

J A H E C

JOURNAL
OF APPLIED
HYDRO-ENVIRONMENT
AND CLIMATE
v1. n1



Rio Marataúira – Abaetetuba
Milena Andrade



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E DE ENERGIAS RENOVÁVEIS
Av. Tancredo Neves, nº 2501 – Terra Firme – CEP: 66.077-830 – Belém-PA



Journal of Applied Hydro-Environment and Climate
Jornal Aplicado em Hidro-Ambiente e Clima
v.1, n.1
Janeiro/Junho
2019



Journal of Applied Hydro-Environment and Climate Jornal Aplicado em Hidro-Ambiente e Clima

O Journal of Applied Hydro-Environment and Climate - Jornal Aplicado em Hidro-Ambiente e Clima foi criado em 2018 pelo curso de Engenharia Ambiental e Energias Renováveis e é um periódico publicado pela Pró-Reitoria de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

Imagem da Capa: Rio Maratauíra, Abaetetuba - Pará
Foto: Milena Andrade

Editora-Chefe

Milena Marília Nogueira de Andrade

Editora Adjunta

Suzana Romeiro Araújo

Corpo Editorial

Ana Cláudia Moreira Teodoro

Caroline Arantes

Claudio Szlafsztein

Leonardo Ramirez-Lopez

Maria Nazaré Maciel

Marcelo Eduardo Dantas

Ofelia Pérez Montero

Oswaldo Guedes Filho

Editores de Seção

Adriano Marlison

Aline Maria Meiguins de Lima

Celene Milanes

Diego Maia Zacardi

Edson José Paulino da Rocha

João de Athaydes Silva Junior

Orleno Marques da Silva Junior

Pedro Silvestre da Silva Campos

Vania Neu

APRESENTAÇÃO

O Journal of Applied Hydro-Environment and Climate - Jornal Aplicado em Hidro-Ambiente e Clima vem apresentar ao leitor seu primeiro volume e número trazendo quatro artigos científicos nos temas de gestão ambiental, uso e conservação do solo e modelagem ambiental em bacia hidrográfica. Esta edição de lançamento visa abordar temas importantes para a discussão do meio físico e biótico na Amazônia.

A gestão ambiental é tratada por Ponte e colaboradores a partir da análise das variações temporais da abundância de larvas de três grupos de peixes em um lago de inundação utilizado como área de reprodução, em Santarém-PA. Já o tema de modelagem ambiental é abordado a partir do uso de geotecnologias em São Luís do Maranhão no artigo de Araújo & Bezerra para verificar áreas de inundação a partir de uma simulação de aumento do nível do mar.

A qualidade do solo sob diferentes usos e manejos foi analisada por Araújo e colaboradores no município de Paragominas-PA, visando auxiliar nas estratégias de conservação do solo e de desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. Silva e colaboradores realizaram o mapeamento do uso e cobertura do solo no município de Abaetetuba-PA objetivando analisar a expansão urbana a partir do recorte de Áreas de Preservação Permanente e identificação de áreas aterradas.

Gostaríamos de agradecer a todos os profissionais de instituições diversas que colaboraram a partir de parecer ad hoc, ao apoio do Instituto Ciberespacial em nome de seu diretor Prof. Dr. Pedro Campos e da Pró-Reitoria de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, em nome da Prof. Dra. Nazaré Maciel, e à Editora-Chefe da Revista de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia, Prof. Dra. Rafaelle Fazzi Gomes por todo o apoio para a publicação na realização deste primeiro volume.

Milena Marília Nogueira de Andrade
Editora-Chefe

Suzana Romeiro Araújo
Editora Adjunta

Artigos

Articles

[Variação temporal de larvas de peixes de um lago de inundação como subsídio à gestão ambiental](#)

Temporal variation of fish larvae from a flooding lake as grant to environmental management

Silvana Cristina Silva da Ponte, Lucas Silva de Oliveira, Diego Maia Zacardi

[Simulação de inundação em uma bacia hidrográfica costeira](#)

Flood Simulation of a Coastal Hydrographic Basin

Naíla Arraes de Araujo, Denilson da Silva Bezerra

[Atributos físico-químicos do solo em áreas de conversão da Amazônia Oriental em pastagem e plantio direto](#)

Soil chemical and physical attributes in areas of Eastern Amazon conversion in pasture and no-tillage

Suzana Romeiro Araújo, Augusto José Silva Pedroso, Ismael Ramalho Soares, Sueli Rodrigues, Eiky Tatsuya de Moraes, Lorena Chagas Torres

[Análise do Uso e Ocupação do Solo e Mapeamento de Áreas Aterradas em Abaetetuba \(PA\)](#)

Analysis of land use and soil occupation and mapping of landfill areas in Abaetetuba (PA)

Thamna Maíra Lourinho Silva, Maurício da Silva Borges, Milena Marília Nogueira de Andrade, Thiago José Costa da Costa

Variação temporal de larvas de peixes de um lago de inundação como subsídio à gestão ambiental

Temporal variation of fish larvae from a flooding lake as grant to environmental management

Silvana Cristina Silva da Ponte* ¹|Lucas da Silva Oliveira ²|Diego Maia Zacardi ³

Resumo

Os lagos de inundação são utilizados como áreas de reprodução e crescimento para a ictiofauna e por isso, podem servir como um determinante importante nos esforços de conservação, manutenção e gestão de estoques de peixes locais. Neste contexto, o trabalho tem como objetivo analisar as variações temporais da abundância de larvas de três grupos de peixes (Characiformes, Clupeiformes e Acanthuriformes) no lago Maicá, buscando compreender processo de recrutamento e auxiliar as políticas de gestão ambiental em ambientes de várzea no Baixo Amazonas, Pará. As coletas foram realizadas mensalmente, no período diurno e noturno, durante o ano de 2015, em nove estações de amostragem localizadas no lago Maicá, próximo a cidade de Santarém, (Pará, Brasil), por meio de arrastos horizontais na subsuperfície da coluna d'água, com rede de plâncton (300 µm). Foram capturadas 6.961 larvas de peixes, desse total 5.709 indivíduos foram utilizados no estudo (2.984 - Characiformes, 52,27%; 2.191 - Clupeiformes, 38,38% e 534 - Acanthuriformes, 9,35%), ambos os grupos tiveram contribuição de indivíduos em diferentes estágios de desenvolvimento. Os dados indicam que os grupos de larvas apresentam comportamento diferenciado quanto ao padrão de variação da densidade na distribuição temporal, com ocorrência vinculada a sazonalidade dos momentos do ciclo hidrológico local. O lago Maicá, portanto, é uma importante área de criadouro natural para diversas espécies de importância ecológica e econômica dentro do grupo dos Characiformes, Clupeiformes e Acanthuriformes. Assim, medidas futuras de gestão e ordenamento dos recursos pesqueiros devem considerar a importância dos momentos do ciclo hidrológico para o recrutamento biológico e a proteção integral desse ambiente lacustre, evidenciando a necessidade de sua conservação para a manutenção da ictiofauna da região.

Palavras-chave: Ictioplâncton, variação mensal, sazonalidade, ciclo hidrológico, berçário, Baixo Amazonas.

Abstract

The flooding lakes are used as breeding and growth areas for the ichthyofauna, because of this it can serve like an important determinant in the conservation, maintenance and stock management of local fish. In this context, the work has as objective analyses the temporal variations of fish larvae

¹ Engenheira de Pesca, Laboratório de Ecologia do Ictioplâncton, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Pará. silvanacristinasp@hotmail.com. *Autor para correspondência

² Graduando em Ciências Biológicas, Laboratório de Ecologia do Ictioplâncton, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Pará. lucasmcdpa@gmail.com

³ Professor/Orientador, Laboratório de Ecologia do Ictioplâncton, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Pará. dmzacardi@hotmail.com

Recebido: 06/02/2019; Aceito: 22/05/2019; Publicado: 03/06/2019

abundance from three fish groups (Characiformes, Clupeiformes and Acanthuriformes) in Maicá Lake, seeking to understand the recruitment process and assist environmental management policies in várzea environments at Lower Amazon, Pará. The collections were realized monthly, daytime and nighttime during the year of 2015, in nine sample stations localized at Maicá Lake, near the Santarém city (Pará, Brazil), through horizontal trawls in the water column subsurface, with plankton net (300 µm). It was caught 6,961 fish larvae, from this total 5,709 individuals were used in the study (2,984 – Characiformes, 52.27%; 2,191 - Clupeiformes, 38.38% e 534 - Acanthuriformes, 9.35%), both groups had individual's contribution in different development phases. The data indicates that larvae groups presents differentiated behavior about standard od density variation in the temporal distribution, with occurrence associated to seasonality from local hydrological cycle moments. The Maicá Lake, therefore, is an important nursery area for diverse species which has ecologic and economic importance inside the Characiformes, Clupeiformes e Acanthuriformes groups. Thus, future measures of management and planning of fishery resources must considerate the importance of hydrological cycle moments for biological recruitment and full protection to this lake environment, highlighting the conservation needs to the regional ichthyofauna.

Keywords: Ichthyoplankton, monthly variation, seasonality, hydrological cycle, nursery, Lower Amazon.

INTRODUÇÃO

Os lagos amazônicos das áreas inundáveis desempenham um papel fundamental no processo de disponibilização de matéria orgânica para o sistema rio-planície-rio, constituindo assim, ambientes de grande importância para a pesca, de tal forma que são essenciais para as populações ribeirinhas que habitam as várzeas (Batista *et al.*, 2012; Vaz *et al.*, 2017). Esses sistemas lacustres representam, hoje, uma das principais fontes primárias das cadeias tróficas que sustentam a biodiversidade de peixes amazônicos (Tribuzy-Neto *et al.*, 2018).

Nos últimos anos, estudos têm evidenciado a importância dos lagos de várzea nos processos de recrutamento de várias espécies de peixes (Mounic-Silva e

Leite, 2013; Zacardi, 2014; Pinheiro *et al.*, 2016), sendo o entendimento de como as comunidades ícticas estão estruturadas nos sistemas rio-planície de inundação, e os processos ecológicos que as regulam, um grande desafio nos estudos de ecologia aquática contemporânea em regiões tropicais (Junk *et al.*, 1989; Thomaz *et al.*, 2007).

As áreas de recrutamento devem garantir o sucesso nas fases iniciais do ciclo de vida, através da soma de ao menos dois de quatro fatores: densidade elevada, rápido crescimento, altas taxas de sobrevivência e sucesso na dispersão e migração para os habitats da população adulta (Beck *et al.*, 2001). Neste sentido, o recrutamento é essencial na ciência pesqueira, constituindo uma das ferramentas

mais adequadas para o gerenciamento de estoques comercialmente exploráveis (Fonteles-Filho, 2011).

No que se refere aos lagos de várzea, aspectos que podem assegurar o sinergismo desses fatores incluem: proteção contra predadores em potencial (Oliveira e Goulart, 2000; Vega-Corredor, 2004); sítios de forrageamento (Junk *et al.*, 1997; Leite *et al.*, 2006); proximidade com os rios e a planície alagada, habitats onde a população adulta reside (Agostinho e Zalewski, 1996; Lucas e Baras, 2001; Gomes *et al.*, 2012), o que aumentaria o sucesso nos eventos de migração (Welcomme, 1979; Cox-Fernandes, 1997); e capacidade de suportar elevadas densidades de juvenis (Mounic-Silva e Leite, 2013; Pinheiro *et al.*, 2016).

Contudo, sabe-se que no contexto atual a intensa ocupação humana ameaça à integridade dos ambientes lacustres de várzea e o desempenho das suas funções ecológicas (Martinez, 2002; Castello e Macêdo, 2015; Vaz *et al.*, 2017), por meio da pressão de uso, da ocupação, da exploração e dos impactos que exercem sobre o ecossistema, consistindo em irreparáveis prejuízos de caráter financeiro, social e ambiental.

O presente trabalho tem como objetivo analisar as variações temporais na abundância de larvas de três grupos de peixes (Characiformes, Clupeiformes e Acanthuriformes) presentes em distintas fases do ciclo hidrológico no lago Maicá, ambiente de várzea no Baixo Amazonas, com o intuito de compreender os processos de

recrutamento, o papel do ecossistema lacustre para o desenvolvimento dos estágios iniciais do ciclo de vida das espécies desses grupos, orientar medidas de ordenamento pesqueiro e auxiliar as políticas de gestão ambiental, manejo e conservação dos recursos naturais.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado na bacia do lago Maicá, que integra a região Ituqui/Maicá, situada entre as latitudes 54° 35'49" W e 54° 16'93" W e longitudes 02° 43'79" S e 02° 26'44" S, destacando-se as nove estações de coleta (Figura 1). O lago está localizado, em parte, no lado oeste do perímetro urbano da cidade de Santarém, no estado do Pará, na margem direita do rio Amazonas e se estende até o encontro do Paraná do Ituqui. Este ambiente lacustre possui cerca de 161 km² de área aquática disponível (Isaac e Cerdeira, 2004), está inserido em uma região de várzea periodicamente inundável de dezembro a junho, cujas águas são de origem do rio Amazonas com forte influência da foz do rio Tapajós.

Na região do entorno do lago, existem aproximadamente 21 comunidades, dentre estas estão alguns bairros, que apresentam núcleos e infraestrutura de uso comum, organizadas em torno de uma liderança constituída através de eleição. Essas comunidades vivem da agricultura e de atividades extrativistas como a pesca, e que atualmente enfrentam conflitos

socioambientais ligados à possibilidade de construção e implantação de um porto graneleiro que poderá induzir a mudanças ambientais importantes no ecossistema aquático, tendendo futuramente a comprometer as áreas e atividades de pesca, com reflexos diretos sobre as atividades econômicas de aproximadamente 1.500 pescadores artesanais que dependem quase que exclusivamente dessa atividade na região (Sousa *et al.*, 2017; Vaz *et al.*, 2017).

Segundo a classificação de Köppen o clima local é do tipo Am (seco e úmido), com

baixas amplitudes térmicas. Apresenta uma precipitação anual acumulada superior a 2.000 mm, com período mais chuvoso correspondente aos meses de dezembro a junho e o menos chuvoso de julho a novembro (Silva *et al.*, 2016). A oscilação média do nível das águas do lago é marcada pelo pulso de inundação dos rios da região, dividida em quatro momentos: enchente (dezembro a março), cheia (abril a junho), vazante (julho a setembro) e seca (outubro e novembro) (Figura 2) (Bentes *et al.*, 2018).

Figura 1. Localização da área de estudo, com destaque para as estações de amostragem no lago Maicá, próximo à cidade de Santarém, na região do Baixo Amazonas, Pará.

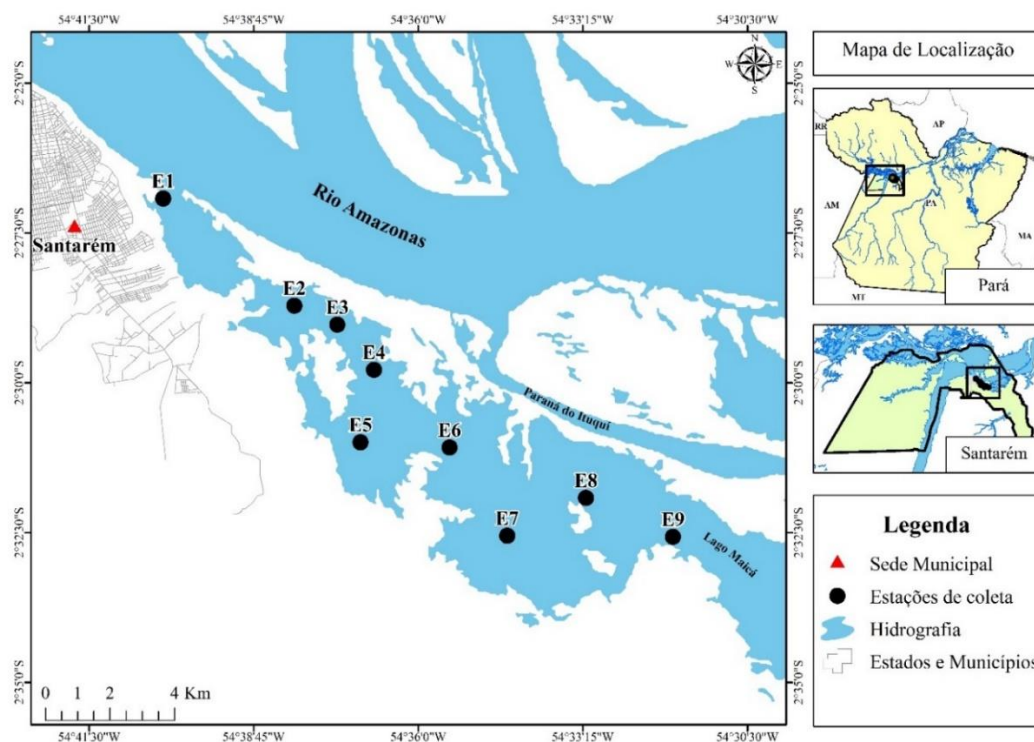
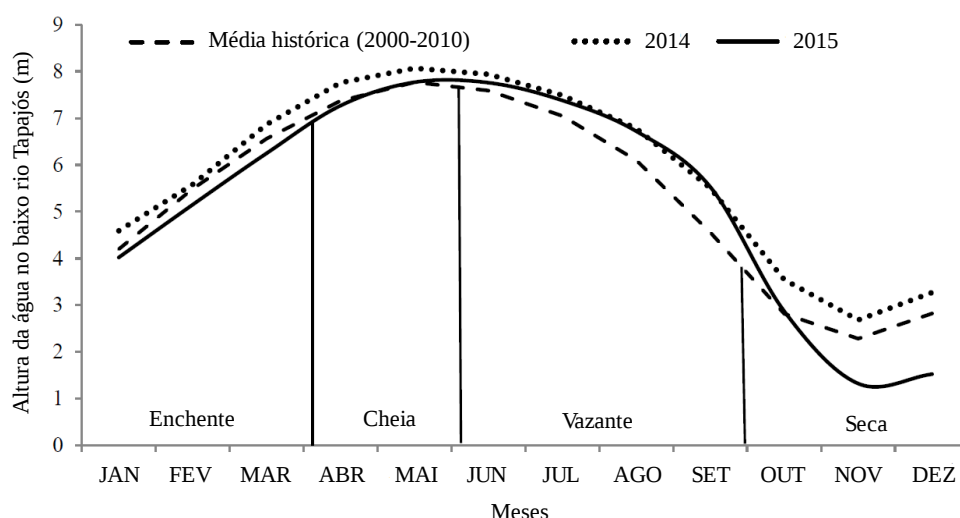


Figura 2. Curva de variação da altura da água no ciclo hidrológico do trecho baixo do rio Tapajós, confluência com rio Amazonas, Santarém-PA em comparação a série histórica (2000 a 2015) e aos anos de 2014 e 2015.



Fonte: Bentes et al. (2018).

Coleta e processamento do material biológico

Os espécimes analisados foram obtidos mensalmente durante os meses de janeiro a dezembro de 2015, em nove estações de amostragem, com distância média de 400 m entre as estações. As coletas foram realizadas em ciclo diurno (7:00 as 17:00 h) e noturno (20:00 as 2:00 h), perfazendo 18 amostras por mês e 216 ao final do estudo. Dados do nível fluviométrico foram obtidos através da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil no município de Santarém (PA).

Para a coleta do material biológico foi utilizado rede de plâncton do tipo cônico-cilíndrica de malha de 300 µm e fluxômetro acoplado à boca para obtenção do volume de água filtrada, a qual foi arrastada horizontalmente na subsuperfície da coluna d'água por aproximadamente 5 minutos, a bordo de uma embarcação local, em velocidade

baixa e constante para garantir maior eficiência na captura.

As amostras obtidas foram submetidas à benzocaína (250 mg/L), e logo, preservadas em formol 10% tamponado com carbonato de cálcio e acondicionadas em frascos de 500ml devidamente etiquetados e transportadas para o laboratório.

Em laboratório, as amostras foram triadas, quantificadas e identificadas seguindo a técnica de sequência de desenvolvimento proposta por Ahlstrom e Moser (1976) modificado por Nakatani *et al.* (2001), utilizando bibliografias especializadas como Araújo-Lima e Donald (1988), Araújo-Lima (1991), Araújo-Lima *et al.* (1993), Nakatani *et al.* (2001) e Orsi *et al.* (2016).

Foram analisados 5.709 indivíduos com comprimento padrão variando de 2,8 a 24 mm, separados em estágios de desenvolvimento, de acordo com o grau de flexão da notocorda, segundo a terminologia descrita e proposta por Kendall Jr. *et al.* (1984)

e Nakatani *et al.* (2001) em larval vitelino, pré-flexão, flexão e pós-flexão.

