



Universidade Federal do Amapá  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais



LIANA PEREIRA BELÚCIO

PULSO HIDROLÓGICO E GRADIENTES EDÁFICO-HIDROLÓGICOS EM PAISAGENS  
RIPÁRIAS AMAZÔNICAS

MACAPÁ - AP

2020

LIANA PEREIRA BELÚCIO

PULSO HIDROLÓGICO E GRADIENTES EDÁFICO-HIDROLÓGICOS EM PAISAGENS  
RIPÁRIAS AMAZÔNICAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Alan Cavalcanti da Cunha

MACAPÁ - AP

2020

**ERRATA**

BELÚCIO, L. P. **Pulso hidrológico e gradientes edáfico-hidrográficos em paisagens ripárias amazônicas.** 2020. 61 f. Dissertação – Departamento de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2020.

<b>Página</b>	<b>Linha</b>	<b>Onde se lê</b>	<b>Leia-se</b>
XX	XX	Texto errado	Texto correto

LIANA PEREIRA BELÚCIO

PULSO HIDROLÓGICO E GRADIENTES EDÁFICO-HIDROLÓGICOS EM PAISAGENS  
RIPÁRIAS AMAZÔNICAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Aprovada em 31 de Agosto de 2020.

BANCA EXAMINADORA

---

Alan Cavalcanti da Cunha – Universidade Federal do Amapá (UNIFAP)

---

Marcelino Carneiro Guedes – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-AP)

---

Ana Paula Nunes da Silva – Universidade do Estado do Amapá (UEAP)

---

Carlos Henrique Medeiros de Abreu – Universidade do Estado do Amapá (UEAP)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me abençoado e protegido durante todo o caminho até aqui. Sem a Sua Graça, nada teria sido possível.

Aos meus pais e irmãs, que me apoiaram incondicionalmente, de forma material e emocional. Compreenderam minha ausência, colocaram seus projetos em segundo plano, ajudaram-me na logística das viagens de campo, na dissertação, foram meus revisores, motivadores e uma grande equipe! Obrigada por estarem comigo nos momentos bons, mas, principalmente, nos momentos de fraqueza! Amo vocês!

Ao meu orientador, Dr. Alan Cunha. Não tenho palavras suficientes para agradecer. Além de um excelente orientador, dedicou-se sem medidas à frente do projeto Rede Ripária, coordenando uma imensa equipe e um plano de execução praticamente impossível. Agradeço pela paciência para com minhas falhas, pela motivação, conhecimento e por estar comigo no desenvolvimento dessa dissertação em todas as etapas.

Ao projeto Rede Ripária (processo nº 441520217-0) financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por ter subsidiado a presente pesquisa.

A todos os membros do projeto Rede Ripária, em especial, aos coordenadores e idealizadores, que foram excelentes líderes e mestres: Profa. Dra. Maria Teresa Fernandez Piedade, Prof. Dr. Alan Cunha, Prof. Dr. Jochen Schongart, Prof. Dr. Thiago André, Profa. Dra. Amanda Mortati e Profa. Dra. Leidiane de Oliveira.

Ainda, em particular, aos amigos e membros pesquisadores do projeto que lutaram juntos durante as excursões de campo: Daiane e Kézia, que se tornaram minhas amigas para toda a vida, ao Anderson, Gildo, Adriano, Priscila, entre outros. E aos amigos/membros no Estado do Amapá: Ezequiel, Tannara, Jéssica e Elaine.

A todos os técnicos e colaboradores nos diversos sítios do projeto Rede Ripária nos estados do Amapá, Pará e Amazonas. Posso citar Gilvan Portela, José Roberto Pantoja (Chicão), Luiz Carlos, Gilmara, Adaian Leal, Harinilton Leal e, em particular, Hamilton Junho Leal, por estar presente e colaborar imensamente em todas as coletas hidrológicas no sítio da Floresta Nacional do Amapá (FLONA-AP).

Ao ICMBio-AP e gestores, Sueli, Fernanda e Ivan, por terem permitido e apoiado a realização das diversas pesquisas, na FLONA-AP.

À EMBRAPA-AP, representada pelo Prof. Dr. Marcelino Guedes, pelos analistas Msc. Leandro Damasceno, Dr. Daniel Araújo, técnicos Edilaldo, Claudeci e estagiários. A estes analistas, técnicos e estagiários, todo o meu agradecimento pela árdua realização das análises das amostras de solo.

À FUNASA e UNIFAP, através do projeto TEDPlan, que além de terem me financiado com uma bolsa por 12 meses, disponibilizaram seus demais bolsistas para ajudarem com as análises no laboratório de solos da EMBRAPA. Aproveito para agradecer aos bolsistas e amigos: Jéssica, Elaine e ao grande amigo Jorge.

Às minhas tias, Profa. Dra. Lucinice Belúcio e Profa. Dra. Clara Ferreira, por terem me auxiliado e colaborado com sugestões e correções à dissertação. A disponibilidade e bondade a mim devotadas foram indescritíveis!

À UNIFAP e professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), por todo conhecimento compartilhado e generosidade para com seus acadêmicos.

Aos meus amigos do PPGCA, por tornarem os anos de mestrado, especialmente os primeiros seis meses, mais leves, divertidos e, claro, construtivos.

Por fim, a todos os meus amigos, familiares e aos demais que me apoiaram e não pude citar nas palavras acima, a esses também deixo meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

BELÚCIO, L. P. Pulso Hidrológico e Gradientes Edáfico-Hidrográfico em Paisagens Ripárias Amazônicas. 61 f. Dissertação – Departamento de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2020.

As áreas úmidas amazônicas e, de forma particular, as vegetações ripárias de florestas tropicais, são pouco estudadas, mesmo apresentando alta complementaridade espacial e relevante valor para a conservação da interface ripária. Sua relevância ocorre principalmente ao longo de tributários de uma mesma e única bacia hidrográfica. Esta pesquisa é parte do Projeto Rede Ripária e trata sobre o papel e importância das áreas úmidas da Amazônia no contexto de bacias hidrográficas. As áreas de estudo do Projeto abrangem zonas ripárias de três Unidades de Conservação que já contam com inventários em parcelas permanentes, dentre as quais, a Floresta Nacional do Amapá-Ap, onde se localiza a bacia hidrográfica do Rio Falsino, tratada neste estudo. Foram levantados dados abióticos e buscou-se analisar similaridades edáficas de zonas ripárias nesta bacia, considerando amplitude do pulso de inundação e variação topográfica. Para tanto, estes foram utilizados como gradientes de diferentes trechos/cursos d'água. Metodologicamente, foram implementadas 21 parcelas, incluindo-se rios de segunda à quarta ordem, com o objetivo de capturar a variação edáfica ao longo do contínuo fluvial. Fatores geométricos da bacia foram estimados (coeficiente de compacidade de Gravelius e Fator de Forma), além de instaladas réguas limnimétricas para medidas da altura da coluna d'água. As amostras de solo foram coletadas a partir de seis subamostras com distâncias de 50 m e em três diferentes profundidades, sendo posteriormente analisadas. Teste simplificado comparativo de interdependência entre dois métodos diferentes de medidas topográficas, um em campo (GPS) e outro com dados disponíveis de Radar (SRTM) foi realizado para verificar níveis topográficos na bacia. Uma Análise de Componentes Principais foi utilizada para diferenciar aspectos físico-químicos do solo, observando-se potenciais correlações entre granulometria, umidade, pH e concentrações de nutrientes utilizando testes de correlação de Spearman. O pulso de inundação apresentou relação significativa com a topografia ( $p < 0,05$ ), mas também com a ordem do rio, confirmando a primeira hipótese da pesquisa. O fator ordem de tributário é o que mais impacta o pulso de inundação, quanto mais próximo da foz e maior a ordem do rio, maior e mais estável o nível do pulso de inundação. A proporção de teores granulométricos mais grosseiros (areia total) é proporcionalmente menor conforme aumenta o

pulso em cada parcela. As planícies sofrem mudanças físico-químicas após os fluxos de inundação e a granulometria dos substratos se modificam. O pulso de inundação também influenciou: positivamente os teores de Alumínio e Acidez potencial e negativamente a quantidade de nutrientes representada pela Soma das Bases, nutrientes estes que não se relacionaram significativamente à altitude, já que entre todos os atributos edáficos e a topografia, as correlações foram fracas e não significativas. Quando comparados entre si, os métodos GPS e SRTM obtiveram resultados interdependentes. Logo, ambos os métodos podem ser aplicados indistintamente na bacia. A análise de parcelas a partir do perfil longitudinal de uma mesma bacia hidrográfica (por ordem de tributários) facilitou a avaliação de possíveis correlações entre atributos abióticos. É necessário, no entanto, aprofundamento da pesquisa sobre a influência da topografia em áreas alagadas e que abranja as outras bacias hidrográficas do projeto Rede Ripária.

Palavras-chave: Áreas Úmidas, Atributos abióticos, Unidades de Conservação, Bacia Hidrográfica.



## ABSTRACT

BELÚCIO, L. P. Hydrological Pulse and Edaphic-Hydrographic Gradients in Amazon Riparian Landscapes. 61 p. Master Thesis – Department of Environment and Development, Federal University of Amapá, Macapá, 2020.

The Amazonian wetlands and, in particular, the riparian vegetation of tropical forests, are poorly studied, even with high spatial complementarity and relevant value for the conservation of the riparian interface. Its relevance occurs mainly along tributaries of the same and only hydrographic basin. This research is part of the Rede Ripária Project and deals with the role and importance of amazonian wetlands in the context of watersheds. The Project's study areas cover riparian zones of three Conservation Units that already have inventories in permanent plots, including the Amapá National Forest, where the Falsino River basin is located, treated in this study. Abiotic data were collected and the aim was to analyze edaphic similarities of riparian zones in this basin, considering the amplitude of the flood pulse and topographic variation. For that, they were used as gradients of different stretches / streams. Methodologically, 21 parcels were implemented, including rivers from second to fourth order, in order to capture the edaphic variation along the river continuum. Geometrical factors of the basin were estimated (Gravelius compactness coefficient and Form Factor), in addition to limnometric rules installed to measure the height of the water column. The soil samples were collected from six subsamples with distances of 50 m and at three different depths, being subsequently analyzed. Simplified comparative test of interdependence between two different methods of topographic measurements, one in the field (GPS) and the other with available Radar data (SRTM) was performed to verify topographic levels in the basin. Principal Component Analysis was used to differentiate physicochemical aspects of the soil, observing potential correlations between particle size, moisture, pH and nutrient concentrations using Spearman correlation tests. The flood pulse showed a significant relationship with the topography ( $p < 0.05$ ), but also with the order of the river, confirming in part the first research hypothesis. The tributary order factor is the one that most impacts the flood pulse, the closer to the mouth and the greater the order of the river, the higher and more stable the level of the flood pulse. The proportion of coarser granulometric contents (total sand) is proportionally smaller as the pulse in each plot increases. The plains undergo physical and chemical changes after the flood flows and the granulometry of the substrates are modified. The flood pulse also

influenced: positively the contents of Aluminum and potential acidity and negatively the amount of nutrients represented by the Sum of Bases, nutrients that were not significantly related to altitude, since among all edaphic attributes and topography, the correlations were weak and not significant. When compared to each other, the GPS and SRTM methods obtained interdependent results. Therefore, both methods can be applied without distinction in the basin. The analysis of plots from the longitudinal profile of the same watershed (in order of tributaries) facilitated the evaluation of possible correlations between abiotic attributes. However, it is necessary to deepen the research on the influence of topography in flooded areas and that it covers the other hydrographic basins of the Rede Ripária project.

**Keywords:** Wetlands, Abiotic Attributes, Conservation Units, Hydrographic Basin.

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FLONA	Floresta Nacional
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
PELDs	Programas Ecológicos de Longa Duração
PPBio	Programa de Pesquisa em Biodiversidade
RDS	Reserva de Desenvolvimento Sustentável
SEMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UC	Unidade de Conservação
UFOPA	Universidade Federal do Oeste do Pará

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1 Justificativa	17
1.2 Problema	19
1.3 Hipóteses	19
2 OBJETIVOS	20
2.1 Geral	20
2.2 Específicos	20
3 REFERENCIAL TEÓRICO	21
3.1 Áreas periodicamente alagáveis	24
3.2 Hidrologia e características físicas dos solos	25
3.3 Variação Edáfica na Amazônia e em áreas periodicamente alagáveis	26
3.4 Interações hidrológico-edáficas na Amazônia e em áreas periodicamente alagáveis	28
4 REFERÊNCIAS	30
5 ARTIGO CIENTÍFICO	36
6 CONCLUSÕES GERAIS	59

## INTRODUÇÃO GERAL

Aproximadamente 30% da área da bacia amazônica são classificáveis como áreas úmidas, com inundação episódica, periódica ou permanente, mostrando a necessidade de elaboração de estratégias de conservação e estudos ecológicos em ecossistemas ripários (JUNK et al., 2011).

As áreas úmidas continuam sendo pouco estudadas na Amazônia e, paradoxalmente apesar da exigência de arcabouço legal, poucos Programas Ecológicos de Longa Duração (PELDs) consideram as bacias hidrográficas como a unidade básica natural da paisagem para a implementação de parcelas de monitoramento e estudos ecológicos permanentes. Há lacunas significativas quanto aos gradientes hidrológicos, edáficos e topográficos que expliquem as variações bióticas nas florestas ripárias (SCHIETTI et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2019).

Neste cenário, por um lado, a vegetação ripária mesmo em floresta de terra firme, e considerando os diminutos tributários, tem sido também negligenciada, apesar de conter espécies endêmicas e de apresentar alta complementaridade espacial e relevante valor para a conservação desta transição entre terra firme e sistemas hídricos (CUNHA, 2018; SCHÖNGART, 2018). Por outro lado, as áreas úmidas hospedam um importante complemento da diversidade regional de plantas. Mas nestas regiões pouco se conhece quais são os fatores que melhor explicam ou controlam a adaptação da vegetação nesta zona de transição, bem como quais são as interdependências existentes nesses ecossistemas (WITTMANN et al., 2017).

Portanto as zonas ripárias fazem parte de ecossistemas de formação complexa e dinâmica (ou zonas ribeirinhas). Caracterizam-se como áreas de interação entre ecossistemas terrestres e aquáticos. São ecótonos, abrangendo gradientes acentuados de fatores ambientais, processos ecológicos e comunidades de plantas. As zonas ripárias não são facilmente delineadas, mas são compostas por mosaicos de formas de solos, comunidades e ambientes na paisagem maior (GREGORY et al., 1991).

Florestas inundáveis, conceituadas por Mantovani (1989) como florestas ripárias, são formações florísticas com características particulares em função das cheias periódicas, comumente variáveis em intensidade, duração, frequência e flutuação do lençol freático. Entretanto, a dinâmica hidrológica está intimamente vinculada não só com a composição florística (OLIVEIRA et al., 2020), mas também com o acúmulo e características dos sedimentos ao longo das margens dos corpos d'água nas planícies de inundação. Por exemplo, com características específicas da região amazônica, em que as interações bióticas e abióticas

em zonas ripárias tem sido elucidada pela influência do pulso de inundação. Este pulso se refere ao processo dinâmico de cheias e secas, com amplitude, duração, frequência, forma e previsibilidade (JUNK et al., 2011). De tal modo que, “um pulso previsível de longa duração gera adaptações e estratégias que propiciam o uso eficiente dos atributos da zona de transição aquática/terrestre” (JUNK et al., 1989), com processos biológicos, biogeoquímicos e trocas laterais entre esses sistemas (RESENDE, 2008).

O resultado da influência temporal mútua entre os ecossistemas aquático e terrestre, por exemplo, influencia a dinâmica dos sedimentos e nutrientes recém depositados na planície de inundação, os quais transformam-se em solo ripário de formação heterogênea (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2002). Na Amazônia, os solos formados a partir de sedimentos quaternários, são considerados solos jovens com processo incipiente de pedogênese (SCHAEFER et al., 2017).

Neste contexto, a presente pesquisa é parte integrante do Projeto Rede Ripária (CNPq), desenvolvido em parceria entre a Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). O Projeto Rede Ripária trata essencialmente do papel e importância das áreas úmidas da Amazônia no contexto de diferentes bacias hidrográficas (Figura 1), legalmente consideradas como as unidades básicas territoriais representativas para realização de balanços hídricos (BRASIL, 1997).

As áreas de estudo do projeto Rede Ripária abrangem zonas ripárias de Unidades de Conservação (UCs) que já contam com inventários em parcelas permanentes, tais como: a Floresta Nacional do Tapajós (PA), Floresta Nacional do Amapá (AP) e a Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Uatumã (AM). Como estas áreas possuem naturalmente características hidrológicas e geomorfológicas diferentes (ex. precipitação média anual, geometria das bacias hidrográficas, relevo e elevação do terreno, etc.) (CUNHA, 2018), tem sido possível avaliar as variações em escala local (nos sítios de amostragem) e em escala regional, comparando as três bacias hidrográficas, com o objetivo de ampliar consideravelmente o número de parcelas ripárias presentes na Amazônia, utilizando-se amostragem hidrológica e edáfica padronizada (SCHÖNGART, 2018; WITTMANN et al., 2017).

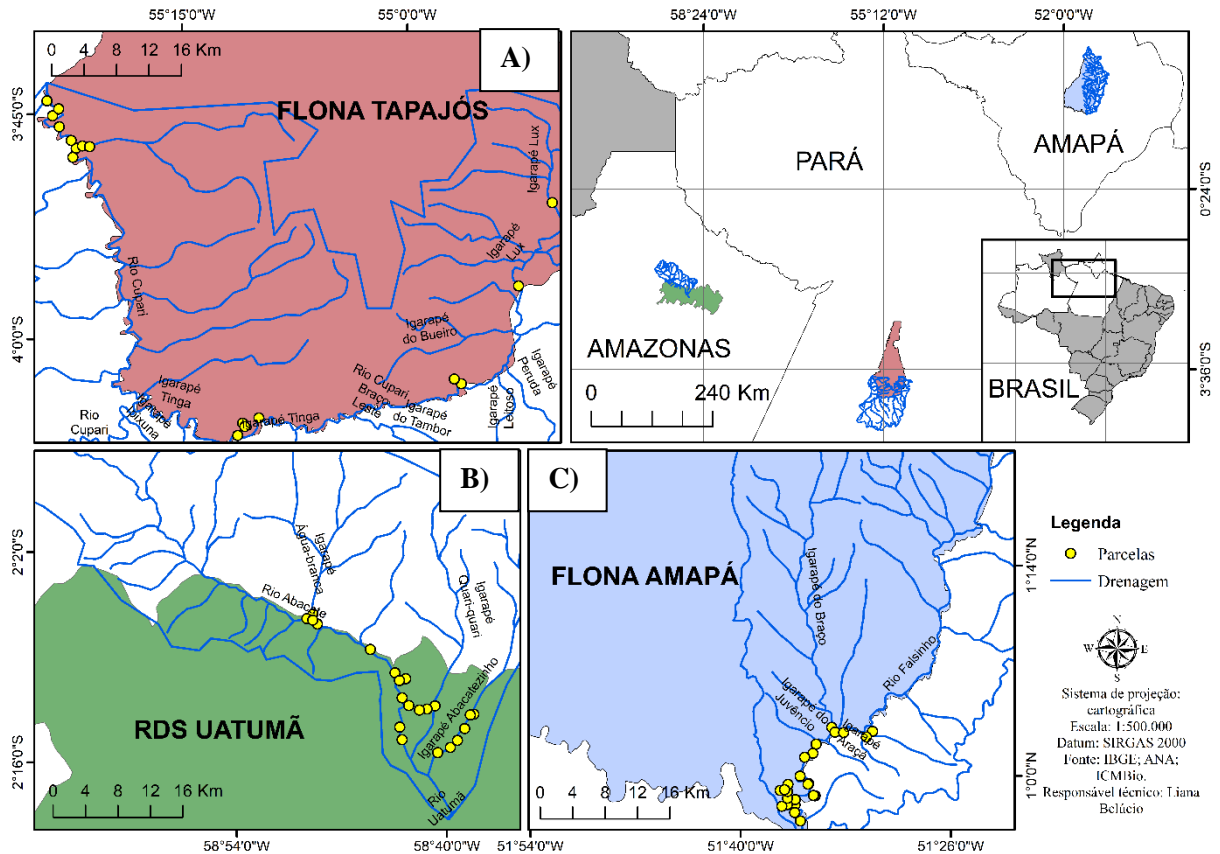


Figura 1 – Localização das três áreas de estudo do projeto Rede Ripária: Unidade de Conservação (UC) FLONA Tapajós com área de drenagem da bacia do rio Cupari-PA; UC RDS Uatumã com área de drenagem da bacia do rio Abacate-AM; UC FLONA do Amapá com área de drenagem da bacia do Rio Falsino-AP

Um dos critérios utilizados para a escolha das bacias hidrográficas foi a especificidade do padrão do pulso de inundação. Isto é, os gradientes hidrológicos como variáveis independentes para explicar uma variada tipologia de características físicas das bacias hidrográficas.

