

Dos lagos temperados às águas amazônicas: a constituição histórica da limnologia como saber ecológico entre a Alemanha e o Brasil

From Temperate Lakes to Amazonian Waters: the historical shaping of limnology as ecological knowledge between Germany and Brazil

André Felipe Cândido da Silva | Casa de Oswaldo Cruz/Fiocruz

andre-felipe.silva@fiocruz.br

<https://orcid.org/0000-0002-3766-6725>

RESUMO O trabalho analisa como uma abordagem ecológica dos lagos e demais corpos d'água continentais contribuiu para a estruturação da ecologia como disciplina organizada, por favorecer uma perspectiva holística em meio a qual os fatores bióticos e abióticos foram apreendidos de forma integrada. Enfatiza as contribuições do limnólogo e alemão August Thienemann na demarcação da limnologia como uma ciência de síntese das conexões entre comunidades orgânicas e o ambiente aquático, informado por uma visão holística organicista que apostou na unidade da natureza e das ciências. Destaca o engajamento de Thienemann em promover a limnologia como campo privilegiado da ecologia, elaborando conceitos da ecologia teórica que tiveram repercussão no desenvolvimento do campo. O artigo aborda ainda os ajustes e modificações que a perspectiva científica de Thienemann sofreu ao ser empregada no estudo das águas amazônicas por seu sucessor na direção do Instituto de Limnologia de Plön, Harald Sioli. Defende o argumento que o encontro de Sioli com a materialidade das águas na Amazônia e os diálogos por ele estabelecidos contribuíram para essas modificações, ao mesmo tempo em que a perspectiva organicista da limnologia serviu para tomar as águas como vias de acesso à complexa ecologia da região. Com isso Sioli posicionou a limnologia como campo transdisciplinar centrado no estudo das paisagens, como eixo organizador de um programa de pesquisa seguido pelo coletivo que ele ajudou a estruturar entre a Amazônia e Alemanha e como saber indispensável para a elaboração de formas de ocupação da região mais sinérgicas com as dinâmicas ecológicas da floresta.

Palavras-chave: limnologia, ecologia, August Thienemann, Harald Sioli, Amazônia

ABSTRACT *This paper examines how an ecological approach to lakes and continental water bodies contributed to the establishment of ecology as an organized discipline by fostering a holistic perspective that integrated biotic and abiotic factors. It highlights the contributions of German limnologist August Thienemann, who defined limnology as a science synthesizing the connections between organic communities and the aquatic environment, driven by a holistic, organicist vision that emphasized the unity of nature and science. The article underscores Thienemann's efforts to promote limnology as a key field within ecology, developing theoretical concepts from his limnological studies that significantly impacted the discipline's development. Additionally, the paper discusses the adjustments and modifications that Thienemann's scientific perspective underwent when applied to the study of Amazonian waters by his successor at the Plön Limnology Institute, Harald Sioli. It argues that Sioli's engagement with the materiality of Amazonian waters and the dialogues he fostered in the Brazilian rainforest contributed to these modifications. Simultaneously, the organicist perspective of limnology framed the waters as essential gateways to understanding the region's complex ecology. Consequently, Sioli positioned limnology as a transdisciplinary field focused on landscape studies, serving as the organizing axis of a research program he helped establish between the Amazon and Germany, and as essential knowledge for developing forms of occupation in the region that align more harmoniously with the forest's ecological dynamics.*

Keywords: *limnology, ecology, August Thienemann, Harald Sioli, Amazonia*

Introdução

Os diversos usos das águas geraram diferentes formas de conhecê-las e controlá-las, tanto por cientistas quanto por grupos não-especializados. Práticas situadas em contextos técnicos e socioambientais específicos resultaram em uma gama diversificada de conhecimentos sobre as águas, marcados por metodologias, instrumentos e abordagens que definem, enquadram e atribuem propriedades, sentidos e usos a essas materialidades. “Assim como a forma da água depende do objeto que ela preenche, as abordagens nas ciências aquáticas dependem da perspectiva disciplinar que adotam”, sintetiza Luciano (2023).

A natureza constantemente mutável das águas exigiu adaptações contínuas nos procedimentos, instrumentos e teorias para capturar a complexidade deste objeto “que muda de forma, circula, escapa, vaza, se comporta de maneira imprevisível...” (Parrinello, Benson e von Hardenberg, 2020, p. 3). Disciplinas científicas como hidrografia, hidrologia, hidrobiologia, oceanografia, limnologia, engenharia hidráulica, ecologia aquática e biologia marinha organizaram-se em torno do estudo das águas, muitas vezes em resposta às necessidades práticas associadas aos usos humanos, como consumo, agricultura, transporte, geração de energia, gestão de resíduos e controle de doenças.

Este estudo analisa o desenvolvimento histórico de uma dessas disciplinas – a limnologia – um campo científico que se organizou no último quartel do século XIX e posteriormente se expandiu para englobar outras formas de águas continentais, ou “não oceânicas”. O objetivo é examinar como esses corpos d’água contribuíram para a organização da ecologia como disciplina “consciente de si” (Deleàge, 1993) a partir do final do século XIX. A materialidade de corpos d’água individualizados, como os lagos, e o interesse em elucidar as interações entre coletivos de seres vivos e seus ambientes fizeram da limnologia um campo propício para a formulação de conceitos e teorias que extrapolaram a descrição das características morfológicas, físico-químicas e modos de funcionamento desses sistemas hídricos. Esses conceitos e teorias visavam

ter validade geral na compreensão das relações ecológicas, principalmente os que enfatizaram visões integrativas, sintéticas e unitárias da natureza e dos modos de conhecê-la.

O foco particular deste trabalho é nas vertentes holísticas promovidas a partir do estudo dos lagos, especialmente a perspectiva organicista, que teve grande influência na estruturação da ecologia como disciplina coesa no século XX. Conforme destaca Donald Worster (1994), a história da ecologia pode ser vista como o confronto entre uma visão harmônica promovida pelas abordagens holísticas e uma visão que privilegia a luta pela existência. Essa perspectiva organicista é examinada aqui por meio das contribuições do limnólogo e ecólogo alemão August Thienemann (1881-1960), que demarcou a limnologia como um saber ecológico integrativo, fundamentado em princípios filosóficos holistas presentes no ambiente intelectual germânico (Schneller, 1996; Jax, 1998, 2011; Potthast, 2006). Esses conceitos e teorias emergiram, em grande parte, em estreita interface com questões práticas, como as consequências da contaminação de coleções hídricas por efluentes químicos ou orgânicos, os efeitos do represamento das águas e demandas ligadas à pesca.

Inspirando-se nos estudos sobre a história da circulação do conhecimento científico, especialmente quanto à transformação dos saberes durante seu trânsito (Secord, 2004; Roberts, 2009), o artigo explora como a tradição científica estabelecida por Thienemann e sua equipe no Instituto de Limnologia de Plön foi ajustada quando aplicada ao estudo dos corpos d'água da Amazônia realizada por Harald Sioli (1910-2004), seu sucessor na direção daquela instituição. Este estudo se alinha ao interesse em compreender como a circulação de conhecimentos, organismos, tecnologias e pessoas entre Brasil e Alemanha no século XX moldou trajetórias de pesquisadores, instituições e áreas do saber relacionados à medicina, saberes ambientais e ciências da vida. Por meio de Sioli e da rede de pesquisa que ele organizou envolvendo instituições brasileiras e alemãs, analiso como a abordagem da "escola" de Thienemann foi estruturante para compreender as complexas relações entre as águas amazônicas, o solo, a floresta e a história geológica da região, ao mesmo tempo em que passou por transformações devido ao "encontro" com a materialidade diversificada daquelas paisagens aquáticas e diálogos estabelecidos com outros estudiosos e tradições de pesquisa.

