profundidade e; Va ao volume da amostra correspondente. Como o resultado foi obtido em gramas foi necessário fazer a conversão para toneladas.

3. Resultados

3.1 Dinâmica hidrológica e aspectos morfológicos do Lago do Boto

O lago do Boto está inserido em um contexto singular em relação aos lagos já estudados na região amazônica. Está localizado no interior de uma ilha fluvial do Arquipélago de Anavilhanas e consequentemente tem seu regime hidrológico sujeito a influência do Rio Negro. Possui formato irregular alongado, acompanhando o formato da ilha em que está inserido. Sua conexão com o Rio Negro ocorre na porção sul, por meio de um canal com aproximadamente 800 metros de extensão e 150 m de largura. Na porção sudeste do lago é verificado a ocorrência de uma ilha de cerca de 1 km de comprimento com 500 m de largura (Figura 03).

Este lago apresenta águas pretas, quando em grande volume, de características ácidas, com pH de 3,70, semelhante ao canal principal do Rio Negro. Apresenta área superficial total que varia de 10,906 km^2 a 15,105 km^2 entre os períodos de águas baixas e águas altas, o que corresponde a aproximadamente 27,80% de oscilação (Figura 03). Em eventos extremos essa variação torna-se mais acentuada, conforme observado por Almeida – filho et al (2016) e Marinho et al (2017) em análises feitas na região.

Durante os períodos de águas altas, o Rio Negro estabelece conexão com o lago por

meio do extravasamento do escoamento, inundando as áreas de vegetação ao entorno, formando os igapós. Neste período a hidrodinâmica do lago é consequentemente alterada com o aumento da energia no ambiente, o que possivelmente contribui na entrada de sedimentos no lago e altere a produção lacustre. Durante os períodos de águas baixas, a influência do Rio Negro é reduzida, ficando condicionada especialmente ao canal de conexão existente. Com a hidrodinâmica do lago alterada pela redução da energia do ambiente, a entrada de sedimentos externos diminui e a produção lacustre possivelmente seja alterada.

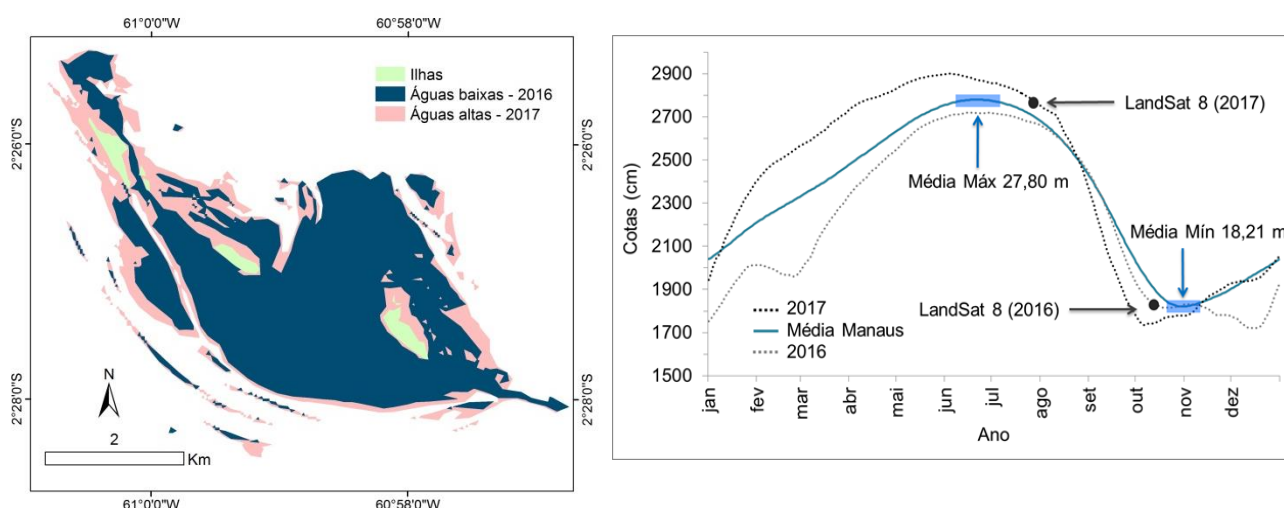


Figura 03: Mapa da variação da superfície de água exposta do lago do Boto durante o ano hidrológico 2016/2017. Gráfico das cotas médias interanuais diárias do Rio Negro na estação do Porto de Manaus com pontos indicando a cota referente à data das imagens selecionadas.

3.2 Testemunho sedimentar LBT-15-03

Com base na descrição litológica, nas datações, nos dados granulométricos e no comportamento dos resultados geoquímicos, o testemunho sedimentar LBT-15-03 foi dividido em duas unidades. A unidade II, que corresponde à porção basal do testemunho sedimentar referente à profundidade entre 100 a 61 cm e a unidade I, que corresponde à profundidade de 60 a 0 cm, conforme detalhado a seguir.

3.2.1 Litologia, cronologia e taxas de sedimentação

Com base na carta de Munssel foram identificadas cinco intervalos de colorações distintas para o testemunho sedimentar. Os intervalos consistem em: 100 - 80 cm - 5 YR 3/1 (cinza muito escuro); 79 - 73 cm - 10 YR 3/1 (cinza muito escuro); 72 - 56 cm - 10 YR 4/1 (cinza escuro); 55 - 44 cm - 10 YR 3/1 (cinza muito escuro) e 43 - 0 cm - 7.5 YR 3/2 (marrom escuro) (Figura 03).

Para o intervalo de 01 metro do testemunho estudado foram datadas duas amostras pelo método ^{14}C . O testemunho apresentou idade mais antiga na base de 1840 anos cal AP correspondendo ao Holoceno superior (Tabela 01).

Amostra (Profundidade)	Idade radiocarbono medida	Calibração cal AP (Calib 7.1)	Probabilidade média
60 cm	950 +/- 30 BP	795 – 926	854
95 cm	1890 +/- 30 BP	1735 – 1893	1840

Tabela 01: Datações ^{14}C com idade calibrada cal AP

Para a unidade II, a taxa de sedimentação determinada foi de 0,03 cm.ano⁻¹, associada à profundidade entre 95 e 60 cm. Enquanto, para a unidade I, foi identificada a taxa de sedimentação de 0,07 cm.ano⁻¹, correspondente aos últimos 60 cm depositados.

3.2.2 Granulometria

A unidade II apresenta percentuais de argila entre 16,04% a 34,84% com média de 29,56%, silte entre 34,31% e 72,67% com média de 64,23%, silte grosso entre 0,00% e 18,04% com média de 4,56% e areia entre 0,00% e 33,17% com média de 1,66% (Figura 3).

A unidade I é caracterizada por percentuais de argila que variam entre 15,20% e 31,66%, com média de 27,34%, silte entre 7,93% e 69,95% com média de 62,10%, silte grosso entre 0,00% e 11,96% com média de 4,57% e areia variando entre 0,00% e 75,33% com média de 6,00%. A ocorrência de areia no testemunho sedimentar está associada a um pico isolado em 98 cm de profundidade, com média de 33,17% e entre 16 e 12 cm com média de 61,98% (Tabela 02).

3.2.3 Densidade aparente e teor de água

A unidade II apresenta densidade variando entre 0,54 g.cm⁻³ e 0,98 g.cm⁻³, com média de 0,79 g.cm⁻³ e teor de água variando entre 48,49% e 57,38%, com média de 52,52%. Já na unidade I a densidade varia entre 0,26 g.cm⁻³ e 0,94 g.cm⁻³, com média de 0,49 g.cm⁻³ e o teor de água varia entre 48,29% e 71,35%, com média de 65,20% (Tabela 02).

3.2.4 COT no lago do Boto: Acumulação e estoque

Na unidade II, foram registrados percentuais de COT entre 2,11% e 3,21% com média de 2,65%. As taxas de acumulação apresentaram variação entre 47,99 g.m⁻².ano⁻¹ e 231,67 g.m⁻².ano⁻¹, com média de 94,84 g.m⁻².ano⁻¹. Já o ECOT do lago nesta unidade foi de 91.276 toneladas. Na unidade I, os valores de COT oscilaram entre 2,68% e 6,71% com média de 4,44%. As taxas de acumulação foram de 90,66 g.m⁻².ano⁻¹ a 276,34 g.m⁻².ano⁻¹, com média

de 148,85 g.m⁻².ano⁻¹. Já o ECOT estimado para o lago nesta unidade foi de 139.710 toneladas (Tabela 2). O ECOT estimado para a área do Lago do Boto no primeiro metro de sedimentos depositados durante os últimos 1880 anos consiste em 230.987 toneladas.