De modo geral, a presente investigação está intimamente relacionada ao primeiro eixo temático de apoio à implantação, monitoramento e manutenção de redes de inventário da biota (Figura 1). Assim, apresenta estreita ligação a programas PELD e Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio) já em curso nas áreas focais de investigação idealizadas na Amazônia.

Um segundo eixo, contemplado no Projeto Rede Ripária, refere-se aos padrões e processos relacionados à biodiversidade, buscando entender quais são os fatores que regulam a distribuição de árvores de florestas alagáveis e seus processos adaptativos em escala de bacia amazônica (CUNHA, 2018; WITTMANN et al., 2006).

No presente caso, trataremos exclusivamente de estudar a bacia hidrográfica do Rio Falsino (AP) (Figura 1A), pertencente à Floresta Nacional do Amapá, cuja precipitação total anual é de

aproximadamente 2184,2 mm e temperatura média de 26 °C (OLIVEIRA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2020). O Rio Falsino faz parte da bacia hidrográfica do rio Araguari, bacia hidrográfica exclusiva do estado do Amapá. Suas águas são ácidas e consideradas de alta capacidade de autopurificação. Porém a alta declividade e velocidade do rio contribui para a diminuição de riqueza de espécies da comunidade fitoplanctônica, sendo maior quando comparado com os dados de estudos semelhantes para a Amazônia. (CUNHA et al., 2013).

Isto é, no estudo exclusivo de dados abióticos (ex.: disponibilidade de água no habitat e as características edáficas), estes são considerados importantes para a caracterização local das unidades amostrais, servindo como delimitadores da magnitude do efeito do pulso de inundação sobre a variação e disponibilidade de nutrientes e textura no solo e água no nível do lençol freático (OLIVEIRA et al., 2019; WITTMANN et al., 2006).

É importante ressaltar que os dados primários gerados na presente pesquisa preenchem uma significativa lacuna de conhecimento sobre estes ecossistemas amazônicos e, portanto, são considerados inéditos e relevantes para o atual e futuro monitoramento ecológico de longo prazo de zonas ripárias regionais. Neste contexto, ressalta-se que algumas destas zonas em muitas áreas da Amazônia já estão sendo afetadas por ações antrópicas, tais como o uso e ocupação desordenados do solo, crescimento populacional, instalação e operação de barragens (SANTOS et al., 2018; SILVA et al., 2020), além da expansão da agricultura e pecuárias predatórias em regiões afetadas (CUNHA, 2018).

Com esta preocupação, a presente investigação está focada no médio e baixo trecho da bacia do Rio Falsino - AP, onde foram inicialmente estabelecidas unidades de amostragem edáfico-hidrológicas, contemplada por um balanço hídrico e parcelas predefinidas para coleta de dados da qualidade físico-química do solo. As parcelas foram consideradas como unidades de referência em cada trecho da paisagem hidrográfica.

Entretanto, apesar de não abordadas na presente pesquisa, o Projeto Rede Ripária estende-se às unidades desta bacia e de mais duas bacias hidrográficas da Amazônia (Cupari – PA e Abacate – AM) (Figura 1). Estas duas últimas também serão abordadas futuramente, as quais poderão ser evidentemente comparadas com futuras parcelas ou subunidades amostrais. Por exemplo, aquelas localizadas em áreas degradadas ou de cultivo, objetivando comparações e o monitoramento dos processos ecológicos no tempo e em outras bacias hidrográficas da Amazônia (CUNHA, 2018).



## 1.1 Justificativa

As áreas úmidas tropicais de água doce, incluindo planícies de inundação, pântanos e florestas de galeria, fornecem serviços ecossistêmicos críticos e são considerados *hot spots* da biodiversidade, destacando a necessidade de maior atenção e documentação intensificada dos números e tipos de organismos que os habitam (WITTMANN et al., 2017).

Além disso, em função da perda contínua de espécies devido à mudança climática e uso antrópico da terra e da água (DOUGHTY et al., 2015), há um desafio crítico para entender os padrões de grande escala espacial nas zonas úmidas, seus processos hidrológicos e edáficos, os quais são reconhecidamente relevantes para o estudo da variação de espécies e riqueza da biodiversidade influenciados pelo pulso de inundação (WITTMANN et al., 2017).

É de elevada importância conhecer o balanço hídrico e as quantidades aproximadas de água que as florestas ripárias dispõem para seu crescimento. Quantificá-lo é primordial para estimar e comparar sua potencial influência em respostas biológicas. Uma possível aplicação seria gerar uma base de estudos sobre áreas degradadas ou propor planos de recuperação florestal (SU et al., 2019). Além disso, é também relevante a análise dos efeitos da mudança do uso da terra na mega diversidade hidráulica observada e sua associação com a topografia em diferentes bacias hidrográficas (SANTOS et al., 2018). Isto é, há implicações importantes para modelar e prever a resiliência de espécies e florestas em relação, por exemplo, às ações antrópicas e às mudanças climáticas (OLIVEIRA et al., 2019) ou alterações dos fluxos hidrológicos nas bacias (SILVA et al., 2020).

Por um lado, as zonas úmidas ribeirinhas (no Brasil) têm desaparecido com uma elevada taxa de aceleração. Por outro lado, sua integridade ecológica, bem como seus serviços ecossistêmicos vitais para a humanidade dependem dos padrões de inundação proporcionados pelos regimes dos fluxos naturais (SCHNEIDER et al., 2017). Tanto que, nas florestas tropicais, os padrões de composição e diversidade biológica de ambientes terrestres em grande escala é tipicamente correlacionada com o clima contemporâneo.

Entre os padrões regionais mais consistentes alguns estão correlacionados com a precipitação sazonal e diversidade de árvores. Mas há incertezas se a diversidade de árvores em áreas úmidas de água doce mostra padrões semelhantes com o clima. Isso porque as zonas úmidas armazenam temporariamente a precipitação e o escoamento superficial e, portanto, contrasta com as terras altas em relação à disponibilidade de água (OLIVEIRA et al., 2020). Essa dinâmica determina

a distribuição das espécies arbóreas e, por sua vez, a composição e diversidade da comunidade (WITTMANN et al., 2017). Nestas áreas úmidas o excesso de alagamento também pode reduzir a diversidade local ao excluir espécies de árvores intolerantes à anóxia do solo. Por outro lado, a umidade suplementar em áreas úmidas, os solos podem contrabalançar déficits na precipitação, acomodando espécies que são sensíveis à seca regional (DOUGHTY et al., 2015).

As zonas úmidas também se distinguem das terras altas por processos fluviais dinâmicos, como meandros dos rios. Pois a perturbação fluvial pode reduzir a diversidade de espécies pioneiras, mas também pode ter um efeito positivo ao fornecer mais oportunidades para a imigração, aliviando assim a limitação de dispersão (DA CUNHA et al., 2017; SU et al., 2019) ou produzindo locais de ocupação ambientalmente mais variáveis, o que potencialmente reduz a competitividade de espécies.

Su et al. (2019) asseveram que deveria haver uma maior compreensão sobre o cenário hidrogeomórfico e o contexto da paisagem, avaliando-se suas necessidades ao prever uma pós-restauração ou recuperação de ambientes degradados. Os referidos autores comentam, no entanto, que a recuperação de sítios restaurados tem falhado ou se mostraram extremamente lentos devido à inúmeras razões, incluindo projetos de recuperação inadequados, erros de medição sobre grupos de espécies, tempo de espera para recuperação insuficiente após restauração, etc.

Sobre a importância de espécies adjacentes em corpos d'água para a recuperação da vegetação ripária em escala paisagística, SU et al. (2019) descrevem que, até certo ponto, resultados florísticos de restauração podem ser previstos usando características florísticas e geomórficas de áreas adjacentes das unidades de paisagem.

Embora muitos desses processos e sua influência na diversidade sejam bem compreendidos localmente, ainda não está claro como estes geram padrões de diversidade e distribuição de espécies sobre grandes escalas espaciais. No entanto, entender esses padrões de larga escala tem a ver com questões mais amplas. Por exemplo, sobre como as comunidades naturais respondem às mudanças climáticas e a importância cada vez mais reconhecida da heterogeneidade do habitat nesta resposta (WITTMANN et al., 2017). Além disso, a compilação de informações florísticas sobre as comunidades de áreas úmidas precisa ser feita, havendo sérias lacunas de conhecimento na Amazônia brasileira e no Brasil. Isto porque, na maioria dos biomas brasileiros, há bancos de dados abióticos (solo e água) e bióticos (listas de espécies bem desenvolvidas) em áreas de vegetação terrestre, sendo praticamente inexistentes em áreas úmidas (WITTMANN et al., 2017).

A recuperação de ecossistemas ripários, por exemplo, onde espécies podem contribuir para este restabelecimento, depende de como as plantas germinam a partir de sementes presentes em locais no solo das margens e de plantas que se dispersam nas áreas circundantes (SU et al., 2019). Nestes casos, onde o foco é a dispersão vegetal como o mecanismo mais importante para a recuperação de vegetação ribeirinha, os referidos autores testaram a perturbação de canais e sua subsequente restauração que causaram modificações da vegetação ripária (ou seja, qualquer tipo de propágulo), e que então seria possível prever resultados sobre o estado de recuperação da vegetação ripária ao longo dos canais restaurados avaliando-se as características florísticas e geomórficas das áreas dos arredores (SU et al., 2019).

Considera-se que a área em torno de corpos d'água, pelo novo Código Florestal Brasileiro, é uma “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, além de facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;” (BRASIL, 2012). Assim, acredita-se também que este estudo pode contribuir para elaboração de critérios técnicos relacionados ao novo código florestal, ao ponderar que as zonas ripárias são áreas de preservação permanente (APP).

De fato, a definição da largura da faixa que se deve proteger (mínimo de 30m) é fixa e diretamente proporcional à magnitude dos corpos d'água (BRASIL, 2012). Mas esta proposta desconsidera outros fatores físicos, químicos e biológicos, os quais controlam o funcionamento dessas áreas nos diferentes tipos de solo e condições climáticas (PINHEIRO et al., 2011).

## **1.2 Problema**

Como a topografia, geometria e a ordem do corpo d'água da bacia afetam o pulso de inundação e as características edáficas de zonas ripárias na bacia do Rio Falsino (FLONA-AP)?

## **1.3 Hipóteses**

- 1) O pulso de inundação é influenciado pelas características topográficas, mas condicionado pela ordem do curso d'água.
- 2) A variação físico-química do solo (edáfica) é explicada tanto por gradientes topográficos quanto por gradientes hidrológicos (pulso de inundação).
- 3) Os níveis topográficos na bacia, considerados parâmetros-chave da bacia, são interdependentes entre si, podendo ambos ser aplicados ou correlacionados com dados

edáficos e hidrológicos na mesma bacia hidrográfica, como é o caso de dois diferentes métodos de localização em campo (GPS e Radar - SRTM),

## **2 OBJETIVOS**

Analisar variações edáficas (disponibilidade de nutrientes e textura do solo) de zonas ripárias na bacia hidrográfica do Rio Falsino, a partir de gradientes de diferentes trechos e cursos d'água. Tais variações têm em vista a influência do pulso de inundação e a variação topográfica para previsão de respostas bióticas (adaptação, taxas de crescimento arbóreo, produção de biomassa e estrutura genética, entre outros preditores ecológico-ambientais).

### **2.1 Geral**

Quantificar variações dos parâmetros edáfico-hidrológicos em diferentes cotas topográficas e cursos d'água de diferentes ordens nas zonas ripárias da bacia do Rio Falsino (FLONA-AP).

### **2.2 Específicos**

- 1) Testar a existência de correlação entre o pulso hidrológico de inundação (nível máximo do rio - NMR) para diferentes trechos e cursos d'água, em função de gradientes de localização e elevação topográfica;
- 2) Testar a existência de correlação entre parâmetros edáficos (físico-químicos) em função de gradientes topográficos e hidrológicos;
- 3) Identificar e analisar variações de parâmetros edáficos explicados por variações hidrológicas e topográficas, considerando-se dois diferentes métodos de localização (GPS e SRTM), e se ambos são interdependentes.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

O conceito do pulso de inundação de Junk et al. (1989) é, talvez, uma das maiores contribuições ao entendimento de interações de planícies alagadas de rios e planícies de inundação. Esta teoria, contudo, tem sido expandida e aperfeiçoada (TOCKNER et al., 2000). Assim, o conceito de pulso de inundação tem se tornado um importante paradigma na ecologia lótica.

O conceito do pulso de inundação é baseado principalmente para “terras baixas” de grandes rios tropicais. Contudo, as planícies de inundação podem se desenvolver em todas as áreas geográficas e em diferentes localidades ao longo de um corredor ripário (TIEGS et al., 2019). O conceito do pulso de inundação pode ser estendido também para áreas temperadas, com atenção específica ao papel da temperatura como um dos mais determinantes fatores ecológicos das planícies de inundação, mormente a importância dos ciclos de expansão  $\pm$  contração (pulso de seca *versus* pulso de cheia). Por exemplo, a ocorrência da complexidade de eventos de expansão  $\pm$  contração e suas consequências sobre a heterogeneidade ou homogeneidade dos habitats e dos processos funcionais (OLIVEIRA et al., 2019). Uma das principais hipóteses do pulso de inundação é que a heterogeneidade dos habitats é especialmente um produto decorrente de mudanças das fontes de água, bem como de suas diferentes trajetórias e a importância relativa dos processos autogênicos (JUNK et al., 1989; JUNK et al., 2010; JUNK et al., 2011; CUNHA e STERNBERG, 2018).

A técnica de estudo de paisagens pode ser sugerida no sentido de documentar os processos de expansão-contração dos pulsos de inundação para elucidar como esses processos influenciam a heterogeneidade da paisagem e os padrões de biodiversidade. E, como tal, modelos de ecossistemas baseados em paisagem podem ser aplicados para, rigorosamente, tratar da análise da integridade ecológica dos sistemas rios  $\pm$  sistemas de inundações (TOCKNER et al., 2000).

Por outro lado, o “pulso de inundação” também pode ser expresso como “a principal força motriz responsável pela existência, produtividade e interações da biota em sistemas rio-planície de inundação”, onde “um pulso previsível de longa duração gera adaptações e estratégias ecológicas que propiciam o uso eficiente dos atributos da zona de transição aquática/terrestre” (JUNK et al., 1989). Por exemplo, em relação ao atributo matéria orgânica no solo, o amortecimento de picos de taxas de decomposição do carbono com a distância do equador sugere restrições climáticas mais rigorosas em relação às latitudes mais elevadas, com destaque à temperatura, além de fatores adicionais, como a disponibilidade de outros nutrientes, pH e estrutura da comunidade microbiana, tendendo a ser mais influentes nas zonas equatoriais

(TIEGS et al., 2019). Assim, o pulso de inundação, é caracterizado pela sua amplitude, duração, frequência, forma e previsibilidade, que controla os sistemas hidrológicos e intercala os períodos úmidos e secos (JUNK et al., 1989; JUNK e WANTZEN, 2004; JUNK, 2005, DOUGHTY et al., 2015). Isso resulta do ciclo e periodicidade da precipitação e das flutuações do nível da água nos rios presentes na maior parte das zonas úmidas periodicamente inundadas da Amazônia, (OLIVEIRA et al., 2020; JUNK et al., 2011).

“O pulso de inundação anual, por exemplo, exerce forte influência sobre a ecologia e a dinâmica da planície aluvial, conduzindo a diversidade de espécies de árvores” (WITTMANN et al., 2006), velocidade de crescimento (SCHÖNGART et al., 2002), ciclagem hídrica na bacia (OLIVERIA et al., 2020), estresse hídrico da vegetação e a resistência da mesma às secas ou eventos extremos (DOUGHTY et al., 2015). Esses fatores também incluem a conectividade hidrológica que vincula os rios principais com lagos e as planícies de inundação e a paisagem terrestre, especialmente em planícies costeiras e várzeas, como as do baixo Amazonas que são influenciadas por marés (CUNHA e STERNBERG, 2018; SANTOS et al., 2018).

Como a ecologia e a dinâmica da planície é fortemente influenciada pelo regime hidrológico e de seu pulso de inundação, uma vez que a vegetação de cada ecossistema é adaptada a esse pulso, sua diversidade, riqueza e densidade podem também ser reguladas pelo mesmo, influenciando a evolução das espécies relacionadas aos gradientes hidrológicos (OLIVEIRA et al., 2019). A alteração do pulso por qualquer tipo de impacto ambiental, submete a vegetação a adaptações ao estresse hídrico ou à inundação com maior duração de tempo, por exemplo (ASSAHIRA et al., 2017; SCHNEIDER et al., 2017; WITTMANN et al., 2017; SANTOS et al., 2018), especialmente quando influenciados pela formação de reservatórios de barragem.

A hidrologia florestal é capaz de descrever, até certo nível, como as condições ambientais abióticas podem influenciar padrões de distribuição de árvores e seus processos fisiológicos na Amazônia (WITTMANN et al., 2013, ASSAHIRA et al., 2017). Áreas mais próximas à foz da bacia hidrográfica tendem a apresentar maior estabilidade do pulso de inundação (JUNK et al., 2011), e conseqüentemente devem gerar maior constância no nível do lençol freático, quando comparadas às áreas de terra firme (NAGHETTINI et al., 2007; KLAUS e JACKSON, 2018).

O conhecimento sobre os processos hidrológicos nas florestas também pode ser útil para lidar com uma série de atributos do ciclo hidrológico, os quais podem variar desde a remediação de desastres naturais até o gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas. Por exemplo, análises de variabilidade climática influenciando a variabilidade do fluxo hídrico em escalas de curto e longo prazos, onde frequentemente se objetiva avaliar as causas de secas e

eventuais inundações e suas consequências negativas (QUESADA-MONTANO et al., 2018; DOUGHTY et al., 2015).

Inundações periódicas e as secas também são relevantes porque afetam gravemente a biota e requerendo o desenvolvimento de adaptações específicas e estratégias de sobrevivência (ROWLAND et al., 2018; COSTA et al., 2018; CUNHA, 2018). No entanto, os efeitos do pulso de inundação em organismos dentro da várzea podem variar consideravelmente por causa da heterogeneidade hidrológica (JUNK et al., 2011). Por exemplo, o pulso de inundação do rio Amazonas afeta áreas baixas com um previsível pulso monomodal de longa duração e alta amplitude (CUNHA & STERNBERG, 2018; SANTOS et al., 2018), não ocorrendo o mesmo, por exemplo, na bacia do rio Tapajós (bimodal). No entanto, no primeiro caso, o pulso de inundação afeta o mais alto dique na planície de inundação como um pulso de curta duração e baixa amplitude que ocorre apenas a cada dois anos.

Esta variabilidade do impacto do pulso de inundação aumenta a estabilidade do habitat e diversidade de espécies na planície de inundação e favorece o ingresso de espécies de terra firme na planície aluvial (JUNK et al., 2011), o controle e as interações biogeoquímicas da matéria orgânica e nutrientes na água e solo e suas interações (WARD et al., 2013). Além disso, nos sistemas ripários da floresta amazônica, há diversos processos biológicos que ocorrem em simultaneidade com as interações edáfico-hidrológicas. Por exemplo, a dispersão hidrocórica de longas distâncias (*Carapa guianensis*, *Macrolobium bifolium*, *Macrolobium accaciifolium*, etc), em que algumas espécies vegetais são extremamente adaptadas e dependentes do pulso de inundação, o qual regula o fluxo gênico das espécies que dependem desta síndrome (DA CUNHA et al., 2017, SU et al., 2019).