Trata-se de uma genealogia intelectual das concepções que informaram os estudos científicos sobre as águas amazônicas, focando nos principais autores, conceitos e problemáticas do pensamento biológico destacados pela historiografia, e não uma análise exaustiva das práticas, instituições e trajetórias associadas a tais estudos. A ênfase é dada a Harald Sioli por ele ter iniciado as pesquisas das águas amazônicas na perspectiva da limnologia e estabelecido as bases de uma rede transnacional de estudos entre a Alemanha e o Brasil desde os anos 1960 até o início dos anos 2000. Os estudos de Sioli, iniciados nos anos de 1940, forneceram as diretrizes que balizaram os trabalhos dessa rede, compreendendo os modos de funcionamento da ecologia amazônica a partir do estudo de suas águas. Essas pesquisas individuais estruturaram-se em um programa coletivo de investigação, expandindo os horizontes da limnologia para uma forma de ecologia das paisagens, integrando saberes da biologia e das geociências.

A análise dos contornos particulares assumidos pela limnologia ao transitar entre a Alemanha e a Amazônia brasileira revela a natureza local e situada do conhecimento sobre os corpos d'água não oceânicos, apesar da concepção moderna e universalizada de água privilegiar as definições físico-químicas e a ideia de um ciclo hidrológico unificado. Essa visão universalizada retrata os sistemas hídricos como instância "atemporal, natural e não afetada pelas contingências

da história humana” (Linton, 2010). A ênfase nas transformações e ajustes da limnologia a partir da Amazônia evidencia “quão profundamente os conhecimentos sobre as águas são modelados pelos seus ambientes locais” (Parrinello, Benson e von Hardenberg, 2020, p. 4).

As escalas superlativas das águas na Amazônia e seu papel fulcral na fisionomia da paisagem e no metabolismo, compostos pelos fluxos de vida, matéria e energia do bioma, ajudam a compreender a relevância da região na constituição dos saberes ligados aos sistemas hídricos. A Amazônia, com a maior bacia hidrográfica do planeta, forma uma complexa rede de rios, igarapés, igapós, paranás, riachos, várzeas e lagoas, concentrando cerca de 20% da água doce não congelada do planeta. Irriga uma área de aproximadamente 7 milhões de quilômetros quadrados – dos quais 3,8 milhões encontram-se no Brasil – estendendo-se dos Andes ao Oceano Atlântico, onde o Rio Amazonas despeja 175.000 metros cúbicos de água por segundo, o que equivale a 20% da água doce que alcança os oceanos globalmente. Os rios Amazonas e Negro são os maiores do mundo em volume de água. A circulação da água entre os rios, a floresta e os ares desempenha função-chave no ciclo hidrológico regional e global, na regulação climática e na ciclagem global do carbono.

As águas também foram determinantes na formação geológica da bacia amazônica. Uma intrincada teia de corpos d’água atravessa o interior da floresta, formando extensas zonas de transição entre o ambiente aquático e a terra firme. As águas amazônicas são zonas de alta biodiversidade, abrigando cerca de 10% das espécies de peixe de água doce do mundo e 80% das que ocorrem no Brasil (Val *et. al.*, 2010). Para as comunidades indígenas e ribeirinhas, as águas são componentes centrais em seus sistemas de vida. “A forte presença do rio tem sido a característica mais constante das sociedades ao longo do Amazonas. Em torno dele, uma cultura das águas se desenvolveu, rica de práticas associadas e significados”, reconhece Mark Harris (2017, p. 112).

A centralidade das águas na ecologia bio-sociocultural e política da Amazônia destaca a região no cenário dos efeitos dramáticos da pressão antrópica sobre os ambientes aquáticos no Antropoceno. O crescimento exponencial dos usos das águas tem causado impactos como mudanças nos ciclos biogeoquímicos, aumento de barragens, diminuição de corais, contaminação por poluentes químicos e degradação de ecossistemas como áreas costeiras e pântanos, mudanças no transporte de sedimentos pelos cursos d’água, etc. Estudar redes transnacionais de cooperação científica, como a que envolveu instituições brasileiras e alemãs, ajuda a entender como a Amazônia se configurou como bioma de relevância global no Antropoceno pelo papel no ciclo hidrológico, na regulação climática e manutenção da biodiversidade.

Segundo Luciano (2023), as ciências aquáticas são importantes no Antropoceno não só pelos problemas ecológicos dos sistemas hídricos, mas pelo papel na demarcação de uma nova época geológica, tão relevante quanto o das Ciências do Sistema Terrestre e da geologia. A elaboração e disseminação prematura do conceito do Antropoceno pelas ciências aquáticas e o significado das águas nas Ciências do Sistema Terrestre explicam sua popularidade e reconhecimento científico relativamente rápidos entre os campos do conhecimento associados os regimes hídricos. Antes do desenvolvimento formal do conceito, as ciências aquáticas já registravam amplamente o impacto das atividades antropogênicas nos corpos d’água. Entre o final dos anos 1980 e início dos 2000, mostra Luciano (2023), as águas foram temas centrais de uma série de programas internacionais que redundaram na emergência das Ciências do Sistema Terrestre. É oportuno lembrar que em 2023, o lago Crawford no sul de Ontário, Canadá, foi proposto

como um dos sítios candidatos para demarcar o início do Antropoceno pelo fato de que as camadas de sedimentos do leito registram de forma clara evidências materiais indicadoras das atividades humanas na história geológica do planeta (Olszewski *et. al.*, 2023).

Com o enfoque no papel das águas não continentais na constituição de vertentes holísticas da ecologia, este estudo se aproxima de um conjunto de perspectivas das humanidades ambientais que privilegiam as águas em suas análises, o qual tem sido referido como “humanidades azuis” (*blue humanities*) (Menz, 2024; Opperman, 2023). Aproxima-se igualmente da historiografia que trata do papel dos rios na história política, econômica social, cultural e ambiental (Pádua e Chambouleyron, 2019). Em artigos anteriores, exploramos como, entre os anos de 1940 e 1950, os achados de Sioli participaram de iniciativas de desenvolvimento agrícola e pecuário para a Amazônia e de ações de compreensão e controle de doenças infecciosas (Sá e Silva, 2019; Silva e Sá, 2019). Neste trabalho, o objetivo é compreender o desenvolvimento da disciplina que informou o olhar de Sioli sobre a Amazônia, recuperando as tradições intelectuais que embasaram sua perspectiva, com foco nas abordagens holísticas da ecologia, de maneira a sublinhar as continuidades e transformações que ele e seu grupo operaram ao aplicar tais abordagens na bacia amazônica.

1. A história da limnologia como história da ecologia

A ecologia como ciência “consciente de si” (Deleàge, 1996) se organizou ao longo do século XX a partir de diversas vertentes de problemas, debates e conceitos emergentes em diferentes áreas do conhecimento (Acot, 1990; McIntosh, 1985, Cooter, 2003; Kingsland, 2005). Entre essas diversas vertentes, saberes ligados aos ambientes aquáticos como a limnologia desempenharam papel fundamental (McIntosh, 1985; Acot, 1990; Tansley, 1992; Golley, 1993; Schneller, 1993; Deleàge, 1996; Egerton, 2014). Tamanha relevância se atribui a ela, que alguns autores chegaram a afirmar “A limnologia é como o ovo do qual eclode a ecologia (Illes/ Schwabe 1959, p. 392), um certo exagero retórico, considerando que a ecologia se compôs de fontes diversas (McIntosh, 1985; Kingsland, 2005).

O termo limnologia e seu programa de pesquisa foram propostos pelo suíço François-Alphonse Forel (1841-19112) no último quartel do século XIX em um amplo estudo no Lago Genebra. Forel concebeu a limnologia como uma “oceanografia dos lagos”, estabelecendo uma analogia enfatizada por vários especialistas (Sioli, 1965, p. 13; Elster, 1974, p. 57; Tundisi e Tundisi, 2011, p. 2). A proximidade entre limnologia e oceanografia os dois campos em termos de “métodos, conceitos e estudos empíricos de comunidade” (McIntosh 1985, p. 120) fez delas “ciências irmãs” (Sioli, 1965, 1978), com histórias entrelaçadas e muitas sobreposições de especialistas e técnicas (Mills, 2012).