Análise dos dados

As estimativas de variação temporal das larvas de peixes foram baseadas na densidade de larvas capturadas, padronizada para o volume de 10m³ de água filtrada (Bialetzki *et al.*, 2015). Para verificar a distribuição da densidade de larvas e dos estágios de desenvolvimento entre os meses de amostragem foi aplicada uma análise de variância unifatorial (ANOVA *one-way*), considerando os meses e os estágios ontogênicos como fatores. A transformação log (x + 1) foi necessária para a normalização dos dados e estabilização das variâncias (Peters, 1986). O Teste *a posteriori* de Tukey foi utilizado sempre que diferenças significativas ($P < 0,05$) foram detectadas, utilizando o *software* STATISTICA 7.0 para as análises (Statsoft, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No decorrer do estudo foram capturadas 6.961 larvas de peixes, dessas 5.709 foram identificadas como pertencentes as ordens Characiformes (2.984; 52,27%), Clupeiformes (2.191; 38,38%) e Acanthuriformes (534; 9,35%) (Figura 3), as quais ocorreram em quase todos os meses amostrados.

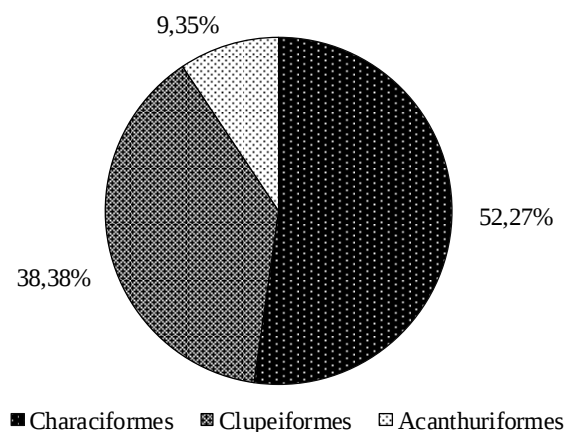
Os peixes pertencentes a esses grupos são comuns em ambientes lacustres de áreas de várzea amazônica, embora apresentem

variações na composição e número de espécies entre os corpos d'água (Lowe-McConnell, 1999; Agostinho *et al.*, 2007; Soares *et al.*, 2008), com espécies largamente exploradas pela pesca de subsistência e comercial gerando alimento e renda para diversas famílias ribeirinhas (Barthem e Fabré, 2004; Vaz *et al.*, 2017).

Esses três grupos possuem hábito planctônico durante os primeiros estágios de desenvolvimento de seu ciclo de vida (Lima e Araújo-Lima, 2004; Bialetzki *et al.*, 2005; Severi e Verani, 2006), e ambos utilizam as áreas de canais de lago e lagos da planície inundável como locais de berçário e crescimento (Leite *et al.*, 2006; Zacardi, 2014; Goulding *et al.*, 2018), pois são áreas que apresentam condições favoráveis ao desenvolvimento larval como disponibilidade de alimento, baixa correnteza e menor pressão de predação (Werner, 2002; Reynalte-Tataje *et al.*, 2008).

A densidade de larvas de Characiformes apresentou diferença significativa (ANOVA; $F = 17,97$; $p < 0,04$), sendo capturadas em quase todos os meses de amostragem, com exceção do mês de novembro (seca), e teve pico de densidade registrado em dezembro (21,24 larvas/10m³) e janeiro (9,05 larvas/10m³) (Tukey, $p < 0,05$), coincidindo com o aumento do nível das águas e o início do ciclo anual de chuvas na região, período de maior abundância larval dos Characiformes migradores.

Figura 3. Participação percentual de larvas de Characiformes, Clupeiformes e Acanthuriformes capturadas de janeiro a dezembro de 2015, no lago Maicá, Santarém, Pará.



Os Clupeiformes ocorreram em maior abundância durante os meses subsequentes ao pico de reprodução dos Acanthuriformes com registro de diferença significativa ($F=11,01$; $p < 0,05$), nos meses de outubro (18,58 larvas/10m³) e novembro (6,44 larvas/10m³) (Tukey, $p < 0,05$), momento final da vazante e seca (Figura 4).

O período de enchente dos rios amazônicos é fundamental para a atividade reprodutiva de muitas espécies de peixes, principalmente dos Characiformes, momento em que os indivíduos adultos se deslocam dos lagos e tributários até a calha do rio Amazonas para desovarem e suas larvas derivam pelas margens até atingirem a área de inundação (Zacardi *et al.*, 2017 a, b, c; Ponte *et al.*, 2017). Esse carregamento larval ocorre devido a direção das correntes ao longo dos canais de conexão (rio-planície) ou pelo transbordamento das águas laterais através da vegetação inundada (Araújo-Lima e Oliveira 1998; Lima e Araújo-Lima 2004).

Fato que justifica os elevados valores de abundância desse grupo encontrados durante o início do ciclo das chuvas e o aumento do nível hidrológico na região.

Além do evento da entrada de larvas provenientes do rio Amazonas no lago Maicá, muitas outras espécies também se reproduzem no próprio lago, o que contribui para a ocorrência de picos isolados de larvas de espécies não migradoras, como os Acanthuriformes, que foram registradas no mês de agosto, momento de redução do nível da água (período de vazante). Ressalta-se, que os lagos de várzea, geralmente, são margeados por diversos estandes de macrófitas aquáticas responsáveis por garantir produção biológica suficiente para o sustento das larvas.

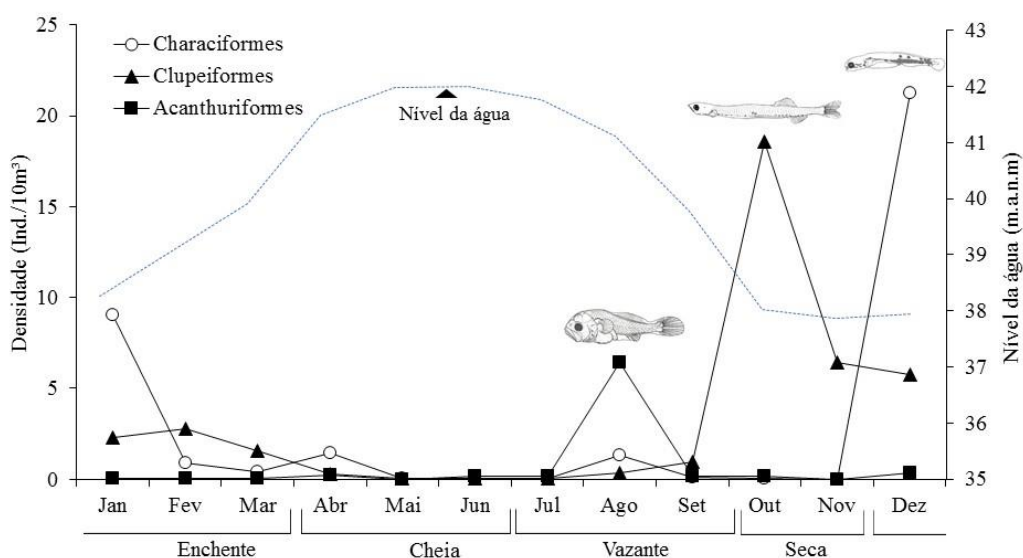
Delariva *et al.*, (1994) registraram juvenis de espécies de pescada (Acanthuriformes, Sciaenidae) associados a bancos de macrófitas aquáticas, indicando possivelmente que este habitat proporciona condições favoráveis ao desenvolvimento em função de oferecerem alimento abundante e grande quantidade de abrigo.

Diferentemente dos demais grupos, os Clupeiformes apresentaram pico larval durante os meses de outubro e novembro caracterizados pela supressão do corpo d'água. Alguns estudos têm evidenciado a reprodução destes peixes durante o período mais extremo do ciclo hidrológico e de menor área alagada disponível (Santos *et al.*, 2004; Le Guennec e Loubens, 2004). Essa antecipação do período reprodutivo pelo

menos para espécies de *Pellona* (Pristigasteridae, Clupeiformes) pode permitir que a prole atinja um tamanho suficiente a ponto deles se alimentarem de larvas das demais espécies de peixes amazônicos que se reproduzem nos momentos subsequentes de seca, a enchente-cheia dos lagos e rios.

Os distintos momentos do ciclo hidrológico afetam diretamente a comunidade de peixes, influenciando nas respostas fisiológicas e comportamentais dos organismos e/ou diretamente nos padrões de distribuição e abundância das espécies (Reynalte-Tataje *et al.*, 2013).

Figura 4: Variação da distribuição temporal da densidade de larvas de Characiformes, Clupeiformes e Acanthuriformes capturadas de janeiro a dezembro de 2015, no lago Maicá, Santarém, Pará (m.a.n.m. = metros acima do nível do mar).



Com relação ao desenvolvimento, as larvas em estágio de pré-flexão (96,11%) predominaram em relação aos demais (larval vitelino - 2,55%, pós-flexão - 0,84% e flexão - 0,50%). O padrão de distribuição temporal das larvas de Characiformes demonstrou predominância de indivíduos em estágio larval vitelino no mês de janeiro e de pré-flexão no mês de dezembro, sendo detectada diferença significativa (ANOVA; $F=3,522$; $p=0,022$), devido as menores capturas de larvas em estágio de flexão (Tukey, $p < 0,05$) em comparação aos demais estágios (Figura 5A).

As larvas de Acanthuriformes também foram encontradas em diferentes estágios de desenvolvimento, com predomínio de indivíduos em pré-flexão (46,82%), seguido por flexão (43,82%), pós-flexão (7,30%) e larval vitelino (2,06%). As maiores densidades de indivíduos em estágio larval vitelino, flexão e pós-flexão ocorreram no mês de agosto (Figura 5B). Não foi detectado diferença significativa na variação temporal da densidade de larvas por estágio de desenvolvimento para este grupo (ANOVA, $p > 0,05$).

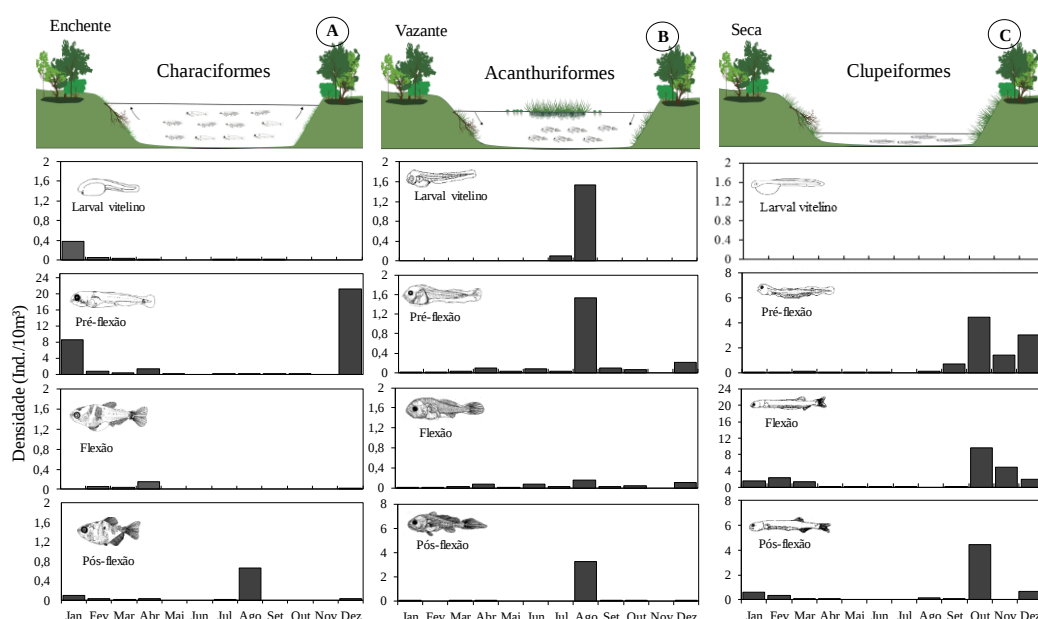
No grupo dos Clupeiformes registrou-se o predomínio dos estágios de flexão (48,52%), seguido por pré-flexão (40,71%) e pós-flexão (10,77%), indivíduos com a presença de vitelo não foram capturados. As maiores densidades de larvas em flexão e pós-flexão foram registradas nos meses de outubro e novembro (Figura 5C), momento final da vazante em que os níveis de cota da água alcançam seus menores valores. Também, não foi detectado diferença significativa na variação temporal da densidade de larvas por estágio de desenvolvimento para este grupo (ANOVA, $p > 0,05$).

A ocorrência de larvas de peixes em todos os estágios de desenvolvimento, sobretudo aquelas em estágio de pré-flexão indicam que o lago Maicá é utilizado como local de berçário (criação) para os peixes da região, concentrando e recebendo as larvas das áreas de desovas nos rios adjacentes ou dentro do próprio lago. Entretanto, a captura

de indivíduos em estágio de flexão, sugere que as larvas estão conseguindo se desenvolver neste ambiente. Todavia, a baixa participação de indivíduos em estágio mais avançado (pós-flexão) deve-se, provavelmente, ao aumento da capacidade natatória que as larvas adquirem nessa fase do desenvolvimento o que permite maior agilidade e fuga do apetrecho de coleta, ou então, como consequência de estarem explorando áreas de floresta alagada e macrófitas flutuantes, habitats não explorados no presente estudo.

Mudanças ontogenéticas na ictiofauna podem conduzir comportamentos e estratégias temporais em ambientes lacustres, seguindo seus padrões de recrutamento e estratégias sazonais de reprodução (Leite *et al.*, 2006; Maciel, 2010). Mas, as respostas reprodutivas das espécies são amplamente variáveis e acompanham as condições ambientais da área de vida da população adulta e recrutada pela pesca.

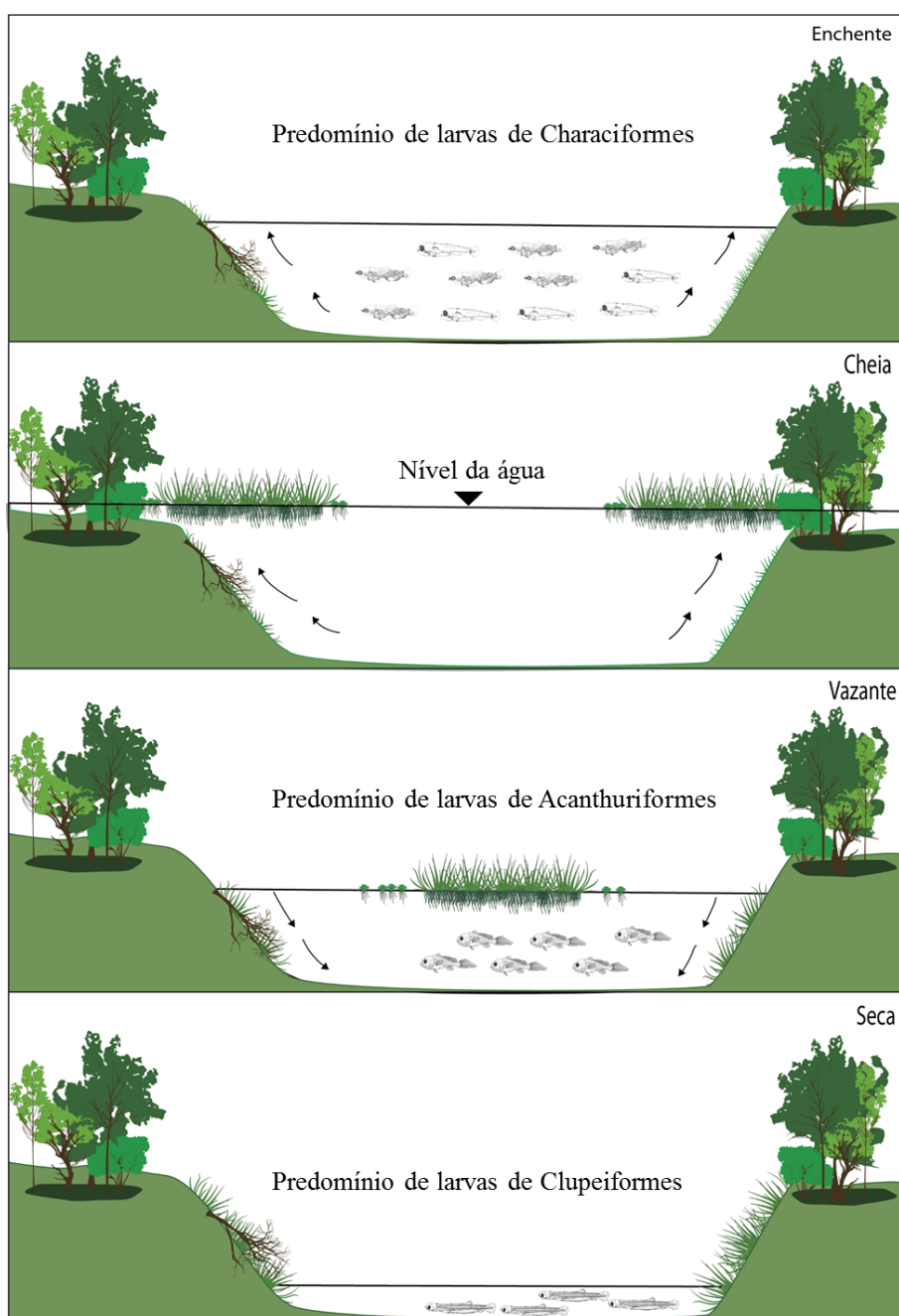
Figura 5: Distribuição dos estágios de desenvolvimento inicial de Characiformes (A), Acanthuriformes (B) e Clupeiformes (C) capturados de janeiro a dezembro de 2015, no lago Maicá, Santarém, Pará.



Os dados apontam que os grupos de larvas apresentam comportamento diferenciado, com padrão de distribuição temporal e ocorrência vinculada a sazonalidade dos momentos do ciclo hidrológico local (Figura 6). Dessa forma, o conjunto de táticas reprodutivas e os mecanismos de distribuição temporal/sazonal

adotados no recrutamento pelas espécies, são essenciais para o sucesso das futuras proles e condicionam a estrutura e abundância da produção pesqueira, bem como a composição da comunidade íctica local.

Figura 6: Esquematisação da distribuição sazonal de larvas de Characiformes, Clupeiformes e Acanthuriformes capturadas de janeiro a dezembro de 2015, no lago Maicá, Santarém, Pará.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do presente trabalho demonstram que as fases iniciais dos diversos grupos de peixes estudados estão relacionadas com o lago Maicá em diferentes épocas do ano e estágios do desenvolvimento larval, consistindo em um ambiente com status de berçário para espécies de peixes do Baixo Amazonas. Desta forma, a importância da conservação deste ambiente está associada não só a melhoria da qualidade ambiental, como também a consequente manutenção de populações de espécies exploradas pela pesca regional, como fonte de proteína e alternativa de renda para a população circunvizinha e demais usuários.

O monitoramento e a fiscalização adequada da atividade pesqueira e das ações antrópicas dispostas no entorno do lago poderão garantir a manutenção destes recursos naturais e, neste sentido, recomenda-se a realização de estudos mais abrangentes, para refinar as informações apresentadas nesse trabalho e preencher lacunas de conhecimento sobre a ecologia das larvas presentes no lago Maicá. Tais informações poderão servir de subsídio para tomadas de decisões, sobretudo visando a sustentabilidade ambiental, a conservação de espécies e a elaboração de planos de gestão pesqueira.

REFERÊNCIAS

Agostinho AA, Gomes LC, Pelicice FM (2007) *Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatório do Brasil*. Eduem, Maringá, 501 pp.

Agostinho AA, Zalewski M (1996) *A planície alagável do alto rio Paraná: importância e preservação*. Eduem, Maringá, 100 pp.

Ahlstrom EH, Moser HG (1976) Eggs and larvae of fishes and their role in systematic investigations and in fisheries. *Revue des Travaux de L'Institut des Peches Maritimes* 40(3):379-398.

Araújo-Lima CARM (1991) A larva da branquinha comum, *Potamorhina latior* (Curimatidae, Pisces) da Amazônia Central. *Revista Brasileira de Biologia* 51:45-56.

Araújo-Lima CARM, Donald E (1988) Número de vértebras de Characiformes do rio Amazonas e seu uso na identificação de larvas do grupo. *Acta Amazonica* 18(1-2):351-358.

Araújo-Lima CARM, Kirovsky AL, Marca AG (1993) As larvas dos pacus, *Mylossoma* spp. (Teleostei; Characidae), da Amazônia Central. *Revista Brasileira de Biologia* 53:591-600.