Uni. (cm)	Idade ¹⁴ C	Tipo	Densidade (g.cm ⁻³)	Teor de água (%)	C (%)	Taxa de Sed. (cm.ano ⁻¹)	Taxa de Acum. C (g.m ⁻² .ano ⁻¹)	Estoque de COT (t)	% Areia	% Silte grosso	% Silte	% Argila
I 60 a 0 cm	854 anos cal	Mín	0,26	48,29	2,68	0,07	90,66	139.710	0,00	0,00	7,93	15,20
	AP ao presente	Méd	0,49	65,20	4,44		148,85		6,00	4,57	62,10	27,34
		Máx	0,94	71,35	6,71		276,34		75,33	11,96	69,95	31,66
II 100 a 61 cm	1880 a	Mín	0,54	48,49	2,11	0,03	47,99	91.276	0,00	0,00	34,31	16,04
	854 anos cal	Méd	0,79	52,52	2,65		94,84		1,66	4,56	64,23	29,56
	AP	Máx	0,98	57,38	3,21		231,67		33,17	18,04	72,67	34,84

Tabela 02: Resultados obtidos no testemunho sedimentar LBT-15-03.

4. Discussões

4.1 Dinâmica Paleohidrológica e acumulação de COT no lago do Boto

As unidades I e II apresentaram diferenciações no comportamento dos parâmetros geoquímicos e granulométricos, que refletem possíveis variações na influência fluvial do Rio Negro. São observadas mudanças nas taxas de sedimentação, nos percentuais de COT e na acumulação de carbono conforme apresentado na figura 04.

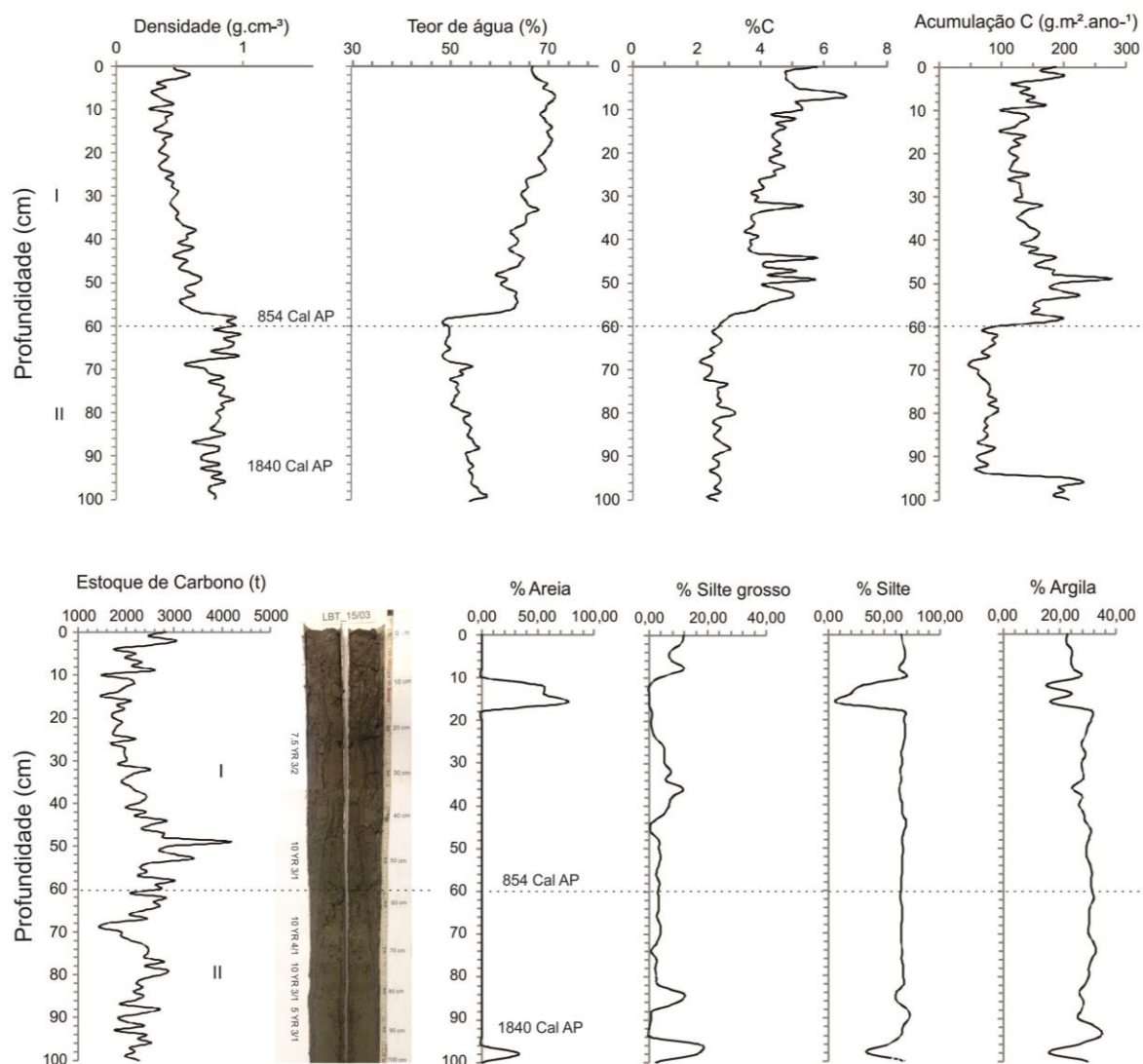


Figura 04: Dados de densidade, teor de água, %C, Taxas de acumulação de carbono, Estoque de carbono e fracionamento granulométrico para o testemunho estudado.

Para o período entre 1880 a 854 anos cal AP (Figura 04), correspondente a base do testemunho, foram registradas condições que apontam para um ambiente com baixa influência fluvial. Neste período ocorreu o predomínio da deposição de sedimentos finos de argila a silte, percentuais médios de COT de 2,65%, taxas de sedimentação de 0,03 cm.ano⁻¹ e taxas médias de acumulação de carbono de 94,84 g.m⁻².ano⁻¹.

No lago Airo, alto Rio Negro, Contrera (2017) observa no período de baixa influência fluvial (últimos 3000 anos cal AP) caracterizado pelo isolamento do lago, uma taxa de sedimentação de 0,009 cm.ano⁻¹, o aumento da concentração média de COT para 34,15% e taxas de acumulação de COT média de aproximadamente 3,48 g.m⁻².ano⁻¹. Aniceto et al (2014) também observa aumento das concentrações de COT durante os períodos de

isolamento do lago Quistococha (2600 anos cal AP), variando entre 10 e 40%, taxa de sedimentação na ordem de $0,02 \text{ cm.ano}^{-1}$ e taxas de acumulação de COT entre 5 e $8 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$.

Entre 100 a 96 cm de profundidade do testemunho LBT-15-03, foi registrada a deposição de sedimentos de maior granulação, correspondente a silte grosso e areia. Essa condição se repete no topo do testemunho, na profundidade entre 16 a 12 cm, onde os percentuais de areia atingem valores médios de 61,98%. No Lago Carmen, localizado na várzea do rio Ucayali, Quintana – Cobo et al (2018) também registram a ocorrência de sedimentação arenosa e associa a períodos de maior hidrodinâmica no lago.

A entrada desses sedimentos no lago do Boto pode ter ocorrido através do canal de ligação localizado na porção sul, setor marcado pela confluência de dois paranás, onde atualmente é identificada por Alves (2013) a ocorrência de barras fluviais, caracterizadas por granulometria arenosa. Outra hipótese é de que a entrada destes sedimentos esteja associada à conexão do lago com o canal fluvial através dos igapós, inundados durante os períodos de alta das águas, onde durante os eventos extremos, o aumento da vazão teria condicionado o transporte de sedimentos desta natureza.

Para o período de 854 anos cal AP ao presente (Figura 04), correspondente ao topo do testemunho, permanecem ainda as condições de um ambiente com baixa influência fluvial, no entanto com algumas diferenciações em relação ao registrado na base do testemunho, que indicam possível aumento na hidrodinâmica do lago. Esse período apresentou maior variabilidade em relação aos percentuais de COT e aos percentuais granulométricos, que correspondem ao aumento frações silte grosso e areia, especialmente nos últimos 43 cm do topo. Os percentuais médios de COT aumentaram para 4,44% e as taxas de sedimentação para $0,07 \text{ cm.ano}^{-1}$, o que ocasionou taxas médias de acumulação de carbono de $148,85 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$.

A dinâmica Paleohidrológica observada nos últimos 854 cal AP parece refletir as condições do arquipélago observadas atualmente por Almeida – filho et al (2016), Marinho et al (2017) e Silva et al (2019, no prelo) através de imagens de satélite. Estes autores observam significativa variação na superfície de água exposta do arquipélago durante os períodos hidrológicos, especialmente durante eventos extremos. Durante os períodos de águas baixas os níveis dos lagos recuam significativamente e em alguns casos ficam isolados, já durante as águas altas e inundações extremas os níveis dos canais principais estabelecem conexão com

os lagos por meio do extravasamento do escoamento, formando os igapós (Silva et al, 2019, no prelo).