Tanto na oceanografia quanto na limnologia, a evidência do papel dos fatores físicos no ambiente era muito mais pronunciada que nas paisagens terrestres (McIntosh, 1985). A forte presença dos lagos nos climas temperados despertou, desde o século XVIII, o interesse de geógrafos e geólogos dedicados a compreendê-los em seus caracteres físicos e a história de sua formação. No século XIX, o foco se ampliou para as formas de vida que habitam os ambientes aquáticos, impulsionado por avanços na microscopia e outras técnicas de caracterização. A hidrobiologia consistiu nesses estudos que se concentraram na identificação e classificação do plâncton, com um caráter predominantemente descritivo.

A emergência de uma abordagem propriamente ecológica deu-se pela análise das interações recíprocas entre os componentes vivos e não-vivos dos ambientes lacustres., Essas interações eram particularmente evidentes nos lagos, favorecidas pelo fato de serem corpos d'água bem distinguidos na paisagem e individualizados em seus aspectos morfológicos e físico-químicos. Se os estudos hidrobiológicos ensaiaram correlações entre a incidência e distribuição dos organismos com fatores do ambiente físico, uma abordagem integrada dos corpos d'água ganhou força com a definição dos lagos como microcosmos, formulada pelo estadunidense Stephen Forbes (1844-1930) em artigo publicado em 1887, "geralmente reconhecido como uma das primeiras afirmações do conceito ecológico de comunidade biológica" (Hagen, 1992, p. 7) e "um clássico da limnologia e da ecologia (McIntosh, 1985)". Forbes descreveu os lagos "como um pequeno universo em si mesmo, um microcosmo no seio do qual intervêm todas as forças elementares e onde o jogo da vida se desenvolve na sua totalidade, mas numa escala tão pequena que o pensamento apreende facilmente" (*apud* Acot, 1990, p. 80). Segundo ele, os lagos consistem em sistemas orgânicos compostos por "comunidades de interesse" reunidas por relações de predação e competição, as quais se encontram em estado de equilíbrio dinâmico cuja estabilidade é mantida por mecanismos regulatórios propiciados pela própria seleção natural (Bocking, 1990; Hagen, 1992; Golley, 1993). Forbes defendeu uma abordagem holística onde as partes só podem ser compreendidas no contexto do todo, pois mudanças em qualquer componente afetam o conjunto (McIntosh, 1985; Bocking, 1990, Hagen, 1992; Golley, 1993). Enquanto a botânica e a zoologia priorizavam a dimensão estrutural, em um esforço de catalogação de espécies e definição da estrutura das comunidades, a compreensão sistêmica dos lagos enfatizava as dinâmicas funcionais. No entanto, o avanço no estudo dessas dinâmicas esbarrou em dificuldades, como a diversidade de materiais e processos envolvidos, muitos dos quais pouco compreendidos à época (Golley, 1993).

As definições de Forbes são inseparáveis de seu engajamento com problemas práticos relacionados à "dramática transformação da relação da sociedade com o mundo natural, superando padrões artesanais e tradicionais para a extração intensiva de recursos pela lógica capitalista e pela pesca e caça recreativa das elites" (Schneider, 2000, p. 682). Segundo Schneider (2000), por praticar uma ciência de campo que dependia fortemente da colaboração da população local, Forbes e demais praticantes da ecologia combinaram suas compreensões científicas com as disputas políticas ligadas ao uso de recursos.

Autor do primeiro manual de limnologia, François Forel, abraçou a concepção dos lagos como microcosmos, destacando sua singularidade como ambientes claramente delimitados e como sistemas experimentais em que os componentes vivos e não-vivos se interligam por meio de interações como cadeias alimentares, funções regulatórias e ciclo de nutrientes. Forel destacou que essas conexões seguiam uma lógica circular responsável pela estabilidade das comunidades vivas dos lagos, que, assim, são capazes de se manter isolados do ambiente circundante como autênticos microcosmos, "para usar o termo descrito pelo professor Forbes", registrou (*apud* Schwarz, Jax, 2011, p. 249).

Apesar de ser estruturante para a afirmação da limnologia como uma abordagem ecológica integrativa, a noção dos lagos como microcosmos não se traduziu espontaneamente em um programa unificado e coeso de investigação. Houve o predomínio de abordagens mais descritivas, centradas na identificação dos aspectos estruturais das comunidades orgânicas ou dos fatores físicos e morfológicos dos lagos. A integração com os aspectos funcionais dos corpos d'água estava longe de ser simples, ainda mais pelas tensões que havia entre o esforço de

síntese teórica e programas empíricos, bem como os conflitos entre as observações de campo e a pesquisa experimental, expressivos do antagonismo marcante na história do pensamento biológico entre perspectivas mais holísticas e as reducionistas.

Para o propósito desta síntese dedicada a esclarecer o papel da limnologia na estruturação da ciência ecológica, vale descrever como os lagos participaram da definição da ecologia de ecossistemas, baseada nas trocas de matérias e energia entre os diferentes níveis tróficos (estágios das cadeias alimentares), que se consolidou como a espinha dorsal da pesquisa ecológica a partir do pós-Segunda Guerra. Embora o conceito de ecossistema tenha sido definido em 1935 por Arthur Tansley, designando o conjunto de fatores bióticos e abióticos, sua aceção como um sistema de trocas de matéria e energia é creditada ao estadunidense Raymond Lindemann em um artigo póstumo publicado em 1942.

Estudos sobre os ambientes lacustres foram responsáveis pelo deslocamento de sentido sofrido entre a elaboração de Tansley, que não chegou a evidenciar como os fatores vivos e não-vivos do ecossistema se interligavam, e a de Lindemann, que definiu os fluxos de matéria e energia como processos centrais dessa conexão. Isto se deveu, entre outras coisas, à apropriação, pela ecologia, de conceitos formulados na termodinâmica principalmente o de energia. Entre os desenvolvimentos anteriores que fundamentaram esse deslocamento, cabe mencionar os achados dos estadunidenses Chance Juday (1871-1944) e Edward A. Birge (1881-1950), que se tornaram grandes referências da disciplina ao estabelecerem a Universidade de Wisconsin como um dos principais centros da pesquisa limnológica nos EUA. Fundador da Sociedade de Limnologia dos EUA, Juday foi elementar na integração da abordagem fisicista na ecologia: ele definiu o conjunto completo das trocas energéticas dos lagos a partir da radiação solar absorvida e avaliou o balanço energético das interações biológicas em termos de caloria, utilizando pela primeira vez uma unidade da física para medir os fluxos tanto de um fator biótico quanto abiótico (Acot, 1990, p. 87). O esforço de Juday foi parte da tentativa, marcante entre os estudiosos no decorrer da década de 1940, de compreender o funcionamento daqueles ambientes, integrando em um quadro comum os diversos processos e componentes geralmente descritos de forma individualizada.

Birge, por sua vez, começou seus estudos com pesquisas sobre a distribuição do plâncton, correlacionando-a com a radiação solar. Ele distinguiu diferentes camadas de água dos lagos de acordo com a temperatura e identificou que certos grupos de animais ocorriam apenas em algumas dessas camadas. Birge também estudou os gases dissolvidos nos lagos, analisando o consumo de oxigênio e gás carbônico entre diferentes classes de organismos. A associação entre fatores como a profundidade dos lagos, extensão das camadas profundas, a área total e o teor de oxigênio levou Birge a reconhecer como os fatores físico-geográficos e hidrobiológicos estavam entrelaçados, configurando os lagos como unidades com sua própria fisiologia (Schneller, 1993). Junto com Juday, Birge desenvolveu um robusto programa de pesquisa com novos métodos e instrumentos com a finalidade de estabelecer um sistema de classificação dos lagos que abarcasse as particularidades dos aspectos físicos, químicos e biológicos. A tentativa de classificação dos lagos, inicialmente baseada em critérios geográficos e geológicos, tornou-se uma obsessão dos estudiosos e foi bastante importante para a estruturação da limnologia (Elster, 1974). Juday e Birge focaram na análise da produção biológica dos lagos, tentando determinar a taxa de produtividade dos lagos de forma análoga à produtividade agrícola anual de uma porção de terra. Procuraram estabelecer critérios de medida como a quantidade de produção de matéria orgânica (biomassa), mas notaram que a produtividade dos lagos não era um fator

estático, mas dinâmico, sendo importante determinar a taxa de renovação do rendimento orgânico anual. Eles realizaram várias medidas para definir a produtividade, como biomassa, composição química do plâncton, sua taxa de produção sob condições naturais, extensão de vida e peso médio (McIntosh, 1985).