Neste contexto, há ainda consideráveis lacunas de conhecimento sobre o comportamento hidrológico sazonal de zonas ripárias em diversas bacias hidrográficas amazônicas. E suas áreas de inundação na Amazônia, principalmente, são desconhecidas e pouco se sabe também como estes são integrados ao sistema rio-planície de inundação. Por exemplo, no conceito do pulso de inundação de alguns processos de troca nutricional, e como ocorrem as contribuições hidrológicas laterais e sedimentares (zonas hiporréicas) (SINGH et al., 2018) entre o rio e suas planícies (ou zonas alagáveis). Portanto, a dinâmica dos nutrientes é dependente das características do solo que interage com os cursos d'água que, por seu turno, influenciam a importação de nutrientes e material orgânico particulado e dissolvido do curso superior. Esse material importado de níveis superiores normalmente é de pouca importância, devido à

relativamente pequena quantidade e baixa qualidade nutricional, em comparação com a matéria orgânica já produzida na planície de inundação (RESENDE, 2008).

### **3.1 Áreas periodicamente alagáveis**

As áreas periodicamente alagáveis associadas aos grandes rios Amazônicos cobrem cerca de 600.000 km<sup>2</sup> (MELACK e HESS, 2010; JUNK et al., 2011; WITTMANN et al., 2017), e a maior parte delas é coberta por florestas. Estes ecossistemas apresentam-se com mais de 1.000 espécies arbóreas. Portanto, a Amazônia, em comparação às demais florestas alagáveis do mundo, detém as mais ricas em espécies (WITTMANN et al., 2006). Por outro lado, pequenos riachos que drenam as paisagens das terras firmes amazônicas perfazem ao redor de 1 milhão de km<sup>2</sup> da região, sendo também, em sua maioria, florestados.

As características físicas de uma bacia são elementos que ajudam a compreender o seu comportamento ou regime hidrológico (VILLELA e MATTOS, 1975). E, dentre as principais características físicas da bacia, a área de drenagem, geometria da bacia e índice de drenagem são as mais relevantes e que influenciam a dinâmica do pulso de inundação durante os eventos de precipitação (TUCCI et al., 2014). Segundo Villela e Mattos (1975), a forma da bacia pode ser determinada por vários índices, entre eles o coeficiente de compacidade (Kc) e o fator de forma (Kf) e, para caracterizar o sistema de drenagem, a densidade de drenagem (Dd) é frequentemente utilizado para avaliar o número de corpos d'água/km<sup>2</sup>.

Estas características físicas são relevantes também para a Política Nacional de Recursos Hídricos. Tanto que estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento e gestão das águas. Portanto, são extremamente úteis como informação básica para o gerenciamento dos recursos hídricos visando a sua integração à gestão ambiental e a elaboração dos planos de recursos hídricos, por área de drenagem (LEMOS, VIEIRA e FERRAZ, 2017). Portanto, o papel hidrológico da bacia hidrográfica é o de transformar uma entrada de volume de água concentrada no tempo (precipitação) em uma saída de água (escoamento) de forma mais distribuída no tempo (SILVEIRA, 1993, TUCCI et al., 2014).

A vegetação marginal (ripária) dos corpos de água da bacia hidrográfica desempenha uma função chave na regulação do sistema hidrológico fluvial e na preservação da qualidade e quantidade da água, regulando inclusive os ciclos biogeoquímicos e o clima local e regional (WARD et al., 2013; WARD et al., 2016), abrigando espécies endêmicas de plantas e animais,



além de armazenar consideráveis estoques de biomassa e carbono, fornecer produtos madeireiros e não-madeireiros. Apesar dessa grande importância, os estudos com a vegetação amazônica ainda são fortemente centrados na terra-firme, negligenciando as vegetações ripárias e de áreas alagáveis dos grandes rios (SCHÖNGART, 2018).

As formações ripárias são entendidas como os diversos tipos de vegetação arbórea vinculada às margens de cursos d'água (AB'SÁBER, 2001). Segundo Gênova et al. (2007), a existência de vegetação no entorno dos corpos d'água auxilia as funções hidrológicas das bacias hidrográficas, tanto na qualidade quanto no regime de fluxo da água, sendo motivo de atenção em ações de planejamento e recuperação do ambiente ripário. Os intensos processos de urbanização, a abertura de estradas, a construção de hidrelétricas, o cultivo agrícola, a formação de pastagens e até mesmo a visão de que seriam um obstáculo de acesso do gado ao curso d'água pelos produtores rurais são fatores que afetam as matas ripárias (DIAS et al., 2014; SANTOS et al., 2018) e até a geomorfologia dos cursos d'água (SANTOS et al., 2018).

Portanto, as zonas ripárias têm por função contribuir com a retenção de sedimentos e espécies químicas nos corpos de água, além de interceptar e absorver a luz do sol e a água da chuva (OLIVEIRA et al., 2020), o que favorece a recarga dos lençóis subterrâneos que abastecem as nascentes, além de funcionarem como reguladoras climáticas, minimizando os extremos de temperaturas, funcionando como zona-tampão, entre outras (SCHÖNGART, 2018, DOUGHTY et al., 2015).

### **3.2 Hidrologia e características físicas dos solos**

As mudanças aceleradas do uso do solo na região amazônica brasileira vêm ocorrendo há pelo menos quatro décadas, levantando questões sobre quais seriam suas potenciais consequências para a dinâmica hidrológica das florestas. Atribui-se estes potenciais problemas a uma falta de governança nesta fronteira regional, projetando-se perdas entre 20-30% ou mais da vegetação desta bacia hidrográfica, já nos próximos 40 anos. Este cenário, remete a uma reflexão de imprevisíveis efeitos em cascata de impactos negativos sobre o solo e balanço hídrico (evapotranspiração, interceptação, escoamento superficial e percolação (SANTOS, et al., 2018; OLIVEIRA, et al., 2020).

Por exemplo, a infiltração que é uma medida de passagem de água da superfície para o interior do solo, é um processo que depende fundamentalmente da água disponível para infiltrar, da

natureza do solo, do estado da superfície e das quantidades de água e ar, inicialmente presentes no seu interior (TUCCI et al., 2014).

O solo caracteriza-se pela coleção de corpos naturais dinâmicos, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos. É resultante da ação do clima e da biosfera sobre a rocha, cuja transformação se realiza ao longo do tempo e é influenciada pelo tipo de relevo (LEPSCH, 2002; EMBRAPA, 2018).

À medida que a água infiltra pela superfície, as camadas superiores do solo se umedecem de cima para baixo, alterando gradativamente o perfil de umidade. Enquanto houver aporte de água pela precipitação, o perfil de umidade tende à saturação em toda a profundidade, sendo a superfície o primeiro nível a saturar. Contudo, normalmente, a infiltração decorrente da precipitação não é capaz de saturar todo o solo, mas sim as primeiras camadas próximas da superfície, formando um perfil típico de umidade decrescente com a profundidade, ocorrendo um processo inverso na formação do perfil de umidade em períodos de estiagem (TUCCI et al., 2014).

O conceito de capacidade de infiltração é aplicado para diferenciar o potencial que o solo tem de absorver água pela superfície, em termos de lâmina/tempo, da taxa de infiltração. Por exemplo, em solo natural sujeito à infiltração, dependendo da complexidade dos horizontes, desde a superfície até a zona de alteração de rochas, tendem a apresentar texturas diferenciadas, com comportamentos hidráulicos diferentes. Assim, se a precipitação atinge o solo com uma intensidade menor que a capacidade de infiltração, toda a água penetra no solo, provocando uma progressiva diminuição da própria capacidade de infiltração. A parcela não infiltrada da precipitação forma filetes que escoam superficialmente para áreas mais baixas, podendo infiltrar novamente (TUCCI et al., 2014, OLIVEIRA, 2012).

### **3.3 Variação Edáfica na Amazônia e em áreas periodicamente alagáveis**

Os ecossistemas ripários recebem e processam vastas quantidades de carbono orgânico terrestre, além da carga de nutrientes da qual dependem fortemente as atividades microbiais (TIEGS et al., 2019; WARD et al., 2016). Por exemplo, TiegS et al., (2019) avaliaram experimentalmente mais de 1000 sítios ribeirinhos e ripários ao redor do mundo, concluindo que esses ecossistemas controlam uma série de parâmetros ecológicos, como as taxas de processamento da matéria orgânica e diversos outros nutrientes que são transportados dos

pequenos para os grandes rios em elevadas concentrações e posteriormente degradados e mineralizados no solo e água emitindo imensas quantidades de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> para a atmosfera (WARD et al., 2013; WARD et al., 2016; LESS et al., 2018) e influenciando o balanço do carbono e o clima em nível regional e global. Por outro lado, o reflexo desses processos nas zonas ripárias é que os biomas terrestres apresentam distintas assinaturas de processamento do carbono. Isto é, o processamento de degradação do carbono é mais lento em latitudes mais elevadas ou intermediárias, enquanto é mais rápido nas latitudes mais baixas. Ou seja, declina suas taxas médias de processamento e variabilidade com a latitude, sugerindo que os gradientes ambientais, como a carga de nutrientes do solo, tendem a aumentar em direção ao equador (TIEGS et al., 2019).

A região Amazônica é também constituída por uma das mais extensas e antigas áreas geologicamente estáveis, o Cratón amazônico, que se estende de Roraima ao Planalto Central. A parte central é recoberta por sedimentos de períodos geológicos diferentes. São áreas predominantemente baixas, mas associadas com solos bem drenados e que foram influenciados por oscilações do nível do mar que acompanharam as mudanças climáticas do período Quaternário (SCHAEFER et al., 2017).

A paisagem amazônica além de ser moldada pela planície sedimentar na porção central (bacia do Amazonas e Solimões), nela encontram-se as estruturas geológicas da Cordilheira dos Andes, a Oeste; e os Escudos pré-cambrianos do Brasil Central, ao Sul; e o das Guianas, ao Norte (HOORN, 1993).

A elevação da Cordilheira dos Andes e seus efeitos no clima regional foi um dos processos geológicos que mudaram a paisagem amazônica. Além disso, reconfigurou os padrões de drenagem no sentido oeste-leste e criou um vasto influxo de sedimentos para a bacia. No entanto, a variação no mosaico edáfico, rico em nutrientes na parte ocidental, principalmente nos países andinos, contrasta com solos mais pobres do cráton no leste da Amazônia, áreas mais antigas (HOORN et al., 2010; QUESADA et al., 2009).

Cargas de sedimentos, resultantes da decomposição recente da crosta terrestre dos Andes, é continuamente transportada e depositada no solo da bacia amazônica e em suas várzeas pelas enchentes. São camadas de terras renovadas com fertilidade alta não sujeitas à lixiviação temporal como as terras firmes (SIOLI, 2006).

Nos solos de várzea, a diversidade de composição mineralógica é mais expressiva. A riqueza em nutrientes diminui à medida que os sedimentos se tornam mais antigos e não há renovação

por novas deposições. São predominantemente eutróficos, e apresentam reação menos ácida, níveis mais elevados de nutrientes, como fósforo, menores teores relativos de alumínio trocável e argila de atividade alta (SCHAEFER et al., 2017).

### **3.4 Interações hidrológico-edáficas na Amazônia e em áreas periodicamente alagáveis**

A paisagem hidrográfica interage fortemente com os gradientes hidrológico e edáficos. Mas esta interação com os sistemas bióticos é mais significativa quanto mais próxima for das zonas ripárias (SCHIETTI et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2019). Portanto, uma vez que esta interação é importante, compreender a dinâmica do comportamento do corpo hídrico e sua relação com as florestas ripárias é também relevante. Tanto em termos de disponibilidade de nutrientes no solo e nas águas quanto os seus impactos no desenvolvimento das florestas ripárias. Compreender como as variações hídricas interagem com os componentes biogeoquímicos e texturais do solo permite estimar e comparar respostas biológicas com base em estudos de áreas afetadas ou propor planos de recuperação florestal, por exemplo (QUESADA et al., 2009; CUNHA, 2018).

Para estudos com ampla variação hidráulica observada e sua associação com a topografia em diferentes bacias hidrográficas é relevante compreender quais são as implicações destas variações (ou interações solo-água), por exemplo, com o objetivo de modelar e prever a resiliência de espécies e das florestas em relação, às ações antrópicas e às mudanças climáticas (DALMAGRO et al., 2019; DOUGTHY et al., 2015; SANTOS et al., 2018).

Uma das principais interações entre a paisagem das zonas úmidas amazônicas com os corpos d'água são a presença de corredores de água, os quais podem influenciar de forma diferenciada a hidrologia e as características da matéria orgânica e físico-químicas do solo. Principalmente em locais impactados por mudanças do uso da terra para pasto iniciado por processos de desflorestamento (DALMAGRO et al., 2019; SANTOS et al., 2018).

Neste aspecto, a bacia amazônica tem um papel significativo nos ciclos globais hidrológico e do carbono (WARD et al., 2013; WARD et al., 2015), porque contém paisagens variando entre florestas virgens para regiões impactadas por desflorestamento e resultantes da expansão da agricultura, pecuária e queimadas (AYALA et al., 2016).

No caso do ciclo hidrológico, aplica-se aqui o conceito do lençol freático raso como um sistema contínuo entre trechos topográficos mais elevados e as correntes subterrâneas, o qual representa a conectividade hidrológica entre ambos. Assim, esta conectividade tem um papel crítico limitante em estudos hidrológicos e das zonas ripárias onde as paisagens estão em associação com a geração do escoamento superficial e o transporte de solutos na bacia hidrográfica (KLAUS e JACKSON, 2018; CUNHA & STERNBERG, 2018).

Estudos globais destacam os córregos e rios como uma importante fonte de carbono para o sistema hídrico e atmosfera, bem como seu potencial papel para mineralizar carbono orgânico alóctone (COD) e suas consequências em escala de bacia, as quais são também pouco conhecidas (RICKEY et al., 2002; LESS et al., 2018). Contudo, os fluxos de água correntes das nascentes têm uma forte capacidade para internamente produzir, transformar e consumir matéria orgânica dissolvida (MOD) e outros minerais (físico-química do solo e água), sugerindo evidências de que há diferenças entre as características físico-químicas da água e da zona ripária. Entretanto, também há fortes evidências de que estas características da zona ripária não são meramente uma reflexão da água corrente. Pelo contrário, há evidências por exemplo de que tanto as entradas de DOM das zonas ripárias quanto de liteiras (BERNAL et al., 2018) apresentam-se muito distintas.

No próximo capítulo, será mostrado algumas evidências sobre como os parâmetros edáficos são influenciados pelas condições hidrológicas nas zonas ripárias em uma bacia hidrográfica da Amazônia (Rio Falsino, localizado no Estado do Amapá/Brasil). Algumas destas evidências foram testadas, evidenciando que apenas alguns dentre 19 parâmetros edáficos estudados são efetivamente influenciados pelo ciclo hidrológico, principalmente a variável nível máximo do rio (NMR), sugerindo que as zonas ripárias são especiais e relevantes no contexto da bacia hidrográfica amazônica.

#### 4 REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. O suporte geoecológico das florestas beiradeiras (ciliares). In: Rodrigues, R. R., Leitão, H. F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EdUSP; 2001.
- ASSAHIRA, C.; PIEDADE, M.T.; TRUMBORE, S.; WITTMANN, F.; CINTRA, B. B. L.; BATISTA, E. S.; RESENDE, A. F.; SCHÖNGART, J. Tree mortality of a flood-adapted species in response of hydrographic changes caused by an Amazonian river dam. **Forest Ecology and Management**, v. 396, p. 113-123, 2017.
- AYALA, L. M.; VAN EUPEN, M.; ZHANG, G.; PÉREZ-SOBA, M.; MARTORANO, L. G.; LISBOA, L. S.; BELTRAO, N. E. Impact of agricultural expansion on water footprint in the Amazon under climate change scenarios. **Science of the Total Environment**, v. 569-570, p. 1159-1173, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.191>
- BERNAL, S.; LUPON, A.; CATALÁN, N.; CASTELAR, S.; MARTI, E. Decoupling of dissolved organic matter patterns between stream and riparian groundwater in a headwater forested catchment. **Hydrol. Earth Sys. Sci.**, v. 22, 1897-1910, 2018.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 8 jan. 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>. Acesso em: 30 de agosto de 2016.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 mai. 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm). Acesso em: 01 mar 2016.
- COSTA, A. C. L.; ROWLAND, L.; OLIVEIRA, R. S. ; OLIVEIRA, A. A. R. ; BINKS, O. J.; SALMON, Y.; VASCONCELOS, S. S. ; SILVA JÚNIOR, J. A. ; FERREIRA, L. V. ; POYATOS, R.; MENCUCCINI, M.; MEIR, P. Stand dynamics modulate water cycling and mortality risk in droughted tropical forest. **Global Change Biology**, v. 24, p. 249-258, 2018.
- CUNHA, A. C. **Rede Ripária: Paisagem hidrográfica, gradientes hidrológico e edáfico em zonas ripárias amazônicas**. Plano de Trabalho (Projeto CNPq -Chamada MCTIC/CNPq nº23/2017. Redes de Pesquisa em Biodiversidade na Amazônia Legal. Coord. Alan Cavalcanti da Cunha. Universidade Federal do Amapá - UNIFAP, Macapá, AP e Instituições colaboradoras: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), AM e Universidade Federal do Oeste do Pará – Ufopa, Santarém, PA (2018).
- CUNHA, A. C.; STERNBERG, L. S. L. Using stable isotopes <sup>18</sup>O and <sup>2</sup>H of lake water and biogeochemical analysis to identify factors affecting water quality in four estuarine Amazonian shallow lakes. **Hydrological Processes**, v. 32, p. 1188-1201, 2018.
- CUNHA, E. D. S.; CUNHA, A. C.; SILVEIRA JR., A. M.; FAUSTINO, S. M. M. Phytoplankton of two rivers in the eastern Amazon: characterization of biodiversity and new occurrences. **Acta Botanica Brasilica**, v. 27, p. 364-377, 2013.

DA CUNHA, A. C.; MUSTIN, K.; DOS SANTOS, E. S.; DOS SANTOS, É. W. G.; GUEDES, M. C.; CUNHA, H. F. A.; ROSMAN, P. C. C.; STERNBERG, L. S. L. Hydrodynamics and seed dispersal in the lower Amazon. **Freshwater Biology**, v. 62, p. 1721-1729, 2017.

DALMAGRO, H. J.; LATHUILLIÉRE, M. J.; SALLO, F. S.; GUERREIRO, M. D.; PINTO JR., O. B.; ARRUDA, P. H. Z.; COUTO, E. G.; JOHNSON, M. S. Streams with Riparian Forest Buffers versus Impoundments differ in discharge and DOM characteristics for pasture catchment in Southern Amazonia. **Water**, v. 11, p. 1-20, 2019. doi:10.3390/w.110020390

DIAS, R. M.; SALVADOR, N. N. B.; BRANCO, M. B. C. Identificação dos níveis de degradação de matas ripárias com o uso de SIG. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 150-161, Jun 2014.

DOUGHTY, C. E.; METCALFE, D. B.; GIRARDIN, C. A. J. et al. Drought impact on forest carbon dynamics and fluxes in Amazonia. **Nature Letter**, v. 519, p. 78–82, 2015. doi:10.1038/nature14213

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA — EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. Brasília, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2018. 356p.

GÊNOVA, K. B.; HONDA, E. A.; DURIGAN, G. Processos hidrológicos em diferentes modelos de plantio de restauração de mata ciliar em região de Cerrado. **Revista Instituto Florestal**, v. 19, n. 2, p. 189-200, 2007.

GREGORY, S.V.; SWANSON, F.J.; MCKEE, W.A.; CUMMINS, K.W. An ecosystem perspective of riparian zones. **BioScience**, Washington, v.41, n.8, p.540–551, 1991.

HOORN, C. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: results of a palynostratigraphic study. **Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol**, v. 105, p. 267–309, 1993.

HOORN, C.; WESSELINGH, F. P.; TER STEEGE, H.; BERMUDEZ, M. A.; MORA, A.; SEVINK, J.; SANMARTÍN, I.; SANCHEZ-MESEGUER, A.; ANDERSON, C. L.; FIGUEIREDO, J. P.; JARAMILLO, C.; RIFF, D.; NEGRI, F. R.; HOOGHIEMSTRA, H.; LUNDBERG, J.; STADLER, T.; SÄRKINEN, T.; ANTONELLI, A. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. **Science**, v. 330: 927–931, 2010.

JUNK, W. J. Flood Pulsing and the linkages between terrestrial, aquatic, and wetland systems. **Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie**, v. 29 p. 11–38, 2005.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river floodplain systems. **Can. Spec Publ. Fish. Aquat Sci**, v. 106, p. 110-127, 1989.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; SCHÖNGART, J.; HALF, M. C.; ADENEY, J. M.; WITTMANN, F. A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands. **Wetlands**, v. 31, p. 623–640, 2011.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J.; PAROLIN, P. **Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management (Ecological Studies)**. Netherlands: Springer, 450 p. 2010.