No lago Santa Nina, localizado na várzea do rio Amazonas, Moreira et al (2008; 2012) identificam para os últimos 600 anos cal AP um ligeiro aumento nas concentrações de COT, com média de 1,23%, taxas de sedimentação de 0,05 cm. ano⁻¹ e sedimentos mais finos, essas características refletem as condições atuais observadas neste lago. Ainda no lago Santa Nina, Cordeiro et al (2008) identifica que nos últimos 100 anos ²¹⁰Pb foram registradas taxas de sedimentação variando entre 0,56 a 1,35 cm⁻¹.ano⁻¹ e alta acumulação de carbono, média de 91 g.m⁻².ano⁻¹.

No lago Airo, alto Rio Negro, Contrera (2017) identifica para o período de maior influência fluvial, teores médios de COT de 1,40% e alta taxa de sedimentação, na ordem de 0,385 cm.ano⁻¹ ocasionando taxas de acumulação média de carbono de 52,48 g.m⁻².ano. No lago Acarabixi, Cordeiro et al (2008) registraram que os últimos 20 anos ²¹⁰Pb foram marcados por alta taxa de sedimentação e altos teores de carbono, responsáveis por uma alta acumulação de carbono. Neste período, o lago Acarabixi apresentou uma taxa de sedimentação de 0,41 cm.ano⁻¹, teor médio de COT de 25% e taxa de acumulação média de carbono de 265 g.m⁻².ano⁻¹.

No lago Comprido, localizado em área de várzea do rio Amazonas, a jusante do lago Santa Nina, Moreira et al (2013) identificam predomínio de condições úmidas e influência fluvial para os últimos 3000 anos cal AP, onde a produção lacustre e os percentuais de COT apresentaram aumento progressivo. De acordo com esses autores, entre 1600 a 400 anos cal AP os valores de COT variaram entre 5,0% a 8,0% e nos últimos 300 anos cal AP variaram entre 16,0% a 22,1%.

Moreira et al (2012, 2013) e Aniceto et al (2014) registram para os lagos de várzea Santa Nina, Comprido e Quistococha, que o aumento da influência fluvial aumenta a acumulação de carbono nos lagos, mesmo que estes apresentem baixos teores de COT. Isso ocorre em função da diluição da matéria orgânica pela grande quantidade de sedimentos depositados (ANICETO et al, 2014; CONTRERA, 2017). No lago do Boto, o aumento nas taxas de sedimentação parece ser acompanhado de aumento nos percentuais de COT. Neste sentido, é importante destacar que as águas do Rio Negro apresentam teores elevados de matéria orgânica de aproximadamente 10 a 20%, enquanto que o rio Amazonas apresenta aproximadamente 2% (CORDEIRO et al, 2008).

4.2 Estoque de carbono do lago do Boto

Durante os últimos 1880 anos cal AP foi registrada uma estocagem de aproximadamente 230.987 toneladas de COT para a profundidade entre 0 a 100 cm do lago Boto. Na região de várzea dos rios Ucayali e Marañon, na Amazônia peruana, foi registrado para o lago Quistococha, cuja área compreende cerca de 0,50 km², um estoque de COT de aproximadamente 6.846 toneladas para a profundidade de 0 a 60 cm. Neste período, as condições Paleohidrológicas deste lago foram caracterizadas por diminuição da influência fluvial em virtude de seu isolamento (ANICETO et al, 2014). No lago Lagarto, influenciado em menor intensidade pela dinâmica fluvial, localizado na planície de inundação do Rio Marañón, com uma área de 1,49 km², foi estimada a estocagem de aproximadamente 82.010 toneladas para a profundidade de 0 a 97 cm.

Se compararmos os estoques de carbono identificados nestes lagos com os estoques estimados para os solos da região Amazônica, podemos verificar uma significativa aproximação. Cerri et al (2007) estima por meio do Century Model que o estoque de carbono no solo da Amazônia brasileira na camada de 0 a 20 cm superiores, varia entre 20 a 150 MgC.ha⁻¹ (1 Mg = 1 tonelada), que na maior parte da região predominam os valores entre 60 a 80 MgC.ha⁻¹.

No lago do Boto, o estoque registrado nos primeiros 20 cm de profundidade consiste em aproximadamente 40 MgC.ha⁻¹. No lago Quistococha, o estoque acumulado nos primeiros 20 cm de profundidade consiste em 44 MgC.ha⁻¹, Aniceto (2014) identifica que a matéria orgânica deste lago atualmente é predominantemente influenciada pela vegetação do entorno com pequena contribuição a partir da biomassa autotrófica aquática. Para o lago Lagarto, a estocagem referente a esta profundidade foi de aproximadamente 88 MgC.ha⁻¹.

Nas estimativas de Cerri et al (2007) também é possível observar que as regiões que apresentaram maior acumulação de carbono nos primeiros 20 cm dos solos amazônicos estão também associadas a regiões adjacentes a planície de inundação, onde a maior contribuição para os estoques vêm de solos sob vegetação nativa e apresentam valores entre 100 a 150 MgC.ha⁻¹.

4.3 Discussões sobre a morfogênese e idade do Arquipélago de Anavilhanas

Apesar dos avanços nos estudos voltados a compreensão do processo de formação do Arquipélago de Anavilhanas, sua morfogênese e idade ainda não foram totalmente esclarecidas

e seguem em discussão. Nesta perspectiva, o projeto Radam Brasil (1978) sugere uma adaptação do Rio Negro à estrutura de *rift-valley* durante o Holoceno inferior, com sedimentação associada a processos lineares fluviais durante o Holoceno médio.

Tricart (1977) associa a gênese de Anavilhanas à formação de um delta em função da transgressão Flandriana do nível do mar no Holoceno Médio, sendo o Rio Branco o maior responsável pelo fornecimento de sedimentos. Sioli (1985) associa à formação das ilhas de Anavilhanas a deposição dos sedimentos finos transportados em suspensão pelo Rio Negro, onde a deposição foi iniciada no trecho a montante. Segundo este autor, esse trecho do rio Negro trata-se de um vale de rio afogado, caracterizando-se como verdadeiras rias fluviais associadas ao término do período glacial, há cerca de 10.000 anos. Já estudos de Leenheer & Santos (1980) apontam para influência do rio Branco na gênese de Anavilhanas, onde a sedimentação foi associada à floculação das argilas nas águas de baixo pH do Rio Negro.

Em modelo proposto por Latrubesse & Franzinelli (2005) durante o Holoceno, o Rio Negro tornou-se gradualmente um vale bloqueado em resposta do sistema fluvial ao último glacial, apresentando continuidade durante a transgressão do Holoceno, desde o Holoceno médio ao recente. Sendo que na fase de transição do Holoceno médio ao recente (~ 1.000 anos AP), estes autores propõem como condições essenciais atingidas para formação deste arquipélago, uma quantidade suficiente de sedimentos em suspensão, um ambiente de baixa energia, espaço suficiente no alojamento do vale e aumento do nível de base.

Barbosa (2015) individualiza o arquipélago em dois níveis de terraços, o Terraço Fluvial Superior, localiza-se em um setor restrito da margem esquerda, compreendendo um dique marginal entre a foz do rio Ariauaú e Pidiuaú. Este setor apresentou idades por Luminescência Opticamente Estimada - LOE variando entre 210.000 a 60.000 anos AP. Já o Terraço Fluvial Inferior compreende o restante do arquipélago e apresentou idades LOE variando entre 2.550 a 400 anos AP. Este autor identificou taxas de sedimentação variando entre 1,3 a 5,5 mm.ano⁻¹ e atribuiu a formação do arquipélago aos últimos 2.200 anos AP.

Já Cunha (2017) identificou idades entre 18.751 ± 1.919 anos e 12.601 ± 943 anos antes do Presente (AP) nas barras adjacentes ao terraço de terra firme da margem leste do Rio Negro e idades entre 6.844 ± 449 anos e 627 ± 58 anos para as ilhas. A autora associa a formação das ilhas do arquipélago ao processo de sedimentação ocorrido a partir dos últimos ~ 7.000 anos.

No entanto, as idades ^{14}C obtidas no testemunho sedimentar coletado no lago do Boto remetem a 1840 anos cal AP. O predomínio da granulometria de sedimentos finos (silte e argila) e as baixas taxas de sedimentação apontam que durante todo este período o lago do Boto já se configurava em um ambiente lacustre. Neste contexto, os dados obtidos se contrapõem aos apontamentos de que este arquipélago tenha se estabilizado apenas nos últimos 1.000 anos.