Araújo-Lima CARM, Oliveira EC (1998) Transport of larval fish in the Amazon. *Journal of Fish Biology* 53:297-306.

Barthem RB, Fabré NN (2004) *Biologia e diversidade dos recursos pesqueiros da Amazônia*. In: Ruffino, ML, A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia brasileira. Ibama, Manaus, p.17-62.

Batista VS, Isaac VJ, Fabré NN (2012) *A Produção Desembarcada por Espécie e sua Variação por Macrorregião Amazônica*. In: Batista VS, Isaac VJ, Fabré NN, Gonzalez JCA, Almeida OT, Rivero S, Júnior JNO, Ruffino ML, Silva CO, Saint-Paul U, Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avaliação integrada, Ibama, Brasília, p.105-133.

Beck MW, Heck KLJ, Able KW, Childers DL, Eggleston DB, Gillanders BM, Halpern B, Hays CG, Hoshino K, Minello TJ, Orth RJ, Sheridan PF, Weinsetin MP (2001) The identification, conservation and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *Bioscience* 51:633-641.

Bentes KLS, Oliveira LL, Zacardi DM, Barreto NJC (2018) The relationship between hydrologic variation and fishery resources at the lower Amazon, Santarém, Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física* 11(4):1478-1489.

- Bialetzki A, Nakatani K, Sanches PV, Baumgartner G, Gomes LC (2005) Larval fish assemblage in the Baía River (Mato Grosso do Sul State, Brazil): temporal and spatial patterns. *Environmental Biology Fishes* 73:37-47.
- Bialetzki A, Reynalte-Tataje DA, Oliveira EC, Zaniboni-Filho E, Baumgartner G, Makrakis MC, Sanches PV, Leite RG, Severi S (2015) Protocolo mínimo de amostragem do ictioplâncton de água doce para estudos de levantamento, inventário e monitoramento ambiental para implantação de empreendimentos hidrelétricos. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ictiologia* 113:32-34.
- Castello L, Macedo MN (2015) Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. *Global Change Biology* 22(3):990-1007.
- Cox-Fernandes C (1997) Lateral migration of fishes Amazon floodplains. *Ecology of Freshwater Fish* 6:36-44.
- Delariva R, Agostinho AA, Nakatani K, Baumgartner G (1994) Ichthyofauna associated to aquatic macrophytes in the Upper Paraná River floodplain. *Revista Unimar* 3:41-60.
- Fonteles-Filho AA (2011) *Oceanografia, Biologia e Dinâmica Populacional de Recursos Pesqueiros*. Expressão Gráfica e Editora, Fortaleza, 464 pp.
- Gomes LC, Bulla CK, Agostinho AA, Vasconcelos LP, Miranda LE (2012) Fish assemblage dynamics in a Neotropical floodplain relative to aquatic macrophytes and the homogenizing effect of a flood pulse. *Hydrobiologia* 685:97-107.
- Goulding M, Venticinque E, Ribeiro MLDB, Barthem RB, Leite RG, Forsberg B, Petry P, Silva-Júnior UL, Ferraz PS, Cañas C (2019) Ecosystem-based management of Amazon fisheries and wetlands. *Fish and Fisheries* 20(1):138-158.
- Junk WJ, Bayley PB, Sparks RE (1989) The flood pulse concept in river floodplain systems. *Can Journal of Fisheries and Aquatic Science* 106:110-127.
- Junk WJ, Soares MGM, Saint-Paul U (1997) *The central amazon floodplain: ecology of a pulsing system*. Springer-Verlag, Berlin, 125 pp.
- Kendall AW, Ahlstrom EH, Moser HG (1984) *Early life history stages of fishes and their characters*. In: Moser HG, Richards WJ, Cohen DM, Fahay MP, Kendall AW, Richardson SL, Ontogeny and Systematics of Fish. La Jolla (Ca): American Society of Ichthyologists and Herpetologists, p.11-22.
- Le Guennec B, Loubens G (2004) Biologie de *Pellona castelnaeana* (Teleostei: Pristigasteridae) dans le bassin du Mamoré (Amazonie bolivienne). *Ichthyological Exploration of Freshwater* 15(4):369-383.
- Leite RG, Silva JVV, Freitas CE (2006) Abundância e distribuição das larvas de peixes no Lago Catalão e no encontro dos rios Solimões e Negro, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica* 36(4):557-562.
- Lima AC, Araújo-Lima CARM (2004) The distribution of larval and juveniles' fishes in Amazonian rivers of the different nutrient's status. *Freshwater Biology* 49:787-800.
- Lowe-McConnell RH (1999) *Estudos Ecológicos de Comunidades de Peixes Tropicais*. Edusp, São Paulo, 534 pp.
- Lucas MC, Baras E (2001) *Migration of Freshwater Fishes*. Cowx, Oxford, 420 pp.
- Maciel HM (2010) *Reprodução de espécies de peixes em lago de várzea. Manacapuru, AM*. Dissertação (Mestrado em Ciências Pesqueiras nos Trópicos). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 82 pp.
- Martinez GB (2002) *Conflitos na várzea: o caso da criação de búfalos no Baixo Amazonas*. Embrapa, Belém, 27 pp.
- Mounic-Silva CE, Leite RG (2013) Abundance of young-of-the-year migratory Characiforms in floodplain areas of the middle Solimões-Amazon River at flooding 2007/2008. *Journal of Applied Ichthyology* 29:118-124.
- Nakatani K, Agostinho AA, Baumgartner G, Bialetzki A, Sanches PV, Makrakis MC, Pavanelli CS 2001. *Ovos e larvas de peixes de água doce: desenvolvimento e manual de identificação*. Eduem, Maringá, 378 pp.
- Oliveira EF, Goulart E (2000) Distribuição espacial de peixes em ambientes lênticos: interação de fatores. *Acta Scientiarum Biological Science* 22(2):445-453.
- Orsi ML, Almeida FS, Swarça AC, Claro-García A, Vianna NC, Garcia DAZ, Bialetzki A (2016) *Ovos*,

larvas e juvenis de peixes da bacia do rio Paranapanema: uma avaliação para a conservação. Triunfal Gráfica e Editora, Assis, 136 pp.

Peters RK (1986) The role of prediction in limnology. *Limnology and Oceanography* 31(5):143-115.

Pinheiro DT, Corrêa JMS, Chaves CS, Campos DPF, Ponte SCS, Zacardi DM (2016) Diversidade e distribuição da ictiofauna associada a bancos de macrófitas aquáticas de um lago de inundação amazônico, estado do Pará, Brasil. *ActaFish* 4(2):59-70.

Ponte SCS, Silva AJS, Zacardi DM (2017) Áreas de dispersão e berçário para larvas de Curimatidae (Pisces, Characiformes), no trecho baixo do rio Amazonas, Brasil. *Interciência* 42(11):727-732.

Reynalte-Tataje DA, Agostinho AA, Bialezki A (2013) Temporal and spatial distributions of the fish larval assemblages of the Ivinheima River sub-basin (Brazil). *Environmental Biology of Fishes* 96(7):811-822.

Reynalte-Tataje DA, Hermes-Silva S, Silva PA, Bialezki A, Zaniboni-Filho E (2008) *Locais de crescimento de larvas de peixes na região do Alto Rio Uruguai (Brasil)*. In: Zaniboni-Filho E, Nuñez APO, Reservatório de Itá: Estudos ambientais, desenvolvimento de tecnologia e conservação da ictiofauna. Editora UFSC, Florianópolis, p.229-256.

Santos GM, Merona B, Juras AA, Jégu M (2004) *Peixes do baixo rio Tocantins: 20 anos depois da Usina Hidrelétrica de Tucuruí*. Eletronorte, Brasília, 215 pp.

Severi W, Verani NF (2006) Morphological development of *Pellona flavipinnis* post-yolk-sac larvae and juveniles (Clupeiformes: Pristigasteridae). *Zootaxa*, 1126:21-33.

Silva MAG, Guimarães JMJ, Silva NFC, Santos FCV, Ucker FE (2016) Caracterização pluviométrica de Santarém-PA, Brasil. *Renefara* 10:112-120.

Soares MGM, Costa EL, Siqueira-Souza FK, Anjos HDB, Yamamoto KC, Freitas CEC (2008) *Peixes de lagos do Médio Rio Solimões*. Piatam, Manaus, 160 pp.

Statsoft (1999) *Statistica*. Edition Quick References, Tulsa.

Thomaz SM, Bini LM, Bozelli RL (2007) Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. *Hydrobiologia* 579(1):1-13.

Tribuzy-Neto IA, Conceição KG, Siqueira-Souza FK, Hurd LE, Freitas CEC (2018) Condition factor variations over time and trophic position among four species of Characidae from Amazonian floodplain lakes: effects of an anomalous drought. *Brazilian Journal of Biology* 78(2):337-344.

Vaz EM, Zacardi DM, Rabelo YGS, Corrêa JMS (2017) A pesca artesanal no lago Maicá: aspectos socioeconômicos e estrutura operacional. *Biota Amazônia* 7(4): 6-12.

Vega-Corredor MCF (2004). *Influência das variações temporais da disponibilidade relativa de habitats sobre a comunidade de peixes em um lago de várzea da Amazônia Central*. Dissertação (Mestrado em Ciências Pesqueiras nos Trópicos). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 89 pp.

Welcome RL (1979) *Fisheries ecology of floodplain Rivers*. London, Longman, 317 pp.

Werner RG (2002) *Habitat requirement*. In: Fuiman LA, Werner RG, Fishery science: the unique contributions of early life stages, Blackwell science, Oxford, p.161-172.

Zacardi DM (2014) *Abundância e distribuição espaço-temporal de ovos, larvas e juvenis de peixes de interesse econômico no médio rio Solimões e baixo rio Japurá, Amazônia Central, Brasil*. Tese (Doutorado. em Ciência Animal). Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. 121 pp.

Zacardi DM, Ponte SCS, Ferreira LC, Lima MAS, Chaves CS, Silva AJS (2017a) Diversity and spatio-temporal distribution of the ichthyoplankton in the lower Amazon River, Brazil. *Biota Amazônia* 7(2):12-20.

Zacardi DM, Bittencourt SCS, Nakayama L, Queiroz HL (2017b) Distribution of economically important fish larvae (Characiformes, Prochilodontidae) in the Central Amazonia, Brazil. *Fisheries Management and Ecology* 26(3):1-9.

Zacardi DM, Chaves CS, Ponte SCS, Lima MAS (2017c) Spatial and temporal variation of Anostomid larvae (Pisces, Characiformes) in the region of Lower Amazon, Pará, Brazil. *ActaFish* 5(1):91-100.

Simulação de Inundação em uma Bacia Hidrográfica Costeira Flood Simulation of a Coastal Hydrographic Basin

Denilson da Silva Bezerra⁴ | Náila Arraes de Araujo^{*5}

Resumo

A elevação do nível do mar é um efeito característico das mudanças climáticas na zona costeira. As florestas de manguezais são particularmente sensíveis a este processo, uma vez que ocupam uma região compreendida entre o mar e o continente. O Brasil possui a maior área contínua de manguezal do planeta, localizada na área da Amazônia legal, contudo são poucos os estudos brasileiros direcionados a modelagem computacional da resposta do manguezal às mudanças climáticas. Este artigo propõe uma abordagem metodológica para simular os impactos da elevação do mar neste ecossistema, usando modelagem espacialmente explícita baseada em autômatos celulares. Inicialmente é apresentado o modelo conceitual e os procedimentos metodológicos para implementação computacional. A simulação considera 88 passos de elevação de 0.011 a 0.97 m, para o intervalo de tempo de 2012 a 2100, em uma bacia hidrográfica urbana localizada na Ilha do Maranhão, que contém extensa área de manguezal, além de ser densamente urbanizada. Os resultados são apresentados no contexto de alterações nas áreas de manguezal (aumento e redução). As regiões mais vulneráveis da área de estudo correspondem àquelas localizadas na margem esquerda da bacia hidrográfica estudada, que compreende a parte mais antropizada, o que pode ser um indício que as formas de usos e ocupação do solo de origem antrópica podem influenciar no padrão de vulnerabilidade do manguezal à elevação do nível do mar.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, zonas costeiras, autômatos celulares

Abstract

The sea-level rise is a typical effect of climate change in coastal zone. The mangrove forests are particularly sensitive to this, since they are in a region between the sea and the continent. Brazil has the largest mangroves area continues of the planet, located in the area of Legal Amazonia, but few brazilian studies addressing the computational modeling of mangrove response to climate change. This article proposes a methodological approach to simulate the impacts of sea-level rise on mangrove ecosystem, using spatially explicit modeling based on cellular automata. We present the conceptual model and the methodological procedures for computational implementation. The simulation considers 88 elevation steps from 0.011 to 0.97 m, for the time interval 2012 to 2100, in an urban hydrographic basin located in Maranhão Island that contains extensive mangroves area as well as being densely urbanized. The results are presented in the context of changes in mangrove

⁴ Professor Doutor do Mestrado em Meio Ambiente da Universidade CEUMA, São Luís, Maranhão. denilson_ca@yahoo.com.br.

⁵ Professora Doutora do Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, Maranhão. arraes.naila@ufma.br *Autor para correspondência

Recebido: 26/11/2018; Aceito: 20/12/2018; Publicado: 05/06/2019

areas (increasing and decreasing). The most vulnerable regions of the study area correspond to the areas located at the left margin of the studied hydrographic basin which comprises the most entropized part, which may be an indication that the forms of uses and anthropogenic land occupation can influence the pattern vulnerability of mangrove to sea-level rise.

Keywords: Climate change, coastal zone, cellular automata.

INTRODUÇÃO

Um efeito característico das mudanças climáticas na zona costeira é o fenômeno de elevação média global do mar. Este processo é irreversível por pelo menos 1.000 anos como resultado da expansão térmica dos oceanos, mesmo que as atuais taxas de emissões de dióxido de carbono (CO₂) fossem cessadas (Solomon *et al.*, 2009).

A elevação do NMRM (Nível Médio Relativo do Mar) no século XX variou de 0,12 m a 0,22 m e esta elevação poderá oscilar de 0,26 m a 0,59 m até a última década do século XXI. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC-AR5) previu um cenário ainda mais alarmante para o final do século XXI, onde a elevação do NMRM pode chegar a 0,97 m (IPCC, 2013).

O estudo da variação do NMRM tem grande importância para as populações e Estados situados em regiões costeiras, pois viabiliza a compreensão dos impactos das mudanças climáticas nos processos costeiros, como a sedimentação e a erosão, que poderão trazer danos irreversíveis para as populações ribeirinhas e para os ecossistemas costeiros (Neves, 2005).

As formas de uso e ocupação do solo de origem antrópica podem atuar como elemento maximizador dos impactos negativos da elevação do NMRM para o manguezal, pois a ocupação humana tende a inviabilizar a colonização de novas áreas, mesmo quando ocorrem condições propícias à colonização do manguezal em áreas adjacentes, como deslocamento da área de influência das marés, ocorrência de processos de progradação vertical e horizontal de sedimento (McLeod e Salm, 2006; Lovelock e Ellison, 2007).

O Brasil é o segundo país em área total de florestas de manguezais e também, detém a maior área contínua de manguezal do mundo que é localizada no litoral da Amazônia legal, entre a cidade de Belém/PA e São Luís/MA (Nascimento Junior *et al.*, 2013).

Entender o padrão de resistência do ecossistema manguezal aos potenciais impactos das mudanças climáticas para articulação de medidas de conservação/preservação, adaptação e/ou mitigação é um grande desafio.

O uso de modelagem computacional constitui uma ferramenta útil para entendimento antecipado das

consequências da elevação do nível do mar em escala local e regional, pois os experimentos de modelagem podem ser entendidos como um laboratório virtual, onde é possível simular os potenciais impactos, antes que os mesmos se manifestem. Isto se torna significativamente útil principalmente em áreas de difícil acesso e/ou com pouca produção científica (Berger *et al.*, 2008).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A Bacia Hidrográfica Rio Anil (BHRA) está localizada no quadrante NW da Ilha do Maranhão, encontra-se entre as coordenadas 02°29" S, 44°12" W e 02°34" S, 44°18" W limitando-se com a bacia Litorânea ao Norte; com a bacia do Rio Bacanga ao Sul; com a bacia do Rio Paciência a Leste e com a Baía de São Marcos, a Oeste (Figura 1). A BHRA possui uma área total aproximada de 41 Km² e o rio Anil uma extensão de aproximadamente 13,8 Km concentrando a maior área urbanizada relativa da ilha, além de ser a bacia hidrográfica mais densamente urbanizada da capital maranhense (Ross, 1994).

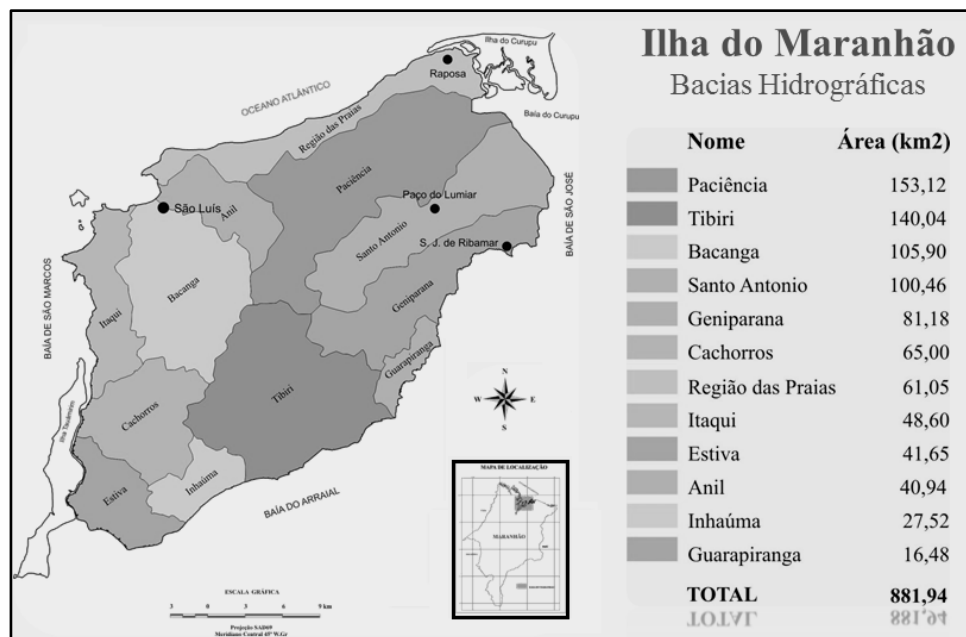
A posição geográfica da Ilha do Maranhão, aliada aos embaiamentos

O objetivo geral da presente pesquisa é simular o padrão de resposta e determinar a capacidade de resistência do ecossistema manguezal à elevação do nível do mar e as consequências desta elevação nas áreas urbanizadas em uma bacia hidrográfica costeira situada no ambiente urbano da região metropolitana da grande São Luís/MA.

costeiros e grande extensão da Plataforma Continental do Pará/Maranhão proporcionam o desenvolvimento de um ambiente de alta energia, dominado por macromarés, semidiurna com amplitudes variando de 4 a 6 m (DHN, 1995).

Segundo a classificação climática de Koppen, o clima da área de estudo é do tipo AW, tropical com inverno seco, apresentando estação chuvosa no verão (novembro – abril) e inverno seco (maio – julho) (Golfari *et al.*, 1978). A precipitação pluviométrica média anual é da ordem de 1.900 mm, sendo que o período chuvoso se estende de janeiro a junho. As temperaturas médias variam entre 26°C e 27°C, e seu regime hidrológico é fortemente influenciado pelo ciclo de marés em cerca de 2/3 da extensão de seu curso, característica comum dos rios da Ilha do Maranhão (Almeida, 1995).

Figura 1. Bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão, com destaque para a Bacia Hidrográfica do Rio Anil.



Fonte: UEMA (2012)

Modelo Conceitual

O padrão de resposta do manguezal à dinâmica de elevação do NMRM depende de fatores como a topografia, área de influência das marés (AIM), cobertura do solo em áreas adjacentes, classes de solos presentes, dinâmica costeira e a taxa média de aumento do NMRM em um determinado local (McLeod e Salm, 2006; Lovelock e Ellison, 2007; Alongi, 2008), assim como, das respostas humanas às mudanças climáticas na zona costeira, como, por exemplo, a construção de diques (Gilman *et al.*, 2008).