JUNK, W. J.; WANTZEN, K. M. The flood pulse concept: New Aspects, approaches, and applications - an update. In: WELCOME, R. L.; PETR, T. (eds). **Proceedings of the 2nd international symposium on the management of large rivers for fisheries**. Food and Agriculture Organization and Mekong River Commission. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, p. 117–149. 2004.

KLAUS, J.; JACKSON, R. Inflow is not binary: a continuous shallow perched layer does not imply continuous connectivity. **Water Resources Research**, v. 54, p. 5921-5932, 2018. doi 10.1029/2018WR022920.

LEMOS, C. E.; VIEIRA, M. I. S.; FERRAZ, R. R. Compartimentação hidrográfica da bacia de drenagem do Rio Branco, Estado de Roraima, Brasil por meio da base hidrográfica Ottocodificada. **ACTA Geográfica**, v. 11, n. 26, p. 35-53, 2017.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 2 ed. 216p.

LESS, D. F. S.; CUNHA, A. C.; SAWAKUCHI, H. O.; NEU, V.; VALÉRIO, A. M.; WARD, N. D.; BRITO, D. C.; DINIZ, J. E. M.; GAGNE-MAYNARD, W.; ABREU, C. M.; KAMPEL, M.; KRUSCHE, A. V.; RICHEY, J. E. The role of hydrodynamic and biogeochemistry on CO<sub>2</sub> flux and pCO<sub>2</sub> at the Amazon River mouth. **Biogeosciences Discussion (Online)**, v. 1, p. 1-26, 2018.

MANTOVANI, W. **Conceituação e fatores condicionantes**. In: Simpósio sobre Mata Ciliar (1989: São Paulo). Campinas: Fundação Cargill, Anais, p.11-19. 1989.

MELACK, J. M.; HESS, L. L. **Remote sensing of the distribution and extent of wetlands in the Amazon basin**. In: JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J.; PAROLIN, P. Editors. Ecology and management of Amazonian floodplain forests. Ecological Series, Springer Verlag Berlin, 2010.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. (org). **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte-MG: CPRM (Serviço Geológico do Brasil). 552 p. 2007.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2002. **Riparian Areas: Functions and Strategies for Management**. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/10327.

OLIVEIRA, L. L. Interações da estrutura da vegetação com a topografia e solo na Floresta Nacional do Amapá. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical, Universidade Federal do Amapá, Macapá. 103 f. 2012.

OLIVEIRA, R. S.; COSTA, F. R. C.; VAN BAALEN, E.; DE JONGE, A.; BITTENCOURT, P. R.; ALMANZA, Y.; BARROS, F. V.; CORDOBA, E. C.; FAGUNDES, M. V.; GARCIA, S.; GUIMARAES, Z. T. M.; HERTEL, M.; SCHIETTI, J.; RODRIGUES-SOUZA, J.; POORTER, L. Embolism resistance drives the distribution of Amazonian rainforest tree species along hydro-topographic gradients. **New Phytol.** v. 221, p. 1457-1465, 2019.



OLIVEIRA, L. L.; CANANI, L. G. C.; BARRETO, A.C.L.; CUNHA, A. C. Hydric ecosystem services in a non-disturbed rainforest of the Amazon-Amapá/Brazil. **Nature and Conservation**, v. 13, n. 04, 2020 (*in press*).

OLIVEIRA, L.L., CUNHA, A.C., JESUS, E.S., BARRETO, N.J.C. **Características Hidroclimáticas da bacia do rio Araguari**. In: CUNHA, A.C.; SOUZA, E.B.; CUNHA, H.F.A. Tempo, Clima e Recursos Hídricos: resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá. Macapá: IEPA, p. 83 – 96, 2010.

PINHEIRO, A.; BERTOLDI, J.; VIBRANS, A. L.; KAUFMANN, V.; DESHAYES, M.; Uso do solo na zona ripária de bacias agrícolas de pequeno a médio porte. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 6, p. 1245-1251, 2011.

QUESADA, C. A.; LLOYD, J.; SCHWARZ, M.; PATINO, S.; BAKER, T. R.; CZIMCZIK, C.; FYLLAS, N. M.; MARTINELLI, L.; NARDOTO, G. B.; SCHMERLER, J.; SANTOS, A. J. B.; HODNETT, M. G.; HERRERA, R.; LUIZÃO, F. J.; ARNETH, A.; LLOYD, G.; DEZZEO, N.; HILKE, I.; KUHLMANN, I.; RAESSLER, M.; BRAND, W. A.; GEILMANN, H.; MORAES FILHO, J. O.; CARVALHO, F. P.; ARAUJO FILHO, R. N.; CHAVES, J. E.; CRUZ JUNIOR, O. F.; PIMENTEL, T. P.; PAIVA, R. (2009). Chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. **Biogeosciences Discussions**, v. 6, p. 3923-3992, 2009.

QUESADA-MONTANO, B.; WESTERBERG, I. K.; FUENTES-ANDINO, D.; HIDALGO, HUGO G.; HALLDIN, SVEN. Can climate variability information constrain a hydrological model for an ungauged Costa Rican catchment? **Hydrological Processes**, v. 32, p-830–846, 2018.

RESENDE, E. K. **Pulso de Inundação: Processo Ecológico Essencial à Vida no Pantanal**. Embrapa Pantanal, Corumbá, jun. 2008. 16 p. Disponível em: <[www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/DOC94.pdf](http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/DOC94.pdf)>. Acesso em set. 2015.

RICHEY, J. E.; MELACK, J. M.; AUFDENKAMPE, A. K.; BALLESTER, V. M.; HESS, L. L. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO<sub>2</sub>, **Nature**, v. 416, p. 617–620, 2002. doi: 10.1038/416617a.

ROWLAND, L.; da COSTA, A. C. L.; OLIVEIRA, A. A. R.; ALMEIDA, S. S.; FERREIRA, L. V.; MALHI, Y.; METCALFE, D. B.; MENCUCCINI, M.; GRACE, J.; MEIR, P. Shock and stabilisation following long-term drought in tropical forest from 15 years of litterfall dynamics. **Journal of Ecology**, v. 1, p. 1, 2018.

SANTOS, E. S.; LOPES, P. P. P.; NASCIMENTO, O. O.; PEREIRA, H. H. S.; COLLIN, R.; STERNBERG, L. S. L.; CUNHA, A. C. The impact of channel capture on estuarine hydro-morphodynamics and water quality in the Amazon delta. **Science of The Total Environment**, v. 624, p. 887-899, 2018.

SANTOS, V.; LZURENT, F.; ABE, C.; MESSNER, F. Hydrologic response to land use change in a large basin in Eastern Amazon. **Water**, v. 10, 2018. doi:10.3390/w100404429

SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA, H. N. de; TEIXEIRA, W. G.; VALE JUNIOR, J. F. do;

SOUZA, K. W. de; CORRÊIA, G. R.; MENDONÇA, B. A. F. de; AMARAL, E. F. do; CAMPOS, M. C. C.; RUIVO, M. de L. P. **Solos da região amazônica**. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). *Pedologia: solos dos biomas brasileiros*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. cap. 3, p. 111-175.

SCHIETTI, J.; EMILIO, T.; RENNÓ, C. D.; DRUCKER, D. P.; COSTA, F. R. C.; NOGUEIRA, A.; BACCARO, F. B.; FIGUEIREDO, F.; CASTILHO, C. V.; KINUPP, V.; GUILLAUMET, J.; GARCIA, A. R. M.; LIMA, A. P.; MAGNUSSON, W. E. Vertical distance from drainage drives floristic composition changes in an Amazonian rainforest. *Plant Ecology & Diversity*, v. 7, issue 1-2, p. 241-253, 2013.

SCHNEIDER, C.; FLÖRKE, M., DE STEFANO, L., AND PETERSEN-PERLMAN, J. D. Hydrological threats to riparian wetlands of international importance - a global quantitative and qualitative analysis. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 21, p. 2799–2815, 2017. <https://doi.org/10.5194/hess-21-2799-2017>.

SCHÖNGART, J. **Rede Ripária: Atributos funcionais de árvores ao longo das bacias hidrográficas**. Plano de Trabalho (Projeto CNPq -Chamada MCTIC/CNPq nº23/2017. Redes de Pesquisa em Biodiversidade na Amazônia Legal. Coord. Alan Cavalcanti da Cunha. Universidade Federal do Amapá - UNIFAP, Macapá, AP e Instituições colaboradoras: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), AM e Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, PA (2018).

SCHÖNGART, J.; PIEDADE, M. T. F.; LUDWIGSHAUSEN, S.; HORNA, V.; WORBES, M. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. *Journal of Tropical Ecology*, v. 18, p. 581–597, 2002.

SILVA, G. C. X.; ABREU, C. H. M.; WARD, N. D.; BELUCIO, L. P.; BRITO, D. C.; CUNHA, H. F. A.; CUNHA, A. C. Environmental impacts of dam reservoir filling in the East Amazon. *Frontiers in Water*, v. 15, p. 1-33, 2020.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli (Org.). *Hidrologia – Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: UFRS/USP/ABRH, 1993, p.35-51.

SINGH, T.; WU, L.; GOMEZ-VELEZ, J. D.; LEWANDOWSKI, J.; HANNAH, D. M.; KRAUSE, S. Dynamic Hyporheic Zones: Exploring the Role of Peak-Flow Events on Bedform-induced Hyporheic Exchange. *Water Resources Research*, v. 55, p. 218-235, 2018. doi:10.1029/2018wr022993

SIOLI, H. 50 anos de pesquisa em limnologia na Amazônia. Palestra editada por Therezinha Soares. *Acta Amazônica*, v. 36, n. 03, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672006000300001>.

SU, X.; POLVI, L. E.; LIND, L.; PILOTTO, F.; NILSSON, C. Importance of landscape context for post-restoration recovery of riparian vegetation. *Freshwater Biology*, v. 64, p. 1015-1028, 2019. doi: 10.1111/fwb.13282.

TIEGS et al. Global patterns and drivers of ecosystem functioning in rivers and riparian zones. **Science Advances: Ecology**, v. 5, n. 1, p. 1-8, 2019.

TOCKNER, K.; MALARD, F.; WARD, J. V. An extension of the flood pulse concept. **Hydrological Processes**, v. 14, p. 2861–2883, 2000.

TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, L. L. et al. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Editora UFRGS/RS/ABRH. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. 4ª ed. 2014.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **A hidrologia aplicada**. São Paulo: Editora Mcgraw Hill do Brasil, 245 p. 1975.

WARD, N. D.; BIANCHI, T. S.; SAWAKUCHI, H. O.; GAGNE-MAYNARD, W.; CUNHA, A. C.; BRITO, D. C.; NEU, V.; DE MATOS VALERIO, A.; DA SILVA, R.; KRUSCHE, A. V.; RICHEY, J. E.; KEIL, R. G. The reactivity of plant-derived organic matter and the potential importance of priming effects along the lower Amazon River. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 121, p. 1522-1539, 2016.

WARD, N. D.; KEIL, R. G.; MEDEIROS, P. M.; BRITO, D. C.; CUNHA, A. C.; DITTMAR, T.; YAGER, P. L.; KRUSCHE, A. V.; RICHEY, J. E. Degradation of terrestrially derived macromolecules in the Amazon River. **Nature Geoscience**, v. 6, p. 530-533, 2013.

WARD, N. D.; KRUSCHE, A. V.; SAWAKUCHI, H. O.; BRITO, D. C.; CUNHA, A. C.; MOURA, J. M. S.; DA SILVA, R.; YAGER, P. L.; KEIL, R. G.; RICHEY, J. E. The compositional evolution of dissolved and particulate organic matter along the lower Amazon River-Óbidos to the ocean. **Marine Chemistry (Print)**, v. 177, p. 244-256, 2015.

WITTMANN, F.; HOUSEHOLDER, E.; PIEDADE, M. T. F.; ASSIS, R. L.; SCHÖNGART, J.; PAROLIN, P.; WOLFGANG, J. J. Habitat specificity, endemism and the neotropical distribution of Amazonian white-water floodplain trees. **Ecography**, v. 36, p. 690–707, 2013.

WITTMANN, F.; MARQUES, M. C. M.; DAMASCENO JÚNIOR, G.; BUDKE, J. C.; PIEDADE, M. T. F.; WITTMANN, A. O.; MONTERO, J. C.; ASSIS, R. L.; TARGHETTA, N.; PAROLIN, P.; JUNK, W. J.; HOUSEHOLDER, J. E. The Brazilian freshwater wetlands: Changes in tree community diversity and composition on climatic and geographic gradients. **PLoS ONE**, v. 12, n. 4, p. 1-18, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175003> April 10, 2017 1 / 18

WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J.; MONTERO, J. C.; MOTZER, T.; JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; QUEIROZ, H. L.; WORBES, M. Tree species composition and diversity gradients in white-water forests across the Amazon basin. **Journal of Biogeography**, v. 33, p. 1334-1347, 2006.

## 5 ARTIGO CIENTÍFICO

**The physicochemical gradient of soils from headwaters to flooded landscapes in riparian zones of the Falsino River, Eastern Amazonia**

*Artigo submetido ao periódico “Biogeosciences”*

# The physicochemical gradient of soils from headwaters to flooded landscapes in riparian zones of the Falsino River, Eastern Amazonia

**Abstract.** O objetivo desta investigação é estudar gradientes edáfico-hidrológicos de zonas ripárias de uma Floresta Tropical localizada na bacia do rio Falsino, Amazônia Oriental. Metodologicamente, foram definidas vinte e uma unidades amostrais de acordo com a ordem do corpo d'água (parcelas de 2<sup>a</sup> a 4<sup>a</sup> ordens). O objetivo é capturar a variação edáfica e hidrológica ao longo do continuum do rio nas parcelas estabelecidas. Para representar os valores do nível máximo do rio (MRL) do pulso de inundação, usamos réguas limnimétricas. Foi realizada a análise físico-química de amostras de solo coletadas (n = 378) em seis subamostras por parcela. Foi testada a existência de correlações significativas entre a variação topográfica, a intensidade do pulso de inundação e os gradientes edáficos físico-químicos por meio de testes de correlação de Spearman. Um teste comparativo de interdependência realizou diferença entre dois métodos de medidas topográficas, o primeiro em campo (GPS) e o segundo com dados de radar disponíveis (SRTM) para quantificar os níveis topográficos da bacia. Observamos que o pulso de inundação variou espacialmente, com valores significativamente diferentes nas parcelas ao longo dos rios de segunda ordem, e o MRL cresceu com o aumento da ordem tributária. Porém, com o uso da altimetria obtida por GPS, a elevação topográfica e o pulso de inundação obtiveram uma relação inversamente proporcional significativa. A maioria das variáveis físico-químicas foi explicada pelo pulso de inundação ( $p < 0,05$ ), com relações direta ou inversamente proporcionais. Os dados de elevação, entretanto, não foram satisfatórios para explicar a variação físico-química do solo. O teste estatístico utilizado para validar métodos acessíveis de obtenção de dados de elevação (GPS e SRTM) foi positivo, mas houve necessidade de estudo por outros métodos mais precisos e confiáveis. Assim, a delimitação de parcelas amostrais de acordo com o perfil longitudinal de uma mesma bacia facilitou a avaliação de possíveis relações entre atributos abióticos.

## 1 Introdução

Em escala regional, as propriedades do solo amazônico variam previsivelmente ao longo dos gradientes mineral e pedogênico (Quesada et al. 2010). Durante o desenvolvimento do solo, os níveis de nutrientes e a morfologia dos grãos mudam como resultado do intemperismo, de forma que as propriedades do solo amazônico dependem principalmente do material parental, especialmente sua história de sedimentação (Fittkau, Junk, Klinge, e Sioli, 1975; Irion, 1978; Quesada et al., 2010; Higgins et al. 2011; Tuomisto et al. 2019). Como as formações geológicas na Amazônia tiveram várias origens (Räsänen, Linna, Santos e Negri, 1995; Räsänen, Neller, Salo e Jungner, 1992; Sombroek, 2000), os solos da região são altamente heterogêneos (Sanchez e Buol, 1974; Tuomisto et al., 2016). Além disso, os nutrientes do solo são gradualmente resultantes de lixiviados de sedimentos expostos, sendo as superfícies mais antigas da região aquelas encontradas na Guiana pré-cambriana e escudos brasileiros (Hoorn 1993; Hoorn e Wesselingh, 2010; Hoorn et al. 2010; Quesada et al. 2010).

As planícies de várzeas amazônicas, por exemplo, possuem solos em formação, e foram preenchidas pelo carreamento de sedimentos desde rios e riachos do Escudo Andino ao longo do tempo geológico (Hoorn, 1993; Sioli, 1984; Belúcio et al., 2018). Já as áreas de igapós, são periodicamente alagados por rios de águas escuras e claras, com cabeceiras no Escudo das Guianas e Escudo Central Brasileiro (Junk et al., 2015), ricos em substâncias húmicas, ácidos e pobres em nutrientes e matéria em suspensão (Santos e Cunha, 2015)

A geomorfologia e as propriedades físico-químicas do solo em toda a bacia Amazônica são consideradas como a principal fonte de elementos dissolvidos nas águas dos rios (Herrera et al., 1978; Gaillardet et al., 1997; Quesada et al. 2011; Junk et

al., 2011; Rios-Villamizar et al., 2020). No entanto, tem sido dada pouca atenção aos efeitos opostos, ou seja, os impactos dinâmicos fluviais sobre as propriedades do solo aluvial. Contudo, o pulso de inundação é um dos principais determinantes dos ecossistemas alagáveis na região amazônica (Junk et al. 1989) e em outras regiões do globo (Tockner et al., 2000). Por exemplo, em grandes rios como o Amazonas, a distribuição de espécies de árvores segue um gradiente relacionado ao tempo e amplitude da inundação (Worbes et al., 1992) e à granulometria do solo local (Wittmann et al., 2004).

As bacias hidrográficas naturalmente apresentam um gradiente altitudinal (topográfico), onde a água superficial se move das mais altas cotas do relevo, drenando as águas em direção ao deflúvio do rio (Smith e Stopp, 1978). Portanto, o relevo desempenha um papel importante na heterogeneidade das propriedades do solo através da erosão da sua superfície e exposição do material parental subjacente (Jordan & Herrera, 1981). Além disso, a posição topográfica frequentemente controla os gradientes de água e do solo e, portanto, suas propriedades físico-químicas (Chauvel et al., 1987; Hodnett et al., 1997; Schiatti et al., 2013). Assim, entender como estes processos, em diferentes escalas, interagem para moldar padrões biogeoquímicos surgiu como um importante pré-requisito para prever o funcionamento de sistemas ripários e como estes responderão às mudanças de uso e ocupação da terra e às mudanças do clima (Blöschl, 2001; Rodgers et al., 2005; McGuire et al., 2005; McGuire et al., 2014; Schneider et al., 2017). No presente estudo, analisou-se a existência de possíveis correlações entre a variação topográfica do relevo, intensidade de pulso de inundação (nível máximo do nível de água superficial na parcela monitorada) e gradientes edáficos (físico-químicos e texturais) ao longo do perfil longitudinal da bacia hidrográfica das zonas ripárias do Rio Falsino-AP/Brasil. A bacia hidrográfica do Rio Falsino está localizada dentro de uma área protegida do Estado do Amapá (Floresta Nacional do Amapá), Amazônia Oriental, com solos derivados principalmente de rochas e sedimentos retrabalhados, provavelmente a partir do final do Cretáceo (Fittkau, 1971; Irion, 1978; Quesada et al. 2010).

A presente investigação parte da seguinte problematização: quais variáveis edáfico-topográficas da bacia hidrográfica estão correlacionadas com as variações do pulso de inundação e quais são as características físico-químicas do solo em suas zonas ripárias? Neste contexto, foram formuladas as seguintes hipóteses: 1) o pulso de inundação é influenciado pelas características topográficas, mas condicionado pela ordem do curso da água; 2) a variação físico-química do solo (edáfica) é explicada tanto por gradientes topográficos quanto por gradientes hidrológicos (pulso de inundação) e 3) os níveis topográficos na bacia são interdependentes entre si, quando são utilizados diferentes métodos de quantificação em campo.