5. Conclusões

Os resultados obtidos permitiram apontar características da sedimentação e acumulação de Carbono Orgânico Total para o lago do Boto durante os últimos 1880 anos. Durante todo esse período os resultados do testemunho analisado indicaram características de um ambiente lacustre com baixa influência fluvial, no entanto, com algumas variações e uma tendência de aumento na acumulação de carbono e das taxas de sedimentação em direção ao topo.

Entre 1880 a 854 anos cal AP predominaram taxas de sedimentação de $0,03 \text{ cm.ano}^{-1}$ e taxas de acumulação de carbono média $94,84 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$. Já o período de 854 anos cal AP ao presente, foi caracterizado como mais dinâmico em relação ao período anterior. Neste período, as taxas de sedimentação foram de $0,07 \text{ cm.ano}^{-1}$ e taxas de acumulação de carbono média de $148,85 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$. A ocorrência de períodos de deposição de sedimentos arenosos em alguns pontos do testemunho foi associada a possível mudança na hidrodinâmica do lago, em função de eventos extremos de inundação. Durante os últimos 1880 anos cal AP foi acumulado um estoque de 230.987 toneladas de COT para a profundidade de 1 m deste lago, onde os valores encontram – se dentro das médias de estoque estimadas para os primeiros 20 cm dos solos amazônicos e próximos aos valores observados em outros lagos da região.

Os resultados obtidos neste trabalho além de permitir realizar apontamentos a cerca da acumulação de carbono e das condições Paleohidrológicas do lago do Boto também contribuem nas discussões existentes a cerca das idades de formação apontadas para o Arquipélago de Anavilhanas. Neste sentido, ressalta-se a importância desses ambientes na acumulação de carbono e nos estudos Paleohidrológicos, evidenciando a necessidade da ampliação dos estudos nesta perspectiva, especialmente na bacia do Rio Negro, onde estão localizados dois importantes arquipélagos de água doce, ambos caracterizados por apresentar significativa quantidade de lagos.

6. Referências

- ALMEIDA – FILHO, R.; SHIMABUKURO, Y. E.; BEISL, C. H. **Assessment of landscape changes in the Anavilhanas Archipelago during the flood peak and drought events in the Rio Negro, central Amazônia, Brazil.** Revista Brasileira de Cartografia, 68(5): 957-964, 2016.
- ALVES, N. de S. **Mapeamento hidromorfodinâmico do complexo fluvial de Anavilhanas. Contribuição aos estudos de Geomorfologia Fluvial de rios amazônicos.** São Paulo: USP, Tese de Doutorado (Programa de Pós Graduação em Geografia Física), 2013.
- AMORIM, M. A.; MOREIRA-TURCQ, P. F.; TURCQ, B. J. & CORDEIRO, R. C. **Origem e dinâmica da deposição dos sedimentos superficiais na Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil.** Acta Amazônica, 39(1): 165-171, 2009.
- ANICETO, K.; MOREIRA-TURCQ, P.; CORDEIRO, R.C.; FRAIZY, P.; QUINTANA, I. & TURCQ, B. **Holocene paleohydrology of Quistococha Lake (Peru) in the upper Amazon Basin. Influence on carbon accumulation.** Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 415: 165–174, 2014.
- AUFDENKAMPE, A. K.; MAYORGA, E.; RAYMOND, P. A.; MELACK, J. M.; DONEY, S. C.; ALIN, S. R.; AALTO, R. E. & YOO, K. **Riverine coupling of biogeochemical cycles between and, oceans, and atmosphere.** Frontiers in Ecology and the Environment, 9(1): 53-60, 2011.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os Trópicos.** 4ª Ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 1996.
- BARBOSA, R. O. **Estudos sedimentológicos e estratigráficos dos depósitos sedimentares quaternários do Arquipélago de Anavilhanas município de Novo Airão (Amazônia Central).** Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós Graduação em Geociências, Dissertação de Mestrado, 2015. 113p.
- CERRI, C. E. P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILIAN, K.; COLEMAN, K.; BERNOUX, M.; FALLOON, P.; POWLSON, D. S.; BATJES, N. H.; MILNE, E. & CERRI, C. C. **Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030.** Agriculture, Ecosystems and Environment, 122: 58–72, 2007.
- CIAIS, P.; C. SABINE, G.; BALA, L.; BOPP, V.; BROVKIN, J.; CANADELL, A.; CHHABRA, R.; DEFRIES, J.; GALLOWAY, M.; HEIMANN, C.; JONES, C.; LE QUÉRE, R.B.; MYNENI, S.; PIAO & P. THORNTON. Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: STOCKER, T.F., D. QIN, G.- K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX & P.M. MIDGLEY (eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2013.
- COLE, J. J.; PRAIRE, Y. T.; CARACO, N. F.; MCDOWELL, W. H.; TRANVIK, R. G.; STRIEGL, R. G.; DUARTE, C. M.; KORTELAJINEN, P.; DOWNING, J. A.; MIDDELBURG, J. J. & MELACK, J. **Plumbing the Global Carbon Cycle: Integrating Inland Waters into the Terrestrial Carbon Budget.** Ecosystems, 10: 171–184, 2007.

- CONTRERA, J. M. de A. D. **Mudanças paleoclimáticas e acumulação de carbono no Lago Airo – Alto Rio Negro**. Universidade Federal Fluminense, Programa de pós Graduação em Geociências, Dissertação de mestrado, 2017. 106p.
- CORDEIRO, R. C.; TURQ, P. F. M.; TURQ, B. J.; MOREIRA, L. S.; RODRIGUES, R. DE C.; COSTA, R. L. DE; SIFEDDENE, A. & FILHO, F. L.S. **Acumulação de carbono em lagos amazônicos como indicador de eventos paleoclimáticos e antrópicos**. *Oecologia Brasiliensis*, 12: 130-154, 2008.
- COSTA, R. L. da. 2006. **Paleohidrologia do lago Acarabixi, médio Rio Negro, AM durante o Holoceno**. Universidade Federal Fluminense, Programa de pós Graduação em Geociências, Dissertação de mestrado, 2006. 102p.
- CUNHA, D. F. da. **Evolução Sedimentar do Arquipélago de Anavilhanas no baixo Rio Negro, Amazônia Central**. São Paulo: USP, Dissertação (Mestrado em Geociências), 2017.
- FILIZOLA, N. & GUYOT, J. L. **Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia**. *Revista Brasileira de Geociências*, 41(4): 566-576, 2011.
- FILIZOLA, N. P. **O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da bacia Amazônica Brasileira**. Brasília: ANEEL, 1999. 63p.
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. **Uma Revisão Geral sobre o Clima da Amazônia**. *Acta Amazônica*, Vol. 28, n.2, p. 101-126, 1998.
- IPCC, 2013: **Resumo para Decisores**. In: STOCKER, T.F., D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S. K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX AND P.M. MIDGLEY (eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas. NI, EUA: Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, 2013.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução de José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador) et. al. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598p.
- JOOS, F. & SPAHNI, R. **Rates of change in natural and anthropogenic radiative forcing over the past 20,000 years**. *Proc Natl Acad Sci USA*, 105(5): 1425-1430, 2008.
- JUNK, W. J.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J. & PIEDADE, M. T. F. **A classification of the major habitats of Amazonian black-water river floodplains and a comparison with their white-water counterparts**. *Wetlands Ecol Manage*, 23: 677–693, 2015.
- LATRUBESSE, E. M. & FRANZINELLI, E. **The Late Quaternary Evolution Of The Negro River, Amazon, Brazil: Implications For Island And Floodplain Formation In Large Anabranching Tropical Systems**. *Geomorphology*, 70: 372-397, 2005.
- LATRUBESSE, E. M. & STEVAUX, J. C. **The Anavilhanas and Mariuá Archipelagos: Fluvial Wonders from the Negro River, Amazon Basin**. In: Vieira, B. C., Salgado, A. A. R., Santos, L. J. C. (Eds.) *Landscapes and Landforms of Brazil*. Springer, 2015. 267p.
- LE QUÉRÉ, C.; ANDRES, R. J.; BODEN, T.; CONWAY, T.; HOUGHTON, R. A.; HOUSE, J. L.; MARLAND, G.; PETERS, G. P.; VAN DER WERF, G. R.; AHLSTROM, A.; ANDREW, R. M.; BOPP, L.; CANADELL, J. G.; CIAIS, P.; DONEY, S. C.; ENRIGHT, C.; FRIEDLINGSTEIN, P.; HUNTINGFORD, C.; JAIN, A. K.; JOURDAIN, C.; KATO, E.; KEELING, R. F.; KLEIN GOLDEWIJK, K.; LEVIS, S.; LEVY, P.; LOMAS, M.;

POULTER, B.; AUPACH, M. R.; SCHWINGER, J.; SITCH, S.; STOCKER, B. D.; VIOVY, N.; ZAEHLE, S. & ZENG, N. **The global carbon budget 1959–2011**. Earth Syst. Sci. Data, 5: 165–185, 2013.