Para simular os impactos da elevação do NMRM no manguezal da BHRA, na presente pesquisa é utilizado o modelo BR-MANGUE que foi desenvolvido por Bezerra

(2014) para simular o padrão de resposta do ecossistema manguezal às mudanças climáticas na zona costeira. O BR-MANGUE estratifica os aspectos relevantes para o padrão de resposta do manguezal em quatro componentes (Figura 2): elevação do nível médio relativo do mar (NMRM), formas de uso e ocupação do solo, restrições ambientais e dinâmica do manguezal.

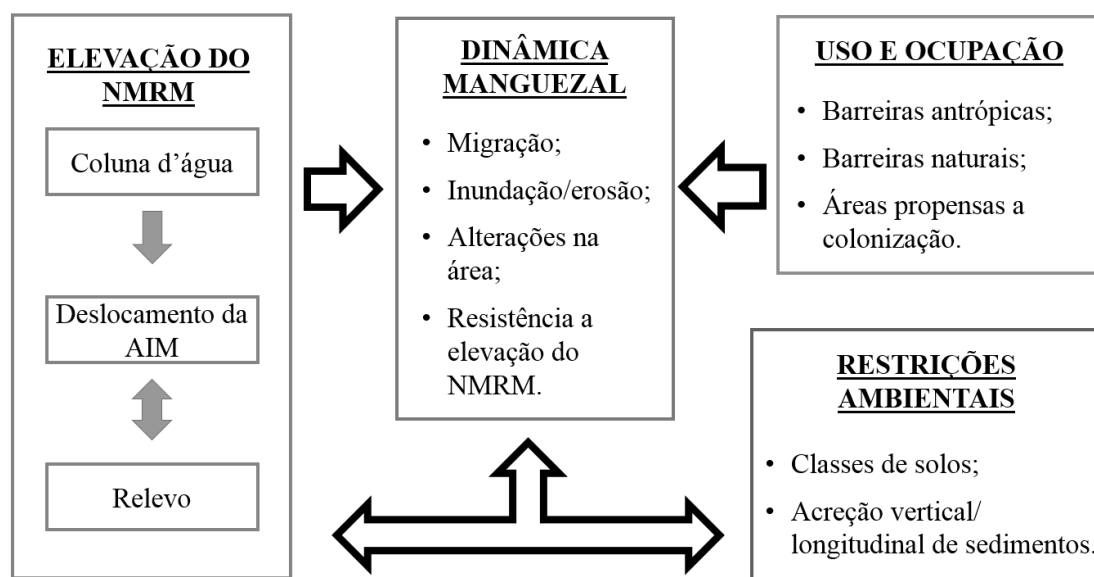
No BR-MANGUE é considerado que o aumento do nível do mar deve atingir as diferentes classes de cobertura do solo em um espaço geográfico. A cada classe de cobertura do solo tem-se associado um potencial de migração ou de barreira para o manguezal, a partir das condições ambientais e oceanográficas presentes. Condições geofísicas das marés e da coluna d'água, e o

mosaico de cobertura do solo condicionam alterações na estrutura ecossistêmica do manguezal como: aumento da coluna de água, o deslocamento da área sobre influência das marés, inundação/erosão do manguezal e eventos de migração do manguezal em direção ao continente e/ou em direção ao canal do rio, conforme literatura científica (Scavia *et al.*, 2002; Alongi, 2008; Gilman *et al.*, 2008; Souza-Filho, 2005).

Este modelo conceitual permite a adição futura de outros componentes

relevantes para a dinâmica ecossistêmica do manguezal, do solo exposto e área antropizada da Bacia do rio Anil, que não foram considerados nesta abordagem, como por exemplo, a hidrologia continental, variações climáticas (precipitação) ou circulação oceânica. Os componentes propostos são ainda passíveis de complexificação, a partir de pressupostos teóricos subjacentes. Cada componente deste modelo conceitual proposto corresponde a um módulo computacional que implementa os respectivos pressupostos teóricos.

Figura 2. Esquema geral do modelo conceitual BR-MANGUE.



Fonte: autoria própria.

Plataforma de Modelagem

O modelo conceitual foi materializado em um experimento computacional usando a plataforma de modelagem espacialmente explícita integrada com bases de dados geoespaciais TerraME (<http://www.terrame.org>), desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). O TerraME é um ambiente para modelagem dinâmica espacial com suporte para modelos baseados em autômatos celulares e agentes, com base integrada em um ambiente 2D denominada de espaço celular (Carneiro *et al.*, 2013).

O código do modelo conceitual implementado utiliza a linguagem de programação Lua que é uma linguagem livre de código aberto, relativamente simples, porém robusta e com suporte para outras linguagens computacionais⁶.

O procedimento de implementação utilizou o modelo computacional de autômatos celulares, isto é, um modelo baseado em um sistema lógico que tem o conceito de célula como unidade fundamental. Cada célula tem um sistema de vizinhança com as demais células do espaço celular, um estado discreto e atributos que podem variar durante a simulação de acordo com as regras de transição do modelo (Wolfram, 1983).

Base de Dados

O banco de dados contendo as informações de entrada para o procedimento de modelagem e o espaço celular utilizado para desenvolvimento e aplicação do modelo foram criados em um sistema de informações geográficas desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), denominado TerraView 4.2.0 (INPE, 2011).

Os dados básicos utilizados para a modelagem foram os Planos de Informação contendo o mapeamento de uso e cobertura do solo da BHRA para o ano de 2012 realizado pelo Laboratório de Geotecnologias da Universidade Ceuma (LGUC). Os dados obtidos foram: áreas antropizadas, vegetação de terra firme, manguezal, solos expostos e água. O espaço celular criado contém 50.496 células de 900 m² de área (30 x 30 m), interiores ao perímetro da área de estudo. Como um sistema baseado em autômatos celulares, inicialmente cada célula tem um estado que a caracteriza e um conjunto de atributos. Os estados das células correspondem aos dados obtidos pelo mapeamento do LGUC, e os atributos de todas as células correspondem às classes de solos presentes e a altimetria da BHRA, obtidos respectivamente, pelo Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão e pelo

⁶ Detalhes em: <http://www.lua.org/>

Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil⁷ (TOPODATA), do INPE.

RESULTADOS

O BR-MANGUE foi projetado para simular o padrão da área de manguezal em relação a eventos de elevação do nível do mar em 3 (três) categorias (Figura 3): área total, área migrada e área perdida. Segue breve detalhamento das categorias de áreas simuladas:

- Área total: corresponde à área de manguezal que resiste ao processo de elevação do mar, acrescida de novas áreas de manguezais que surgem com o deslocamento da AIM;
- Área migrada: corresponde a novas áreas de manguezal que ocorrem quando há elevação do NMRM no ambiente de modelagem, que provoca o deslocamento da AIM; e assim, podendo haver condições ambientais propícias a colonização de manguezal em áreas adjacentes;
- Área de perda: Corresponde a áreas de manguezal que foram suprimidas pelo processo de elevação do NMRM durante o procedimento de modelagem.

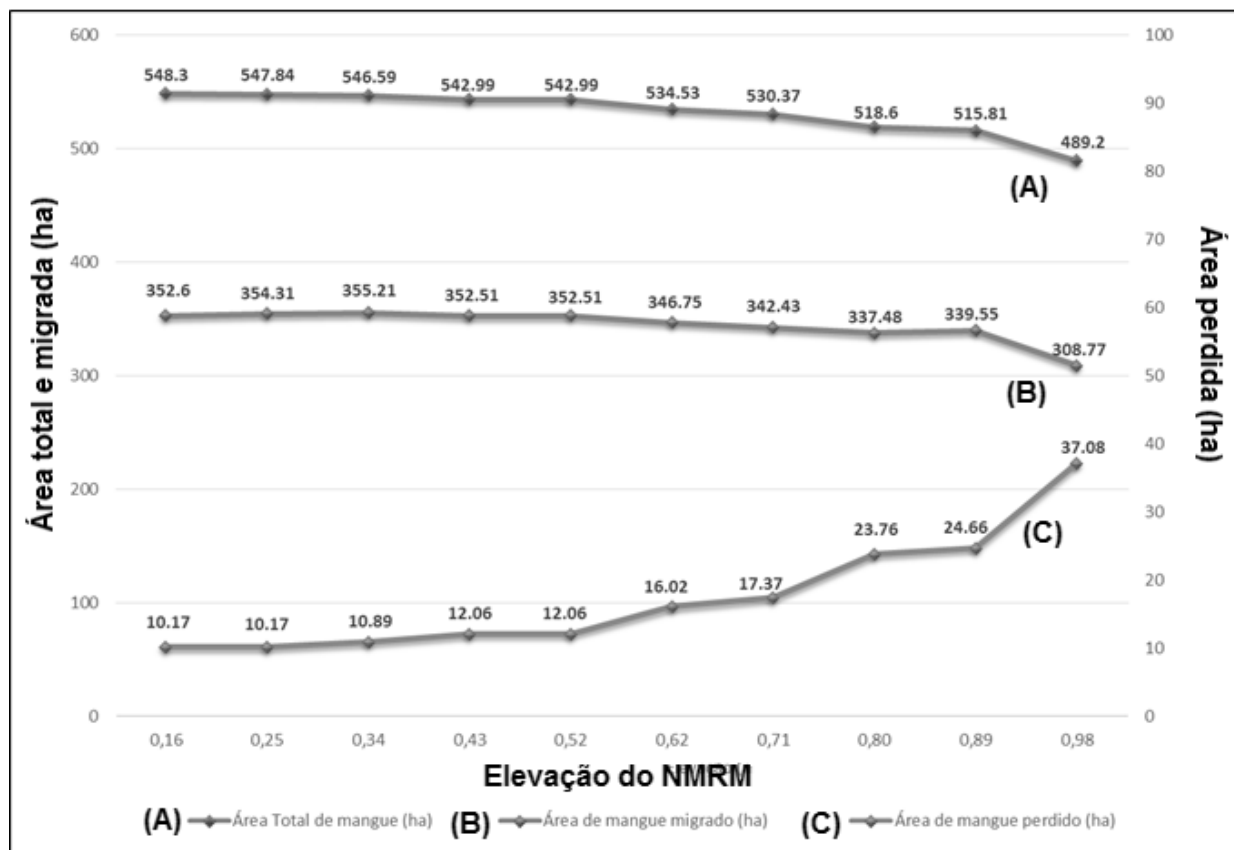
Na Figura 3 é possível verificar que para valores de elevação do NMRM entre 0,16 m e 0,71 m houve um declínio constante que

representou uma redução de 17,83 ha de área total do manguezal. No entanto, entre 0,71 m a 0,98 m ocorreu uma perda mais significativa de 41,17 ha. Em relação à área de mangue migrado pode-se observar que entre a elevação 0,16 m a 0,34 m houve um pequeno acréscimo de 2,61 ha, porém após o NMRM de 0,34 m houve um decréscimo constante até a elevação de 0,80 m que representou uma perda de 17,73 ha. Sendo que, logo após o decréscimo observado, houve um leve acréscimo de área de 2,07 ha para valores de elevação entre 0,80 m a 0,89 m e em seguida, um decréscimo acentuado de 30,78 ha entre a elevação 0,89 m e a 0,98 m.

Para a área de mangue perdida foi identificado que entre a elevação do NMRM 0,16 m a 0,52 m, houve um acréscimo constante que representou 1,89 ha, sendo que após a elevação de 0,52 m houve um acréscimo acentuado que representou 25,02 ha até o final do exercício de simulação. Os valores de aumento e declínio para a área de manguezal na bacia foco da presente pesquisa, e as oscilações do aumento ou da redução de áreas de manguezal para certos intervalos de elevação do mar podem ser explicados pela presença de barreiras e/ou de áreas com condições propícias à formação de novos bosques de mangues no decorrer do processo de simulação.

⁷ Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>

Figura 3: Área total de manguezal (ha), Área de mangue migrado (ha) e Área de mangue perdido (ha), de acordo com cada ciclo de elevação do Nível do Mar (m) adotado no presente estudo de simulação para a Bacia do Rio Anil, São Luís – MA.

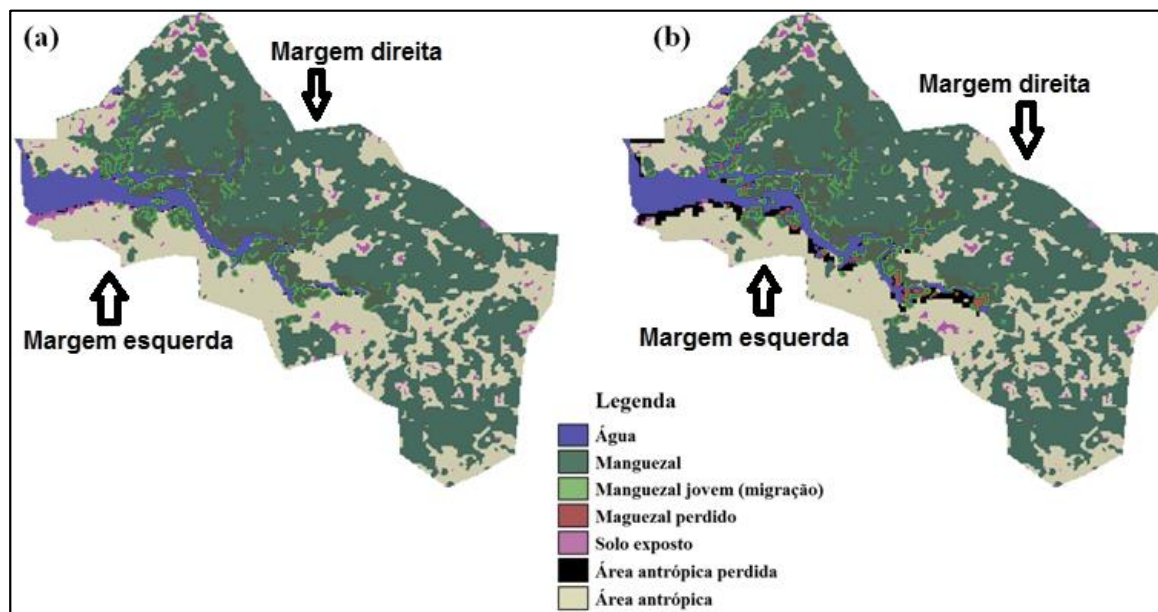


Os resultados do exercício de modelagem ainda evidenciaram que o manguezal migrou para áreas sob pouca influência dos usos antrópicos, na margem direita da BHRA (Figura 4 (a) e (b)).

Cabe ressaltar que as áreas de manguezal mais suscetíveis à elevação do NMRM foram às localizadas na margem

esquerda, que apresentam as maiores taxas de urbanização para a BHRA, fato que pode ser um forte indício que as formas de uso e ocupação antrópica do solo em áreas adjacentes ao manguezal podem influenciar no padrão de resposta desse ecossistema em relação a potenciais eventos de elevação do NMRM, influenciando assim, sua capacidade de adaptação às mudanças climáticas.

Figura: 4 Classes de cobertura do solo e a distribuição espacial das áreas de manguezal na bacia do rio Anil: (A) - Situação inicial com NMRM = 0,011 m (2013), (B) – Simulação após NMRM de 0,97 m (2100).



DISCUSSÃO

O uso da modelagem espacialmente explícita pode ajudar a entender o padrão de resposta do manguezal à elevação do nível NMRM, assim como, em relação a outros tensores climáticos e ambientais (Bezerra *et al.*, 2013). Os resultados da presente pesquisa correspondem ao exercício de modelagem para simular a capacidade de resistência do manguezal na BHRA a potenciais eventos de elevação do mar decorrentes das mudanças climáticas, tendo-se por base os pressupostos do modelo conceitual proposto como descrito anteriormente.

O modelo utilizado para o experimento de modelagem é o BR-MANGUE, este simula a elevação do NMRM para a área de estudo em 88 anos. Para uma melhor visualização dos resultados, o intervalo de tempo adotado foi

subdividido em 10 ciclos de 8,8 anos, com elevação do NMRM variando de 0,16 m a 0,98 m, conforme uma progressão aritmética de razão 0,10 m, uma vez que, cada evento de elevação é igual ao seu antecessor, subtraído da razão de elevação. A distribuição matemática para a elevação do NMRM adotada correspondente ao período de 2012 a 2100, e pauta-se no cenário mais alarmante de elevação média global do mar apresentada no AR5-IPCC, que indicada que a elevação média global pode chegar a 0,97 m até meados de 2100 (IPCC, 2013).

Fica demonstrado o padrão de elevação do NMRM para cada evento de elevação adotado na presente pesquisa, no qual o BR-MANGUE registrou no espaço celular o padrão de resposta da área de manguezal. Através do experimento de

modelagem também é possível o acompanhamento do deslocamento da AIM, da taxa de acreção vertical de sedimento e formação de novos bancos de lama (acreção longitudinal), como fatores que podem favorecer a colonização de novas áreas de manguezais.

Mesmo não sendo o objetivo do BR-MANGUE, através do exercício de modelagem realizado foi possível identificar áreas antrópicas (Figura 4) que podem ser afetadas por potenciais eventos de elevação do NMRM na bacia em estudo, o que torna o fator alarmante tanto ambientalmente quanto no contexto de desastres naturais (deslizamento, por exemplo), devido à referida bacia ser a mais urbanizada da capital maranhense (São Luís) e ser extremamente afetada pela presença de ocupações subnormais (palafitas e afins), e por áreas de aterro de manguezal influenciadas pela pressão imobiliária.

A aferição de áreas antrópicas suscetíveis a eventos de elevação do NMRM foi possível porque grande parte da BHRA foi urbanizada através de áreas de aterro de manguezal (Bezerra, 2008). Ou seja, são áreas que outrora estavam na área de influência da maré (AIM) e foram aterradas, e dessa forma, podem ser suscetíveis a potenciais eventos de elevação do NMRM.

CONCLUSÕES

Por meio dos resultados simulados, é possível inferir que o padrão de resposta do manguezal à elevação do NMRM é dependente das características geográficas locais da área ocupada pelo manguezal, das formas de uso e ocupação do solo de origem antrópica em áreas adjacentes, além das taxas de elevação do mar. Assim, torna-se

pouco provável que seja possível simular os impactos das mudanças climáticas para a zona costeira brasileira de forma generalizada, sendo necessária a realização de estudos regionais, como ocorre no estudo de caso apresentado na presente pesquisa.

Na zona costeira brasileira, experimentos de modelagem podem ser utilizados no auxílio à tomada de decisão e na formação de medidas de mitigação às mudanças climáticas, através de instrumentos de gestão do parcelamento do solo já em uso pela legislação vigente, tais como: plano diretor dos municípios, zoneamento costeiro e zoneamento ecológico econômico.

E por fim, os resultados obtidos por meio do BR-MANGUE sugerem que experimentos de modelagem podem ser usados para promover uma melhor compreensão dos padrões de respostas do manguezal a potenciais eventos de elevação do nível do mar, principalmente em áreas de uso e ocupação complexos como na área objeto de estudo de caso, que apresenta alta densidade urbana, mesclada com áreas de manguezais bem conservadas.

REFERÊNCIAS

- Almeida T R V (1995) *Aspectos Geoambientais da Bacia do Rio Anil*. Monografia (Especialização em Metodologia do ensino do 3º grau), Universidade Estadual do Maranhão, 62 p.
- Alongi D M (2008) Resilience of Mangrove Forests, Tsunamis, and Global Climate Change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76 (1):1-13.
- Berger U, Rivera-Monroy V, Doyle T W, Dahdouh-Guebas F, Duke N C, Fontalvo-Herazo M, Hildenbrandt H, Koedam N, Mehlig U, Piou, C, Twilley, R R (2008) Advances and Limitations of Individual-based Models to Analyze and Predict Dynamics of Mangrove Forests. *Aquatic Botany* 89(2):260-274.