Além da produtividade, Juday e Birge incluíram em sua tipologia dos lagos diferentes padrões de estratificação da temperatura e teor do oxigênio, relacionando-os ao conteúdo de matéria orgânica e de profundidade dos corpos d'água. O extensivo programa de pesquisa estabelecido por Juday e Birge durou décadas e levantou um volume de dados sem precedentes na pesquisa ecológica dos lagos (Golley, 1993; Egerton, 2014; Slack, 2010). Cabe mencionar como o ambiente geográfico e institucional do meio-oeste americano influenciou a emergência e organização de diversos grupos de estudo em limnologia, com o de Juday e Birge. A partir de 1890, esses grupos se estabeleceram em localidades como Wisconsin, Illinois, Michigan, Indiana e Ohio, ligados tanto a universidades quanto a comissões governamentais designadas para mapear recursos naturais ou solucionar questões relativas à pesca (Bocking, 1990).

Avanços mais efetivos na integração entre fatores físicos, químicos e biológicos na análise funcional dos lagos ocorreram a partir de George Evelyn Hutchinson e de seu grupo na Universidade de Yale, do qual fez parte seu estudante de doutorado, Raymond Lindemann. Hutchinson é considerado um ícone da ecologia pelas contribuições empíricas e teóricas diversas que ele trouxe à disciplina (Slack, 2010). Grande parte delas derivou dos estudos realizados nos lagos, que ele iniciou nos anos 1920 na África do Sul e que prosseguiu nas décadas seguintes em Yale (Slack, 2010; Lovejoy, 2011). Hutchinson conduziu a maioria de suas pesquisas na lagoa Linsley, em Connecticut.

Crítico das abordagens ecológicas restritas à análise das interações dos componentes, classificação e estrutura das comunidades orgânicas, tal como prevista pela ecologia vegetal de Frederic Clements, Hutchinson procurou compreender o "metabolismo" que atrelava essas comunidades vivas com os fatores físicos do ambiente (McIntosh, 1985, p. 198; Hagen 1992, p. 50; Mitman, 1992, p. 8). Ele inferiu metabolismo como transferências de matéria e energia, aplicando conceitos da termodinâmica para a compreensão de processos ecológicos, à semelhança do que Juday e Birge vinham realizando em Wisconsin. Inspirado pela biogeoquímica do russo Vladimir Vernadsky, que estabelecia uma conexão entre a matéria viva e inerte, Hutchinson e seu grupo se dedicaram, a partir dos anos 1930, ao estudo dos ciclos biogeoquímicos dos lagos. Enquanto a biogeoquímica de Vernadsky permitia estender a toda a biosfera a análise do papel dos organismos vivos na circulação de elementos químicos, Hutchinson delimitou a abordagem ao espaço e volume delimitados da lagoa Linsley (Pireddu, 2023).

Embora refutasse a apreensão das comunidades ecológicas como organismos, Hutchinson contribuiu para integrar à análise estrutural de comunidades de Clements, "uma sólida base físico-química, estudando o metabolismo das comunidades em termos de interações energéticas e ciclos de nutrientes." (Cooper 2003, p. 63). Além da abordagem biogeoquímica, Hutchinson se dedicou ao estudo da dinâmica de populações e do papel de fatores como a competição no equilíbrio populacional, aplicando formulações matemáticas em suas deduções. Ele igualmente usou a linguagem matemática para caracterizar os fluxos energéticos e de matéria, com equações diferenciais que representavam as trocas energéticas entre diferentes níveis da cadeia alimentar (níveis tróficos), que se transformavam à medida em que havia entrada ou saída de energia (Hagen 1992, p. 89).

Hutchinson e seu grupo em Yale buscaram definir os mecanismos autorreguladores que asseguravam as condições de equilíbrio dinâmico do sistema, operantes tanto na transferência de energia e nutrientes entre organismos e ambiente quanto nas dinâmicas de população (Hagen, 1992; Golley, 1993; Kingsland, 2005). Processos biológicos diversos, como o crescimento individual e populacional e mudanças históricas no perfil de produtividade dos lagos ao longo da sucessão ecológica foram conectados por Hutchinson por elaborações teóricas e metodologias compartilhadas entre a abordagem biogeoquímica e a biodemográfica (ligada à dinâmica de populações biológicas). Ele conciliou com isso as perspectivas holísticas presentes em Forbes, Clements, Birge, assim como em Thienemann, com o reducionismo matemático da ecologia de populações (Hagen, 1992).

Conforme Pireddu (2023, p. 335), “os estudos limnológicos no lago Linsley proporcionaram uma perspectiva multidisciplinar, complexa e sistêmica do ambiente lacustre.” O caso de Hutchinson ilustra bem como as pesquisas sobre os lagos apoiaram a elaboração de hipóteses, conceitos e debates teóricos mais amplos na ecologia. Reconhecido como um dos principais expoentes da limnologia nos Estados Unidos nos anos 1940, Hutchinson dedicou-se a publicar um extenso tratado da disciplina e abraçou o conceito de ecossistema elaborado por Arthur Tansley em 1935 (Slack, 2010). Segundo Hagen (1992, p. 87), Hutchinson tinha uma consciência vaga do potencial do conceito, mas percebeu a importância de isolar o conjunto de fluxos de matéria e energia em um sistema. Coube a um de seus estudantes, Raymond Lindemann (1915-1942), sistematizar essas abordagens em uma elaboração abrangente e sintética de ecossistema. Lindemann integrou elementos de vários campos, “dos estudos tradicionais de biologia da pesca e da limnologia, da abordagem biogeoquímica mais recente aplicada ao estudo dos lagos, da ecologia animal terrestre de Elton e da ecologia vegetal canônica.” (Hagen, 1992, p. 97). Sete anos após Tansley introduzir o conceito, Lindemann o traduziu em um esboço de programa de pesquisa “que ocuparia os ecologistas pelos próximos quarenta anos ou mais” (Golley 1993, p. 60).

O artigo de Lindeman, considerado o certificado de nascimento da ecologia de ecossistemas, veio a lume em 1942, pouco após sua morte prematura, graças ao incentivo e articulação de Hutchinson (Slack, 2010). Os achados de Lindeman resultavam de pesquisas intensivas no lago Cedar, em Minnesota, a partir dos quais ele concebeu ecossistema como um conjunto funcional que abrange os componentes bióticos (organismos vivos) e abióticos (fatores físicos e químicos) – como previsto por Tansley – estruturado por um fluxo unidirecional de energia proveniente de uma fonte externa (em geral o sol), que atravessava os diferentes níveis da cadeia trófica. Esse fluxo energético sofre perdas graduais energética na medida em que esse fluxo avança por cada um desses níveis. Segundo Lindeman essas perdas impunham a dependência de uma fonte externa, enquanto os fluxos de nutrientes ocorrem em ciclos operados pelos componentes bióticos e abióticos, com a reciclagem dos materiais operada pelos organismos decompositores (Hagen, 1992, p. 91). Apesar da perda nas transferências de energia, havia aumento na eficiência dos consumidores em assimilá-la à ao longo da cadeia alimentar. Lindeman chamou sua abordagem de “trófico-dinâmica” por empregá-la na explicação das etapas da sucessão ecológica dos lagos.