LE QUÉRE, C.; ANDREW, R. M.; FRIEDLINGSTEIN, P.; SITCH, S.; HAUCK, J.; PONGRATZ, J.; PICKERS, P. A.; KORSBAKKEN, J. I.; PETERS, G. P.; CANADELL, J. G.; ARNETH, A.; ARORA, V. K.; BARBERO, L.; BASTOS, A.; BOPP, L.; CHEVALLIER, F.; CHINI, L. P.; CIAIS, P.; DONEY, S. C.; TGKRITZALIS, T.; GOLL, D. S.; HARRIS, I.; HAVERD, V.; HOFFMAN, F. M.; HOPPEMA, M.; HOUGHTON, R. A.; HURTT, G.; ILYINA, T.; JAIN, A. K.; JOHANNESSEN, T.; JONES, C. D.; KATO, E.; KEELING, R. F.; GOLDEWIJK, K. K.; LANDSCHÜTZER, P.; LEFÈVRE, N.; LIENERT, S.; LIU, Z.; LOMBARDOZZI, D.; METZL, N.; MUNRO, D. R.; NABE, J. E. M. S.; NAKAOKA, S.; NEILL, C.; OLSEN, A.; ONO, T.; PATRA, P.; PEREGON, A.; PETERS, W.; PEYLIN, P.; PFEIL, B.; PIERROT, D.; POULTER, B.; REHDER, G.; RESPLANDY, L.; ROBERTSON, E.; ROCHER, M.; RÖDENBECK, C.; SCHUSTER, U.; SCHWINGER, J.; SÉFÉRIAN, R.; SKJELVAN, I.; STEINHOFF, T.; SUTTON, A.; TANS, P. P.; TIAN, H.; TILBROOK, B.; TUBIELLO, F. N.; VAN DER LAAN-LUIJKX, I. T.; VAN DER WERF, G. R.; VIOVY, N.; WALKER, A. P.; WILTSHIRE, A. J.; WRIGHT, R.; ZAEHLE, S. & ZHENG, B. **Global Carbon Budget**. Earth Syst. Sci. Data, 10: 2141–2194, 2018.

LEENHEER, J. A. & SANTOS, M. U. de. **Considerações Sobre Os Processos De Sedimentação Na Água Preta Acida Do Rio Negro (Amazônia Central)**. Acta Amazônica, Vol. 10: 343-355, 1980.

MARINHO, R. R.; FILIZOLA JUNIOR, N. P. & CARDENAS, E. N. A. **Variabilidade hidrológica no arquipélago de Anavilhanas observada por sensoriamento remoto orbital**. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR. Santos – SP, 2017. Resumos expandidos, Santos – SP, INPE, 2017. p. 2624-2629.

MEADE, R. H.; RAYOL, J. M.; CONCEIÇÃO, S. C. & NATIVIDADE, J. R. G. **Backwater effects in the Amazon River basin of Brazil**. Environmental Geology and Water Sciences, 18(2): 105-114, 1991.

MMA. **Sítios Ramsar**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/instrumentos-de-gestao/s%C3%ADtios-ramsar>. Acessado em: 25Jul2018.

MOLINIER, M.; GUYOT, J. L.; OLIVEIRA, E. & GUIMARÃES, V. **Les Régimes Hydrologiques de L'amazone et de ses Affluents**. In: CHEVALLIER P. & POUYAUD B. (eds.) L'hydrologie Tropicale: Géoscience et Outil Pour le Développement. Paris: IAHS, 238: 209-222, 1996.

MOLION, L. C. B. **Aquecimento global: uma visão crítica**. Revista Brasileira de Climatologia, 3-4: 7-24, 2008.

MOREIRA, L. S. **Reconstrução paleohidrológica do lago Santa Nina, várzea de Curuai, Pará, Brasil**. Universidade Federal Fluminense, Programa de pós Graduação em Geoquímica, Dissertação de mestrado, 2008. 133p.

MOREIRA, L. S.; MOREIRA-TURCQ, P.; CORDEIRO, R. C.; TURCQ, B.; CAQUINEAU, S.; VIANA, J.C.C.; BRANDINI, N. **Holocene paleoenvironmental reconstruction in the Eastern Amazonian Basin: Comprido Lake**. Journal of South American Earth Sciences, Vol. 44. 55-62, 2013.

- MOREIRA, L. S.; MOREIRA-TURCQ, P.; TURCQ, B.; CAQUINEAU, S. & CORDEIRO, R.C. **Paleohydrological changes in an Amazonian floodplain lake: Santa Ninha Lake.** *J. Paleolimnol.*, 48: 339–350, 2012.
- QUINTANA-COBO, I.; MOREIRA-TURCQ, P.; CORDEIRO, R. C.; ANICETO, K.; CRAVE, A.; FRAIZY, P.; MOREIRA, L. S.; CONTRERA, J. M. de A. D. & TURCQ, B. **Dynamics of floodplain lakes in the Upper Amazon Basin during the late Holocene.** *Comptes Rendus Geoscience*, 350: 55–64, 2018.
- RADAMBRASIL. **Folha SA.20-Manaus, geologia, geo-morfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Levantamento de Recursos Naturais.** Rio de Janeiro, MME/DNPM, 1978. 628p.
- SANDERS, L. M.; TAFFS, K. H.; STOKES, D. J.; SANDERS, C. J.; SMOAK, J. M.; ENRICH – PRAST, A.; MACKLIN, P. A.; SANTOS, I. R. & MAROTTA, H. **Carbon accumulation in Amazonian floodplain lakes: A significant component of Amazon budgets?.** *Limnology and Oceanography Letters*, 2: 29–35, 2017.
- SILVA, V. C.; ANICETO, K. P.; MARINHO, R. R. & FILIZOLA, N. P. **Caracterização hidrológica dos sistemas lacustres do Arquipélago de Anavilhanas com base em Sensoriamento Remoto.** São Paulo, UNESP, Geociências, 2019. No prelo.
- SIOLI, H. **Amazônia: Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais.** Rio de Janeiro, Vozes, 1985. 72p.
- SIOLI, H. **The Amazon and its main affluents: hydrography, morphology of the river courses and river types.** *In:* SIOLI, H. (ed) *The Amazon - Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.* Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, pp 127–165, 1984.
- SOMBROEK, W. **Spatial and Temporal Patterns of Amazon Rainfall.** *Journal of the Human Environment*, v. 30, n. 7, p. 388–396, 2001.
- TRICART, J.L.F. **Tipos De Planícies Aluviais E De Leitos Fluviais Na Amazônia Brasileira.** *Revista Brasileira De Geografia*, 39(2): 3-40, 1977.
- ZANI, H.; MARINHO, R. R. & GAVLAK, A. A. **Avaliação de métodos para extração de corpos d'água e áreas inundadas em imagens Landsat-TM.** *In:* VIII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, Belo Horizonte-MG, 2010. Anais, Belo Horizonte-MG, CD-ROM.

CAPÍTULO IV

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no mapeamento da superfície de água exposta do Arquipélago de Anavilhanas, alinhado com visitadas de campo, mostraram que mesmo em condições próximas das médias interanuais essa região apresenta significativa variação sazonal, na ordem de 10% de modo geral e 17% para os sistemas lacustres e áreas de “águas mortas”. O estudo permitiu ainda a identificação de cerca de 447 lagos de diferentes dimensões e com características geomorfológicas distintas, aparentemente em função de condições hidrológicas dadas tanto pelos fluxos de montante, quanto pela influência do barramento hidráulico do Rio Solimões. Essas características condicionam uma série de modificações na paisagem do arquipélago ao longo do regime hidrológico que impactam de modo diferente os lagos da região.

Analizando detalhadamente o lago do Boto, inserido neste contexto, foi possível observar que sua dinâmica é influenciada pelo Rio Negro através de um canal de ligação localizado em sua porção sul e, pela conexão estabelecida durante os períodos de águas altas e eventos extremos, quando o fluxo do canal extravasa inundando a vegetação ao entorno do lago, formando os igapós. Deste modo, variações no regime hidrológico do Rio Negro possivelmente influenciaram nas taxas de sedimentação e de acumulação de Carbono Orgânico Total deste lago.

As análises do testemunho sedimentar LBT-15-03 indicaram que o lago do Boto apresenta características de um ambiente lacustre com baixa influência fluvial desde de cerca de 1880 anos cal AP. No entanto, foram observadas algumas variações e uma tendência de aumento na acumulação de carbono e nas taxas de sedimentação até o presente. Deste modo, para o topo deste testemunho, datações por ^{210}Pb são indicadas, pois podem fornecer uma melhor resolução das taxas de sedimentação e da acumulação de carbono no período mais recente. Já datações ^{14}C nas profundidades correspondentes ao aumento dos percentuais granulométricos dos sedimentos referente à silte grosso e areia, podem ajudar da compreensão dos possíveis eventos extremos associados. A caracterização da fonte da matéria orgânica através das relações isotópicas de C/N também são sugeridas para estudos futuros, como informações complementares essenciais para a melhor compreensão da acumulação de

carbono e condições Paleohidrológicas deste lago.