- Bezerra D S (2008) *O ecossistema manguezal em meio urbano no contexto de políticas públicas de uso e ocupação do solo na bacia do rio Anil, São Luís-MA*. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente). Universidade Federal do Maranhão (UFMA), 122 p.
- Bezerra D S, Amaral S, Kampel M (2013) Impactos da Elevação do Nível Médio do Mar Sobre o Ecossistema Manguezal: a contribuição do sensoriamento remoto e modelos computacionais. *Ciência e Natura* 35(2):152-162.
- Bezerra D S (2014) *Modelagem da Dinâmica do Manguezal Frente à Elevação do Nível do Mar*. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema terrestre). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 121 p.
- Carneiro T G S, Andrade P R, Câmara G, Monteiro A M V, Pereira R R (2013) TerraME: an extensible toolbox for modeling nature-society interactions. *Environmental Modelling & Software* 46: 104-117.
- Departamento de Hidrografia e Navegação (1995). *Tábuas de Marés, Costa do Brasil e Alguns Portos Estrangeiros*. DHN, Rio de Janeiro. 356 p.
- Gilman E L, Ellison J, Duke N C, Field C (2008) Threats to Mangroves from Climate Change and Adaptation Options. *Aquatic Botany* 89(2):237-250.
- Golfari L, Caser R L, Moura, V P G (1978) *Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil: 2ª aproximação*. PRODEPEF: Belo Horizonte, 66p. INPE. TerraView Software copyright © 2001-2011 INPE, Tecgraf PUC-Rio and FUNCATE, 2011.
- IPCC (2007) *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 976 p.
- IPCC (2013) *Working group I contribution to the IPCC fifth assessment Report (AR5), climate change 2013: the physical science basis*. Cambridge University Press, Cambridge, 2216p.
- Lovelock C E, Ellison J C (2007) *Vulnerability of mangroves and tidal wetlands of the great barrier reef to climate change*. In: Johnson J E, Marshall P A (Eds.), *Climate Change and the Great Barrier Reef: A Vulnerability Assessment*. Great Barrier Reef Marine Park Authority and Australian Greenhouse Office, Australia, 809p.
- McLeod E, Salm R V (2006) *Managing Mangroves for Resilience to Climate Change*. IUNC, Gland, Switzerland, 64 p.
- Nascimento Júnior W R, Souza-Filho P W, Proisy C, Lucas R M, Rosenrvis A (2013) Mapping Changes in the Largest Continuous Amazonian Mangrove Belt Using Object-based Classification of Multisensor Satellite Imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 117: 83-93.
- Neves C F (2005) O Nível Médio do Mar: uma realidade física ou um critério de engenharia? *Vetor* 15(2):19-33.
- Ross J L S (1994) Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*, vol. 8:1-13.
- Scavia D, Field J C, Boesch D F, Buddemeier R W, Burkett V, Cayan D R, Fogarty M, Harwell M A, Howarth R W, Mason C, Reed D J, Royer T C, Sallenger A H, Titus J G (2002) Climate Change Impacts on Mangroves U.S. Coastal and Marine Ecosystems. *Estuaries* 25(2):149-164.
- Solomon S, Parry O F, Canziani J P, Palutikof P J, Van D L, Hanson C E (2007) *Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 447p.
- Solomon S, Plattner Gian-Kasper, Knutti R, Friedlingstein P (2009) Irreversible Climate Change Due to Carbon Dioxide Emissions. *Proct. Natl. Acad. Sci.* 106(6):1704-1709.
- Souza-Filho P W M S (2005) Costa de Macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica* 23(4):427-435.
- Wolfram S (1983) Statistical Mechanics of Cellular Automata. *Reviews of Modern Physics* 55(3): 602-644

Atributos físico-químicos do solo em áreas de conversão da Amazônia Oriental em pastagem e plantio direto

Soil chemical and physical attributes in areas of Eastern Amazon conversion in pasture and no-tillage

Suzana Romeiro Araújo*⁸|Augusto José SilvaPedroso⁹|Ismael Ramalho Soares¹⁰|

Sueli Rodrigues¹¹|Eiky Tatsuya de Moraes¹²|Lorena Chagas Torres¹³

Resumo

Para o entendimento e desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis é importante avaliar os impactos nas propriedades físico-químicas do solo, decorrentes da conversão de áreas naturais para áreas agrícolas e de pastagem. Objetivou-se avaliar a qualidade de um Latossolo Amarelo textura franco argilo siltosa em áreas de conversão de mata nativa (MAT) para pastagem (PST) e cultivo sob sistema plantio direto (CTV), no município de Paragominas, PA. Amostragens foram realizadas em períodos de alta e baixa pluviosidades. Atributos químicos foram avaliados na camada de 0 a 0,20 m e físicos (densidade do solo (DS), resistência do solo à penetração (RP), porosidade total, micro e macroporosidade (Ma)) foram determinados para a camada de 0 a 0,10 m. As médias (quando significativas) foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Também foram realizadas análises multivariadas para verificar as semelhanças entre os três usos (análise de agrupamento de Cluster) e descrição dos atributos que mais contribuíram na variância entre os agrupamentos (análise de redundância canônica). Os usos do solo e a pluviosidade foram fatores de diferenciação entre os atributos físico-químicos, indicando semelhanças entre MAT e PST. A conversão da MAT para PST resultou em diminuição da qualidade do solo. O manejo adotado na CTV modificou as características do solo sem a perda de qualidade química, porém, os atributos físicos não são favoráveis para o crescimento das plantas (alta DS e RP e baixa Ma). Os melhores indicadores para a avaliação da mudança do uso da terra na região estudada foram: RP, Mg^{2+} , $H+Al$, DS e CTC.

Palavras-chave: qualidade do solo, práticas conservacionistas, mudanças do uso do solo

Abstract

For the understanding and development of sustainable agricultural systems, it is important to evaluate the impacts on the physical and chemical properties of the soil from the conversion of natural areas to agriculture and pasture. The objective was to evaluate the quality of an Oxisol, silty clay loam texture, in native forest (MAT), pasture, (PST) and no-tillage (CTV) in the municipality

⁸ Profa. Dra. do Instituto Sócio-Ambiental e dos Recursos Hídricos, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará. suzana.araujo@ufra.edu.br *Autor para correspondência

⁹ Instituto Federal do Pará, Belém, Pará. augustopedroso@yahoo.com.br

¹⁰ Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná. ismaelrcs18@yahoo.com.br

¹¹ Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará. rodsueli@gmail.com

¹² Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. eikytatsuya@outlook.com

¹³ Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará. loren_chagas@yahoo.com.br

Recebido: 08/11/2018; Aceito: 24/05/2019; Publicado: 07/06/2019

of Paragominas, PA. The soil samplings were performed in a period of high and low precipitation. The soils chemical attributes were evaluated in the layer of 0 to 0.20 m, and the physicals (soil bulk density (BD), soil penetration resistance (PR), total porosity, micro and macroporosity (Ma)) were determined for the layer of 0 to 0.10 m. The means (when significant) were compared by the Tukey test ($p < 0.05$). Multivariate analyzes were also performed to verify the similarities between the three soil uses (Cluster analysis) and description of the soil attributes that most contributed to the variance among the clusters (canonical redundancy analysis). Soil uses and precipitation were factors of differentiation between physical-chemical attributes, indicating similarities between MAT and PST. The conversion of MAT to PST resulted in a decrease in soil quality. The soil management used in CTV modified soil characteristics without loss of chemical quality, but the physical attributes are not favorable for plant growth (high BD and PR and low Ma). The best indicators for the evaluation of land use change in the studied region were: PR, Mg^{2+} , $H + Al$, BD and CEC.

Keywords: Soil quality, soil conservation practices, land use changes

INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira possui um papel vital na manutenção da biodiversidade, ciclos hidrológicos e climáticos. Entretanto, a conversão de áreas de vegetação nativa em pastagens e cultivo agrícola tem ocasionado numerosas alterações relacionadas à sustentabilidade destes sistemas, resultando em perdas de qualidade do solo (Braz *et al.*, 2013), além do aumento da pressão de desmatamento sobre as áreas de vegetação nativa.

O estado do Pará integrou o chamado “arco do desmatamento” juntamente com outros estados no norte do país, responsáveis por mais de 70% de toda área desmatada na Amazônia, especialmente entre os anos de 1960 a 1980 (Cabral e Gomes, 2013). Em 2011, através de uma iniciativa do governo do estado do Pará foi instituído o Programa Municípios Verdes (Decreto Estadual nº 54), visando combater o desmatamento e incentivar pesquisas científicas voltadas para o aperfeiçoamento da produção e qualidade do solo na região.

O impacto gerado em uma área com a retirada da floresta nativa para o cultivo agrícola está relacionado ao manejo do sistema produtivo (Zaninetti *et al.*, 2016). Na região amazônica, a combinação de solo sem cobertura florestal com altos índices pluviométricos acaba por acelerar os processos erosivos que, além de reduzir a fertilidade dos solos provoca assoreamento dos recursos hídricos (Barbosa *et al.*, 2000). Somado a isso, nos processos de conversão de áreas florestais em sítios de exploração econômica, muitas espécies da fauna e flora correm risco de extinção (Rodrigues, 2004).

Nesse processo, alterações nos atributos físico-químicos dos solos, tais como, densidade, matéria orgânica, cálcio, magnésio, potássio e resistência à penetração têm sido quantificadas a fim de monitorar a qualidade do solo (Lisbôa *et al.*, 2016; Oliveira, *et al.*, 2015). Silva Júnior *et al.*, (2012), verificaram que a diminuição da matéria orgânica foi a principal causa de insucesso de sistemas agrícolas, no seu estudo sobre o impacto

da conversão de áreas de mata nativa para sistemas agrícolas na região Amazônica. De fato, a matéria orgânica do solo influencia direta e indiretamente diversas características do solo, de modo que a redução do carbono orgânico total está relacionada à degradação física dos solos.

Com o objetivo de avaliar os atributos físicos, químicos e biológicos em diferentes usos e manejos em um Latossolo Vermelho e um Neossolo Quartzarênico, Carneiro *et al.*, (2009) observaram que a densidade, macroporosidade, microporosidade e resistência do solo à penetração foram os atributos físicos que mais se diferenciaram devido ao uso e manejo do solo. Oliveira *et al.*, (2015) atribuíram a densidade do solo maior sensibilidade a variação, quando avaliada sob manejos, segundo seu estudo de indicadores de qualidade física para Argissolos sob pastagens. Juntamente com a densidade, a resistência do solo à penetração pode alterar o desenvolvimento de raízes e fluxo de água no solo (Ribon; Tavares Filho *et al.*, 2008), sendo assim um eficiente indicador na diferenciação de solos que apresentam dificuldade de crescimento de raízes.

A análise dos indicadores físicos e químicos, permite que o manejo seja avaliado, e práticas conservacionistas sejam adotadas mediante os resultados encontrados. Logo, para garantir a sustentabilidade do solo é necessário avaliar e compreender seus processos, bem como a identificação de atributos sensíveis as variações do uso e manejo (Cândido *et al.*, 2015).

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar a qualidade físico-química de um Latossolo Amarelo de textura argilosa em áreas de conversão de

vegetação nativa para pastagem e sistema plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

As áreas estudadas situam-se em uma fazenda na região nordeste do estado do Pará, no município de Paragominas (2°58'0,5" S 47°26'13,3" O), Amazônia Oriental (Figura 1). O padrão climático da região é descrito, segundo Köppen, como pertencente à monção (Am) (Alvares *et al.*, 2014). A umidade média relativa do ar é de 80% e o período considerado de baixa pluviosidade compreende os meses de agosto, setembro e outubro, com média pluviométrica mensal de 25,9 mm e, os de alta pluviosidade, os meses de fevereiro, março e abril, com média mensal de 354 mm. O solo das áreas é classificado como Latossolo Amarelo, de textura média (Santos *et al.*, 2018).

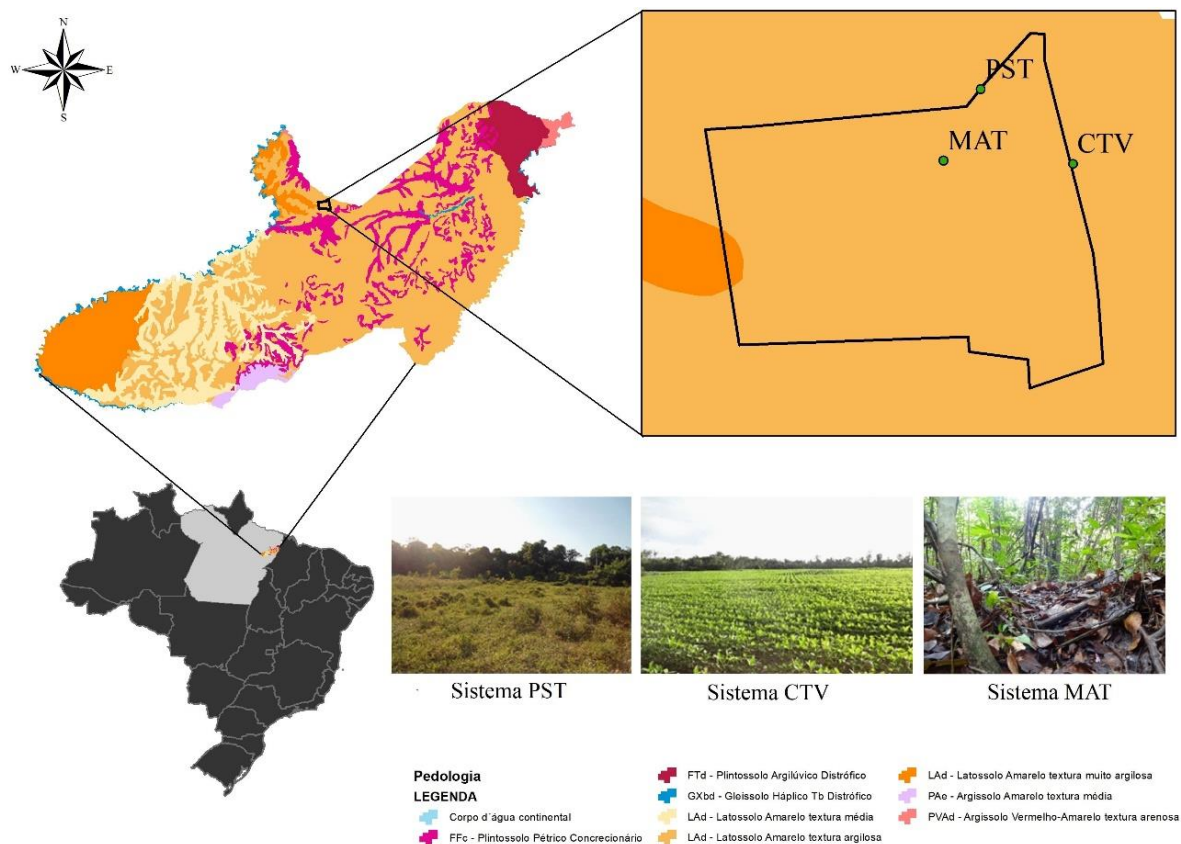
Foram selecionados três sistemas de uso do solo para avaliação:

- MAT: área de mata nativa sem interferência antrópica utilizada como referência;
- CTV: área de cultivo sob rotação de soja e milho; implantada em 2007, cultivada por 10 anos sob sistema plantio direto, em que o manejo e adubação foram realizados de acordo com a necessidade das culturas. A rotação de culturas é feita com dois de consórcio soja e milheto e um ano de consórcio milho e *Brachiaria* (*Syn. Urochloa*) *ruziziensis*, esta última com o objetivo de produção de palhada. Antes da implementação desse sistema a área estava sob pastagem por 35 anos;

- PST: área sob uso de pastagem estabelecida em 1972, prevalecendo o capim *Brachiaria*

(*Syn. Urochloa*) *decumbens*, conduzida sob pastoreio extensivo.

Figura 1. Localização da área de estudo



Métodos

As amostragens de solo foram realizadas em dois períodos, sendo uma no mês de fevereiro (período de alta pluviosidade) e a segunda no mês de outubro (período de baixa pluviosidade) no ano de 2016. No sistema CTV, no momento da amostragem do período chuvoso, a área estava cultivada com soja e, no período seco, com *Brachiaria*.

Para avaliação dos atributos químicos do solo, foram tomadas 15 amostras simples de solos na profundidade de 0 a 20 cm-1 para constituir uma amostra composta, totalizando 4 amostras

compostas por área. As determinações do pH, das bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}), P extraível em Mehlich-1, Al^{3+} trocável, H+Al e matéria orgânica seguiram as metodologias da Embrapa (2011).

Para a determinação dos atributos físicos do solo foram coletadas 4 amostras com estrutura indeformada, por área, na camada de 0 a 10 cm-1, totalizando 12 amostras. Para tanto, foram usados anéis volumétricos de 5 cm de altura por 5 cm de diâmetro interno (100 cm³). A resistência do solo à penetração foi determinada no conteúdo de água no solo na capacidade de campo, em penetrômetro de bancada seguindo a metodologia descrita em Figueiredo *et al.*, (2011). A densidade do solo,

porosidade total, macro e microporosidade foram determinadas de acordo com a metodologia da Embrapa (2011).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições, em um arranjo fatorial (3×2) sendo os fatores três sistemas de uso da terra e dois períodos de amostragem de solo (de alta e de baixa pluviosidade).

Os dados foram submetidos a análise de agrupamento de Cluster, usando a distância euclidiana como padrão de semelhança, através do algoritmo de Ward, a fim de verificar as semelhanças entre os usos do solo e, através de seus atributos físico-químicos. Para tanto, utilizou-se o software Paleontological Statistics 3.14 (PAST).

Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, posteriormente foi realizada a análise de variância (ANOVA) e quando significativo pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o software Assistat 7.7. Também foi realizada a análise de redundância canônica (RDA) na estrutura de uma análise discriminante, a fim de descrever os atributos que mais contribuem na variância entre os agrupamentos e qual porcentagem é explicada pelos atributos significativos. A execução deste procedimento foi através do software Canoco 4.5.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todas as amostras de solo apresentaram granulometria semelhantes, com teores de argila variando entre 35 e 48 % na profundidade de 0 a 20 cm, o que os incluem na classe textural de solos argilosos. De uma forma geral a área sob cultivo

anual (CTV) apresentou condições químicas superiores (Tabela 1) e, físicas inferiores (Tabela 2) em relação a MAT e PST. O pH mais elevado e o teor de alumínio trocável menor, observado no sistema CTV, se deve ao fato de ser uma área agrícola onde são realizadas práticas de correção e adubação para a semeadura. Isso pode ser atribuído à precipitação do Al^{3+} na forma de $Al(OH)_3$. De acordo com Abreu Jr. *et al.*, (2003), que investigaram os componentes da acidez e suas relações com os atributos químicos de 26 solos de diferentes regiões brasileiras, os teores de Al^{3+} diminuíram com o aumento do pH até 5,5. Em pH menor que 5,5 os compostos de Al^{3+} passam a ser reativos, podendo dificultar a absorção e o transporte de nutrientes, como o P, K, Ca e Mg (Malavolta, 1980). Os valores médios dos teores naturais de Al^{3+} observados na MAT e na área sob pastagem (PST) são considerados altos (Tabela 1) (Frade Junior *et al.*, 2013).

Os valores de pH para as áreas sob mata e pastagem foram menores que CTV em mais de 1 unidade (Tabela 1) sendo considerados baixos (Raij *et al.*, 1996). O menor pH em áreas de mata é comum e se deve às taxas mais elevadas de mineralização da matéria orgânica, e, consequentemente, a maior liberação de ácidos húmicos contribuindo para o aumento da acidez do solo (Da Silva *et al.*, 2015). No entanto, essa acidificação é contrabalanceada pelo fornecimento de cargas negativas através da desprotonação dos grupos carboxílicos presentes na matéria orgânica, liberando cargas negativa, e aumentando a CTC do solo (Dick *et al.*, 2009).

**Atributos físico-químicos do solo em áreas de conversão da Amazônia Oriental em
pastagem e plantio direto**

Tabela 1: Média dos atributos químicos dos solos nos diferentes sistemas de uso avaliados em dois períodos.

Atributos	Sistemas						
	PST		CTV		MAT		MÉDIA
pH H ₂ O	4,61	b	5,96	a	4,51	b	5,03
MO g kg ⁻¹	21,40	b	34,76	a	24,36	b	26,84
CO g kg ⁻¹	12,41	b	20,16	a	14,12	b	15,56
P mg dm ⁻³	0,10	b	1,70	a	0,26	b	0,69
Na ⁺ cmolc dm ⁻³	0,07	ab	0,03	b	0,09	a	0,06
Ca ²⁺ cmolc dm ⁻³	0,24	b	2,06	a	0,22	b	0,84
Mg ²⁺ cmolc dm ⁻³	0,60	b	0,83	a	0,60	b	0,68
K ⁺ cmolcdm ⁻³	0,20	b	0,40	a	0,12	b	0,24
Al ³⁺ cmolc dm ⁻³	1,06	ab	0,19	b	1,08	a	0,78
H + Al cmolcdm ⁻³	8,56	ab	4,41	b	7,54	a	6,84
SB cmolc dm ⁻³	1,11	b	3,33	a	1,03	b	1,82
CTC pH 7 cmolcdm ⁻³	9,67	a	7,74	b	8,57	ab	8,66
m %	50,04	a	6,00	b	51,71	a	35,92
V %	11,41	b	45,43	a	13,85	b	23,56

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade. PST: pastagem, CTV: cultivo sob plantio direto, MAT: mata, MO: matéria orgânica do solo, CO: carbono orgânico do solo, SB: soma de bases, CTC: capacidade de troca de cátions, m: saturação por alumínio, V: saturação por bases.