Embora as deduções de Lindeman fossem baseadas em observações nos lagos, tinham aplicação geral para a análise de qualquer ecossistema, gerando uma abordagem unificada que superou a forte divisão entre as ecologias vegetal e animal (Hagen, 1992, p. 99; Kingsland, 2005, p. 188). Acot (1990) considera que o artigo de Lindemann “fez a ciência da ecologia dar um dos saltos mais importantes de sua história”. Cooper (2003, p. 47-8), considera a definição

de Lindeman é inovadora por tratar os organismos como uma espécie de “caixa-preta” que converte energia e nutrientes ao invés de categorizá-los com base em suas categorias ecológicas tradicionais apoiadas na sistemática.

Outro estudante de Hutchinson, Eugene Odum, consolidou a definição de ecossistema e a transformou em um programa coerente de pesquisas nos anos 1950. Em sua obra de 1953, “Fundamentos da Ecologia”, traduzida para doze idiomas, a noção de ecossistema se difundiu amplamente. Com seu irmão Howard T. Odum, Eugene contribuiu para firmar o conceito, alinhado com os desenvolvimentos da teoria geral dos sistemas e da cibernética. Os estudos no laboratório de Oak Ridge pela Comissão de Energia Atômica dos EUA ajudaram a tornar o ecossistema a ferramenta estruturante da pesquisa ecológica, que durante a Guerra Fria se organizou em grandes programas internacionais de investigação, típicos do modelo da “Big Science” (Coleman, 2010; Aronova, Baker, Oreskes, 2010; Lara; 2024). Lagos e outras coleções d’água continentais permaneceram engendrando transformações na ecologia, sendo igualmente relevantes na evidenciação do impacto planetário das ações antrópicas nos sistemas hídricos (Luciano, 2023).

Esses desdobramentos posteriores fogem do escopo deste trabalho. Além de sintético, o quadro aqui esboçado é incompleto, por privilegiar autores e conceitos formulados no contexto anglo-saxão, refletindo uma hegemonia na historiografia e também na produção científica em ecologia e limnologia. Com base em uma literatura mais diversificada, vamos destacar aqui um personagem de grande relevância para os desenvolvimentos aqui narrados: o ecólogo e limnólogo alemão August Thienemann (1882-1960), mais associado à história da limnologia e ecologia europeia. Seus achados influenciaram os conceitos que estruturaram a corrente hegemônica da ecologia no mundo anglo-saxão – leia-se, Estados Unidos – e impactaram nos estudos das águas amazônicas, conforme será discutido na última seção deste artigo.

2. August Thienemann e o Desenvolvimento da Limnologia e da Ecologia na Alemanha

Augusto Thienemann é bastante reconhecido como uma figura central da limnologia europeia devido às muitas contribuições que ele trouxe ao campo e às posições-chave que ocupou. De 1917 a 1957 Thienemann dirigiu o Instituto de Limnologia de Plön, no Norte da Alemanha, fundado em 1891 pelo especialista em biologia de plâncton, Otto Zacharias. (Elster, 1974; Schneller, 1993; Golley, 1993; Edgerton, 2008, 2014; Jax, 1998, 2008; Potthast, 2006; Schwarz e Jax, 2011). Durante esse período, ele foi editor dos Arquivos de Hidrobiologia (*Archiv für Hydrobiologie*), uma das principais publicações do campo, ocupou a cátedra de Hidrobiologia na Universidade de Kiel e, junto com o sueco Einar Naumann (1891-1934), fundou a Sociedade Internacional de Limnologia em 1922, presidindo-a de 1934 a 1956 (Edgerton, 2008; Elster, 1974; Potthast, 2006; Schwarz e Jax, 2011). Menos do que uma análise exaustiva da trajetória de Thienemann, este trabalho destaca seu papel na promoção ativa da limnologia como um campo privilegiado da ecologia. Sua perspectiva holística e organicista da biologia e das ciências o levou a posicionar a limnologia como uma espécie de “metaciência ecológica”, capaz de abarcar diferentes níveis de organização na natureza e unir integrar disciplinas e modos distintos de conhecimento.

Thienemann iniciou seus estudos dos ambientes aquáticos sob a influência de seu orientador em Heidelberg, Robert Lauterborn, (1869-1952), especialista em biologia de rios, estudioso do plâncton, zoologia florestal e análise de efluentes, tendo atuado como consultor do Escritório de Saúde do Império Alemão para questões de poluição da água (Nyhart, 2009, p. 321). Seguindo os passos de Lauterborn, Thienemann dirigiu, de 1907 a 1917, o Departamento Biológico para Questões de Pesca e Águas Residuais em uma estação agrícola em Münster, onde enfrentou desafios práticos relacionados ao manejo de águas residuais, impacto de barragens, poluição dos corpos d'água e questões de pesca (Potthast, 2006). Essas preocupações práticas impulsionaram a pesquisa sobre rios e lagos, focando tanto seu ambiente físico quanto nos organismos que os habitam (Elster, 1974). As consequências da industrialização faziam-se notar nos rios alemães e os debates a qualidade e produção de água potável moldaram seu trabalho (Schwarz, Jax, 2011, p. 236).

As questões práticas direcionaram Thienemann para elaborações teóricas mais amplas. Em Münster, ele precisou definir níveis aceitáveis de poluição dos corpos d'água baseado em critérios físico-químicos e biológicos, comparando fauna e a flora de águas limpas e poluídas, e entendendo os mecanismos de autopurificação. Na busca por bioindicadores sensíveis a fatores ambientais e que fossem espécies conhecidas (Schneller, 1993, 22-23), ele chegou aos quironomídeos, mosquitos cujos grupos taxonômicos são altamente específicos de acordo com as condições ecológicas do ambiente aquático. Thienemann aprofundou-se no estudo daqueles insetos, sobre os quais publicou mais de cem trabalhos ao longo de sua carreira (Sioli, 1960).

Na década de 1910, Thienemann realizou pesquisas nos lagos vulcânicos de Elfer, onde notou a forte correlação entre a composição da fauna das camadas profundas dos lagos com os diferentes níveis de oxigênio. Em 1917, ele assumiu a direção do Instituto de Hidrobiologia de Plön, que naquele ano passou a ser administrado pela Sociedade Kaiser Wilhelm, rebatizada, depois da Segunda Guerra, de Sociedade Max Planck. Nos quarenta anos em que ocupou esse posto, ele exerceu influência decisiva no desenvolvimento da limnologia e da ecologia a partir de suas compreensões particulares das prioridades de investigação, do papel da disciplina e de sua posição no cenário científico. O foco na ciclagem de nutrientes a partir de uma abordagem biogeoquímica e na produtividade biológica constituíram aspectos privilegiados por ele.

Da sua vasta produção intelectual, com mais de 400 publicações, merece ênfase a sua contribuição para o conceito de níveis tróficos e por incluir entre os produtores e consumidores, os "decompositores", microrganismos responsáveis pela reciclagem da matéria orgânica. Thienemann projetou-se ao estabelecer um sistema de classificação dos lagos, uma preocupação central dos estudiosos desde o final do século XIX e que foi fundamental para a limnologia ao promover análises comparativas e organizar os diversos achados sobre os componentes vivos e inertes dos ambientes lacustres (Elster, 1974, p. 9). Thienemann via a categorização como fundamental para a compreensão da natureza "em todas as suas peculiaridades, padrões e processos", ordenando os lagos como unidades capturadas em suas variações (Brinkhurst, 1974 *apud* McIntosh, 1985, p. 124). A partir dos estudos nos lagos vulcânicos, Thienemann articulou as propriedades físico-químicas com os fatores biológicos na elaboração de sua tipologia.