Nos últimos 1880 anos cal AP foram acumulados aproximadamente 230.987 toneladas de COT para a profundidade de 1 m deste lago, onde os valores acumulados nos primeiros 20 cm de sedimentos encontram-se próximo das médias de estoque estimadas para os primeiros 20 cm dos solos amazônicos. O que indica que os sistemas lacustres apresentam um papel importante no estoque de carbono na região. No entanto, observa-se que para melhor compreensão do estoque de carbono neste lago é necessário ainda, um número maior de amostragens. Pois, vale ressaltar que o estoque estimado neste trabalho é um apontamento inicial e que para o melhoramento de sua precisão são necessários mais levantamentos em porções diferentes do lago, tendo em vista que a acumulação de carbono pode apresentar diferenças entre as margens e o centro do lago.

De modo geral, os resultados deste trabalho além subsidiarem apontamentos a cerca da dinâmica hidrológica do Arquipélago de Anavilhanas e, especificamente da acumulação de carbono e das condições Paleohidrológicas do lago do Boto, também contribuem nas discussões sobre as idades de formação apontadas para o Arquipélago de Anavilhanas. Pois, as interpretações do testemunho sedimentar coletado no lago do Boto apontam que este ambiente apresenta características de um sistema lacustre desde aproximadamente 1880 anos cal AP, o que indica que a formação do arquipélago deve apresentar idade mais antiga. Desta forma, ressalta-se a importância desses ambientes na acumulação de carbono e nos estudos Paleohidrológicos da região, evidenciando a necessidade da ampliação dos estudos nesta perspectiva, especialmente pela existência de cerca 447 lagos em Anavilhanas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A. N. **Bases para o estudo dos ecossistemas da Amazônia brasileira**. Estudos Avançados. São Paulo, v. 16, nº 45, p. 7-30, 2002. Texto publicado originalmente em inglês em FREITAS, M. L. D. *Amazônia – Heaven of a New World*. Rio de Janeiro: Campus, 1998.
- ALMEIDA – FILHO, R.; SHIMABUKURO, Y. E.; BEISL, C. H. **Assessment of landscape changes in the Anavilhanas Archipelago during the flood peak and drought events in the Rio Negro, central Amazônia, Brazil**. Revista Brasileira de Cartografia, 68(5): 957-964, 2016.
- ALVES, N. de S. **Mapeamento hidromorfodinâmico do complexo fluvial de Anavilhanas. Contribuição aos estudos de Geomorfologia Fluvial de rios amazônicos**. São Paulo: USP, Tese de Doutorado (Programa de Pós Graduação em Geografia Física), 2013.
- AMORIM, M. A.; MOREIRA-TURCQ, P. F.; TURCQ, B. J. & CORDEIRO, R. C. **Origem e dinâmica da deposição dos sedimentos superficiais na Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil**. Acta Amazônica, 39(1): 165-171, 2009.
- ANA, Agência Nacional de Águas. **Medição de descarga líquida em grandes rios: Manual Técnico**. 2 ed. Brasília: ANA, 94p., 2014.
- ANICETO, K. C. P. **Reconstrução paleohidrológica em sistemas de várzea na Amazônia Peruana**. Niterói: Tese (Doutorado em Geociências - Geoquímica Ambiental), Universidade Federal Fluminense, 2014.
- ANICETO, K.; MOREIRA-TURCQ, P.; CORDEIRO, R.C.; FRAIZY, P.; QUINTANA, I. & TURCQ, B. **Holocene paleohydrology of Quistococha Lake (Peru) in the upper Amazon Basin. Influence on carbon accumulation**. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 415: 165–174, 2014.
- ASSAHIRA, C.; PIEDADE, M. T.; TRUMBORE, S. E.; WITTMANN, F.; CINTRA, B. B. L.; BATISTA, E. S.; RESENDE, A. F. & SCHONGART, J. **Tree mortality of a flood-adapted species in response of hydrographic changes caused by an Amazonian river dam**. Forest Ecology and Management, 396: 113–123. 2017.
- AUFDENKAMPE, A. K.; MAYORGA, E.; RAYMOND, P. A.; MELACK, J. M.; DONEY, S. C.; ALIN, S. R.; AALTO, R. E. & YOO, K. **Riverine coupling of biogeochemical cycles between and, oceans, and atmosphere**. Frontiers in Ecology and the Environment, 9(1): 53-60, 2011.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os Trópicos**. 4ª Ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 1996.
- BARBOSA, R. O. **Estudos sedimentológicos e estratigráficos dos depósitos sedimentares quaternários do Arquipélago de Anavilhanas município de Novo Airão (Amazônia Central)**. Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós Graduação em Geociências, Dissertação de Mestrado, 2015. 113p.
- CAPUTO M. V. **Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil**. Santa Barbara: University of California. PhD Thesis, 1984.
- CAPUTO, M. **Discussão sobre a Formação Alter do Chão e o Alto de Monte Alegre. Contribuições Geologia da Amazônia**. Vol. 7. 7-23, 2011.
- CERRI, C. E. P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILIAN, K.; COLEMAN, K.; BERNOUX,

- M.; FALLOON, P.; POWLSON, D. S.; BATJES, N. H.; MILNE, E. & CERRI, C. C. **Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030**. Agriculture, Ecosystems and Environment, 122: 58–72, 2007.
- CIAIS, P.; C. SABINE, G.; BALA, L.; BOPP, V.; BROVKIN, J.; CANADELL, A.; CHHABRA, R.; DEFRIES, J.; GALLOWAY, M.; HEIMANN, C.; JONES, C.; LE QUÉRÉ, R.B.; MYNENI, S.; PIAO & P. THORNTON. Carbon and Other Biogeochemical Cycles. *In*: STOCKER, T.F., D. QIN, G.- K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX & P.M. MIDGLEY (eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2013.
- COLE, J. J.; PRAIRE, Y. T.; CARACO, N. F.; MCDOWELL, W. H.; TRANVIK, R. G.; STRIEGL, R. G.; DUARTE, C. M.; KORTELAINEN, P.; DOWNING, J. A.; MIDDELBURG, J. J. & MELACK, J. **Plumbing the Global Carbon Cycle: Integrating Inland Waters into the Terrestrial Carbon Budget**. Ecosystems, 10: 171–184, 2007.
- CONTRERA, J. M. de A. D. **Mudanças paleoclimáticas e acumulação de carbono no Lago Airo – Alto Rio Negro**. Universidade Federal Fluminense, Programa de pós Graduação em Geociências, Dissertação de mestrado, 2017. 106p.
- CORDEIRO, R. C.; TURQ, P. F. M.; TURQ, B. J.; MOREIRA, L. S.; RODRIGUES, R. DE C.; COSTA, R. L. DE; SIFEDDENE, A. & FILHO, F. L.S. **Acumulação de carbono em lagos amazônicos como indicador de eventos paleoclimáticos e antrópicos**. Oecologia Brasiliensis, 12: 130-154, 2008.
- 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. **Neotectônica da região Amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais**. Geonomos 4: 23-24, 1996.
- COSTA, R. L. da. 2006. **Paleohidrologia do lago Acarabixi, médio Rio Negro, AM durante o Holoceno**. Universidade Federal Fluminense, Programa de pós Graduação em Geociências, Dissertação de mestrado, 2006. 102p.
- CREMON, E. H. **Evolução quaternária do Rio Branco - Norte da Amazônia - com base em dados orbitais e geológicos**. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Tese de Doutorado, 113p., 2016.
- CUNHA, D. F. da. **Evolução Sedimentar do Arquipélago de Anavilhanas no baixo Rio Negro, Amazônia Central**. São Paulo: USP, Dissertação (Mestrado em Geociências), 2017.
- CUNHA, P. R. C.; **Análise estratigráfica dos sedimentos eo/mesodevonianos da porção ocidental da Bacia do Amazonas sob a óptica da estratigrafia de seqüências no interior cratônico**. Porto Alegre: UFRGS, Dissertação (mestrado em geociências), 2000.
- CUNHA, P. R. C.; GONZAGA, F. G.; COUTINHO, L. F. C.; FEIJÓ, F. J. **Bacia do Amazonas**. Rio de Janeiro: Boletim de Geociências, Petrobras, v. 8, n. 1, p. 47-55, jan/mar, 1994.
- CUNHA, P. R. da C., MELO, J. H. G. da., SILVA, O. B. da. **Bacia do Amazonas**. Rio de Janeiro: Boletim de Geociências, Petrobras, v. 15, n. 2, p. 227-251, maio/nov, 2007.
- DLUGOKENCKY, E. & TANS, P. **Trends in atmospheric carbon dioxide**. National Oceanic & Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory (NOAA/ESRL).