Tabela 2: Média dos atributos físicos dos solos nos diferentes sistemas de uso avaliados em dois períodos.

Atributos	Sistemas						
	PST		CTV		MAT		MÉDIA
DS g dm ⁻³	1,34	b	1,68	a	1,17	c	1,40
RP Mpa	1,33	b	4,53	a	0,87	c	2,24
PT m ³ m ⁻³	0,36	b	0,42	a	0,39	ab	0,39
Ma m ³ m ⁻³	0,09	a	0,09	a	0,11	a	0,10
Mi m ³ m ⁻³	0,27	b	0,33	a	0,28	b	0,29
Argila g kg ⁻¹	38,31	a	40,02	a	36,89	a	38,41
Silte g kg ⁻¹	55,96	a	40,88	b	59,19	a	52,01
Areia g kg ⁻¹	5,73	b	19,10	a	3,91	b	9,58

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade. PST: pastagem, CTV: cultivo sob plantio direto, MAT: mata, DS: densidade do solo, RP: resistência à penetração, PT: porosidade total, Ma: macroporosidade, Mi: microporosidade.

O maior teor de matéria orgânica (MO) foi observado no CTV, com média de 34,76 g kg⁻¹ (Tabela 1). Normalmente, o processo de ocupação da Amazônia baseado no desmatamento para implantação da agricultura, aliado as altas temperaturas e pluviosidade, característica de regiões tropicais, acelera a atividade microbiana do solo e, como consequência, a decomposição da MO (Belo *et al.*, 2012). Entretanto, sistemas conservacionistas têm sido adotados, tais como o plantio direto, do CTV, que pode incorporar maiores quantidades de carbono e nutrientes no solo, auxiliando no processo de reversão da degradação e no acréscimo de MO, resultando em melhorias nos atributos químicos (Souza *et al.*, 2016; Vezzani e Mielniczuk, 2011).

A interação entre os tipos de uso do solo e épocas de avaliação (alta e baixa pluviosidades) foi significativa somente para os atributos do solo

apresentados na tabela 3, incluindo a MO que teve maior teor observado na época de baixa pluviosidade no CTV. Resultados contraditórios a este foram relatados por Tognon *et al.*, (1998) ao estudarem o teor e a distribuição da matéria orgânica em Latossolo Amarelo na Amazônia, verificando que o aumento da pluviosidade ocasionava em uma elevação da matéria orgânica, e o mesmo foi observado por Gonçalves *et al.*, (2010) quando avaliaram a influência climática sob a decomposição de resíduos culturais. Entretanto, nossos resultados podem estar associados ao cultivo de *Brachiaria* (*Syn. Urochloa*) *ruziziensis* no período seco em CTV, o qual pode ter incrementado a produção de resíduos vegetais nesta época de avaliação. Lal (2002) destaca a eficiência de ciclagem de nutrientes do sistema radicular de gramíneas no acúmulo de carbono orgânico no solo.

Tabela 3: Interação entre sistemas de uso do solo e épocas de avaliação: teores de atributos físico-químicos em Latossolo Amarelo.

Sistemas de uso/	PST				CTV				MAT			
Atributos					Épocas de avaliação							
	Chuvoso		Seco		Chuvoso		Seco		Chuvoso		Seco	
MO g kg ⁻¹	21,00	bA	21,87	bA	28,02	aB	41,52	aA	25,74	ab	22,9	8 bA
K cmolcdm ⁻³	0,23	aA	0,16	bA	0,15	aB	0,65	aA	0,09	aA	0,15	bA
Mg cmolc dm ⁻³	0,90	bA	0,30	bB	1,53	aA	0,15	bB	0,33	cB	0,88	aA
H + Al cmolcdm ⁻³	8,21	aA	8,91	aA	5,21	bA	3,62	bB	10,00	aA	5,09	bB
SB cmolc dm ⁻³	1,47	bA	0,74	bB	3,83	aA	2,83	aB	0,75	cB	1,33	bA
m %	43,16	bB	57,65	aA	4,56	cA	7,44	cA	62,24	aA	41,19	bB
DS g dm ⁻³	1,32	aA	1,36	bA	1,23	ab	1,63	aA	1,07	bB	1,28	bA
RP MPa	0,64	bB	2,02	bA	3,42	B	5,66	aA	0,75	bA	0,99	cA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha, entre as épocas de avaliação de cada sistema, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. PST: pastagem, CTV:

cultivo sob plantio direto, MAT: mata, MO: matéria orgânica do solo, SB: soma de bases, DS: densidade do solo, RP: resistência à penetração.

Para solos argilosos, os teores médios de P disponível encontrados são considerados baixos (Tabela 1), ou seja, abaixo ou igual a 5 mg dm⁻³ (Cravo *et al.*, 2007). De fato, os baixos teores de P disponível normalmente encontrados em solos com elevado grau de intemperização, devido o predomínio de óxidos de ferro e alumínio que promovem a fixação deste nutriente, constitui uma das principais limitações de fertilidade em solos Amazônicos (Sanchez e Cochrane, 1980). O maior teor de P observado no CTV (Tabela 1) pode ser atribuído à calagem realizada antes da adubação fosfatada, que por sua vez, foi realizada 30 dias antes do cultivo. A adoção desta prática aumenta os teores de P disponível no solo devido à desprotonação dos grupos silanol e aluminol que liberam carga positiva, impedindo a adsorção de fósforo (Vilar e Vilar, 2013).

O comportamento do K⁺ foi semelhante ao do P, apresentando maiores médias nas áreas sob cultivo (Tabela 1). Seus valores também são classificados como baixos (Cravo *et al.*, 2007), e, foram semelhantes aos encontrados por Moline e Coutinho (2015), quando avaliaram os atributos químicos do solo na Amazônia Ocidental, após sucessão de mata nativa em áreas de cultivo. Para este atributo houve interação significativa entre sistema de uso e pluviosidade, sendo os menores valores observados na baixa pluviosidade (Tabela 2).

As maiores concentrações do Ca²⁺ e Mg²⁺ foram observadas no sistema CTV, com valores de 2,06 e 0,8 cmol_c dm⁻³, respectivamente (Tabela 1). Cravo *et al.*, (2012), avaliando os efeitos da calagem sobre um Latossolo Amarelo, observaram que os valores de Ca²⁺ e Mg²⁺ tendem a se estabilizar, com médias semelhantes as encontradas neste trabalho, após cinco anos de cultivo, bem como o Al³⁺ passa a ter sua concentração reduzida, favorecendo a disponibilidade de cátions (Poça, 2012).

No sistema CTV foram observadas maiores médias para SB e V% e, a menor para m% (Tabela 1). No entanto, a maior CTC foi constatada para as áreas PST e MAT que apresentaram baixos teores de bases trocáveis (Ca, Mg e K) evidenciando que o complexo de troca destas áreas está ocupado principalmente pelos cátions ácidos H e Al. Silva Júnior *et al.*, (2012), atribuíram a conversão de áreas de mata nativa para pastagem e cultivo como fator para diminuição da CTC pH7, atributo influenciado pela acidez potencial.

Não houve diferença estatística entre sistemas e períodos avaliados para a macroporosidade (Ma) (Tabela 1). Já a microporosidade (Mi) foi maior na área sob sistema plantio direto (CTV) (Tabela 1), que também apresentou PT mais elevada, porém, esta última não diferiu da MAT. A maior quantidade de microporos contribui para o aumento da retenção de água

armazenado no solo. A prevalência de poros menores no sistema CTV evidencia um arranjo mais compacto das partículas neste sistema, o que é confirmado pela maior DS (Tabelas 1 e 2). A maior DS no CTV se deve ao tráfego de máquinas por ocasião das práticas de manejos, ocasionando em aumento da DS, principalmente na camada superficial.

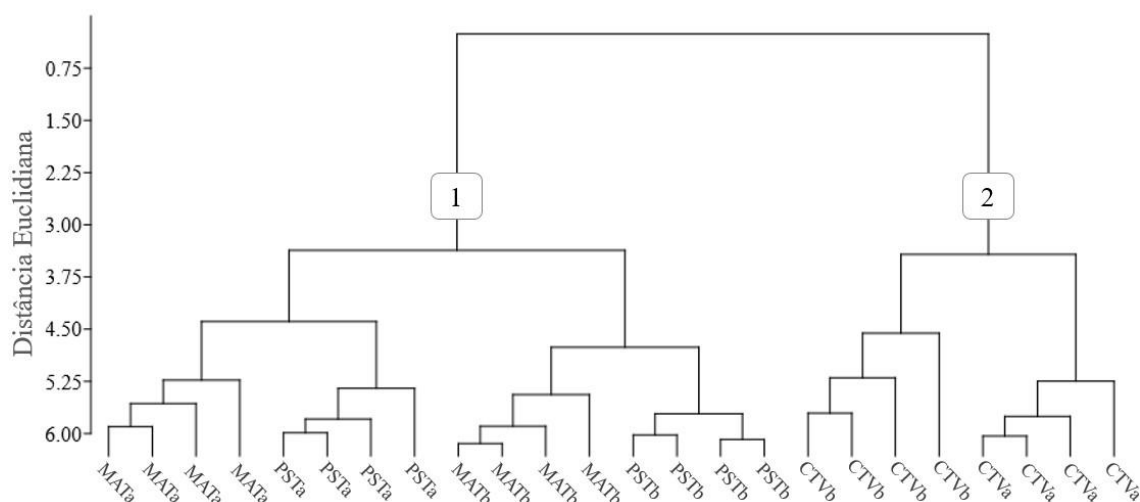
A maior DS observada em PST, quando comparada à MAT (Tabela 2) pode ser atribuída à pressão do pisoteio animal exercida sobre o solo. Araújo *et al.*, (2011), ao estudarem o impacto da conversão de floresta para pastagem sobre a dinâmica do carbono e substâncias húmicas no bioma amazônico, constataram que a densidade do solo nas pastagens é até 26% maior do que nas áreas de floresta, fato este que está correlacionado com o encrostamento do solo e a perda de parte do horizonte A por escoamento superficial. Portugal *et al.*, (2010), também encontraram maiores valores de DS para pastagens e menores para mata nativa, ao analisar as propriedades físicas e químicas do solo em áreas com diferentes sistemas produtivos, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho. Estes atributos,

RP e DS, tiveram influência da pluviosidade (Tabela 2). Nos períodos de baixa pluviosidade, suas médias foram maiores.

Em consequência da maior DS no sistema CTV, esse também apresentou maior RP média (Tabela 1), seguido de áreas sob pastagem (PST) e mata nativa (MAT), expressando o efeito negativo na qualidade física do solo na conversão de áreas de mata nativa para uso agrícola. Apesar de não haver consenso sobre um valor de referência de qualidade do solo para este atributo, alguns autores consideram que valores a partir de 2 MPa podem prejudicar o desenvolvimento radicular (Tormena *et al.*, 1998). Assim, o potencial de crescimento das raízes das plantas pode ser afetado em valores de RP de 4,53 MPa encontrados neste trabalho. Além de afetar diretamente o crescimento radicular, a compactação do solo também influencia na capacidade de armazenamento da água, ciclos de nutrientes e carbono, na resistência a erosão e na difusão de gases (Salton, *et al.*, 2008).

A análise de Cluster resultou na formação de dois agrupamentos e variações nos atributos físico-químicos em relação ao uso do solo e a pluviosidade em cada área avaliada (Figura 2).

Figura 2. Dendograma da classificação das amostras de solos em dois grupos, em função das variáveis pH, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, P, Na⁺, Al³⁺, H+Al, MO, SB, CTC pH7, DS, RP, PT, Mi e Ma. Média de 4 repetições em duas épocas de coleta. Letras a e b após a identificação do tratamento referem-se aos períodos de alta e baixa pluviosidades, respectivamente.



Todas as variáveis analisadas diferiram significativamente no sistema CTV. Consequentemente, o mesmo foi agrupado separadamente dos demais (Figura 2) e, essa diferenciação pode ser atribuída ao sistema plantio direto adotado na área, que inclui calagem e aplicação de fertilizantes e a manutenção de resíduos vegetais, que modificam consideravelmente as características químicas do solo. Como o processo de conversão de áreas na Amazônia, normalmente se inicia na derrubada da mata nativa para ser transformada em pastagens, sem manejo da fertilidade, suas características físico-químicas tendem a ser semelhantes, porém, com perda de qualidade do solo em áreas sob pastagem (Silva Júnior *et al.*, 2012).

Observou-se a separação entre os períodos de alta e baixa pluviosidades, nos três sistemas avaliados, sendo que, PST e MAT permaneceram agrupados (Figura 2). A região

nordeste paraense caracteriza-se por ter a maior pluviosidade do estado, com uma alta precipitação mensal, sendo os meses de fevereiro, março e abril os mais chuvosos (Menezes *et al.*, 2015). Assim, a pluviosidade foi um fator considerável de diferenciação entre os atributos do solo.

A análise de redundância, responsável por determinar os atributos com maior contribuição na variação dos dados (Costa, 2009), revelou que os atributos RP, Mg²⁺, H+Al, DS, CTC, K⁺, Mi, Ca²⁺ e P corresponderam a 92% de toda a variação dos dados (Tabela 3). RP, DS e Mi, foram responsáveis por 20%, 12% e 5%, respectivamente, da variância explicada pelos atributos físicos (Tabela 4). Destaca-se a RP como o responsável pela maior porção da variabilidade nos diferentes usos, sendo este o mais relevante no processo de conversão de

mata nativa para uso de pastagem e cultivo agrícola.

Logo, a conversão de mata nativa para pasto e área de cultivo tem como principal consequência o aumento da resistência do solo à penetração. Resultados semelhantes foram obtidos por Stefanoski *et al.*, 2013. No âmbito da qualidade física do solo, a RP é constantemente utilizada na análise de compactação de solos (Costa *et al.*, 2012), uma vez que seu comportamento está associado com outros indicadores como a densidade do solo (Tavares Filho, 2012). O tráfego de máquinas nas áreas agrícolas e o pisoteio do gado nos pastos são a principal causa da degradação física dos solos (Figueiredo *et al.*, 2011), fato este observado nos valores de RP nas áreas estudadas (Tabela 1).

Tabela 4. Atributos com maior variação significativa no processo de conversão de mata nativa para pastagem e cultivo.

Variável	LambdaA	p	F
RP (MPa)	0,2	0.000	5.42
Mg ²⁺ (cmolcdm ⁻³)	0,18	0.000	6.12
H + Al (cmolc dm ⁻³)	0,15	0.000	6.60
DS (g dm ⁻³)	0,12	0.001	6.25
CTC (cmolc dm ⁻³)	0,09	0.002	6.58
K ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,07	0.001	6.15
Mi (m ³ m ⁻³)	0,05	0.005	4.95
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,04	0.001	6.49
P (mg dm ⁻³)	0,02	0.045	3.08

CONCLUSÕES

Os usos do solo e a pluviosidade foram fatores de diferenciação entre os atributos físico-químicos, indicando semelhanças entre MAT e PST.

A conversão de mata nativa para pastagem ocasionou em diminuição da qualidade do solo, observada através dos atributos pH, MO, P, Al³⁺, H+Al, V, RP e DS.

O manejo adotado na CTV modificou as características do solo sem a perda de qualidade química, porém, seus atributos físicos indicaram impedimentos ao crescimento e desenvolvimento radicular das plantas. Para a avaliação da mudança do uso da terra na região estudada, os indicadores físico-químicos mais apropriados foram RP, Mg²⁺, H+Al, DS e CTC.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Edital MCTI/CNPQ/Universal 14/2014).

REFERÊNCIAS

- Abreu Jr, C, Muraoka T, Lavorante A (2003) Relationship between acidity and chemical properties of brazilian soils. *Scientia Agricola* 60(2):337-343
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. (2014) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22(6): 711-728.

- Araújo E, Ker J, Mendonça E, Silva I, Oliveira E (2011) Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. *Acta Amazonica* 41(1):103-114.
- Barbosa R I, Fearnside P M (2000) Erosão do solo na Amazônia: estudo de caso na região do Apiaú, Roraima, Brasil. *Acta Amazonica* 30: 601-613
- Belo E, Terra F, Rotta L, Vilela L, Paulino H, Souza E, Vilela L, Carneiro M (2012) Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e efeito na atividade microbiana em um Latossolo Vermelho de Cerrado. *Global Science and Technology* 5(3):1-11.
- Braz S, Urquiaga S, Alves B, Jantalia C, Guimarães A, dos Santos C, dos Santos S, Pinheiro E, Boddey R (2013) Soil carbon stocks under productive and degraded pastures in the Brazilian Cerrado. *Soil Science Society of America Journal* 77(3):914-928.
- Cabral E, Gomes S (2013) Gestão Pública em Municípios com Forte Correlação entre Desmatamento e Expansão da Pecuária, da Soja e da Madeira. *Ensaios FEE* 34(1):167-194.
- Cândido, Bernardo Moreira, Silva, Marx Leandro Naves, Curi, Nilton, Freitas, Diego Antônio França de, Mincato, Ronaldo Luiz, e Ferreira, Mozart Martins (2015). Métodos de indexação de indicadores na avaliação da qualidade do solo em relação à erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 39(2), 589-597.
- Carneiro M, Souza E, Reis E, Pereira H, Azevedo W (2009) Atributos físicos, químicos e biológicos do solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 33(1):147-157
- Costa C (2009) *Solos e outros fatores ambientais associados à diversidade fenotípica de macaubaís no Estado de São Paulo*. Dissertação (Mestrado em Gestão dos Recursos Agroambientais). Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas.
- Costa M, Tormena C, Lugão S, Fidalski J, Nascimento W, Medeiros F (2012) Resistência do solo à penetração e produção de raízes e de forragem em diferentes níveis de intensificação do pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36(3):993-1004
- Cravo M, Viégas I, Brasil E (2007) *Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará*. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 262 p.
- Cravo M, Smyth T, Brasil E (2012) Calagem em Latossolo amarelo distrófico da Amazônia e sua influência em atributos químicos do solo e na produtividade de culturas anuais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36(3):895-908.
- Da Silva G, Santos D, Da Silva A, De Souza J Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano (2005) *Revista Caatinga* 28(3)25-35.
- Dick DP, Novotny EH, Dieckow J, Bayer C (2009) *Química da matéria orgânica do solo*. In: Alleon L, Melo V, eds. Química e Mineralogia do Solo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, p. 1-68.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2011) *Manual de métodos de análise de solos*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 230 p.
- Figueiredo G, Silva A, Tormena C, Giarola N, Moraes S, Almeida B (2011) Desenvolvimento de um consolidômetro pneumático: modelagem da compactação, penetrometria e resistência tênsil de agregados de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35(2):389-402.
- Frade Junior E, Brito E, Ortega G, Mattar E (2013) Neutralização química de acidez em solos sedimentares da Amazônia Ocidental, Acre. *Enciclopédia Biosfera* 9(16):1566-1572.
- Gonçalves S, Saraiva O, Torres E (2010) *Influência de fatores climáticos na decomposição de resíduos culturais de aveia e trigo*. Embrapa Soja, Londrina: Embrapa, 27 p.
- Lal R (2002) Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environmental pollution* 116: 353-362.
- Lisbôa F, Donagemma G, Burak D, Passos R, Mendonça E (2016) Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens. *Pesquisa agropecuária brasileira* 51(9):1184-1193.
- Malavolta, E. (1980) *Elementos de nutrição mineral de plantas*. Agrônômica CERES, São Paulo, 251 p.