## 1.1 Objetivo Geral

Quantificar variações dos parâmetros edáfico-hidrológicos em diferentes cotas topográficas e cursos da água de diferentes ordens nas zonas ripárias da bacia do Rio Falsino (FLONA-AP/Brasil).

## 1.2 Objetivos Específicos

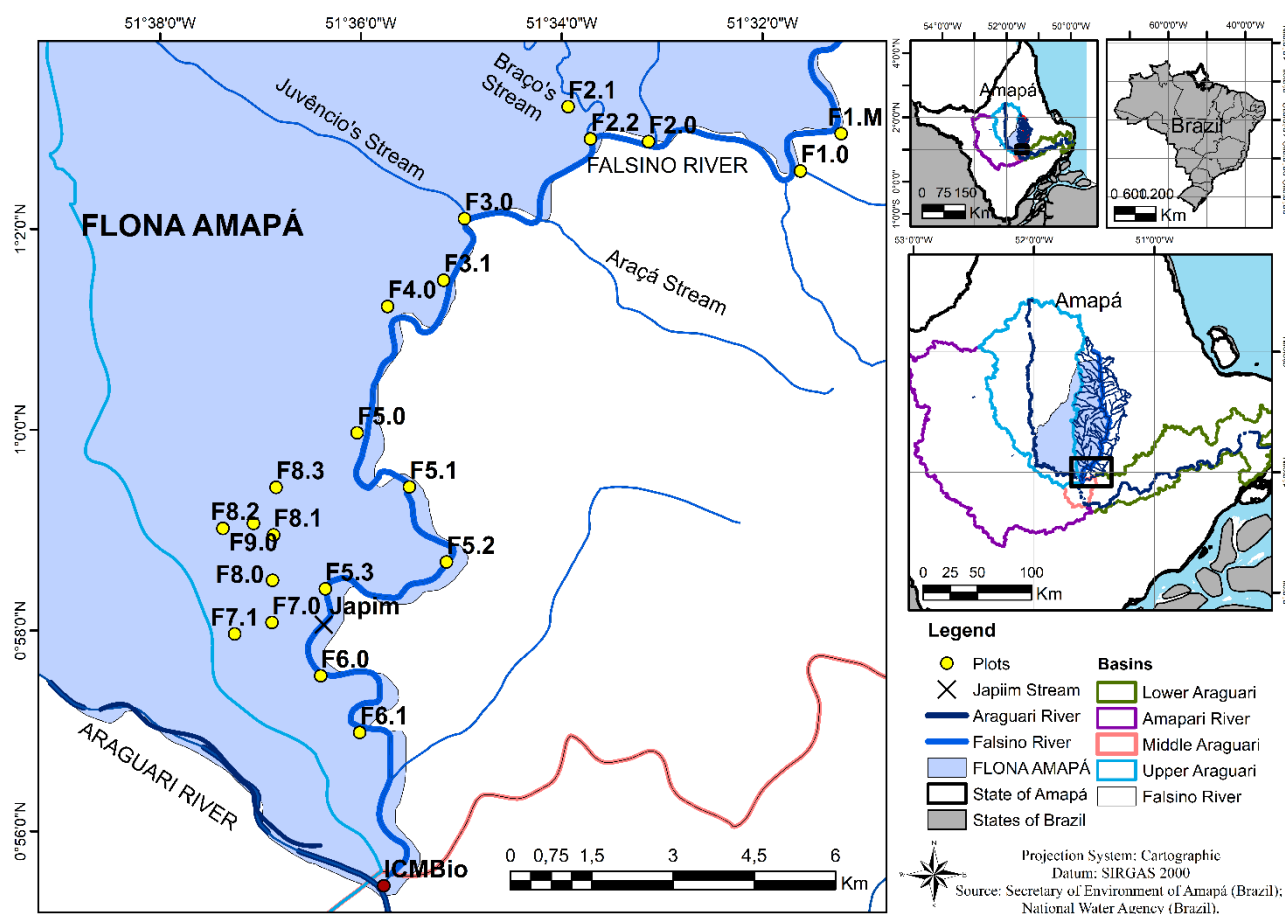
- 1) Testar a existência de correlação entre o pulso de inundação (nível máximo do rio - NMR) para diferentes ordens dos cursos da água, em função de gradientes de localização geográfica e elevação topográfica;
- 2) Testar a existência de correlação entre parâmetros edáficos (físico-químicos e texturais) em função de gradientes topográficos e hidrológicos (pulso de inundação);
- 3) Testar as variações de parâmetros edáficos explicados por variações topográficas, considerando-se diferentes métodos de quantificação (GPS e Radar – SRTM).

## 2 Métodos

### 2.1 Área em estudo

A FLONA do Amapá/Brasil está situada nos municípios de Pracuúba, Ferreira Gomes e Amapá (Figura 1A). Esta unidade de conservação federal foi criada em 10 de abril de 1989 pelo Decreto nº 96.630 e abrange uma área aproximada de 459.867 ha (ICMBIO, 2016) (Figura 1B). O clima na região é o Tropical Quente-Úmido (tipo Af, segundo a classificação de Köppen). De acordo com Oliveira et al. (2020), na FLONA Amapá, a precipitação média anual é 2.184 mm, com dados de janeiro de 2010 a janeiro de 2011, e a precipitação interna sobre o solo abaixo do dossel é da ordem 1322,4 mm, a qual é distribuída em duas parcelas, uma parte formando o percolado subterrâneo e outra parte formando o escoamento superficial na floresta. Portanto, a fração interceptada tem sido estimada em aproximadamente 828,3 mm de água ao ano, correspondendo a 37,9% da precipitação pluvial total acima do dossel, que é temporariamente retida pela floresta e retornada à atmosfera como vapor da

água.



**Figura 1: A) Localização da Floresta Nacional (FLONA) do Amapá e B) área de drenagem da bacia do Rio Falsino e distribuição das parcelas ripárias.**

O período chuvoso estende-se de dezembro a julho, e o de estiagem de agosto a novembro, sendo que o mês mais quente é outubro e o mais frio fevereiro. A temperatura média mensal está definida entre 25° e 26°C, sendo que as médias das temperaturas máximas e mínimas são de 32° e 22°C, respectivamente no município de Serra do Navio, município mais próximo à FLONA, e com série temporal disponível confiável (SUDAM, 1984, Oliveira et al., 2010).

Os solos predominantes na FLONA do Amapá, de acordo com a classificação de Camargo et al. (1987), são Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo, Podzólico Vermelho Amarelo e Solos Petrolínticos (IBGE, 2004). O Latossolo Amarelo ocupa uma pequena porção a oeste da FLONA, e apresenta-se como solo de cor amarelada e muito argiloso e com baixa fertilidade natural. O Latossolo Vermelho-Amarelo é formado por manchas que se concentram principalmente na parte sul da FLONA Amapá, e é característico de regiões de floresta densa de terra firme, apresentando variada fertilidade natural. O solo Podzólico Vermelho-Amarelo está concentrado na parte norte. É caracterizado como um solo hidromórfico, com pouca argila, baixa fertilidade natural e muito ácido. O solo Petrolíntico ocupa a maior parte da área, sendo um solo mineral, com solidificação laterítica, sujeito à processo de oxirredução. A floresta ombrófila densa ou floresta equatorial subperenifolia cobre a maior parte da FLONA do Amapá e pode ser subdividida em terra firme, floresta de igapó e alguns fragmentos de Cerrado (Simonian et al., 2003).

A rede hidrográfica é constituída pela bacia do Rio Araguari e ela possui dois principais afluentes, os rios Amapari e Falsino (Cunha et al., 2014). São rios de curso de água permanentes, cujos regimes fluviais variam de acordo com o período sazonal



das chuvas, produzindo vazões elevadas nos meses de janeiro a setembro ( $\approx 600 \text{ m}^3/\text{s}$ , maio de 2019), e queda acentuada de vazões nos meses de outubro a dezembro ( $\approx 50 \text{ m}^3/\text{s}$ , agosto de 2018) (Cunha, 2018).

A bacia do Araguari apresenta sinais de impactos ambientais decorrentes da inserção de grandes usinas hidrelétricas em série (UHE Coaracy Nunes, UHE Ferreira Gomes e UHE Cachoeira Caldeirão) a  $\approx 87 \text{ km}$  à jusante da FLONA. Estas UHEs estão localizadas nos trechos médio e baixo da bacia do rio Araguari e também estão sujeitas à exploração mineral industrial e garimpo, as quais tendem a provocar processos de erosão e sedimentação em alguns destes trechos (Silva et al., 2020; Corrêa, 2017; Santos et al., 2015; Cunha et al., 2013). A UHE Cachoeira Caldeirão, por exemplo, é a que está mais próxima da foz do Rio Falsino. E, apesar de toda a sua extensão se encontrar dentro da área da FLONA Amapá, há indícios de sensíveis alterações hidrológicas próximas de sua foz, onde tem ocorrido a formação de remansos hidráulicos observado em estudos hidrodinâmicos em campo durante a realização do presente estudo (dados não publicados).

## 2.2 Amostragem

Unidades amostrais de parcelas foram estabelecidas em uma unidade de conservação federal classificada e denominada de Floresta Nacional do Amapá – FLONA Amapá (Norte:  $51^\circ 30' 25'' \text{ W}$  e  $1^\circ 51' 42'' \text{ N}$ ; Sul:  $51^\circ 35' 41'' \text{ W}$  e  $0^\circ 55' 27'' \text{ N}$ ; Leste:  $51^\circ 22' 01'' \text{ W}$  e  $1^\circ 24' 44'' \text{ N}$ ; Oeste:  $52^\circ 00' 29'' \text{ W}$  e  $1^\circ 11' 07'' \text{ N}$ ). As parcelas foram construídas de modo a reduzir a variação de eventuais gradientes topográficos, representar a integridade do habitat e manter o status físico do relevo constante ao longo das parcelas (Figura 1A). Isto é, em cada parcela, a topografia foi considerada como topograficamente não variante e próximas das margens dos corpos de água superficiais.

Fatores geométricos da bacia foram estimados na área de drenagem e considerados como relevantes foram: coeficiente de compacidade de Gravelius ( $K_c$ ) e Fator de Forma ( $K_f$ ) (Sassolas-Serrayet et al., 2018; Horton 1945). Estes parâmetros geométricos foram calculados com a área, perímetro e comprimentos dos rios medidos com o software Google Earth, a partir do banco de dados georreferenciados da Agência Nacional das Águas do Brasil (ANA, 2019).

As unidades amostrais de solos e hidrológicas foram instaladas considerando também a ordem dos tributários de diferentes tamanhos, incluindo-se rios de segunda, terceira e quarta ordem. O objetivo foi capturar a variação hidrológico-ambiental dos trechos ao longo do contínuo fluvial. No total foram implementadas 21 amostras na bacia hidrográfica do Rio Falsino (Figura 1B, com as parcelas localizadas entre  $F_1$  e  $F_9$ ). Estas parcelas foram estratificadas ao longo do contínuo fluvial até próximo da foz do canal principal. Cada uma das unidades amostrais, daqui por diante serão denominadas de parcelas ripárias. No presente caso, estas parcelas foram estabelecidas com distância mínima de  $1 \text{ km}$  de raio entre si. O posicionamento das mesmas foi sempre à  $1.5 \text{ m}$  da margem do canal fluvial, a partir do qual o Nível Máximo do Rio era quantificado (NMR).

## 2.3 Nível Máximo do Rio (NMR) e propriedades físico-químicas do solo

Em cada parcela ripária foi instalada uma régua limnimétrica para medidas da altura da coluna da água. As régua limnimétricas foram constituídas de alumínio, com  $3 \text{ m}$  de altura e graduadas a cada  $10 \text{ cm}$ . As régua foram posicionadas no fundo e à margem do canal de cada parcela e vistoriadas mensalmente durante 12 meses a partir da data de implementação de cada parcela (agosto de 2018). Durante o período de monitoramento, quando os níveis dos rios ultrapassaram  $3 \text{ m}$  acima do solo (período chuvoso crítico, entre março-maio), foram utilizadas régua adicionais posicionadas acima das régua previamente fixadas para a coleta de dados. O valor máximo da coluna da água (NMR) obtido durante os 12 meses de monitoramento foi utilizado como proxy do nível de inundação de cada parcela (parâmetro hidrológico chave para a presente investigação).

Em cada parcela, as amostras de solos foram coletadas a partir de seis subamostras. Estas subamostras foram localizadas com distância de 50 m, seguindo uma mesma linha topográfica ou a margem do canal (nestes casos, sempre a 1.5 m da margem). Cada subamostra de solo foi coletada seguindo os protocolos do Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio) (<https://ppbio.inpa.gov.br/manuais>), nas profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, com uso de um trado holandês. Este protocolo de amostra de solos foi aplicado porque, em geral, os estoques de nutrientes em solos amazônicos são mais elevados nos 20 cm superiores (Johnson et al. 2001; Quesada et al. 2011). Para todas as análises aqui apresentadas, utilizamos valores médios das três profundidades e de todas as seis subamostras para cada parcela. As amostras de solo coletadas foram armazenadas e adequadamente acondicionadas para posterior análise da composição físico-química do solo (Tabela 1), conforme procedimentos do Manual de Métodos de Análise de Solo (Teixeira et al., 2017) e realizadas no Laboratório de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Amapá, Brasil (EMBRAPA Amapá).

	<b>Atributos</b>	<b>Abreviação</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método</b>	<b>Instrumento</b>
<b>Físicos</b>	Distribuição por tamanho das partículas (granulometria): Areia (fina, grossa, total), Argila, Silte		g/Kg	Dispersão química e física, tamisação e sedimentação	Agitador mecânico, estufa, pipetador e balança analítica
	Umidade		(%)	Determinação de água por diferença das massas atual e seca	Estufa, balança analítica
	Potencial Hidrogeniônico	pH	-	Determinação de pH em amostra de solo dissolvido em água destilada	pHmetro de bancada
	Matéria Orgânica	Materia_ Organica	g/Kg	Espectrofotometria	Agitador circular horizontal, balança analítica, espectrofotômetro-UV-Vis
	Fósforo	P	mg/dm <sup>3</sup>	Espectrofotometria	Agitador circular horizontal, balança analítica, espectrofotômetro-UV-Vis
	Potássio	K	cmolc/dm <sup>3</sup>	Fotometria de chama	Fotômetro de chama
<b>Químicos</b>	Cálcio e Magnésio	Ca_Mg	cmolc/dm <sup>3</sup>	Método volumétrico por titulação complexométrica com EDTA	Agitador circular horizontal, bureta, balança analítica
	Cálcio	Ca	cmolc/dm <sup>3</sup>	Método volumétrico por titulação complexométrica com EDTA	Agitador circular horizontal, bureta, balança analítica
	Alumínio	Al	cmolc/dm <sup>3</sup>	Método volumétrico por titulação	Agitador circular horizontal, bureta, balança analítica
	Acidez Potencial	H_Al	cmolc/dm <sup>3</sup>	Método volumétrico por titulação	Agitador circular horizontal, bureta, balança analítica

Soma das Bases	Soma_Bases (SB)	cmolc/dm <sup>3</sup>	Soma de Ca <sup>2+</sup> (Ca), Mg <sup>2+</sup> (Mg), K <sup>+</sup> (K)	-
Capacidade de Troca Catiônica a pH 7	CTC	cmolc/dm <sup>3</sup>	Soma de SB e H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> (H_Al)	-
Saturação de Bases	Saturacao_Bases	%	Percentagem de SB em relação a CTC	-
Saturação do Alumínio	Saturacao_Al	%	Percentagem de Al <sup>3+</sup> (Al) em relação a soma de SB e Al <sup>3+</sup>	-

**Tabela 1: Detalhamento das análises físico-químicas realizadas nas amostras de solo da bacia do Falsino (FLONA-AP).**

#### 2.4 Teste comparativo simplificado para avaliar interdependência entre métodos de medidas topográficas por GPS e Radar (SRTM)

Este procedimento foi realizado com o objetivo de testar níveis topográficos na bacia, utilizando-se dois diferentes métodos de medidas de elevação do terreno, um em campo (Sistema de Posicionamento Global - GPS) e outro com dados disponíveis de Radar (Shuttle Radar Topography Mission - SRTM). O SRTM foi uma missão da NASA que ocorreu em 2000 cujo objetivo foi obter um modelo digital do terreno (MDT) na faixa da Terra entre as coordenadas 56° S e 60° N. O objetivo específico foi gerar uma base completa de cartas topográficas digitais terrestre, a qual está atualmente disponibilizada gratuitamente através de imagens com resolução espacial de 90 m.

Portanto, foi aplicado o teste de independência pareado de Wilcoxon para avaliar se há diferenças amostrais significativas ou independentes entre as medidas das 21 parcelas usando GPS e SRTM.

#### 2.5 Análise de Dados

As parcelas foram ordenadas de acordo com as diferenças físico-químicas do solo utilizando a Análise de Componentes Principais (PCA) (Figura 2). Além da PCA, verificou-se possíveis correlações individuais entre todos os tamanhos das partículas (granulometria ou textura) do solo, umidade, pH e concentrações de nutrientes utilizando o teste de correlação de Spearman. Como a maioria das variáveis do solo é altamente correlacionada entre si, escolheu-se as variáveis “Areia Total” e “Soma das Bases” para representar o tamanho das partículas (granulometria ou textura) e as concentrações de nutrientes como, respectivamente, variáveis chave da composição edáfica. Para testar estas correlações entre os atributos físico-químicos dos solos ripários, nível máximo do rio (NMR) e elevação de parcelas (E), aplicou-se o teste de correlação de Spearman (Tabela 4; Figura 3). Para testar as diferenças topo-edáficas e hidrológicas nos diferentes tributários dentro da bacia hidrográfica (classificadas por ordem: Ord 2 = rios de segunda ordem; Ord 3 = rios de terceira ordem; Ord 4 = rios de quarta ordem), foi aplicado o teste Kruskal-Wallis. As análises estatísticas foram realizadas em R v. 3.6.2 (R Development Core Team 2019), com funções adicionais dos pacotes psych (Revelle, 2019) e car (Fox & Weisberg 2019).

### 3 Resultados

A bacia do Falsino possui área de 4229 km<sup>2</sup> e perímetro de 441 km. O coeficiente de compacidade da bacia (Kc) é de 1,90, o qual indica que a forma da bacia é relativamente alongada, distanciando-se da probabilidade desta área contribuir com respostas hidrológicas únicas para o canal de drenagem principal até a foz. Isto é, o fator de compacidade relativamente elevado (Kc)

sugere um perfil hidrológico do pulso hidrológico distribuído como resposta à precipitação na bacia (Tucci et al., 2014). O fator de forma (Kf) calculado é de aproximadamente 0,15, indicando que esta bacia é menos sujeita a enchentes quando comparada a uma bacia com a mesma área, ou sejam com fator de forma menor. A densidade de drenagem da bacia (Dd) é igual a 0,30 km/km<sup>2</sup>, decorrendo em eficiência relativamente baixa. Então, a drenagem da bacia do Rio Falsino pode ser considerada como relativamente pobre, em função de seus aspectos morfométricos.

Um resumo estatístico descritivo e integrado dos parâmetros edáficos é apresentado na Tabela 2 (média e desvio padrão).

<b>Atributos</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Argila (g/Kg)	151,29	88,44
Areia Fina (g/Kg)	286,44	190,19
Areia Grossa (g/Kg)	267,96	80,69
Areia Total (g/Kg)	554,40	189,47
Silte (g/Kg)	283,87	131,85
Umidade (%)	26,40	7,64
pH	4,52	0,31
Matéria_Organica (g/Kg)	43,41	15,96
P (mg/dm <sup>3</sup> )	9,83	3,69
K (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,08	0,03
Ca_Mg (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,90	0,55
Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,97	0,33
H_Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	6,19	1,83
Soma_Bases (SB) (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,98	0,57
CTC (cmolc/dm <sup>3</sup> )	7,36	2,11
Saturacao_Bases (%)	14,34	4,86
Saturacao_Al (%)	51,89	10,98

**Tabela 2: Quantificação (média e desvio padrão) de nutrientes, umidade, matéria orgânica e distribuição de tamanho das partículas na bacia do Rio Falsino (FLONA-AP).**

Na Tabela 3, foi observado a existência de diferenças significativas entre as 3 diferentes ordens dos rios. Essas categorias apresentaram diferenças significativas quando comparados os níveis máximos do rio, porém não apresentou diferença entre os níveis topográficos (de elevação). Logo, o pulso de inundação variou conforme ordem do tributário. Isso pode ser confirmado com a diferença mostrada no teste de Kruskal-Wallis entre os grupos de parcelas separadas por ordem do rio e pelo teste de correlação de Spearman (Tabela 4). O resultado apresentado foi  $r = 0,88$  e  $p\text{-valor} = <0,0001$ . Este também variou conforme elevação ( $r = -0,47$ ,  $p\text{-valor} = 0,035$ ), mas com coeficiente de correlação mais moderado e significância menor. Todavia a ordem do tributário e topografia não apresentaram relação significativa ( $p\text{-valor} = 0,1052$ ).