Disponível em: <www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>. Acessado em: 16 de set. 2019.

EPE. **UHE Bem Querer**. Disponível em: <<http://www.uhebemquerer.com.br/biblioteca-digital/>>. Acesso em: 25fev2019.

FALLOON, P.; JONES, C. D.; CERRI, C. E.; AL-ADAMAT, R.; KAMONI, P.; BHATTACHARYYA, T.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K. & MILNE, E. **Climate change and its impact on soil and vegetation carbon storage in Kenya, Jordan, India and Brazil**. Agriculture, Ecosystems and Environment, 122, 114–124, 2007.

FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras**. Manaus: Editora do INPA, 296p., 2015.

FEARNSIDE, P. M. **Quantificação do serviço ambiental do carbono nas florestas Amazônicas brasileiras**. Oecol. Bras., 12 (4): 743 – 756, 2008.

FILIZOLA, N. & GUYOT, J. L. **Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia**. Revista Brasileira de Geociências, 41(4): 566-576, 2011.

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

FILIZOLA, N. P. **O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da bacia Amazônica Brasileira**. Brasília: ANEEL, 63p., 1999.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L.; GUIMARÃES, V. **Measuring the discharge of the Amazon River using Doppler technology (Manacapuru, Amazonas, Brazil)**. Hydrological Processes, 23(22): 3151–3156, 2009.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. **Uma Revisão Geral sobre o Clima da Amazônia**. Acta Amazônica, Vol. 28, n.2, p. 101-126, 1998.

FRANZINELLI, E.; IGREJA, H. **Modern sedimentation in the Lower Negro River, Amazonas State, Brazil**. Geomorphology, Vol. 44. 259–27, 2002.

GENTIRANA, A. C. V.; BONNET, M.; ROTUNNO FILHO, O. C. & MANSUR, W. J. **Improving hydrological information acquisition from DEM processing in floodplains**. Hydrol. Process. 23: 502 – 514, 2009.

IBGE. 2017. **Cidades@**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=130320&search=amazonas|novo-airao>>. Acesso em: 15 de jun. 2017.

INPE. **Landsat**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/Landsat>>. Acesso em: 15Jul2019.

IPCC, 2013: **Resumo para Decisores**. In: STOCKER, T.F., D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S. K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX AND P.M. MIDGLEY (eds.). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas. NI, EUA: Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, 2013.

IRION, G.; BUSH, M. B.; NUNES de MELLO, J. A.; STUBEN, D.; NEUMANN, T.; MULLER, G.; MORAIS de, J. O. & JUNK, J. W. **A multiproxy palaeoecological Record of**

Holocene lake sediments from the Rio Tapajós, eastern Amazonia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 240: 523-536, 2006.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução de José Carlos Neves Epiphânio (coordenador) et. al. São José dos Campos, SP: Parêntese, 598p., 2009.

JOOS, F. & SPAHNI, R. **Rates of change in natural and anthropogenic radiative forcing over the past 20,000 years.** *Proc Natl Acad Sci USA*, 105(5): 1425-1430, 2008.

JUNK, W. J.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J. & PIEDADE, M. T. F. **A classification of the major habitats of Amazonian black-water river floodplains and a comparison with their white-water counterparts.** *Wetlands Ecol Manage*, 23: 677-693, 2015.

JUNK, W.J.; MELLO, J.A.S.N. **Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia Amazônica brasileira.** *Estud. av.* vol.4 no. 8. São Paulo Jan./Apr. 1990.

KUMP, L. R. **Reducing uncertainty about carbon dioxide as a climate driver.** *Nature*, Vol. 419 (12) September, 2002.

LATRUBESSE, E. M. & FRANZINELLI, E. **The Late Quaternary Evolution Of The Negro River, Amazon, Brazil: Implications For Island And Floodplain Formation In Large Anabranching Tropical Systems.** *Geomorphology*, 70: 372-397, 2005.

LATRUBESSE, E. M. & STEVAUX, J. C. **The Anavilhanas and Mariuá Archipelagos: Fluvial Wonders from the Negro River, Amazon Basin.** In: Vieira, B. C., Salgado, A. A. R., Santos, L. J. C. (Eds.) *Landscapes and Landforms of Brazil*. Springer, 267p., 2015.

LATRUBESSE, E. M.; ARIMA, E. Y.; DUNNE, T.; PARK, E.; BAKER, V. R.; D'HORTA, F. M.; WIGHT, C.; WITTMANN, J. Z.; BAKER, P. A.; RIBAS, C. C.; NORGAARD, R. B.; FILIZOLA, N.; ANSAR, A.; FLYVBJERG, B. & STEVAUX, J. C. **Damming the rivers of the Amazon basin.** *Nature*, v. 546, n. 7658, p. 363-369, 2017.

LE QUÉRE, C.; ANDRES, R. J.; BODEN, T.; CONWAY, T.; HOUGHTON, R. A.; HOUSE, J. L.; MARLAND, G.; PETERS, G. P.; VAN DER WERF, G. R.; AHLSTROM, A.; ANDREW, R. M.; BOPP, L.; CANADELL, J. G.; CIAIS, P.; DONEY, S. C.; ENRIGHT, C.; FRIEDLINGSTEIN, P.; HUNTINGFORD, C.; JAIN, A. K.; JOURDAIN, C.; KATO, E.; KEELING, R. F.; KLEIN GOLDEWIJK, K.; LEVIS, S.; LEVY, P.; LOMAS, M.; POULTER, B.; AUPACH, M. R.; SCHWINGER, J.; SITCH, S.; STOCKER, B. D.; VIOVY, N.; ZAEHLE, S. & ZENG, N. **The global carbon budget 1959–2011.** *Earth Syst. Sci. Data*, 5: 165–185, 2013.

LE QUÉRE, C.; ANDREW, R. M.; FRIEDLINGSTEIN, P.; SITCH, S.; HAUCK, J.; PONGRATZ, J.; PICKERS, P. A.; KORSBAKKEN, J. I.; PETERS, G. P.; CANADELL, J. G.; ARNETH, A.; ARORA, V. K.; BARBERO, L.; BASTOS, A.; BOPP, L.; CHEVALLIER, F.; CHINI, L. P.; CIAIS, P.; DONEY, S. C.; TGKRITZALIS, T.; GOLL, D. S.; HARRIS, I.; HAVERD, V.; HOFFMAN, F. M.; HOPPEMA, M.; HOUGHTON, R. A.; HURTT, G.; ILYINA, T.; JAIN, A. K.; JOHANNESSEN, T.; JONES, C. D.; KATO, E.; KEELING, R. F.; GOLDEWIJK, K. K.; LANDSCHÜTZER, P.; LEFÈVRE, N.; LIENERT, S.; LIU, Z.; LOMBARDOZZI, D.; METZL, N.; MUNRO, D. R.; NABE, J. E. M. S.; NAKAOKA, S.; NEILL, C.; OLSEN, A.; ONO, T.; PATRA, P.; PEREGON, A.; PETERS, W.; PEYLIN, P.; PFEIL, B.; PIERROT, D.; POULTER, B.; REHDER, G.; RESPLANDY, L.; ROBERTSON, E.; ROCHER, M.; RÖDENBECK, C.; SCHUSTER, U.; SCHWINGER, J.; SÉFÉRIAN, R.; SKJELVAN, I.; STEINHOFF, T.; SUTTON, A.; TANS, P. P.; TIAN, H.;