- Menezes F, Fernandes L, Rocha E (2015) O uso da estatística para regionalização da precipitação no estado do Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia* 16:64-71.
- Moline E, Coutinho E (2015) Atributos químicos de solos da Amazônia Ocidental após sucessão da mata nativa em áreas de cultivo. *Revista de Ciências Agrárias* 58(1):14-20.
- Oliveira I, Campos M, Freiras L, Soares M (2015) Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. *Acta amazônica* 45(1):1-12.
- Poça R (2012) *Indicadores químico, físico e etnopedológico de qualidade do solo em áreas em recuperação na Amazônia Oriental*. Dissertação (Mestrado em Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável). Universidade Federal do Pará, Belém.
- Portugal A, Costa O, Costa L (2010) Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata Mineira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34(2):575-585.
- Raij B, Cantarella H, Quaggio J, Furlani A (1996) *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Instituto Agrônomo, Campinas, 285 p.
- Ribon A, Tavares Filho J (2008) Estimativa da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho sob cultura perene no norte do Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32(5):1817-1825.
- Rodrigues R (2004) *Análise dos fatores determinantes do desflorestamento na Amazônia Legal*. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Salton J, Mielniczuk J, Bayer C, Boeni M, Conceição P, Fabrício A, Macedo M, Broch D (2008) Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32(1):11-21.
- Sanchez PA, Cochrane TT (1980) *Soils constraints in relation to major farming systems of tropical America*. International Rice Research Institute, Los Banos. p.106-139.
- Silva Júnior C, Boechat C, Carvalho L (2012) Atributos químicos do solo sob conversão de floresta amazônica para diferentes sistemas na região norte do Pará, Brasil. *Bioscience Journal* 28(4):566-572.
- Santos HG, [Jacomine PKT](#), [Anjos LHC dos](#), Oliveira VA, Lumberras JF, Coelho MR, Almeida, JÁ, Araujo Filho JC de, Oliveira JB, Cunha TJF (2018) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, 5. ed, Brasília:Embrapa.
- Souza E, Carneiro M, Paulino H, Ribeiro D, Bayer C, Rotta L (2016) Matéria orgânica e agregação do solo após conversão de “campos de murundus” em sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 51(9):1194-1202.
- Stefanoski D, Santos G, Marchão R, Petter F, Pacheco L (2013) Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17(12):1301-1309.
- Tavares Filho J, Feltran C, Oliveira J, Almeida E (2012) Modelling of soil penetration resistance for an oxisol under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36(1):89-95.
- Tognon A, Dematte J, Dematte J (1998) Teor e distribuição de matéria orgânica em Latossolos das regiões da floresta amazônica e dos cerrados do Brasil central. *Scientia Agrícola* 55(3):343-354.
- Tormena C, Silva A, Libardi P (1998) Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 22 (4):573-581.
- Vezzani F, Mielniczuk J (2011) Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35(1):213-223.
- Vilar C, Vilar F (2013) Comportamento do fósforo em solo e planta. *Campo Digital* 8(2):37-44.
- Zaninetti R, Moreira A, Moraes L (2016) Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Amarelo na conversão de floresta primária para seringa na Amazônia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 51(9):1061-1068

Análise do Uso e Ocupação do Solo e Mapeamento de Áreas Aterradas em Abaetetuba (PA)

Analysis of land use and soil occupation and mapping of landfill areas in Abaetetuba (PA)

Thamna Máira Lourinho Silva ^{14*} | Maurício da Silva Borges ¹⁵ |

Milena Marília Nogueira de Andrade ¹⁶ | Thiago José Costa da Costa ¹⁷

Resumo

A ocupação urbana irregular em Áreas de Preservação Permanente (APP's) é um fator que contribui para a ocorrência de fenômenos como o colapso de aterro, tais como em 2014 no bairro São João, em Abaetetuba-PA, que teve 13 casas destruídas e 49 interditadas. O desastre ocorreu em área aterrada de forma irregular pelos moradores (com aterro composto por areia, argila, lixo e caroços de açaí). Portanto, o presente trabalho possui o objetivo de analisar a expansão da área urbana do Município de Abaetetuba (PA), com ênfase nas APP's, e identificar possíveis áreas de aterramento. Para a análise da expansão do uso do solo foi realizada uma análise multitemporal do período de 1988 a 2016 com imagens Landsat ortorretificadas. Para identificar as áreas aterradas foi realizada uma entrevista com os moradores localizados em regiões aterradas ao longo das APP's com base nas delimitações estabelecidas pelo Código Florestal. Foi constatado que a expansão urbana tem pressionado de forma intensa essa área especial e, e atestou-se que em um período de 28 anos houve redução de 7,27 km² de cobertura vegetal e o crescimento de cerca de 7,26 km² de áreas antropizadas. Ao realizar levantamento em campo a respeito das possíveis áreas aterradas chegou-se à conclusão de que houve aterramento em todos os 14 (quatorze) pontos visitados.

Palavras-chave: Legislação, Áreas de Preservação Permanente, Colapso de Aterro

Abstract

The irregular urban occupation in Permanent Preservation Areas (APPs) is a factor that contributes to the occurrence of phenomena such as landfill collapse. That is what occurred at 2014 at São João neighborhood of Abaetetuba-PA that had 13 houses destroyed and 49 homes interdicted. The disaster occurred with gradually irregularly landing by residents (with a landfill composed by sand, clay, garbage and açaí lumps). Therefore, the aim of this paper is to analyze the urban expansion at APPs' of Abaetetuba (PA) and identify landfilled spots areas. For urban expansion analysis it was used multitemporal analysis during the period from 1988 to 2016 using orthorectified Landsat images. To identified landfilled areas interviews were realized with residents along landfilled areas in APPs. It was verified that the urban expansion has intensively pressed the APPs in 28 years representing a reduction of 7.27 km² of vegetation cover and 7.26km² of urban expansion. The field surveys identified 14 possible land areas around the city that have been landfilled with non-consistent material.

Keywords: Legislation, Permanent Preservation Areas, Land Collapse.

¹⁴ Universidade Federal do Pará, Pós-Graduação em Gestão de Riscos de Desastres na Amazônia. eng.thamna.lourinho@gmail.com. *Autor para correspondência

¹⁵ Universidade Federal do Pará, Pós-Graduação em Gestão de Riscos de Desastres na Amazônia. mauricio@ufpa.br

¹⁶ Universidade Federal Rural da Amazônia, Universidade Federal do Pará, Pós-Graduação em Gestão de Riscos de Desastres na Amazônia. milena.andrade@ufra.edu.br

¹⁷ Instituto de Estudos Superiores da Amazônia. thiagojccosta89@gmail.com

Recebido: 04/04/2019; Aceito: 23/05/2019; Publicado: 10/06/2019

INTRODUÇÃO

O uso e ocupação do solo na Amazônia foi norteadado por catalizadores, tais como a busca pelo Eldorado (séculos XIX e XX), o êxodo rural (século XX), a implantação de grandes projetos na região, como a abertura da Transamazônica (BR-230) e outras rodovias de integração (Carvalho, 2017). Outro fator a ser considerado como intensificador do processo de ocupação na Amazônia se refere a exploração dos recursos naturais, que impulsionou a ocupação desordenada em áreas de várzea, principalmente devido às condições de navegabilidade (Benatti, 2016). Almeida *et al.*, (2016) mapearam os principais uso e cobertura da terra na Amazônia legal a partir do uso de geotecnologias e as áreas a leste da Amazônia legal são as que possuem maior concentração de mosaicos com ocupação urbana nas proximidades de estradas e rios.

Entretanto, as áreas de planície, se ocupadas de forma inadequada, podem ser consideradas como áreas de risco por estarem sujeitas à ocorrência de processos naturais como inundação, erosão fluvial (Borges, 2009), além do colapso de solo. Tucci (2005) atesta que o desenvolvimento de cidades nas proximidades de rios ocorre em decorrência do acesso ao transporte, abastecimento de água para consumo e disposição de dejetos. Tagore e Canto (2018) ao analisarem a produção de açaí por ribeirinhos, residentes em área de várzea no Município de Abaetetuba, afirmam que as intervenções realizadas na região têm resultado em riscos ambientais como erosão e assoreamento dos rios.

Nos estudos de Ribeiro e Alencar (2015) e Abreu (2017) é reforçado o fato, de que as áreas de planície estão sendo aterradas de maneira irregular, a partir da utilização de diversos materiais inapropriados, tais como caroços de açaí, serragem e lixo. O aterro compactado é considerado como um dos fatores determinantes de formação dos principais depósitos colapsíveis (Lollo, 2008). Vale ressaltar que o colapso de aterro consiste em um fenômeno que pode ocorrer quando determinados solos experimentam aumento da quantidade da água, em seus vazios (CPRM, 2014).

Segundo Cardoso (2010) aterrar um terreno significa elevar o mesmo, a fim de que este se torne plano e alto. De acordo com este autor, tal operação, quando feita a partir de projetos de engenharia, é composta por descarga, espalhamento, homogeneização e, quando prevista, a compactação pode envolver material proveniente de outras escavações, ou da própria área. No entanto, o aterramento de áreas para ocupação urbana deve considerar os instrumentos previstos no Estatuto da Cidade (Brasil, 2001), tais como o plano diretor, o uso e ocupação do solo e o zoneamento ambiental. Além disso, de acordo com o Código Florestal (Brasil, 2012) há restrições de ocupação em Áreas de Preservação Permanente (APP).

A área de estudo deste artigo corresponde ao Município de Abaetetuba, localizada no Estado do Pará, que durante a elaboração do seu plano diretor, levou em conta as discussões para uma política de desenvolvimento habitacional, que proibisse as ocupações em APP's e em áreas de risco

(Prefeitura de Abaetetuba, 2006). Estudos pretéritos afirmam que os bairros na área de planície de inundação foram acrescidos com aterros indiscriminados (Ribeiro e França, 2014).

De acordo com Ribeiro *et al.*, (2018) a área central da Cidade de Abaetetuba (Bairros Algodoal, São João e São José) apresenta sua ocupação em uma planície tecnogênica, que é resultante do processo de aterramento com “entulho”, resíduos sólidos, caroços de açaí e serragem, formando um solo frágil que, na presença de umidade, torna-se mais suscetível a movimentos gravitacionais, como o colapso. Esta situação contribuiu para a ocorrência do desastre ambiental do Bairro São João, no ano de 2014, que resultou em 43 casas interditadas e 11 destruídas (CPRM, 2014). Mesmo após os impactos registrados situarem-se a um razoável recuo no tempo, a população ainda permanece ocupando as redondezas da área do desastre, inclusive em alguns imóveis oficialmente interditados.

Portanto, neste trabalho, pretende-se analisar a expansão urbana que tem ocorrido no Município de Abaetetuba, no Estado do Pará, ao longo das décadas, e identificar áreas aterradas nos bairros localizados ao longo da APP do Município.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

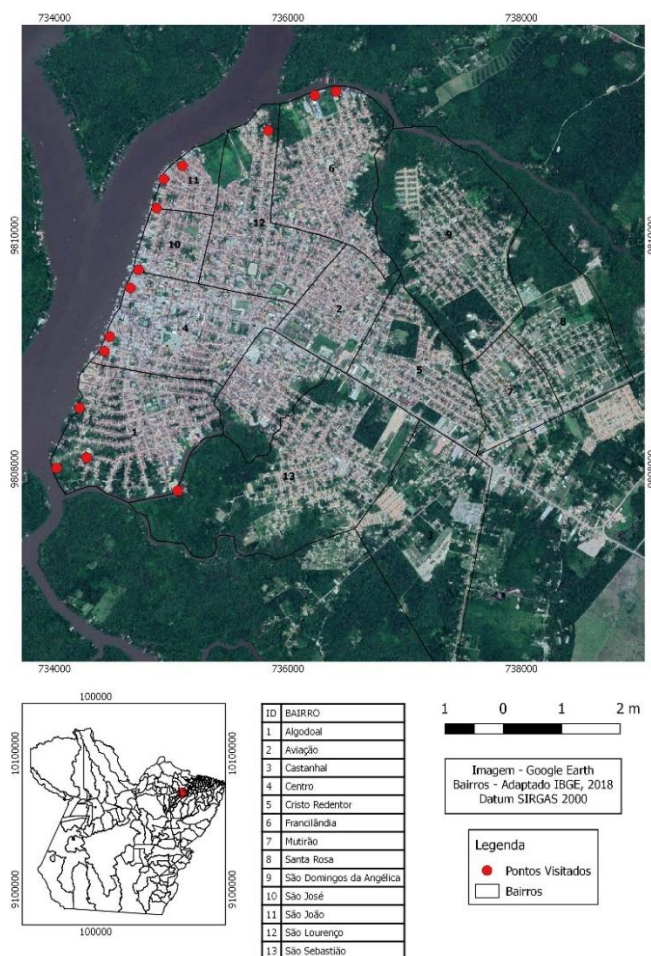
A área de estudo é inscrita no perímetro urbano do Município de Abaetetuba localizada nas margens do Rio Maratauíra e entrecortada

pelos Rios Jarumã, Abaeté e os Igarapés Angélica, Jaquarequara (Figura 1). A sede é composta por 13 (treze) bairros: Algodoal, Aviação, Castanhal, Centro, Cristo Redentor, Francilândia, Mutirão, Santa Rosa, São Domingos da Angélica, São João, São José, São Lourenço e São Sebastião (Prefeitura de Abaetetuba, 2006).

A Cidade faz parte da Mesorregião Nordeste Paraense e da Microrregião de Cametá, possui 1.610,404 km² de área da unidade territorial e população estimada equivalente a 156.292 habitantes (IBGE, 2018). A vegetação das áreas de várzea inclui espécimes pertencentes às florestas ombrófilas latifoliadas e a palmeiras, e o restante da área apresenta vegetação secundária (Almeida *et al.*, 2004). A geomorfologia da sede urbana constitui-se por planícies fluviais, com amplitude topográfica aproximadamente em cota zero metro e, tabuleiros com amplitude topográfica de 20 a 50 metros, sendo ambas as unidades com baixa declividade (CPRM, 2014).

O crescimento urbano da Cidade de Abaetetuba ocorreu a partir do aterramento da planície de inundação com depósitos tecnogênicos, resultando em uma paisagem de risco, que caracteriza a área de estudo (Ribeiro, 2017). Os Bairros Algodoal, Centro, São João, São Lourenço e Francilândia, apresentam essas características de ocupação.

Figura 1. Localização da área de estudo



O mapa de uso do solo foi realizado para dois momentos, com intervalo de 28 anos entre um e outro. Para esta análise multitemporal foram utilizadas imagens Landsat 5 e 8 (Tabela 01), adquiridas da base de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do “United States Geological Survey” (USGS). Foram utilizados os programas Arcgis 10.3 da Esri e Envi 5.0 para realizar a correção geométrica, com erro médio quadrático em meio (0,5) pixel por cena, usando como base imagens ortorretificadas Geocover GLS-Landsat, esfericidade e relevo) (Silva *et al.*, 2012).

A correção geométrica é importante, pois as imagens de satélite podem apresentar

distorções. Essas distorções podem ser inerentes à plataforma (velocidade, altitude e posição), ao instrumento, ao tipo de sensor (varredura, mecânica ou eletrônica) e ao modelo da Terra (rotação). Em seguida, foi realizada a correção atmosférica das cenas Landsat.

O método utilizado para realizar esta operação foi o DOS (“Dark Object Subtraction”) que envolve um reparo do espalhamento atmosférico, no qual a interferência atmosférica é estimada diretamente, a partir dos números digitais (ND) da imagem de satélite, sendo ignorada a absorção da envoltória gasosa (Sanches *et al.*, 2011).

Tabela 1. Dados das imagens de satélites utilizadas na pesquisa

Data de download	Data da imagem	Satélite	Sensor	Bandas	Resolução espacial	Órbita-Ponto
18/12/2017	18/08/1988	Landsat-5	TM	3,4,5	30 M	223-61
18/12/2017	24/08/2016	Landsat-8	OLI	4,5,6	30 M	223-61

Fontes: USGS (2018)

Para a classificação e posterior quantificação de cobertura vegetal e da área antropizada, foi utilizado o algoritmo “Maximum Likelihood” (Máxima Verossimilhança). Neste é considerada a ponderação das distâncias entre médias, nos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. O número de pontos de controle gerados na cena foram 16 (dezesesseis), com erro médio de 5% do total de área analisada, usando o algoritmo de Máxima Verossimilhança.

O mapa de APP foi gerado a partir do software Arcgis 10.3, com a vetorização das drenagens da área de estudo e a aplicação de um “buffer”, com base nos parâmetros impostos na legislação pertinente do Código Florestal, que delimita as APP's de acordo com a largura do curso d'água. Cursos d'água que possuem largura de até 10 metros, de 10 a 50 metros, de 50 a 200 metros, de 200 a 600 metros ou maior que 600 metros possuem a largura da APP de 30, 50, 100, 200 e 500 metros, respectivamente.

Posteriormente foram realizadas duas etapas de trabalhos de campo (Março de 2017 e Agosto de 2018), incluindo a investigação de

14 pontos, ao longo das APP's, com a finalidade de identificar áreas com ameaças de colapsos de aterro. Foi utilizada uma ficha de campo para descrever o local, verificar se na área houve colapsos anteriores, e observar indicativos de movimentação no solo, como presença de trincas, fendas no terreno, e estruturas de contenção danificadas. Além disso foram realizadas entrevistas com um morador em cada ponto para precisar o material utilizado no aterramento da área.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do uso e ocupação do solo mostram que a demografia da área de estudo se deu a partir das margens Rio Maratauirá, em direção ao interior do continente. No ano de 1988 a área antropizada correspondia a aproximadamente 4,23 km² e, no ano de 2016 houve um avanço para 11,49 km² (Figura 2).

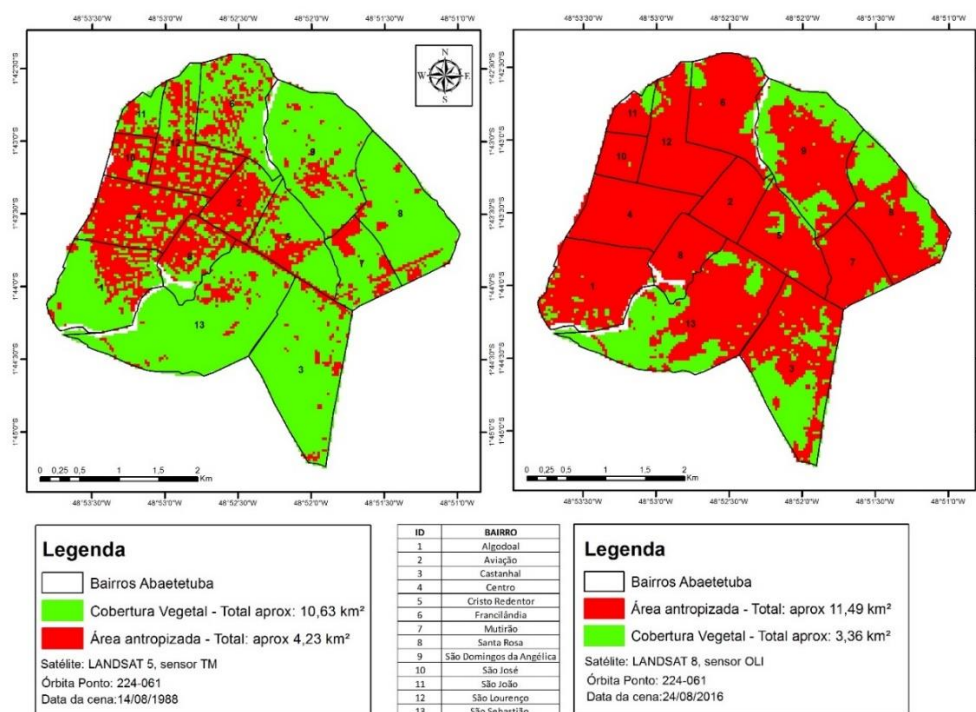
O avanço se deu na parte central da cidade em direção às margens do igarapé Jaquarema e rio Jarumã. Desse modo a maior parte da cobertura vegetal ao longo da APP tem sido impactada com o processo de antropização, pois a expansão urbana tem avançado e ocupado essas áreas.

A área total com cobertura vegetal em 1988 correspondia a aproximadamente 10,63 km² e no ano de 2016 foi calculada em aproximadamente a 3,36km². Este cenário demonstra o quanto as áreas verdes são pressionadas pela expansão da ocupação urbana. Segundo Vaeza *et al.*, (2010), a cobertura vegetal possui papel significativo no que diz respeito a proteção do solo contra o impacto direto das gotas de chuva, de forma a reduzir a velocidade do escoamento superficial e a infiltração de água no solo. No entanto, a partir do momento em que ocorre a retirada de cobertura vegetal em prol do aterramento de áreas para assentamento de imóveis, há modificação das características

do meio natural, como o aumento do escoamento superficial, a redução da permeabilidade do solo, a infiltração de águas pluviais e favorece o surgimento de pontos de alagamentos (Alves, 2012).

A forma como ocorreu a expansão da ocupação urbana da área de estudo, demonstra a ausência ou ineficiência de planejamento e/ou aplicações de políticas públicas, o que ocorre em inúmeras localidades do território brasileiro. As APP's da sede urbana de Abaetetuba estão sob pressão por conta da expansão urbana que não levam em conta os parâmetros designados pelo código florestal.