Variáveis topo-hidrológicas	Teste de Kruskal-Wallis (Ord2, Ord3, Ord4) *		Teste de Dunn
	X <sup>2</sup>	p-valor	Significativamente Diferente (Ord2, Ord3, Ord4) (p<0.05)
Elevação (m)	2.71	0.2584	-
Nível Máximo do Rio (cm)	14.99	<b>0.0006</b>	<b>Ord2-Ord3; Ord2 -Ord4</b>
Variáveis edáficas	X <sup>2</sup>	p-valor	
Al (cmolc/dm3)	9.14	<b>0.0104</b>	<b>Ord2-Ord3; Ord2 -Ord4</b>
Saturacao_Al (%)	10.97	<b>0.0042</b>	<b>Ord2-Ord3; Ord2 -Ord4</b>
Saturacao_Bases (%)	8.17	<b>0.0168</b>	<b>Ord2-Ord3; Ord2 -Ord4</b>
Ca_Mg (cmolc/dm3)	8.24	<b>0.0162</b>	<b>Ord2 -Ord4</b>
CTC (cmolc/dm3)	0.70	0.7033	-
H_Al (cmolc/dm3)	3.77	0.1516	-
K (cmolc/dm3)	4.59	0.1009	-
Materia_Organica (g/Kg)	0.70	0.7033	-
P (mg/dm3)	2.56	0.2781	-
pH	4.88	0.0871	-
Soma_Bases (SB) (cmolc/dm3)	9.28	<b>0.0097</b>	<b>Ord2 -Ord4</b>
Umidade (%)	12.42	<b>0.0020</b>	<b>Ord2 -Ord4</b>
Areia_Fina (g/Kg)	1.16	0.5605	-
Areia_Grossa (g/Kg)	11.40	<b>0.0033</b>	<b>Ord2-Ord3; Ord2 -Ord4</b>
Areia_Total (g/Kg)	13.32	<b>0.0013</b>	<b>Ord2-Ord3; Ord2 -Ord4</b>
Silte (g/Kg)	13.04	<b>0.0015</b>	<b>Ord2-Ord3; Ord2 -Ord4</b>
Argila (g/Kg)	11.49	<b>0.0032</b>	<b>Ord2-Ord3; Ord2 -Ord4</b>

(\*) **Ord2** = 2ª ordem de tributário; **Ord3** = 3ª ordem de tributário; **Ord4** = 4ª ordem de tributário

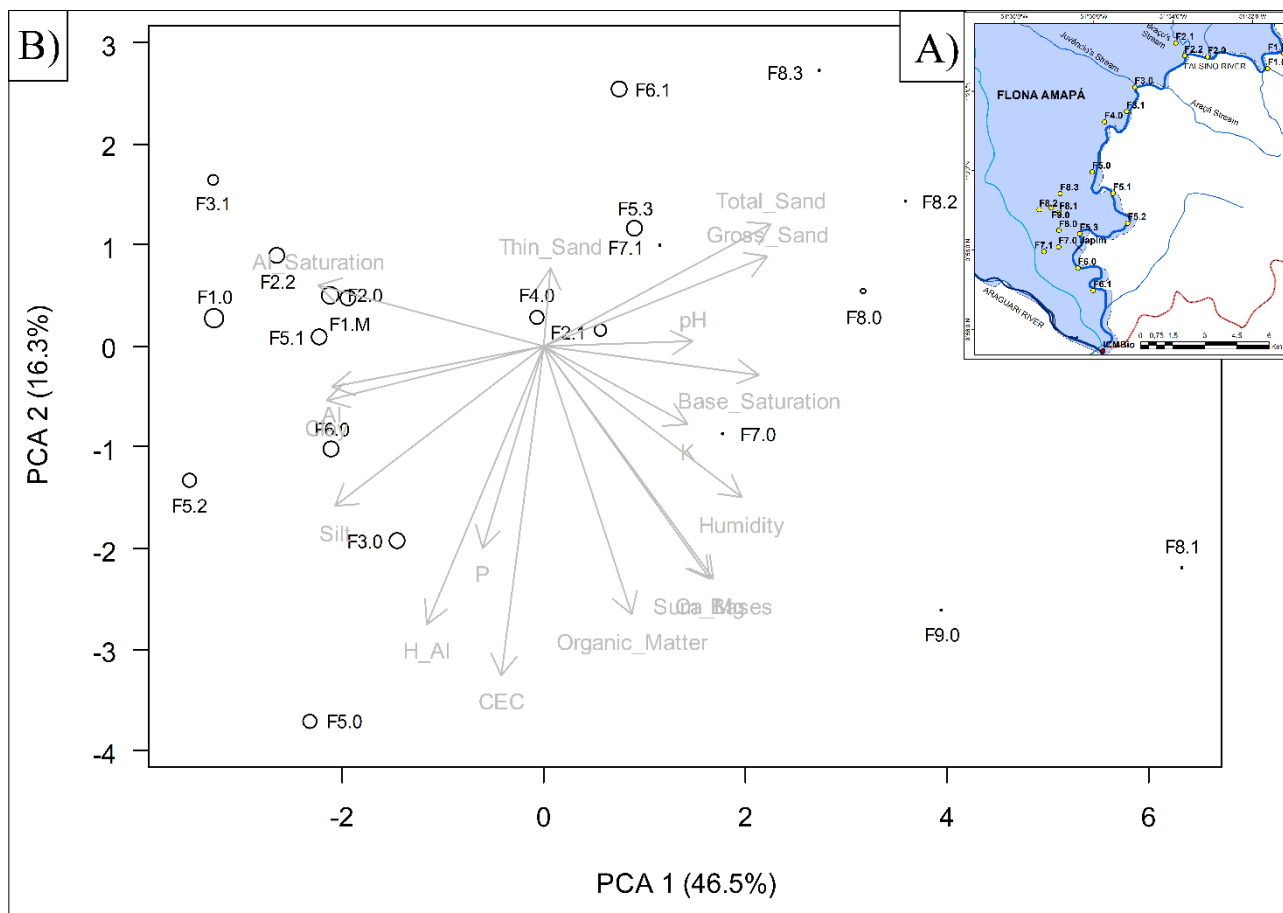
Tabela 3: Teste de hipótese de Kruskal-Wallis comparando a variação de parâmetros topo-edáficos e hidrológicos na bacia do rio Falsino (FLONA-AP), entre tributários de segunda, terceira e quarta ordens. A quarta coluna inclui ordens tributárias significativamente diferentes (p <0,05) pelo teste post-hoc de Dunn.

Variáveis	Topografia		Hidrologia	
	Elevação	Nível Máximo do Rio (NMR)		
	(r)	(p-valor)	(r)	(p-valor)
Umidade	<b>0,16</b>	0,4644	<b>-0,73</b>	<b>0,0002</b>
pH	-0,04	0,8889	<b>-0,50</b>	<b>0,0215</b>
Materia_Organica	-0,05	0,7755	-0,27	0,2456
P	-0,11	0,5804	0,12	0,5959
K	<b>0,12</b>	0,6138	<b>-0,44</b>	0,0488
Ca + Mg	<b>0,24</b>	0,2602	<b>-0,51</b>	<b>0,0192</b>
Al	<b>-0,25</b>	0,2767	<b>0,64</b>	<b>0,0016</b>

H-Al	-0,18	0,4785	<b>0,45</b>	<b>0,0387</b>
Soma_Bases	<b>0,23</b>	0,2793	<b>-0,56</b>	<b>0,0081</b>
CTC	-0,20	0,4203	0,26	0,2641
Saturacao_Bases	<b>0,26</b>	0,2555	<b>-0,58</b>	<b>0,0056</b>
Saturacao_Al	<b>-0,22</b>	0,3362	<b>0,68</b>	<b>0,0007</b>
Argila	<b>-0,28</b>	0,2108	<b>0,70</b>	<b>0,0004</b>
Areia Grossa	<b>0,23</b>	0,3133	<b>-0,70</b>	<b>0,0004</b>
Areia Fina	0,01	0,9955	0,18	0,4385
Areia Total	<b>0,21</b>	0,3362	<b>-0,71</b>	<b>0,0003</b>
Silte	<b>-0,19</b>	0,3879	<b>0,62</b>	<b>0,0028</b>
Ordem tributário	0,37	0,1052	<b>0,88</b>	<b>&lt;,0001</b>
NMR	<b>-0,47</b>	<b>0,0355</b>	--	--

**Tabela 4: Correlação (r, p<0.05) entre as características edáfico-topográficas e hidrológicas nas 21 parcelas instaladas na bacia do Rio Falsino (FLONA-AP).**

Para reduzir o número de variáveis e visualizar as variações integradas de todos os parâmetros conjuntamente (diferentes parcelas e diferentes parâmetros topo-hidrológicos e edáficos da bacia hidrográfica) foi aplicado o teste da PCA. O resultado da PCA é apresentado na Figura 2. Os dois primeiros eixos, ou componentes principais, contribuíram com 46,5% (PCA<sub>1</sub>) e 16,3% (PCA<sub>2</sub>) da variação sobre os teores dos atributos edáficos. Teoricamente, estes eixos não são correlacionados entre si. Assim, as variáveis Areia Total e Areia Grossa, saturação de alumínio e teor de argila destacam-se na composição do primeiro componente principal do solo nas parcelas ripárias na bacia do Rio Falsino, com correlações de  $r=0,31$ ,  $r= 0,30$ ,  $r=-0,30$  e  $r= -0,29$  em relação a esse eixo. Já no segundo componente principal (PCA<sub>2</sub>), as variáveis com maior correlação foram CTC ( $r= -0,46$ ), H + Al ( $r=-0,39$ ), matéria orgânica ( $r= -0,39$ ) e soma das bases ( $r = -0,32$ ).



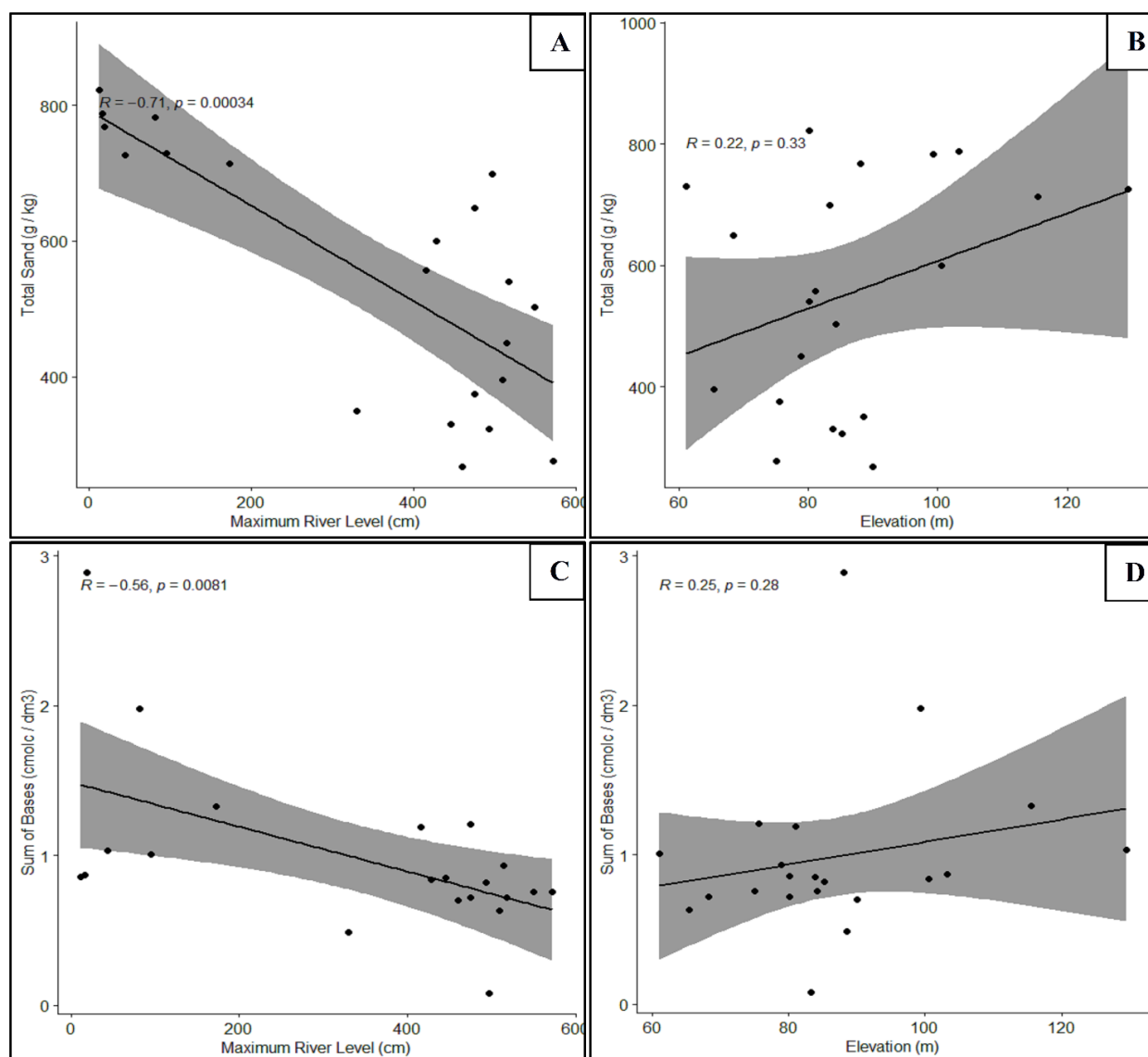
**Figura 2: Análise de componentes principais (PCA). A) Codificação das parcelas das zonas ripárias na bacia do Rio Falsino distribuídos em três níveis espaciais-topográficos (A, M e B); B) Códigos das parcelas, pontos e vetores representativos das variáveis edáficas. O tamanho dos pontos é proporcional à variável hidrológica (Nível Máximo do Rio - NMR) nas parcelas.**

Na análise da PCA, observando a disposição das parcelas conforme a variação dos atributos edáficos, a componente principal 1 (PCA<sub>1</sub>) referente às parcelas F8.1, F8.2, F9.0 e F8.0, localizadas nas cabeceiras, possuem os maiores teores dos atributos que mais contribuíram com a correlação positiva. Neste caso, areia total, areia grossa são positivamente correlacionados com a PCA<sub>1</sub>. E alguns parâmetros se correlacionaram negativamente com este eixo, tais como saturação de alumínio e argila. Estes pontos são da categoria de parcelas (F7 a F9), às margens de igarapés de segunda ordem e com menores amplitudes e valores máximos de inundação. Além destas, as parcelas F7.0, F8.1 e F8.3 deste trecho, também apresentaram os menores níveis máximos do rio (NMR).

Ainda na Figura 2, observa-se que as variáveis Areia Total e Grossa são colineares. O mesmo ocorreu com a soma das bases e cálcio (Ca) e magnésio (Mg) isoladamente. Assim, na componente principal 2 (PCA<sub>2</sub>), as parcelas F6.1, F8.3, F8.2 e F3.1 possuem os maiores valores de CTC, H+Al, matéria orgânica e soma das bases. Por exemplo, a concentração de alumínio é alta e moderadamente correlacionada com Argila, Silte, Areia Total, Saturação das Bases, Acidez Potencial. Além da moderada correlação dos atributos edáficos entre si, é possível observar correlação moderada/forte com p-valor significativo da maioria destes (em negrito na Tabela 4) com o nível máximo da lâmina d'água do rio (NMR) (Tabela 4). Cabe o destaque (em negrito na Tabela 4) para a Umidade, Alumínio, Soma das Bases, Saturação do Alumínio, Argila, Areia Total e Silte.

De acordo com a Figura 3, como esperado, a concentração de Areia Total é inversamente proporcional ao nível máximo do rio (NMR). Esta correlação também resultou na melhor significância entre todas as variáveis edáficas com NMR ( $r=-0,71$ ,  $p$

= 0,00034) (Figura 3A). Por outro lado, a concentração de areia total foi positiva com a elevação do terreno (topografia), porém não foi significativa ( $r = 0,22$ ,  $p = 0,33$ ) (Figura 3B).



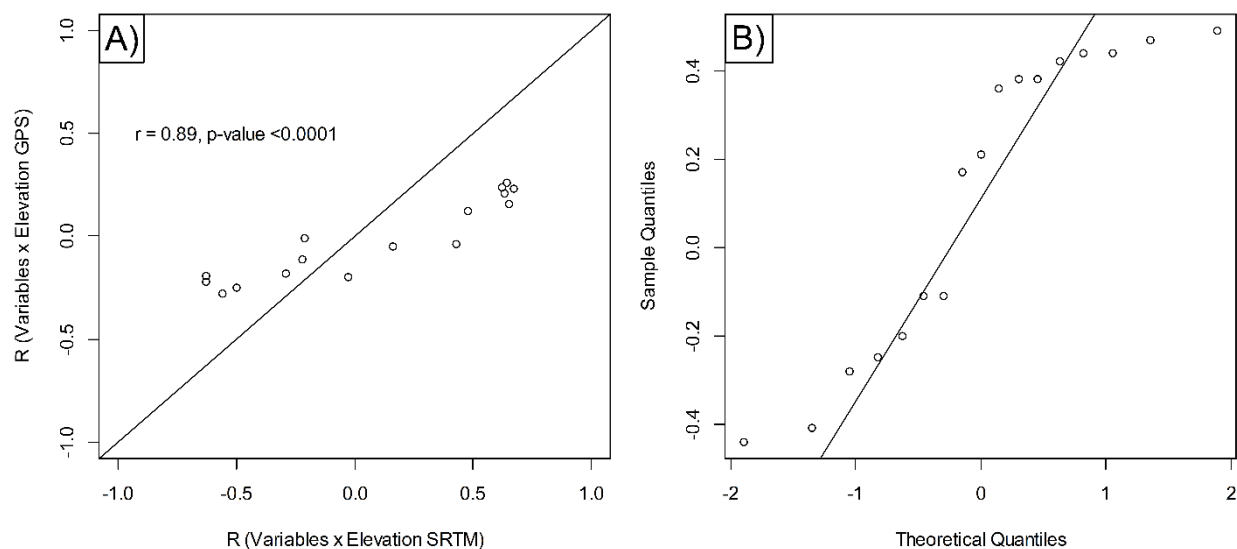
**Figura 3:** Testes de correlação de Spearman entre a concentração de Areia Total (g/kg) (A e B) e Soma das Bases (cmol/dm<sup>3</sup>) (C e D) em relação ao Nível máximo do Rio (MRL, cm) e Elevação da parcela (m).

A Soma das Bases resume os atributos Ca+Mg, K e Al, apresentando correlação moderada com o nível máximo do rio (NMR) e com alta significância estatística, o que indica uma boa correlação com a variável hidrológica avaliada (NMR) ( $r = -0,56$ ,  $p = 0,0081$ ) (Figura 3 C). Por outro lado, a Soma das Bases foi diretamente proporcional com a elevação do terreno (topografia), porém com correlação fraca e não significativa ( $r = 0,25$ ,  $p = 0,28$ ) (Figura 3 D).

Como uma contribuição adicional à análise edáfica-hidrológica, em relação aos dois métodos de quantificação da Elevação (topografia) utilizando-se GPS e SRTM, na Figura 4, é possível observar os resultados do teste de Wilcoxon para a independência da análise comparativa entre os dois métodos. Nesta análise foi utilizado um critério do uso do coeficiente de correlação para cada uma das parcelas, utilizando o GPS em campo e os dados de sensoriamento remoto (Radar – SRTM).



Ambos variando no intervalo  $[-1,0 \leq R_{GPS} \text{ e } R_{SRTM} \leq 1,0]$ . Na Figura 4A, quanto mais próximos os pontos estiverem da linha de 45 graus de inclinação, maior é a similaridade dos resultados entre as duas metodologias.