Thienemann colaborou nesse esforço com o sueco Einar Christian Naumann, que havia proposto uma classificação com base em características químicas, no grau de nutrientes presentes no lago (trofia) e na produtividade primária (ou seja, o nível de matéria orgânica produzida a partir da fotossíntese) (Egerton, 2014). Naumann dividira os lagos em oligotróficos (baixo

grau de nutrientes disponíveis) e eutróficos (alto grau de nutrientes), abrindo “uma caixa de Pandora de definições e interpretações que permanecem problemáticas até o presente”, escreve McIntosh (1985, p. 124). Thienemann introduziu a categoria “distróficos” para descrever lagos com alta concentração de substâncias orgânicas dissolvidas no lago provenientes da decomposição de resíduos animais e vegetais (Egerton, 2014). Ele procurou sobrepor ao sistema de Naumann, uma tipologia baseada em fatores como a fauna dos leitos e camadas profundas, o teor de oxigênio e o tipo de quironomídeo que prevalecia. Observara que a predominância de alguns grupos daqueles insetos variava de acordo com o perfil dos lagos em termos de produção orgânica e taxa de nutrientes dissolvidos (Schneller, 1993). Porém, essa tentativa de sobreposição não funcionou em função de uma série de discrepâncias internas que havia entre os dois sistemas, como diferenças nos indicadores utilizados, e assim, uma síntese completa não foi facilmente alcançada. Uma das dificuldades foi estabelecer parâmetros indicativos das condições de disposição de nutrientes dos lagos (trofia) (Schneller, 1993, p. 85).

Thienemann reconheceu como os sistemas de classificação restringiam-se aos lagos de climas temperados. Entre 1928 e 1929, ele participou com os limnólogos austríacos Franz Turner e Karl Hermann, e o zoólogo alemão Heinrich Jakob Feuerborn da expedição Sunda, que estudou os lagos nas ilhas de Java, Sumatra e Bali. Nessas observações ele fez uma revisão de sua tipologia, enfatizando as características dos lagos tropicais em seu esquema classificatório e a influência do clima na produtividade biológica (Schneller, 1993; Egerton, 2008).

Thienemann construiu grande parte das suas noções e princípios ecológicos em torno do conceito de biocenose, introduzido por Karl Möbius a em 1877 partir de estudos em comunidades de ostras e mexilhões na baía de Kiel, na costa norte da Alemanha. Comissionado pelo governo da Prússia em 1869 para investigar a sobrepesca dos mariscos, Möbius definiu biocenose como um conjunto de organismos interligados em que a soma de espécies e indivíduos é autorregulada e limitada pelas condições exteriores, persistindo em ocupar um determinado território por meio da reprodução (Acot, 1990, p. 78; Schneller 1993, p. 27). Amplamente difundido na ecologia alemã, este conceito enfatizava propriedades similares às dos organismos, como harmonia, autorregulação e interdependência dos componentes (Jax, 2020). Para manter o estado de equilíbrio, a queda no número de indivíduos de uma espécie era compensada pelo aumento no número de outra (McIntosh, 1985).

Thienemann expandiu a ideia de biocenose, considerando-a como “unidades de vida” ou “biosistemas”, interligadas com o ambiente no qual se encontrava, ou biótopo. Além das espécies individuais, ele destacou a interação das espécies com seus ambientes e comunidades. Para Thienemann, a análise ecológica deveria tomar como unidade principal não as espécies individualizadas, mas sim os organismos em relação às suas comunidades e habitats. Portanto, na biocenose importavam os indivíduos socializados, já que a vida na comunidade era, ao mesmo tempo, pressuposto e resultado do pertencimento àquele conjunto, sendo importante determinar as forças responsáveis por assegurar seu estado de equilíbrio dinâmico (Schneller, 1993).

Thienemann propôs três níveis na compreensão das relações ecológicas: o primeiro abrangendo espécies em seus ambientes físicos e interações biológicas; o segundo compreendendo as comunidades orgânicas (biocenoses) e seus ambientes e o terceiro, no qual emergiam “organismos de ordem superior”, representando o único em que se manifestava a dimensão integrada de uma “economia da natureza” (Scharz, Jax, 2011, 237; Potthast, 2006). Esse terceiro nível, correspondente ao “nível limnológico”, via os lagos como organismos de ordem superior.

As interações entre os componentes dos lagos mantinham seu equilíbrio como sistemas, tornando-os unidades de vida de ordem superior (Schneller, 1993).

Thienemann derivou princípios ecológicos gerais da análise das interações entre biocenoses e seus ambientes, chamados de “princípios biocenóticos”. Ele postulou que quanto mais variáveis fossem as condições do habitat da comunidade (biótopo), maior seria a diversidade de espécies na biocenose. Além disso, argumentou que quanto mais as condições se afastassem do ideal para a maioria das espécies, menor seria o número de espécies, mas as populações seriam maiores. Thienemann também sustentou que ambientes mais estáveis resultariam em comunidades mais estáveis (McIntosh, 1985, p. 140-1; Schneller, 1993; Egerton, 2014).

Para Thienemann, a limnologia era o ramo mais amplo da ecologia, sendo a pioneira na busca consciente de alcançar o seu “objetivo ecológico geral” (Thienemann, 1925 *apud* Jax, 2020). Apesar de reconhecer a antecedência da ecologia vegetal, ele defendia que esse objetivo ecológico implicava uma abordagem integrada das biocenoses, abrangendo todos os componentes em uma mesma perspectiva, tal como na apreensão dos ambientes aquáticos (Jax, 2020)

A estruturação dos conceitos e metodologias da pesquisa limnológica por Thienemann reflete sua visão da limnologia como ramo privilegiado da ecologia e seu holismo filosófico. Suas concepções derivavam de uma atitude filosófica que concebia a natureza como um todo integrado. Tratava-se de um programa a um só tempo teórico e prático que não se restringia à especialidade científica, mas era extensivo a todas as formas de investigação designadas a conhecer os fenômenos da vida e da natureza. Esse interesse pelos aspectos filosóficos do conhecimento da natureza marcou a persona científica de Thienemann, como revela o testemunho de Sioli: “ele não foi um técnico ou especialista em ciências naturais, mas um observador pensante e de contemplação filosófica, a quem o conhecimento de conexões mais amplas na natureza estava no coração...” (Sioli, 1960). Essa aliança entre prática científica e filosofia se expressou desde o início da trajetória de Thienemann, como em sua tese sobre a abordagem holística na história natural do século XVIII. A postura filosófica que remonta ao romantismo e à *Naturphilosophie* impregnou o ambiente intelectual alemão de sua época, manifestando-se com força no pensamento biológico. Thienemann foi um dos principais representantes da perspectiva organicista prevalente entre os ecólogos alemães (Schneller, 1993; Jax, 1998; 2020; Schwarz e Jax, 2011; Potthast, 2006), a qual se posicionou como uma alternativa ao mecanicismo e ao vitalismo ao enfatizar a importância da organização interna e das relações entre as partes e o todo, sem reduzir a organização a suas partes constituintes ou atribuir-lhe uma força vital imaterial (Jax, 1998; 2020). A perspectiva da natureza como um todo harmonioso refletiu, no período do entreguerras, o pessimismo cultural da República de Weimar e se combinou, em muitos casos, com uma crítica à técnica e à civilização (Schwarz e Jax, 2011, p. 241).

Segundo Jax (2020, p. 132), para os ecólogos alemães, “a percepção da unidade da natureza e a compreensão de sua ‘totalidade’ eram tanto o ponto de partida quanto o objetivo da pesquisa ecológica”. Eles se opuseram à abordagem analítica e reducionista em favor da visão sintética da *Naturphilosophie*. Enquanto Newton era tomado como arquétipo da primeira abordagem, Goethe representava a segunda, caracterizada pela apreensão e percepção das formas. A unidade e a totalidade da natureza eram, em certa medida, uma questão de intuição e consequência de uma perspectiva contemplativa do mundo natural (Jax, 2020).