Figura 2: Mapa de uso e ocupação do solo da Região da Cidade de Abaetetuba (PA) apresentando as áreas antropizadas para o ano de 1988 e de 2016.



As larguras dos corpos d'água variam de 10m à 20m (Igarapé Angélica), de 300 à 600m (Rio Maratauíra), de 50m à 90m (Rio

Jarumã), de 10 à 50m (Igarapés Jaquarequara e Sertão) e de 100m à 150m (no Rio Abaeté). Deste modo, as faixas de preservação destes em

terra firme correspondem a 50m para os Igarapés Angélica, Jaquarequara e Sertão, a 100m para o Rio Abaeté, e a 200m para o Rio Maratauíra (Figura 3).

Na análise do uso do solo os trechos em que estão em acordo com o estabelecido pela legislação, são os que se encontram ao longo do Rio Jarumã e do Igarapé Angélica, pois não há ocupação nas faixas de 50 m e 100 m, a contar da borda da calha do leito regular dos corpos hídricos, situados no Bairro de São Domingos da Angélica.

Contudo, a maior parte da área urbana da Cidade de Abaetetuba (PA) está localizada na planície do Município, o que faz com que as APP's também sejam ocupadas. No Plano Diretor Participativo de Abaetetuba (Lei Municipal nº 222/06) as áreas risco e de APP's não foram mencionadas no processo de ordenamento do Município. Porém no Plano de Ação para Processo de Revisão do Plano Diretor do Município de Abaetetuba, de 22 de Setembro de 2015, foi estabelecido como diretriz para habitação “proibir novas ocupações em áreas de preservação ambiental, de mananciais e em áreas de risco, oferecendo alternativas habitacionais em locais apropriados”. Essa diretriz foi estabelecida uma vez que o Município apresenta, atualmente, locais desordenados de habitação como: habitação em área de várzea, áreas em construção inadequada sem saneamento e, áreas de ocupação habitacional que avançam em direção a mananciais e de preservação (Prefeitura de Abaetetuba, 2006).

Em decorrência dessas APP's não serem protegidas ou fiscalizadas pelo poder público, elas estão evoluindo, gradativamente, para o que se chama de áreas urbanas consolidadas. Estas são definidas pela Lei Federal nº 13.465, de 11 de Julho de 2017 (Brasil, 2017) que dispõe principalmente sobre a regularização fundiária rural e urbana, sobre a liquidação de créditos concedidos aos assentados da reforma agrária e sobre a regularização fundiária no âmbito da Amazônia Legal. Em seu artigo 16-C, classifica as áreas urbanas consolidadas como aquelas que possuem perímetros urbanos, sistemas viários implantados e vias de circulação pavimentadas. Encontram-se organizadas em quadras e lotes, de usos predominantemente urbanos (residencial e comercial), com equipamentos de infraestrutura urbana implantados (drenagem de águas pluviais, distribuição de energia elétrica limpeza urbana, coleta e manejo de resíduos sólidos, abastecimento de água potável).

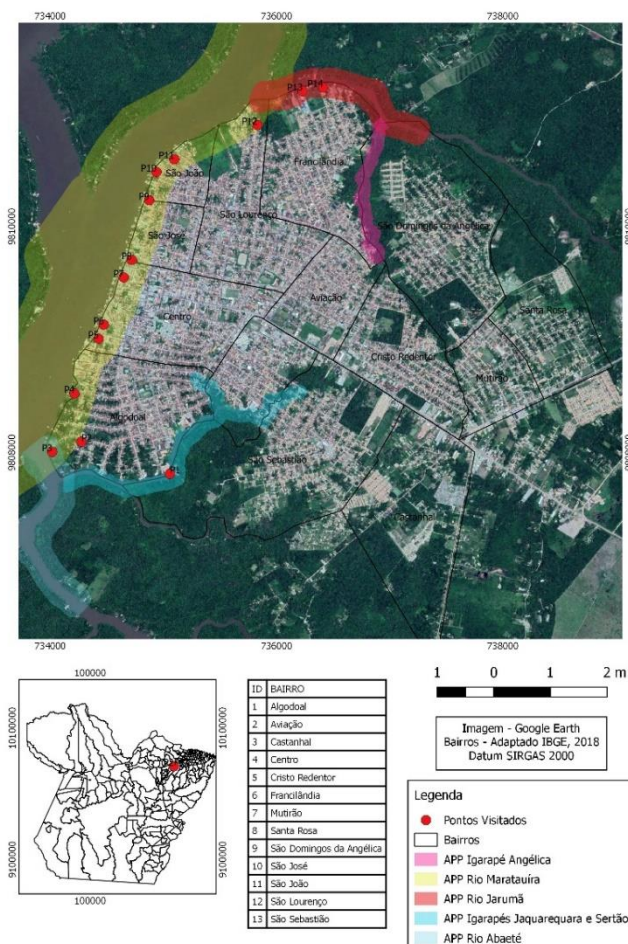
De acordo com o observado a partir da análise multitemporal, bem como levando em consideração o relato obtido pelos moradores nas atividades de campo realizadas, o avanço da ocupação sobre as áreas de planície, na área de estudo, tem se dado através de aterramento com materiais como caroços de açaí e serragem que possuem pouca estrutura de consolidação. Porém, este aterramento em áreas da Amazônia deveria considerar as condições do solo, as características geotécnicas, as características geométricas das áreas de várzea, as quais estão sujeitas às variações sazonais das cotas fluviométricas, e aos históricos de

rupturas dado pelo fenômeno de terras caídas (Rodrigues, 2014; Bandeira *et al.*, 2018).

Foram identificados 14 (quatorze) onde as áreas foram aterradas de forma

incorreta, utilizando-se de materiais sem coesão (Figura 3). Os pontos P1, P2, P3 e P4 estão no bairro Algodoal.

Figura 3: Áreas de Preservação Permanente delimitadas de acordo com os parâmetros estabelecidos no Código Florestal e pontos de aterramento identificados.



No ponto P1 a área aterrada possui cerca de 43,60m de comprimento, e encontra-se diretamente sobre a planície de inundação do Igarapé Jaquarequara. O proprietário do terreno relatou que a área aterrada tinha sua superfície 5m abaixo do nível atual. O material utilizado para o aterro constituiu-se de uma mistura de piçarra, caroços de açaí e “entulho”, que foram cobertas por cimento. Pelo fato de estar localizado na margem do rio, foi construída uma estrutura de contenção

para manter e impedir o escorregamento do aterro (Figura 4A).

O ponto P2 possui disposição na área de várzea, encontrando-se totalmente ocupado, e cujas residências, na ampla maioria palafitas, estão instaladas às margens de um curso d’água afluente do Rio Marataúira (Figura 4B). No ponto P3 as moradias na margem do rio ocupam áreas gradativamente aterradas com piçarra e materiais de construção, sendo comum encontrar trapiches

pra atracação de embarcações. Foi informado que a maré avança cerca de 3 (três) metros no terreno, quando alcança suas máximas (Figura 4C). O ponto P4 também está localizado na área de planície de inundação, com residências e comércios em palafitas com relatos e indícios de que há casas cedendo (Figura 4D).

Os pontos P5, P6 e P7 estão localizados no Bairro Centro, com predominância de atividades comerciais. No ponto P5 houve o aterramento do local com restos de material de construção e, a aproximadamente 06 meses surgiram trincas, com cerca de 0,03cm, em uma das paredes laterais, por conta do requalque do terreno. Nos pontos P6 e P7, ainda no Bairro Centro, foram identificadas estruturas urbanas quebradas na orla do Bairro, nas margens do Rio Marataúira (Figuras 4 E, F, G).

Os pontos 8 e 9 estão localizados no Bairro São João. O ponto consiste na área de um depósito de uma empresa particular. A área aterrada conta com uma contenção contra a erosão, e o material utilizado no aterro foi serragem, caroços de açaí, e “restos” de material de construção. O morador e proprietário do imóvel, que reside há 10 (dez) anos na área, relatou que todas as edificações vizinhas foram construídas sob o mesmo aterro. Foi relatado também a existência de trincas no solo, que variam de aproximadamente 0,04 cm a 0,08 cm e a percepção de “tremores” na terra, todas as vezes que caminhões circulam pela área (Figuras 4 H, I).

O ponto P9 está localizado à 10m de onde houve o colapso de aterro em 2014. A proprietária do imóvel informou que reside na localidade há 40 (quarenta) anos e que nunca surgiram trincas na residência, porém, que construções mais próximas ao rio apresentam esse problema. Esta relatou

ainda a ocorrência de processo erosivo nas residências localizadas às margens do rio, e a sensação de “tremores” todas as vezes que veículos de grande porte, como caminhões, circulam pelas vias de acesso.

Os pontos P10 e P11 também estão localizados no Bairro São João. O P10 situado na Rua Siqueira Mendes possui sua área aterrada com caroços de açaí, assim como toda a área da desembocadura de um antigo igarapé, que cortava a localidade, a qual foi nivelada com piçarra. A moradora afirma ainda que, praticamente, todo o Bairro São João foi aterrado com os mesmos tipos de materiais, quais sejam, materiais de construções e caroços de açaí. Durante as investigações de campo foram visitadas 03 residências, as quais apresentaram trincas nas paredes externas, com dimensões de 0,03 a 1,2cm, bem como desnível no solo e aterro nas margens do Rio Marataúira, assim como a existência de talude para conter o aterro (Figura 4I).

O ponto P11 está localizado a aproximadamente 20 (vinte) metros do local onde houve o colapso de aterro, constituindo o limite para casas interditadas pela Defesa Civil. A moradora entrevistada reside a 35 (trinta e cinco) anos no Bairro, e relatou que em sua moradia foram identificadas algumas trincas próximas ao telhado, porém, após análise técnica foi informado à mesma, que a origem das trincas não está relacionada ao colapso do solo (Figura 4K). É oportuno ressaltar, que esta entrevistada, igualmente à vários outros residentes da área, também afirmou que inicialmente a área era de várzea e, foi gradativamente aterrada com caroços de açaí, “moinha” (pó de serragem) e “entulho”.

O ponto P12, localizado no Bairro São Lourenço, consiste em uma residência inserida às margens do Rio Jarumã. Foi observado que materiais de construção e caroços de açaí são depositados na margem do rio, para aterramento, e, o local possui lançamento de esgoto e de águas pluviais à céu aberto (Figura 4L). A moradora entrevistada informou que reside há 30 (trinta) anos na área, e que no início do processo de aterramento, apenas se utilizava serragem, que com o passar dos anos houve a adição de caroços de açaí e piçarra na mistura do material. Esta alegou que antes, a residência em que mora atualmente era de madeira, e que também utilizava pontes suspensas, sobre o rio, para acessar a rua principal. No local também foi observado a existência de uma contenção instalada há 05 (cinco) anos, para que não houvesse escorregamento de aterro para o rio.

Os pontos P13 e P14 estão posicionados no Bairro Francilândia situado às margens do Rio Jarumã. No P13 há um ponto de atracação e travessia de embarcações. Neste local pode-se observar a forma do empilhamento do aterro composto por uma mistura de caroços de açaí e piçarra com uma altura de aproximadamente 3m de altura (Figura 4M).

O ponto P14 consiste em uma residência contruída na área de várzea, com indícios de processos de erosão fluvial, além de solifluxão indicado pela presença de árvores inclinadas. O morador informou que reside há 07 (sete) anos na área, e que o local foi aterrado com serragem, caroços de açaí e piçarra, afirmando ainda que

nunca surgiram trincas na residência (Figura 4N). As investigações efetuadas nos 14 pontos da área de estudo, apontam para a existência de uma ocupação progressiva, em direção às áreas de APP's, bem como atestam que aqueles passaram por sucessivos aterramentos, com material pouco coeso (caroços de açaí, resíduos sólidos e piçarra, em sua maioria). Os relatos indicam que o ambiente anterior aos aterramentos, era caracterizado pela presença de pontes suspensas de madeira, para permitir o acesso às ruas principais. Foi observado ainda que, os moradores afastados de suas residências, pela Defesa Civil, em decorrência de interdição dos imóveis, permaneceram residindo na área afetada. Estes relataram que apesar de estarem cientes dos riscos, aos quais estão submetidos, voltaram a morar no local, devido não terem condições financeiras, para arcar com aluguel de qualquer outro imóvel. A área de estudo não conta com rede de drenagem, coleta de esgoto e de águas pluviais, nem com alguma infraestrutura adequada.

Todo o material utilizado para aterramento da sede urbana de Abaetetuba não possui coesão suficiente e está sobreposto a um relevo plano com material argiloarenoso (Fonseca, 2014). A formação desse solo de sustentação com origem tectogênica é considerada um fator de risco potencial ao colapso (Pellogia, 1996). Portanto, os pontos de aterramento em Abaetetuba, de acordo com Ribeiro *et al.*, (2018) são frágeis e podem colapsar frente ao aumento da saturação frequentes em áreas de planície de inundação.

Figura 4: Pontos da área de estudo visitados durante os trabalhos de campo. (A) área aterrada com caroços de açaí e piçarra; (B) residências de palafita sobre a planície de inundação do Rio Maratauíra, no Bairro Algodoal; (C) trapiche sendo construído nas margens do Rio Maratauíra; (D) Pontes de acesso à residência em que houve entrevista e às demais moradias no Bairro Algodoal; (E) estrutura de madeira no ponto P5 para evitar o escorregamento de aterro para o rio; (F) parte da calçada quebrada no Bairro Centro; (G) colapso de parte da calçada; (H) trincas de aproximadamente 0,08 cm no muro, e aterro com resto de material de construção em área localizada no Bairro São João; (I) estrutura de contenção para conter o aterro de material de construção; (J) aterro com caroço de açaí; (K) casa nas proximidades do local em que houve o colapso de aterro no Bairro São João; (L) tubulação de esgoto inadequada nas margens do Rio Jarumã; (M) área de atracação de embarcações em que se pode observar o aterro ao lado da ponte, com 3 metros de altura; (N) área aterrada com serragem.



CONCLUSÕES

Como resultado da análise multitemporal do uso e ocupação do solo realizada com o intuito de investigar como se desenvolveu a ocupação na área urbana do Município de Abaetetuba, pode-se constatar que 7,27km² de cobertura vegetal sofreram processo de antropização ao longo de 28 anos (1988-2016). Portanto, a expansão urbana ocorrida no Município de Abaetetuba aconteceu com a conversão da área de vegetação nativa, em áreas urbanizadas e, as expensas das APP's, o que constitui fato grave. O vetor de expansão se orientou a partir das margens do Rio Maratauíra, em direção à região central da cidade. A ocupação das áreas mais baixas foi suportada pelo uso indevido de material para aterramento.

No que diz respeito ao mapeamento de áreas aterradas, chegou-se a conclusão de que todos os 14 (quatorze) pontos identificados foram aterrados com materiais sem coesão. Uso de serragem, caroços de açaí e material de construção, foram recorrentemente observados e relatados durante os trabalhos de campo. As casas na margem do Rio Maratauíra possuem comumente contenções, para estabilizar e impedir a locomoção do material aterrado. Contudo, nenhuma técnica de engenharia ou teste de resistência dos materiais do aterro foi realizado.

Dada a extensão do desastre no Bairro São João, no ano de 2014, entende-se que os espaços da área urbana que oferecem maiores riscos de ocorrência de colapso de aterro são aqueles localizados às margens dos rios e

igarapés, situados nas APPs, devido serem locais aterrados de forma inadequada pela própria população. Portanto, a adoção de medidas preventivas com o intuito de mitigar ou evitar o surgimento de desastres na sociedade é imprescindível.

REFERÊNCIAS

- Abreu W (2017) A abordagem ambiental na geografia: elementos para uma discussão sobre teoria e método. *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*. Out-Dez. <http://www.eumed.net/rev/cccs/2017/04/abordagem-ambiental-geografia.html>. Acesso 2 de fevereiro 2018
- Almeida SS, Amaral DD, Silva ASL (2004) Análise florística e estrutura de florestas de Várzea no estuário amazônico. *Acta Amazônica* 34(4): 513 – 524.
- Almeida CA, Coutinho AC, Esquerdo JCDM, Adami M, Venturieri A, Diniz CG, Dessay N, Durieux L, Gomes AR (2016) High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amazônica* 46(3): 291 – 302.
- Alves D (2012) *Cobertura vegetal e qualidade ambiental na área urbana de Santa Maria (RS)*. Dissertação (Mestrado em Geociências) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 155p.
- Bandeira I, Adamy A, Andretta E, Conceição R, Andrade M (2018). Terras Caídas: Fluvial erosion or distinct phenomenon in the Amazon? *Environmental Earth Science*. 77:222. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7405-7>
- Benatti J (2016) *Várzea e as populações tradicionais: A tentativa de implementar políticas públicas em uma região ecologicamente instável*. In: Alves F, A função socioambiental do patrimônio da união na Amazônia, Ipea, Brasília, p. 17-29
- Borges M (2009) *A tutela de direitos coletivos e difusos no uso de terrenos marginais amazônicos*. In: V Encontro Anual da ANDHEP - Direitos Humanos, Democracia e Diversidade. <http://www.andhep.org.br/anais/arquivos/Vencontro/gt8/gto8p03.pdf>. Acesso 10 de maio de 2017

- Brasil (2017) Lei nº 13.465, de 11 de julho de 2017. *Diário Oficial da União* 12/07/2017(1):1-16
- Brasil (2001) Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. *Diário Oficial da União* 11/07/2001(1):1-6
- Brasil (2012) Lei Nº 12.651 de 25 de maio de 2012. *Diário Oficial da União* 28/05/2012(1):1-8
- Cardoso D (2010) *Movimentação de terra em obras rodoviárias: um estudo de caso de trechos do processo - MG, observados os aspectos da Engenharia Sanitária*. Monografia (Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Carvalho E (2017) O processo de colonização e urbanização na amazônia. *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*. Jan-Mar. <http://www.eumed.net/rev/ccss/2017/01/colonizacion.html>. Acesso 2 de fevereiro 2018
- Fonseca D (2014) *Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa: Abaetetuba, Pará*. In: Serviço Geológico do Brasil. CPRM, Belém. 15p.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018) *Panorama de Abaetetuba*. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/Abaetetuba>. Acesso em 08 de outubro de 2018.
- Lollo A (2008) *Solos Colapsíveis: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas*. Cultura Acadêmica UNESP, São Paulo. 260p.
- Pellogia AUG (2005) A cidade, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do homem no município de São Paulo. *Revista do Departamento de Geografia* 16: 24-31.
- Prefeitura de Abaetetuba. Plano Diretor Participativo de Abaetetuba - Projeto de Lei No 12/06 de setembro de 2006. n. 91, 2006.
- Ribeiro R, França F (2014) Condição Urbana e Ambiental no Bairro Algodão em Abaetetuba/PA Frente à Ocupação das Várzeas. *Revista Geonorte* 10:272-275.
- Ribeiro E, Alencar I (2015) Análise de risco da ocupação da Chicolândia em Abaetetuba – PA: uma proposta de gestão ambiental sustentável. *Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais* 6(3):110-121.
- Ribeiro ERF, Szlafsztein CF, Bordalo, CAL, Abreu WL, Tamassauskas CEP, Farias Junior, CA (2018) Contribuições à gestão ambiental e planejamento urbano em áreas de risco na cidade de Abaetetuba-Amazônia (Brasil). *Papers do NAEA* 328:3-20.
- Ribeiro E (2017) *Vulnerabilidade e percepção de risco na planície tecnogênica em Abaetetuba-PA: subsídios ao planejamento urbano e a gestão ambiental*. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Pará, Belém.
- Rodrigues F (2014) Terras caídas e morfodinâmica fluvial no Alto Solimões. *Revista Geonorte* 3:04-23
- Sanches I, Andrade R, Quartaroli, C, Rodrigues C (2011) *Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5 – TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI*. In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE, Curitiba, p. 7564-7571
- Silva G, Loebmann D, Folharini S, Nogueira S, Vincente L, Andrade R, Furtado A (2012). *Procedimentos para correção geométrica de imagens de satélite*. Campinas: EMBRAPA. 19p.
- Tagore M, Canto O, Sobrinho M (2018) Políticas públicas e riscos ambientais em áreas de várzea na Amazônia: o caso do PRONAF para produção do açaí. *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente* 45:194-214
- Tucci C (2005) *Gestão de águas pluviais urbanas*. Ministério das Cidades, Global Water Partnership, World Bank, Unesco. 270 p.
- USGS United States Geological Survey (2018). <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em 05
- Vaeza R, Oliveira Filho P, Maia A, Disperati A (2010) Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica Urbana a Partir de Imagens Orbitais de Alta Resolução. *Revista Floresta e Ambiente* 17(1):23-2