**Figura 4: Teste de correlação (A) e Wilcoxon (B) para avaliar independência entre resultados da correlação de Spearman entre elevações topográficas por GPS e SRTM.**

Como pode ser observado na Figura 4A, houve correlação significativa entre os  $R_{GPS}$  e  $R_{SRTM}$ , resultando em  $R_{(Teste\ Wilcoxon)} = 0,89$ ,  $p < 0,001$ , para as estimativas de elevação topográfica utilizando-se as duas técnicas. Na Figura 4B observa-se uma distribuição não-normal destas correlações, optando-se pelo uso do método de Wilcoxon. Na presente análise, o teste de Wilcoxon não foi significativo ( $p > 0,05$ ). Isto significa que não há diferenças significativas ao se aplicar qualquer um dos dois métodos. Então, é possível aplicá-los de forma independente. Além disso, esta hipótese também é fortalecida pelos resultados da correlação de Spearman ( $R_{(Teste\ Wilcoxon)} = 0,89$ ,  $p < 0,001$ ). É relevante frisar que, para valores  $R_{SRTM} < 0,0$  os valores de  $R_{GPS}$  são subestimados, ocorrendo o inverso para valores  $R_{SRTM} > 0,0$ .

#### 4 Discussão

A maioria das variáveis edáficas foi correlacionada entre si (Figura 2), dificultando estabelecer qual delas pode ter relação causal entre eventos de inundação e propriedades físico-químicas do solo. Por outro lado, o pulso de inundação apresentou relação significativa com a topografia e também em relação à ordem do rio, confirmando a primeira hipótese da pesquisa. Assim, a ordem de tributário é o fator que mais impacta a variação do pulso de inundação. Quanto mais próximo da foz e maior ordem do rio, maior o nível do pulso de inundação. Junk et al. (2011) descrevem o pulso hidrológico como uma componente hidrológica mais estável na medida em que há uma proximidade física com a foz da bacia hidrográfica, como na bacia do Rio Amazonas, cujo pulso, em baixas altitudes, é previsível e com alta amplitude.

A alta temperatura e umidade resultaram em um profundo intemperismo e lixiviação de material de origem na Amazônia Oriental e Central, tornando a base rochosa uma fonte improvável de nutrientes para seus solos. Além disso, os afluentes fluviais originários da Amazônia Oriental e Central, geralmente drenam Latossolos. Assim, rios de água preta ou clara transportam poucas cargas de partículas de solo suspensas e são caracterizados por concentrações de nutrientes muito baixas (Herrera et al., 1978; Quesada et al. 2011). Alguns estudos sobre a qualidade da água realizados no próprio Rio Falsino

(Cunha et al., 2013) e Araguari (Santos e Cunha, 2015), confirmam as baixas concentrações de sólidos suspensos e sólidos totais dissolvidos na água.

É possível observar no trabalho de Oliveira (2012), dados edáficos resultantes de um levantamento aprofundado em terra firme existentes no sul da unidade de conservação Floresta Nacional do Amapá (FLONA Amapá) (Figura 1B), em parcelas próximas às parcelas ripárias F<sub>7</sub> a F<sub>9</sub>. Os dados apresentados sugerem que os teores que mais se aproximaram aos encontrados nas áreas ripárias, são teor de areia, umidade, pH e K. O valor médio de pH, por exemplo, foi de  $4,56 \pm 0,19$  (Oliveira, 2012), indicando solos ácidos.

Em geral, os solos do Estado do Amapá, Brasil, apresentam teores de pH ácidos, e frequentemente associados com o teor de matéria orgânica no solo (Alves et al., 1992). E, segundo Oliveira (2012), as concentrações de matéria orgânica foram de  $21,1 \pm 6,9$  g/Kg. Isto é muito abaixo à média do gradiente longitudinal encontrada nas parcelas ripárias ( $43,41 \pm 15,96$  g/Kg). Mas o teor de acidez potencial (H<sub>Al</sub>), outro indicador de acidez no solo, foi relativamente superior ( $10,07 \pm 1,71$  cmolc/dm<sup>3</sup>). Cabe ressaltar, que as parcelas deste levantamento se encontram na mesma unidade de conservação, mas em áreas de terra firme e em terrenos mais elevados (Oliveira, et al.; 2020).

A porcentagem de areia total foi maior que 50% (significativamente maior que os teores de argila e silte) em ambos os estudos, tanto considerando a área de terra firme, como as parcelas ripárias das cabeceiras até a foz (ICMBio, Figura 1A). Esta variável também apresentou correlação negativa com o aumento do Nível Máximo do Rio (NMR) ( $r=-0,71$ ,  $p = 0,00034$ ) (Figura 3A). Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SBCS) (EMBRAPA, 2018), estes solos se enquadram no subgrupos textural franco-arenoso, já que na sua distribuição granulométrica, a proporção de areia é maior que 520 g/Kg. De acordo com ICMBio (2016), a maior parte da FLONA do Amapá é formada por solo mineral, com solidificação laterítica, composta em grande quantidade por frações grosseiras (entre 60% e 90%).

Segundo Junk et al., (2011), os rios de águas escuras drenam as áreas do Escudo pré-cambriano das Guianas, caracterizado pela presença de areia branca (podzols), com baixa fertilidade. As águas do Rio Falsino podem ser classificadas como escuras (preta ou negra) (Cunha et al., 2013) e suas áreas alagadas por esse tipo de águas ácidas, húmicas e com pouca matéria em suspensão como igapós (Junk et al., 2015, Santos e Cunha, 2015). De acordo com o Plano Nacional de Recursos Hídricos (2006), bacias com rios de água escura possuem propriedades químicas determinadas pelos solos mais arenosos, tal como observado nos resultados encontrados, indicando que os sistemas de drenagem do Rio Falsino recebem menos nutrientes comparados com as planícies de várzeas na Amazônia Central (Sioli, 1984), cujos solos são ricos em minerais de argila e parte da captação estão nos Andes (Junk et al., 2015), ou várzeas na foz do Rio Amazonas, na Amazônia Oriental (Santos et al., 2018; Ward et al., 2013).

A proporção de teores granulométricos mais grossos (areia total) é menor conforme aumenta o pulso de inundação em cada parcela (NMR) e os teores de argila e silte aumentam com a amplitude do pulso de inundação. Mas, não houve correlação significativa com topografia sendo a relação fraca ou pouco significante. As planícies alagáveis sofrem significantes mudanças físicas e químicas após os fluxos de inundação (Baniya et al., 2020), de forma que a textura e a granulometria dos substratos se modificam no tempo de grosso para fino, como de pedregoso para arenoso, por exemplo, ou de arenoso para texturas com maior porcentagem de grãos mais finos (argila e silte). As zonas ripárias como as do Rio Falsino, encontram-se no Escudo das Guianas onde, como pode ser observado no presente estudo, o solo é mais arenoso (francoarenoso), mas os teores de areia tendem a diminuir em áreas com maior pulso de inundação, indicando uma mudança física.

As cabeceiras mais distantes da bacia do Rio Falsino também estão localizadas no antigo escudo cristalino das Guianas e, apesar de serem superfícies antigas, o desenvolvimento do solo neste escudo cristalino frequentemente manteve menor desenvolvimento pedogênico do que os solos encontrados nos sedimentos reformulados da Amazônia Central (Quesada et al.

2010) ou no estuário da Amazônia Oriental (Santos et al., 2018; Cunha e Sternberg, 2018) e pode ter contribuído para o perfil geoquímico a jusante dos corpos d'água. A correlação do NMR com diversos parâmetros edáficos, sugere a existência de interdependência entre esses fatores nas zonas ripárias do Rio Falsino. Neste contexto, e em relação à hidrologia versus características edáficas, destacam-se os parâmetros umidade, pH, K, H-Al, Ca+Mg, Al, Soma das Bases, Saturação das Bases, Saturação de Al, teor de argila, areia grossa e areia total e silte. Porém, surpreendentemente, não houve correlação significativa com os parâmetros matéria orgânica, P, CTC e areia fina.

Sabe-se que a taxa de decomposição afeta as concentrações de nutrientes e a concentração da matéria orgânica no solo. Em um solo com hipóxia, por exemplo, a taxa de decomposição da matéria orgânica é reduzida (Gallardo, 2003; Tsheboeng, Bonyongo, Murray-Hudson, 2013). Então, em níveis topográficos menos elevados e para longos períodos de inundação, a taxa de decomposição da matéria orgânica afeta o gradiente de nutrientes do solo (Tsheboeng, Bonyongo, Murray-Hudson, 2013). No presente caso, a matéria orgânica apresentou fraquíssima e não significativa correlação com o NMR ( $r=-0.27$ ,  $p > 0.05$ ) e com a elevação topográfica ( $r=-0.07$ ,  $p > 0.05$ ). A elevação, inclusive, não explicou a variação de nenhum atributo edáfico. Logo, o pulso de inundação influenciou positivamente os teores de Alumínio e Acidez potencial. Todavia, houve diminuição da quantidade de macronutrientes, representada pela Soma das Bases, com o aumento do NMR. Já todos os atributos físico-químicos do solo e elevação topográfica não obtiveram correlação significativa entre si.

Os estudos em ambientes alagados como várzea e igapó são altamente complexos (Wittmann et al., 2004), e a quantidade de nutrientes pode aumentar ou diminuir durante a troca destes componentes entre as planícies de inundação e os rios. Para Tsheboeng, Bonyongo, Murray-Hudson (2013) e Tockner et al. (2017) o pulso hidrológico efetivamente facilita a troca de nutrientes do solo durante as inundações sazonais. Desta forma, os nutrientes do solo se dissolvem nas águas da enchente e são transportados pelas correntes superficiais dos rios e, também, podem ser transportados do rio para as planícies de inundação sazonais através do fluxo lateral. Então, os nutrientes podem também ser depositados pela enchente anterior e/ou liberados a partir da matéria orgânica em decomposição e acumulada durante os períodos secos (Powell, 2009). Neste caso, a taxa de macronutrientes diminui com o maior pulso de inundação, talvez devido à velocidade do fluxo do rio nesta área de conservação, e ao fato do Rio Falsino ser naturalmente baixo em nutrientes.

Entretanto, como consequência de processos que alteram o balanço hídrico das bacias, as zonas ripárias alagadas são exemplos contundentes de ambientes que, globalmente, vêm desaparecendo em taxas aceleradas. Isto porque sua integridade ecológica e os seus serviços ecossistêmicos para a humanidade dependem dos padrões regulares de inundação/seca fornecidos pelos regimes naturais do fluxo hidrológico. Por exemplo, barragens tendem a reduzir a amplitude do pulso hidrológico (nível máximo do rio - NMR), alterando também o regime de escoamento dos rios e agem como fator ecologicamente relevantes em relação ao pulso hidrológico e às características físico-químicas dos solos ripários (Schneider et al., 2017; Silva et al., 2020). Para Baniya et al. (2020), por exemplo, uma maior vazão dos rios pode transportar sedimentos e nutrientes já existentes, interferindo não somente nas suas taxas de transporte, mas eventualmente potencializando ou reduzindo a conectividade entre diferentes corpos d'água e os sistemas terrestres (Santos et al., 2018; Cunha e Sternberg, 2018; Tockner et al., 2017). Cunha et al. (2013) também verificou a declividade e a velocidade do fluxo das correntes nos rios Araguari e Falsino. Essa variável tende a influenciar especialmente zonas próximas à FLONA (maior velocidade do fluxo e menor riqueza de plâncton) e mais distante do reservatório da Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes – UHECN. A UHECN é anterior à construção da atual Usina Hidrelétrica de Cachoeira Caldeirão – UHECC. A presença destes empreendimentos no rio Araguari tende a influenciar a distribuição e riqueza de espécies fitoplanctônicas (cianobactérias) e de plantas também no Rio Falsino, tanto em decorrência da variação do regime de escoamento próximo da sua foz quanto devido a variação longitudinal de nutrientes disponível no solo e na água ao longo da bacia (Santos e Cunha, 2015)..

Quando analisada a extensão espacial dos sistemas de cabeceira, estes constituem uma grande porcentagem da área total de captação (Meyer e Wallace 2001; Gomi, et al. 2002). Entretanto, há uma série de córregos e rios, os quais são pequenos (1ª a 5ª ordem), mas numerosos, acompanhados por planícies de inundação com área estimada de 1 milhão de km<sup>2</sup> na bacia amazônica (Junk 1993; Junk et al., 2011). Portanto, estes pequenos córregos podem ser uma importante fonte de sedimentos, água, nutrientes e matéria orgânica para sistemas a jusante do Rio Falsino (Cunha et al., 2013). Portanto, perturbações desta natureza também provocam alterações nos ambientes ripários e podem causar desequilíbrios e significativas alterações na biota (Schneider et al., 2017). Por exemplo, tem sido observado na literatura da área que as áreas naturais alagadas têm declinado em nível global na escala de 31% entre 1970 e 2008 (Dixon et al., 2016). Contudo números mais expressivos são provavelmente mais elevados para áreas alagadas especificamente. Por exemplo, na Europa e América do Norte, até 90% de todas as áreas alagadas são consideradas funcionalmente extintas e nos países em desenvolvimento têm desaparecido em taxas aceleradas (Tockner and Stanford, 2002). Atualmente, os sistemas ripários pertencem aos ecossistemas mais ameaçados do planeta, alterando os indicadores da biodiversidade (algas, peixes, pássaros, répteis, anfíbios e mamíferos, os quais tem declinado em até 76% desde os anos 1970 (WWF, 2004; WWF, 2014, Cunha et al., 2013).

O pulso de cheia do rio Falsino influenciou algumas características edáficas, como concentrações de atributos granulométricos (areia total  $r = -0,71$ ,  $p = 0,00034$ ) e macronutrientes (soma de bases  $r = -0,56$ ,  $p = 0,0081$ ) na bacia, parcialmente confirmando a segunda hipótese deste estudo, uma vez que os valores de alguns atributos físico-químicos espacialmente distribuídos e o fator de elevação (topografia) não apresentaram relação significativa (considerando a escala geográfica atual). A topografia, no entanto, explica os níveis mais elevados de inundação. Em toda a área de estudo, foram utilizados dados de campo por meio de GPS. Porém, ao comparar as correlações dessas mesmas variáveis, tanto pelo método GPS quanto pelo método do Radar (SRTM), utilizado como ferramenta alternativa para obtenção dos dados de elevação, os resultados obtidos foram considerados interdependentes (relativamente semelhantes). Ou seja, ambos podem ser aplicados indistintamente, confirmando a terceira hipótese da pesquisa. Uma das explicações para essa interdependência é que a metodologia do Sistema de Posicionamento Global (GPS), para uso civil e militar, realmente parece ser uma ferramenta adequada para a quantificação de parâmetros topográficos em áreas de floresta tropical semelhantes e com alto nível de cobertura de nuvens na maior parte do ano. Este fato é relevante para os estudos comparativos ou como método de validação de dados de satélite com dados aproximados de campo. Mesmo com o alto nível de cobertura de nuvens, é possível reduzir os erros de medição quando os dados do GPS não estão disponíveis ou estão mal colocados, especialmente na estação chuvosa, em áreas com vegetação densa (Oliveira et al., 2020).

Então, as estimativas de elevação pela SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), que consiste em uma missão do ano 2000, com um sistema de radar para mapeamento (Furukawa, 2011) demonstram que os erros são quantificáveis e estes métodos podem ser utilizados em áreas topograficamente mais baixas, porém com algum nível de subestimativa (Kulp e Strauss, 2016). Esta, no entanto, é uma alternativa mais acessível, com menor precisão do que as estimativas por imagens LiDAR, por exemplo, ou por RTK GPS (Real Time Kinematic GPS), que inclusive têm sido utilizadas como referências para análise de precisão de outros Modelos Digitais de Elevação (DEM) (Zhang et al., 2019)

## 5 Conclusão

Nesta pesquisa a primeira hipótese foi confirmada. O pulso de inundação variou espacialmente, com valores significativamente diferentes nas parcelas no trecho da área de estudo ao longo de rios de segunda ordem e, o nível máximo da lâmina d'água do

rio aumentou conforme aumento da ordem do tributário. Ademais, com a utilização de altimetria obtida por GPS, topografia (elevação) e pulso de inundação obtiveram relação significativa.

A segunda hipótese foi confirmada, em parte, já que variáveis físico-químicas foram explicadas pelo aumento do pulso de inundação, com relações diretamente ou inversamente proporcionais. Exceto pelas variáveis matéria orgânica, fósforo, CTC e areia fina. Porém os dados de elevação medidos com GPS, não se mostraram satisfatórios para explicar a variação físico-química do solo.

A terceira hipótese pode ser aceita para a utilização de ambos os métodos acessíveis de obtenção de dados de elevação (GPS e SRTM), porém, cabe salientar a necessidade da utilização de outros métodos mais precisos e confiáveis.

A utilização de parcelas amostrais de acordo com o perfil longitudinal de uma mesma bacia hidrográfica (por ordem de tributários) facilitou a avaliação de possíveis relações entre o gradiente topográfico e a intensidade do pulso de inundação e entre a variação de atributos edáficos e gradientes topográficos e hidrológicos (pulso de inundação).

## References

- ANA, Agência Nacional de Águas (Brasil). (2019). Dados Abertos da Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA. Disponível em: < <http://dadosabertos.ana.gov.br/>>. Acesso em: fev. 2019.
- Alves, R. N. B., Alves, R. M. M., and Mochiutti, S. Diagnóstico da agropecuária amapaense. Macapá: Embrapa Amapá. 1992.
- Arbeláez, F., Duivenvoorden, J.F., and Maldonado-Ocampo, J.A. Geological differentiation explains diversity and composition of fish communities in upland streams in the southern Amazon of Colombia. *Journal of Tropical Ecology* 24:505–515. doi:10.1017/S0266467408005294, 2008.
- Baniya, M. B., Asaeda, T., Fujino, T., Jayasanka, S.M.D.H., Muhetaer, G., and Li, J. Mechanism of Riparian Vegetation Growth and Sediment Transport Interaction in Floodplain: A Dynamic Riparian Vegetation Model (DRIPVEM) Approach. *Water*, 12 (1), 77. doi:10.3390/w12010077, 2020.
- Bernhardt E. S., et al. Can't see the forest for the stream? In-stream processing and terrestrial nitrogen exports. *Bioscience* 55(3):219–230. 2005.
- Blöschl, G. Scaling in hydrology, *Hydrol. Processes*, 15(4), 709–711, doi:10.1002/hyp.432, 2001.
- Camargo, M.N., Klant, E., and Kauffman, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.12, n.1, p.11-33, 1987.
- Chauvel A, Lucas Y, and Boulet R. On the genesis of the soil mantle of the region of Manaus, Central Amazonia, Brazil. *Experientia* 43:234–241, 1987.
- Cunha, A. C., and Sternberg, L. S. L. Using stable isotopes  $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$  of lake water and biogeochemical analysis to identify factors affecting water quality in four estuarine Amazonian shallow lakes. *Hydrological Processes*, v. 32, p. 1188-1201, 2018.
- Cunha, E. D. S., Cunha, A. C., Silveira Jr., A. M., Faustino, and S. M. M. Phytoplankton of two rivers in the eastern Amazon: characterization of biodiversity and new occurrences. *Acta Botanica Brasilica*, v. 27, p. 364-377, 2013.
- Dixon, M. J. R., Loh, J., Davidson, N. C., Beltrame, C., Freeman, R., and Walpole, M. Tracking global change in ecosystem area: The Wetland Extent Trends index, *Biol. Cons.*, 193, 27–35, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.10.023>, 2016.
- Figueiredo, F. O. G., Zuquim, G., Tuomisto, H., Moulatlet, G. M., Balslev, H, and Costa, F. R. C. Beyond climate control on species range: The importance of soil data to predict distribution of Amazonian plant species. *J Biogeogr.* 45: 190– 200. <https://doi.org/10.1111/jbi.13104>, 2018.