Essa abordagem holística se reflete na concepção de Thienemann das “unidades de vida”, que vão dos organismos individuais às biocenoses e “organismos de ordem superior”, como

uma percepção visual, que vai além das relações causais. Segundo Jax (2020, p. 133), nessa perspectiva, as partes estão intrinsecamente ligadas ao todo e, ao mesmo tempo, são capazes de alterar suas propriedades. O conhecimento dessas partes exige o conhecimento prévio do todo (Jax, 2020, 133). Thienemann expressava essa visão ao descrever os lagos como “arenas da vida” e “um mundo em miniatura”, ao afirmar que “o todo sempre existe antes das partes” e fazer frequentes referências a Goethe como autoridade intelectual Schwarz e Jax (2011, p. 240)

Entre os anos 1920 e 1950, Thienemann articulou em suas publicações ideias ligadas ao organicismo, refletindo a predominância dessa postura filosófica na ecologia alemã antes, durante e após a Segunda Guerra (Schwarz e Jax, 2011; Jax, 2020). A visão holística da limnologia e da ecologia como campos integradores se inseria em um debate sobre a natureza da pesquisa biológica. A pesquisa experimental havia se tornado o padrão de cientificidade nas ciências da vida desde o final do século XIX. O estatuto da ecologia em meio à pesquisa biológica era litigioso. Ela não gozava do reconhecimento e reputação que alcançaria nas décadas seguintes. O diretor do Instituto Kaiser Wilhelm de Biologia Max Hartmann (1876-1962) não incluiu a ecologia entre os campos biológicos, em sua influente obra “Biologia Geral”, para a contrariedade de Thienemann. Para a biologia convencional da época, as abstrações impulsionadas pelo esforço de síntese pareciam desconectadas dos fatos observados (Golley, 1993, p. 40-1).

Thienemann reconhecia a importância da pesquisa experimental em biologia, mas enfatizava a necessidade fundamental da observação *in loco* das comunidades orgânicas. Ele discordava da ideia de que os experimentos fossem o componente central da pesquisa e as instâncias de autoridade epistêmica (Potthast, 2006). Dentro da própria ecologia, havia uma corrente mais voltada para a descrição detalhada da abundância e distribuição de espécies (Golley, 1993, p. 41). “A limnologia e a ecologia estavam, assim, posicionadas em uma fenda entre dois desfiladeiros perigosos”, argumenta Golley (1993, p. 41) – entre debates sobre taxonomia e distribuição de espécies e especulações em torno de abstrações nem sempre permeáveis à verificação pela observação ou experimentação. Thienemann buscou um espaço intermediário para a limnologia e a ecologia entre esses dois polos, apesar do comprometimento explícito com uma abordagem holística, favorecido pelo amplo reconhecimento que esta tinha no ambiente intelectual da Alemanha.

Sob a perspectiva organicista, Thienemann desenvolveu considerações teóricas sobre as relações entre comunidades de seres vivos e seus ambientes, como em seus estudos sobre os quironomídeos. Seu holismo materialista focava na circulação de nutrientes nos lagos como a essência das dinâmicas funcionais dos lagos, equivalente a uma fisiologia. “A unidade que torna os lagos um microcosmo ou organismo é criada principalmente pelas relações materiais: é o ciclo de matéria na água que neste sentido figura como problema último da limnologia”, escreveu em manual sobre métodos biológicos publicado em 1925 (*apud* Jax, 1998, p. 134).

Nessa chave de leitura, Thienemann buscou em seu sistema de classificação de lagos um parâmetro universalmente válido que os apreendesse como “unidades de ordem superior” e que fosse, portanto, representativo da totalidade das interações ocorrentes no ambiente aquático. Ele considerava a produtividade biológica como uma categoria potencialmente indicativa desse caráter totalizante, por aludir ao metabolismo dos lagos, reforçando seu enquadramento como unidades orgânicas que se auto mantêm. Porém, Thienemann esbarrou em enormes dificuldades em definir a produtividade do ponto de vista biológico. Buscava-se por um critério que expressasse a circulação completa de nutrientes, abrangendo tanto o mundo vivo e

substâncias orgânicas, quanto as anorgânicas. Ele deveria refletir o nível de produtividade e, ao mesmo tempo, a disponibilidade de nutrientes nos corpos d'água (trofia), categorias que não se relacionavam de forma linear. Para Thienemann, a produtividade biológica indicava esse caráter totalizante, mas ela só podia ser compreendida como conceito, jamais poderia ser capturada numericamente (Schneller, 1993).

Esse ceticismo em relação à possibilidade de capturar a produtividade pela quantificação é um traço significativo da perspectiva holística que infundiu o pensamento de Thienemann, que refutou os esforços de quantificação marcantes na ecologia do pós-Segunda Guerra (Potthast, 2006; Jax, 2020, p. 135). Para ele, a tentativa de definir os processos ecológicos em termos de peso e medida só poderia ser mantida "por aqueles completamente devotados ao mecanicismo dogmático" (*apud* Jax, 2020, p. 135).

Por identificar a limnologia como meio de apreensão dessa unidade de ordem superior, formada pela interação entre as biocenoses e seus ambientes, Thienemann a posicionou como uma ciência ecológica que integrava as demais áreas do conhecimento, definindo-a, por isso, como uma espécie de "ponte" entre campos diversos do saber nas ciências naturais (a rigor, uma "ciência-ponte" *Brückenwissenschaft*). Ele foi influenciado nesse aspecto pela ideia de "ciências integradoras" defendida pelo filósofo Wilhelm Burkamp em sua obra "A Estrutura das Totalidades", publicada em 1929. "Thienemann estava efetivamente posicionando a limnologia de maneira explícita em uma posição mediadora entre várias disciplinas das ciências naturais, sobretudo a hidrografia, biologia, geologia e oceanografia, como também entre a pesquisa básica e aplicada", sustentam Schwarz e Jax (2011, p. 236). A limnologia para ele era integradora não só conceitualmente, mas também metodologicamente, abarcando conjuntamente as dimensões teórica e prática, que se colocavam como vias de mão dupla no conhecimento da fisiologia das águas. Ela seria também uma ciência de fronteira" (*Grenzwissenschaft*), posicionada entre a "ciência-mãe" da biologia e a "fisiografia", que examina as águas sob aspectos físicos, químicos e geográficos (Schwarz e Jax, 2011).

Segundo Thienemann, essa integração também se expressava nos modos de conhecer da ecologia, capazes, segundo ele, de conectar as ciências naturais e as humanidades (Schwarz e Jax, 2011, p. 237). Isto porque a ecologia conciliava os padrões de conhecimento centrados na explicação causal, atribuídos ao domínio das ciências naturais, com a compreensão (*Verstehen*), que embasava a hermenêutica nas ciências humanas. Na ecologia de Thienemann, o estabelecimento de nexos causais não bastava para um conhecimento efetivo da natureza, devendo ser complementado com uma visão holística, em que as causalidades dos integrantes individuais eram articuladas ao todo (Schneller, 1993). Essa forma de conhecimento da natureza também abarcava um componente sensitivo, em que a intuição era o ponto de partida da reflexão científica e a forma de acesso à unidade da natureza. Nessa perspectiva, princípios que atrelavam vida e ambiente não assumiam o caráter de leis que expressavam relações de causalidade, mas atuavam como ferramentas heurísticas que tinham por finalidade facilitar a compreensão das relações ecológicas (Schneller, 1993).

A compreensão da limnologia como ciência ecológica sintética e integrativa esteve no cerne da definição preconizada no ato de fundação da Sociedade Internacional de Limnologia em 1922. Thienemann e Naumann enfatizaram naquele contexto que a prática científica da limnologia deveria sempre mirar a correlação das observações individuais com o todo ao qual se ligavam. Eles se pronunciaram contrários a pesquisas "que se disfarçam sob a descrição

de 'limnológicos' ou 'hidrobiológicos', o que previne a emergência de uma imagem clara e unificada de nossa ciência" (Naumann e Thienemann 1922 *apud* Elster, 1974, p. 7). Além disso, descreveram a limnologia como "ciência das águas doces como um todo, e que inclui tudo que as afeta" (*apud* Elster, 1974, p. 7), ou seja, ampliaram a gama de corpos d'água que seriam tema da disciplina.