- TILBROOK, B.; TUBIELLO, F. N.; VAN DER LAAN-LUIJKX, I. T.; VAN DER WERF, G. R.; VIOVY, N.; WALKER, A. P.; WILTSHIRE, A. J.; WRIGHT, R.; ZAEHLE, S. & ZHENG, B. **Global Carbon Budget**. Earth Syst. Sci. Data, 10: 2141–2194, 2018.
- LEENHEER, J. A. & SANTOS, M. U. de. **Considerações Sobre Os Processos De Sedimentação Na Água Preta Acida Do Rio Negro (Amazônia Central)**. Acta Amazônica, Vol. 10: 343-355, 1980.
- MARENGO, J. A. & ESPINOZA, J. C. **Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts**. International Journal of Climatology, 36: 1033 – 1050, 2016.
- MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; SOARES, W. R.; ALVES, L. M. & NOBRE, C. A. **Extreme climatic events in the Amazon basin**. Geophysical Research Letters, 38: 1-5, 2011.
- MARINHO, R. R.; FILIZOLA JUNIOR, N. P. & CARDENAS, E. N. A. **Variabilidade hidrológica no arquipélago de Anavilhanas observada por sensoriamento remoto orbital**. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR. Santos – SP, 2017. Resumos expandidos, Santos – SP, INPE, p. 2624-2629., 2017a.
- MARINHO, R. R.; SILVA, V. C. & FILIZOLA, N. P. **Deteção da variabilidade do nível do rio Branco (RR) e do rio Jamari (RO) por satélites altimétricos**. Acta Geográfica, 11(26): 102-117, 2017b.
- MATSUDA, N. S.; WINTER, W. R.; FILHO, J. R. W.; CACELA, A. S. M. **O Paleozoico da borda sul da Bacia do Amazonas, Rio Tapajós - Estado do Pará**. Rio de Janeiro: Boletim de Geociências, Petrobras, v. 18, n. 1, p. 123-152, nov. 2009/maio, 2010.
- MEADE, R. H.; RAYOL, J. M.; CONCEIÇÃO, S. C. & NATIVIDADE, J. R. G. **Backwater effects in the Amazon River basin of Brazil**. Environmental Geology and Water Sciences, 18(2): 105-114, 1991.
- MELACK, J. M.; ENGLE, D. L. **An organic carbon budget for an Amazon floodplain lake**. Verh. Internat. Verein. Limnol. Vol. 30, Part 8, p. 1179–1182, Stuttgart, October, 2009.
- MENDES, A. C.; TRUCKENBROD, W.; NOGUEIRA, A. C. R. **Análise faciológica da Formação Alter do Chão (Cretáceo, Bacia do Amazonas), próximo à cidade de Óbidos, Pará, Brasil**. Revista Brasileira de Geociências. Vol. 42 (1): 39-57, março de 2012.
- MEYERS, P. A. **Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes**. Organic Geochemistry, 34: 261–289, 2003.
- MMA. **Sítios Ramsar**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/instrumentos-de-gestao/s%C3%ADtios-ramsar>. Acessado em: 25/07/2018.
- MME/EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Brasília, MME/EPE, 271p., 2017.
- MOLINIER, M.; GUYOT, J. L.; OLIVEIRA, E. & GUIMARÃES, V. **Les Régimes Hydrologiques de L'amazone et de ses Affluents**. In: CHEVALLIER P. & POUYAUD B. (eds.) L'hydrologie Tropicale: Géoscience et Outil Pour le Développement. Paris: IAHS, 238: 209-222, 1996.
- MOLION, L. C. B. **Aquecimento global: uma visão crítica**. Revista Brasileira de Climatologia, 3-4: 7-24, 2008.

- MOREIRA, L. S. **Reconstrução paleohidrologica do lago Santa Nina, várzea de Curuai, Pará, Brasil.** Universidade Federal Fluminense, Programa de pós Graduação em Geoquímica, Dissertação de mestrado, 2008. 133p.
- MOREIRA, L. S.; MOREIRA-TURCQ, P.; CORDEIRO, R. C.; TURCQ, B.; CAQUINEAU, S.; VIANA, J.C.C.; BRANDINI, N. **Holocene paleoenvironmental reconstruction in the Eastern Amazonian Basin: Comprido Lake.** Journal of South American Earth Sciences, Vol. 44. 55-62, 2013.
- MOREIRA, L. S.; MOREIRA-TURCQ, P.; TURCQ, B.; CAQUINEAU, S. & CORDEIRO, R.C. **Paleohydrological changes in an Amazonian floodplain lake: Santa Nina Lake.** J. Paleolimnol., 48: 339–350, 2012.
- MOREIRA-TURCQ, P.; TURCQ, B.; MOREIRA, L. S.; AMORIN, M.; CORDEIRO, R. C. & GUYOT, J. L. **A 2700 cal yr BP extreme flood event revealed by sediment accumulation in Amazon floodplains.** Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 415: 175–182, 2014.
- MUNIZ, L. DA S.; SILVA, V. C.; MARINHO, R. R. & FILIZOLA JUNIOR, N. P. **Análise multitemporal da seca de 2016 no Rio Branco: uma avaliação preliminar da variabilidade hidrológica.** In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, Santos – SP, 2017. Resumos expandidos, Santos – SP, INPE, p. 3098-3105.
- NOBRE, A. C.; OBREGAN, G.; MARENGO, J.; FU, R.; POVEDA, G. **Characteristics of Amazonian Climate: Main Features.** Washington DC American Geophysical Union Geophysical Monograph Series. Vol. 186, 2009.
- PETIT, J.R.; JOUZEL, J.; RAYNAUD, D.; BARKOV, N.I.; BARNOLA, J.-M.; BASILE, I.; BENDERS, M.; CHAPPELLAZ, J.; DAVIS, M.; DELAYQUE, G.; DELMOTTE, M.; KOTLYAKOV, V.M.; LEGRAND, M.; LIPENKOV, V.Y.; LORIUS, C.; PÉPIN, L.; RITZ, C.; SALTZMAN, E.; STIEVENARD, M. **Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica.** Nature, Vol. 399, p. 429-436. 1999.
- PIEDADE, M.T.F.; JUNK, W.J.; ADIS, J.; PAROLIN, P. **Ecologia, zonação e colonização da vegetação arbórea das ilhas de Anavilhanas.** São Leopoldo: Instituto Anchietano de Pesquisas, Pesquisas Botânicas, N° 56: 117-144., 2005.
- PRANCE, G. T. **A terminologia dos tipos de florestas amazônicas sujeitas a inundação.** Acta Amazônica, 10(3): 495-504, 1980.
- QUINTANA-COBO, I.; MOREIRA-TURCQ, P.; CORDEIRO, R. C.; ANICETO, K.; CRAVE, A.; FRAIZY, P.; MOREIRA, L. S.; CONTRERA, J. M. de A. D. & TURCQ, B. **Dynamics of floodplain lakes in the Upper Amazon Basin during the late Holocene.** Comptes Rendus Geoscience, 350: 55–64, 2018.
- RADAMBRASIL. **Folha SA.20-Manaus, geologia, geo-morfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Levantamento de Recursos Naturais.** Rio de Janeiro, MME/DNPM, 1978. 628p.
- REIS, N. J.; ALMEIDA, M. E.; RIKER, S. L.; FERREIRA, A. L. **Geologia e recursos minerais do estado do Amazonas.** Manaus: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2006.
- SANDERS, L. M.; TAFFS, K. H.; STOKES, D. J.; SANDERS, C. J.; SMOAK, J. M.; ENRICH – PRAST, A.; MACKLIN, P. A.; SANTOS, I. R. & MAROTTA, H. **Carbon accumulation in Amazonian floodplain lakes: A significant component of Amazon**

budgets?. Limnology and Oceanography Letters, 2: 29–35, 2017.

SILVA, V. C.; ANICETO, K. P.; MARINHO, R. R. & FILIZOLA, N. P. **Caracterização hidrológica dos sistemas lacustres do Arquipélago de Anavilhanas com base em Sensoriamento Remoto.** São Paulo, UNESP, Geociências, 2019. No prelo.

SIOLI, H. **Amazônia: Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais.** Rio de Janeiro, Vozes, 1985. 72p.

SIOLI, H. **The Amazon and its main affluents: hydrography, morphology of the river courses and river types.** In: SIOLI, H. (ed) The Amazon - Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, pp 127–165, 1984.

SOARES, E. A. A.; DINO, SOARES, D. P.; ANTONIOLI, L. & SILVA, M. A. L. da. **New sedimentological and palynological data from surface Miocene strata in the central Amazonas Basin area.** Brazilian Journal of Geology, 45(3): 337-357, 2015.

SOMBROEK, W. **Spatial and Temporal Patterns of Amazon Rainfall.** Journal of the Human Environment, v. 30, n. 7, p. 388–396, 2001.

TEXEIRA, S. G. **Risco Geológico** In: MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. Geodiversidade do Estado do Amazonas. Manaus: CPRM, 2010.

TRICART, J.L.F. **Tipos De Planícies Aluviais E De Leitos Fluviais Na Amazônia Brasileira.** Revista Brasileira De Geografia, 39(2): 3-40, 1977.

USGS. **Landsat Missions.** Disponível em: <<https://www.usgs.gov/land-resources/nli/Landsat/Landsat-8>>. Acesso em: 18Jul2019.

ZANI, H. **Deteção e caracterização do megaleque Viruá (RR) com dados multisensores e geológicos: influência nos padrões atuais de vegetação.** São José dos Campos, 2013. 145p. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

ZANI, H.; MARINHO, R. R. & GAVLAK, A. A. **Avaliação de métodos para extração de corpos d'água e áreas inundadas em imagens Landsat-TM.** In: VIII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, Belo Horizonte-MG, 2010. Anais, Belo Horizonte-MG, CD-ROM.