- Fittkau, E. J. Esboço de uma divisão ecológica da região amazônica. *Proc. Symp. Biol. Trop. Amaz., Florencia y Leticia*, 1969, 363–372, 1971, 1971.
- Fittkau, E. J., Junk, J. W., Klinge, H., and Sioli, H. Substrate and vegetation in the Amazon region. In H. Dierschke, & R. Tüxen (Eds.), *Vegetation und Substrat* (pp. 73–90). Vaduz (Liechtenstein): J. Cramer. 1975.
- Fox, J., and Weisberg, S. *An R Companion to Applied Regression*, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA. <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>. 2019.
- Furukawa, K. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, v. 1, p. 207-228, 2011.
- Gaillardet, J., Dupre, B., Allegre, C., and Negrel, P. Chemical and physical denudation of the Amazon River Basin. *Chem. Geol.* 142: 141–173, 1997.
- Gallardo, A. Spatial variability of soil properties in a floodplain forest in Northwest Spain. *Ecosystems*, 6:564–576. <http://dx.doi.org/10.1007/s10021-003-0198-9>, 2003.
- Gomi, T., Sidle, R. C., and Richardson, J. S. Understanding processes and downstream linkages of headwater systems. *BioScience* 52: 905–916, doi:10.1641/0006-3568(2002)052[0905:UPADLO]2.0.CO;2, 2002.
- Herrera, R., Jordan, C. F., Klinge, H.; and Medina, E. Amazon ecosystems: Their structure and functioning with particular emphasis on nutrients, *Interciencia*, 3, 223–232, 1978.
- Higgins, M. A., Ruokolainen, K., Tuomisto, H., Llerena, N., Cardenas, G., Phillips, O. L., and Räsänen, M. Geological control of floristic composition in Amazonian forests. *Journal of Biogeography*, 38, 2136–2149, 2011.
- Hodnett, M. G., Vendrame, I, Marques-Filho, D. O., Oyama, M., and Tomasella, J. Soil water storage and groundwater behaviour in a catenary sequence beneath forest in central Amazonia: I. Comparisons between plateau, slope and valley floor. *Hydrology and Earth System Sciences* 1:265–277, 1997.
- Hoorn, C. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: results of a palynostratigraphic study. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 105: 267–309, 1993.
- Hoorn, C. Fluvial palaeoenvironments in the Amazonas Basin (Early Miocene to early Middle Miocene, Colombia). *Palaeoclimatology, Palaeogeography, Palaeoecology*, v. 109, p. 1-54, 1994.
- Hoorn, C., and Wesselingh, F. *Amazonia: landscape and species evolution. A look into the past.* Wiley–Blackwell, 2010.
- Hoorn, C. et al. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. *Science* 330: 927–931, 2010.
- Horton, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*: 5: 275–370, 1945.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Uso da Terra no Estado do Amapá.* IBGE. Brasília: DF, 2004.
- ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (org.). *Plano de Manejo da Floresta Nacional do Amapá – Diagnóstico.* Macapá, AP: Selo Livro Livre. 224 f, 2016.
- Irion, G. Soil infertility in the Amazonian rainforest. *Naturwissenschaften*, 10, 515-519, 1978.
- Johnson, C. M., Vieira, I. C. G., Zarin, D. J., Frizano, J., and Johnson, A. H. Carbon and nutrient storage in primary and secondary forests in eastern Amazônia. *Forest Ecology and Management*, 147, 245–252, 2001.
- Jordan, C. F., and Herrera, R. Tropical rain forests: are nutrients really critical? *Am. Nat.* 117: 167–180, 1981.
- Junk, W. J., Bayley, P. B., and Sparks, R. E. The flood pulse concept in river floodplain systems. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, v. 106, p. 110-127, 1989.
- Junk W. J. Wetlands of Tropical South America. In: Whigham, D., Hejny, S., Dykyjova, D. (eds). *Wetlands of the world.* Dr. W. Junk Publ, Dordrecht, 679–739, 1993.

- Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Schöngart, J., Half, M. C., Adeney, J. M., and Wittmann, F. A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands. *Wetlands*, v. 31, p. 623–640, 2011.
- Junk, W. J., Wittmann, F., Schongart, J., and Piedade, M. T. P. A classification of the major habitats of Amazonian black-water river floodplains and a comparison with their white-water counterparts. *Wetlands Ecol Manage*, 23, 677–693, doi:10.1007/s11273-015-9412-8, 2015.
- Kulp, S., and Strauss, B.H. Global DEM errors underpredict coastal vulnerability to sea level rise and flooding. *Front. Earth Sci.* 4, 36, 2016.
- Likens, G.E., and Bormann, F.H. Linkages between terrestrial and aquatic ecosystems. *Bioscience* 24:447–456, 1974.
- Lundberg, H. et al. The scientific impact of the goddard high resolution spectrograph. In: BRANDT, J. C. et al. (Ed.). *Astronomical Society Pacific Conference*. San Francisco, 1998. p. 257-260. (ASP Conference Series, 343).
- Mcdonnell, J. J., et al. How old is streamwater? Open questions in catchment transit time conceptualization, modelling and analysis, *Hydrol. Processes*, 24(12), 1745-1754, doi:10.1002/hyp.7796, 2010,
- Mcguire, K. J., Torgersen, C. E., Likens, G. E., Buso, D. C., Lowe, W. H., and Bailey, S. W. Network analysis reveals multiscale controls on streamwater chemistry, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 111(19), 7030–7035, doi:10.1073/pnas.1404820111, 2014.
- Mcguire, K. J., Mcdonnell, J. J., Weiler, M., Kendall, C., Mcglynn, B. L., Welker, J. M., and Seibert, J. The role of topography on catchment-scale water residence time, *Water Resour. Res.*, 41, W05002, doi:10.1029/2004WR003657, 2005.
- Meyer, J. L., and Wallace, J. B. Lost linkages and lotic ecology: rediscovering small streams, pp. 295-317. In: Press, M.C., N.J. Huntly, S. Levin (eds.) *In Proceedings, The 41st Symposium of the British Ecological Society jointly sponsored by the Ecological Society of America*, p. 10-13 April 2000, Orlando Florida USA: Blackwell Science. (<http://Coweta.uga.edu/publications/1444.pdf>), 2000.
- Oliveira, L. L. Interações da estrutura da vegetação com a topografia e solo na Floresta Nacional do Amapá. Doctoral thesis – Post-Graduate Program in Tropical Biodiversity, Federal University of Amapá, Brazil. 103 p, 2012.
- Oliveira, L. L., Cunha, A. C., Jesus, E. S., and Barreto, N. J. C. Características Hidroclimáticas da bacia do rio Araguari. In: CUNHA, A.C.; SOUZA, E.B.; CUNHA, H.F.A. *Tempo, Clima e Recursos Hídricos: resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá*. Macapá: IEPA, p. 83 – 96, 2010.
- Oliveira, L. L., Canani, L. G. C., Barreto, A. C. L., and Cunha, A. C. Hydric ecosystem services in a non-disturbed rainforest of the Amazon-Amapá/Brazil. *Nature and Conservation*, v. 13, n. 04, 2020.
- Pansonato, M. P., Costa, F. R. C., De Castilho, C. V., Carvalho, F. A., and Zuquim, G. Spatial scale or amplitude of predictors as determinants of the relative importance of environmental factors to plant community structure. *Biotropica*, 45, 299–307, 2013.
- Phillips, O. L., Vargas, P. N., Monteagudo, A. L., Cruz, A. P., Zans, M.- E. C., Sánchez, W. G., and Rose, S. Habitat association among Amazonian tree species: A landscape-scale approach. *Journal of Ecology*, 91, 757–775, 2003.
- PLANO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (PNRH). Região Hidrográfica Amazônica. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA. Disponível em: < <http://pnrh.cnrh-srh.gov.br/>>, 2006.
- Pomara, L.Y.; Ruokolainen, K.; Tuomisto H.; and Young, K.R. Avian Composition Co-varies with Floristic Composition and Soil Nutrient Concentration in A mazonian Upland Forests. *Biotropica* 44 (4): 545-553. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2011.00851.x>, 2012.
- Powell, W. G. Identifying land use/land cover (LULC) using data as a hydrologic model input for local floodplain management. San Marcos, TX: Texas State University, 2009

- Quesada, C. A., Lloyd, J., Anderson, L. O., Fyllas, N. M., Schwarz, M., and Czimczik, C. I. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences*, 8: 1415–1440, 2011.
- Quesada, C. A., Lloyd, J., Schwarz, M., Patiño, S., Baker, T. R., Czimczik, C., and Paiva, R. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. *Biogeosciences*, 7, 1515–1541, 2010.
- Räsänen, M. E., Linna, A. M., Santos, J. C. R., and Negri, F. R. Late Miocene tidal deposits in the Amazonian foreland basin. *Science*, 269(5222), 386–390. <https://doi.org/10.1126/science.269.5222.386>, 1995.
- Räsänen, M., Neller, R., Salo, J., and Jungner, H. Recent and ancient fluvial deposition systems in the Amazonian foreland basin, Peru. *Geological Magazine*, 129(03), 293–306. <https://doi.org/10.1017/S0016756800019233>, 1992.
- Revelle, W. *Psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research*. Northwestern University, Evanston, Illinois. R package version 1.9.12, <https://CRAN.R-project.org/package=psych>, 2019.
- Richter, D. D. and Babbar, L. I. Soil diversity in the tropics, *Adv. Ecol. Res.*, 21, 315–389, 1991.
- Richey, J. E., Melack, J. M., Aufdenkampe, A. K., Ballester, V. M., and Hess, L. L. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO<sub>2</sub>, *Nature*, 416, 617–620, doi: 10.1038/416617a, 2002.
- RÍOS-VILLAMIZAR, E. A., ADENEY, J. M., JUNK, W. J., and PIEDADE, M. T. F. Physicochemical features of Amazonian water typologies for water resources management. *IOP CONFERENCE SERIES. EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE (ONLINE)*, v. 427, p. 012003, 2020.
- Ritter, C., Zizka, A., Roger, F., Tuomisto, H., Barnes, C., Nilsson, R. H., and Antonelli, A. High-throughput metabarcoding reveals the effect of physicochemical soil properties on soil and litter biodiversity and community turnover across Amazonia. *PeerJ*. 6. e5661. [10.7717/peerj.5661](https://doi.org/10.7717/peerj.5661), 2018.
- Rossetti, D. F., and Toledo, P. M. Environmental changes in Amazonia as evidenced by geological and paleontological data. *Revista Brasileira de Ornitologia*, v. 15, p. 251-264, 2007.
- Sanchez, P. A., and Buol, S. W. Properties of some soils of the upper Amazon basin of Peru. *Soil Science Society of America Journal*, 38(1), 117. <https://doi.org/10.2136/sssaj1974.03615995003800010036x>, 1974.
- Santos, E., and Cunha, A. C. Análise de Cenários Hidrossedimentométricos para Estimar Taxas de Assoreamento e Vida Útil do Reservatório da UHE Cachoeira Caldeirão no Rio Araguari/AP-Brasil. *Biota Amazônia*, v. 5, p. 88-97, 2015.
- Santos, E. S., Lopes, P. P. P., Nascimento, O. O., Pereira, H. H. S., Collin, R., Sternberg, L. S. L., and Cunha, A. C. The impact of channel capture on estuarine hydro-morphodynamics and water quality in the Amazon delta. *Science of The Total Environment*, v. 624, p. 887-899, 2018.
- Sassolas-Serrayet T., Cattin R., and Ferry M. The shape of watersheds. *Nature Communications*. DOI: 10.1038/s41467-018-06210-4, 2018.
- Schiatti, J., Emilio, T., Rennó, C.D., Drucker, D.P., Costa, F.R.C., Nogueira, A., Baccaro, F.B., Figueiredo, F., Castilho, C.V., Kinupp, V., Guillaumet, J-L, Garcia, A.R.M., Lima, A.P., and Magnusson, W.E. Vertical distance from drainage drives floristic composition changes in an Amazonian rainforest. *Plant Ecology & Diversity* 7(1-2): 241-253. <http://dx.doi.org/10.1080/17550874.2013.783642>, 2013.
- Schneider, C; Flork, M; De Stefano, L; and Pertersen-Perlman, J.D. Hydrological threats to riparian wetlands of international importance – a global quantitative and qualitative analysis. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2799-2815. [doi.org/10.5194/hess-21-2799-2017](https://doi.org/10.5194/hess-21-2799-2017), 2017.
- Schubart, H. O. R. Ecologia e utilização das florestas. In: SALATI, E. et al. (Ed.). *Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia*. São Paulo: Brasiliense, p.101-143, 1982.



- Silva, G. C. X.; Abreu, C. H. M.; Ward, N. D.; Belucio, L. P.; Brito, D. C.; Cunha, H. F. A.; and Cunha, A. C. Environmental impacts of dam reservoir filling in the East Amazon. *Frontiers in Water*, v. 15, p. 1-33, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frwa.2020.00011/full>, , 2020.
- Simonian, L.T.L., Silva, J.B., Andrade, R.F., and Almeida, A.C.P.C. Floresta Nacional do Amapá: Breve histórico, políticas públicas e (in)sustentabilidade. NAEA Paper, nº 167, ISSN 1516-9111. Belém: PA, 2003.
- Sioli, H. The Amazon and its main affluents: hydrology, morphology of the river courses and river types. In: SIOLI, H. (Ed.). Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Dordrecht: Junk Publishers, p. 127-165, 1984.
- Smith, D.I.; and Stopp, P. The river basin: an introduction to the study of hydrology. Cambridge University Press. Cambridge UK. 120p, 1978.
- Sombroek, W. Amazon landforms and soils in relation to biological diversity. *Acta Amazon.* 30: 81–100, 2000.
- SUDAM. Projeto de Hidrologia e Climatologia da Amazônia. Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira. Belém, PA: SUDAM, nº39, 125 p, 1984.
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; and Teixeira, W. G. Manual de métodos de análise de solo. Brasília, DF: Embrapa, 3. ed. 574 p, 2017.
- Ter Steege, H., Pitman, N. C. A., Phillips, O. L., Chave, J., Sabatier, D., Duque, A., and Vásquez, R. Continental-scale patterns of canopy tree composition and function across Amazonia. *Nature*, 443, 444–447, 2006.
- Tockner, K., Malard, F., and Ward, J.V. An extension of the flood pulse concept. *Hydrol. Process.* Vol 14:2861–2883, doi:10.1002/1099-1085(200011/12)14:16/17<2861::AID-HYP124>3.0.CO;2-F, 2000.
- Tockner, K., and Stanford, J. A. Riverine Flood Plains: Present State and Future Trends. *Environmental Conservation*, 29: 308-330. <http://dx.doi.org/10.1017/S037689290200022X>, 2002.
- Tsheboeng G, Bonyongo M, and Murray-Hudson M. Flood variation and soil nutrient content in floodplain vegetation communities in the Okavango Delta. *South African Journal of Science*, 110(3/4): 1-5. <http://dx.doi.org/10.1590/sajs.2014/20130168>, 2014.
- Tucci, C. E. M.; Silveira, L. L. et al. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Editora UFRGS/RS/ABRH. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. 4ª ed, 2014.
- Tuomisto, H., Van Doninck, J., Ruokolainen, K., et al. Discovering floristic and geocological gradients across Amazonia. *J Biogeogr.* 46: 1734– 1748. <https://doi.org/10.1111/jbi.13627>, 2019.
- Tuomisto, H., Moulatlet, G. M., Balslev, H., Emilio, T., Figueiredo, F. O. G., Pedersen, D., and Ruokolainen, K. A compositional turn- over zone of biogeographical magnitude within lowland Amazonia. *Journal of Biogeography*, 43(12), 2400–2411. <https://doi.org/10.1111/jbi.12864>, 2016.
- WARD, N. D., KEIL, R. G., MEDEIROS, P. M., BRITO, D. C., CUNHA, A. C., DITTMAR, T., YAGER, P. L., KRUSCHE, A. V., and RICHEY, J. E. Degradation of terrestrially derived macromolecules in the Amazon River. *Nature Geoscience (Print)*, v. 6, p. 530-533, 2013.
- Wittmann, F., Junk, W., and Piedade, M.T.F. The várzea forests in Amazonia: Flooding and the highly dynamic geomorphology interacts with natural forest succession. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 196, p. 199-212, 2004.
- Worbes, M., Klinge, H., and Revilla, J.D. On the dynamics, floristic subdivision and geographical distribution of várzea forests in Central Amazonia. *Journal of Vegetation science*. <https://doi.org/10.2307/3235812>, 1992.

WWF (World Wildlife Fund): Rivers at risk: dams and the future of freshwater ecosystems, available online at: <http://assets.panda.org/downloads/riversatriskfullreport.pdf> (last access: 11May 2015), 2004.

WWF (World Wildlife Fund): Living Planet Report 2014: species and spaces, people and places, edited by: McLellan, R., Iyengar, L., Jeffries, B., and Oerlemans, N., WWF, Gland, Switzerland, 2014.

Zhang, K., Gann, D., Ross, M., Sarmiento, Q. R. J., Santana, S., Rhome, J., and Fritz, C. Accuracy assessment of ASTER, SRTM, ALOS, and TDX DEMs for Hispaniola and implications for mapping vulnerability to coastal flooding. *Remote Sensing of Environment*, v. 225, p. 290-306, 2019.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

Na presente pesquisa, o estudo da bacia hidrográfica em zonas ripárias mostrou-se suficiente para avaliar similaridades edáficas segundo gradientes edáficos e hidrológicos de diferentes trechos, variando-se a ordem dos cursos d'água em parcelas estrategicamente escolhidas para esta finalidade. No presente caso, amplitude do pulso de inundação foi o parâmetro hidrológico mais relevante como preditor de parâmetros edáficos e, futuramente, os bióticos na bacia do Rio Falsino-AP (FLONA-AP).

O levantamento de informações edáfico-hidrológicas nestas zonas úmidas, periodicamente alagadas, foi fundamental para melhorar nosso entendimento sobre a importância do perfil longitudinal da bacia hidrográfica, sua formação topográfico-edáfica, sua geometria e seus índices que representam as características do sistema de drenagem e também servem como variáveis explicativas das variações bióticas. Além disso, são relevantes para compreender como atividades antrópicas podem potencialmente modificar suas características físicas, especialmente os parâmetros hidrológicos que são mais dinâmicos que os edáficos, como o pulso de inundação e suas variações espaço-temporais na bacia hidrográfica.

Uma vantagem da presente análise foi a utilização de parcelas amostrais de acordo com o perfil longitudinal da bacia hidrográfica (por ordem de tributários), o que facilitou a avaliação padronizada de possíveis correlações entre gradientes topográfico-edáficos e a intensidade do pulso de inundação (pulso de inundação). Contudo, a análise de outros componentes hidrometeorológicos são ainda necessários para avaliar e aprofundar estudos sobre a variação edáfica como, por exemplo, o nível do lençol freático, haja vista existência de estudos na literatura relatando que, além das águas superficiais, os lençóis subterrâneas são importantes e deveriam ser incorporadas como variáveis independentes para estudos de delimitação de zonas ripárias e, conseqüentemente, servir como suporte a gestão de Áreas de Proteção Permanente desses ecossistemas.

Em relação às três hipóteses estudadas, a primeira foi aceita e segunda foi parcialmente aceita, já que o fator topografia não foi tão significativo para o presente caso e em relação aos resultados esperados, enquanto que foi positivo o aspecto da significância do ciclo hidrológico sobre as características edáficas de alguns parâmetros, como a concentração de areia total e soma das bases. Contudo, é necessário estudos em outras bacias hidrográficas similares (Cupari-PA e Abacate-AM), por exemplo, para o aprofundamento da pesquisa em relação à

influência efetiva da topografia nestas zonas ripárias, já que normalmente são planícies de inundação que apresentam frequentemente baixos gradientes topográficos, o que dificulta a detecção do seu impacto nas variáveis edáficas principalmente. Então, como propostas de futuras pesquisas, é imprescindível o estudo dos tributários ainda mais próximos das cabeceiras (limitados no presente estudo pelas condições de extrema dificuldade logística durante o período seco na bacia do Rio Falsino), abrangendo os tributários de primeira ordem e cotas topográficas que poderiam representar significativamente as suas variações.

O Projeto Rede Ripária, no entanto, permanece ainda com o objetivo de avançar estudos científicos em outras bacias de modo a gerar novas informações comparativas entre as três bacias amazônicas escolhidas: Abacate-AM, Falsino-AP e Cupari-PA. Por exemplo, estas comparações são extremamente úteis para avaliar a evolução genética e a distribuição das espécies vegetais exclusivamente adaptadas à estas zonas ripárias. Além disso, há necessidade de se conhecer os atributos edáfico-hidrológicos das bacias para análises comparativas das estruturas arbóreas destas três diferentes bacias hidrográficas, as quais podem ser eventualmente correlacionadas com estes. Portanto, são relevantes e fundamentais para gerar novos conhecimentos sobre a ecologia de espécies vegetais, empreendendo significativas contribuições para as imensas áreas úmidas presentes e pouco estudadas da Amazônia brasileira.