O descrédito e a desconfiança em relação às perspectivas holísticas, devido a afinidades com o nazismo, não afetaram Thienemann. Ele persistiu em veicular seu pensamento de maneira praticamente inalterada até sua morte, em 1960. Potthast (2006) aborda a dimensão política do pensamento holístico de Thienemann, observando que, embora ele não tenha se filiado ao Partido Nazista nem abraçado teorias biológicas de degeneração e inferioridade racial, não se opôs a que alguns de seus colaboradores próximos e estudantes expressassem adesão às doutrinas nazistas. Em alguns de seus escritos, Thienemann elogiou a prominência da biologia como visão política de mundo no nazismo. Durante o regime nazista, a pesquisa no Instituto de Limnologia de Plön continuou a receber financiamento significativo do Conselho Alemão de Pesquisa (*Deutsche Forschungsgemeinschaft*), durante os anos da guerra (Schwarz, Jax 2011, p. 130-1). Nesse sentido, a postura política de Thienemann foi de acomodação ao regime, uma tendência comum entre muitos cientistas da época.

A vertente holística da ecologia adaptou-se bem ao nazismo pela ênfase em conceitos como comunidade (*Lebensgemeinschaft*) e "espaço de vida" (*Lebensraum*), associados a noções como "sangue e solo" que legitimaram a ocupação de territórios e a política de inferiorização racial de consequências dramáticas. Após a Segunda Guerra, Thienemann eliminou de suas publicações trechos que mais claramente tinham conexão com o ideário nazista (Potthast, 2006).

Logo após o conflito, Plön ficou sob administração das tropas britânicas. Tentando manter o Instituto de Limnologia em funcionamento, Thienemann enviou às autoridades militares um relatório enfatizando a importância científica da instituição, especialmente para resolver questões práticas como a pesca, poluição, abastecimento de água e saúde pública. Ele destacou suas conexões internacionais, inclusive com os ingleses (Thienemann, 3 de Junho 1945; 20 de Julho 1945). Thienemann afirmou ter cooperado com o Serviço Secreto britânico, alegando ser conhecido como opositor ao nazismo, informação que contradiz os posicionamentos evidenciados por Potthast (2006). Em 1948, o Instituto tornou-se parte da Sociedade Max Planck, que substituiu a Kaiser-Wilhelm. Thienemann permaneceu como diretor até 1957, refletindo a continuidade típica das instituições alemãs entre o período nazista e o pós-guerra.

Thienemann continuou ativo nos estudos de limnologia durante os anos da guerra e quase até o fim de sua vida. Publicou mais de 50 artigos nesse período, embora sua repercussão tenha sido comprometida pelo conflito (Egerton, 2008). O predomínio do inglês na literatura científica internacional e o fato de os Estados Unidos terem se tornado o centro dinâmico da ecologia de ecossistemas, contribuíram para o eclipse de suas publicações tardias. Thienemann mencionou as dificuldades em obter literatura científica internacional durante a guerra e as turbulências do pós-conflito, quando teve que garantir a continuidade do Instituto de Plön. Esses fatores devem ser considerados ao analisar a recepção da abordagem de ecossistemas na Alemanha (Jax, 1998, p. 135).

O programa intelectual de Thienemann ultrapassou fronteiras nacionais, contribuindo para o surgimento de novos conceitos e ideias do outro lado do Atlântico, inclusive para o desenvolvimento da ecologia de ecossistemas. Hutchinson foi amplamente influenciado pela

limnologia de Thienemann. Ele menciona ter se tornado verdadeiramente limnólogo após ler a obra de Thienemann publicada em 1925, "As Águas Interiores da Europa" (*Die Binnengewässer Europas*), enquanto estava na África do Sul realizando análises comparativas de lagos (Slack, 2010, p. 82). Grande da produção em limnologia nas primeiras décadas do século XX foi divulgada em alemão (Slack, 2010).

O trabalho de Hutchinson de 1939 sobre o significado ecológico do potencial de oxirredução dos lagos baseou-se na pesquisa de Thienemann, analisando a variação da fauna de quironomídeos nos sistemas lacustres. Thienemann foi pioneiro em usar esses insetos como parâmetros ecológicos na classificação de lagos (Pireddu, 2023, p. 342). Thienemann também foi uma referência para Hutchinson na aplicação da ideia de ciclos biogeoquímicos no estudo dos lagos, embora não os articulasse à ideia de fluxos de energia, como ocorreu na ecologia estadunidense.

Thienemann influenciou em diversos níveis a definição de ecossistema de Lindeman, cujo diagrama de fluxos materiais e energéticos se assemelha ao elaborado pelo limnólogo alemão, inclusive pela ênfase no material do fundo dos lagos (*ooze*). A ideia de ciclo de nutrientes também foi emprestada do conceito de Thienemann, assim como a distinção entre produtores, consumidores e decompositores. A noção de níveis tróficos associada a essa distinção, desenvolvida por Charles Elton e Thienemann, foi crucial para Lindeman (Jax, 1998, p. 128). Na análise da sucessão ecológica dos lagos, Lindeman baseou-se nos argumentos de Thienemann sobre o processo sucessório, que evoluía de um estado de baixa provisão de nutrientes (oligotrofia) para um estado eutrófico, com alto nível de produtividade biológica, eventualmente desenvolvendo-se em um pântano ou floresta (Golley, 1993). Lindeman também atribuiu a Thienemann a ideia do lago como um "super-organismo" (McIntosh, 1985, p. 125).

Apesar das afinidades conceituais, Thienemann permaneceu cético em relação ao padrão de prática científica da ecologia de ecossistemas e evolutiva: experimentos controlados, análises abstratas de fluxo de matéria e energia, matematização e formalização das teorias ecológicas na linguagem do mecanicismo (Potthast, 2006). Esse ceticismo, segundo Potthast (2006), derivou do habitus do pesquisador-filósofo, que recusava, moral e filosoficamente, a redutibilidade dos processos vivos e das interações ecológicas a fórmulas abstratas. As aparentes similitudes entre as formulações de Thienemann e o conceito de ecossistema escamoteiam diferenças filosóficas significativas. Autores como Elster (1974), Schneller (1993) e Golley (1993) tendem a equivar o ecossistema a definições surgidas no contexto do organicismo alemão, como a ideia de "organismos de ordem superior". Porém, a abordagem dos lagos como um sistema funcional, baseada em fluxos de matéria e energia, destoava da concepção holística que via o todo como algo que antecede, organiza e ultrapassa as interações mecânicas entre os componentes do sistema. Na concepção de ecossistema de Tansley, e de Lindeman, as dinâmicas poderiam ser observadas, medidas e analisadas por meio de experimentos. A previsibilidade do comportamento dos sistemas naturais poderia ser dada por meio de uma configuração experimental baseada em critérios quantitativos. Tansley, por exemplo, recusou a ideia de que a totalidade era uma qualidade autônoma maior do que as partes e assegurava propriedades dos sistemas como a autopreservação. Em Lindeman, a dinâmica responsável que mantinha os ecossistemas era uma característica funcional dos componentes, capturável pelos cálculos dos fluxos energéticos.

Assim, as concepções de Thienemann viajaram o Atlântico, impactando em teorias e conceitos importantes da história da limnologia e da ecologia. Nessa mesma perspectiva, vamos

analisar como elas também ajudaram a modelar os estudos sobre as águas na Amazônia brasileira, realizados por seu sucessor na direção do Instituto de Hidrobiologia de Plön, Harald Sioli.

3. Harald Sioli e a limnologia na Amazônia: permanências e transformações.

Harald Sioli (1910-2004) decidiu-se pela limnologia após ter frequentado aulas com Thienemann e com outro limnólogo do Instituto de Plön, Friedrich Lenz (1889-1972), em Kiel, como parte de sua formação em biologia (Sioli, 1979, 2006; Sá e Silva, 2019; Kohlhepp, e Sioli, 2007). Em 1934, Lenz foi convidado pelo brasileiro Rodolpho von Ihering para inspecionar obras de construção de açudes para abastecimento, irrigação da agricultura e desenvolvimento da pesca no Nordeste do Brasil (1883-1939) e convidou Sioli para acompanhá-lo. Ihering, diretor da Comissão Técnica de Piscicultura ligada à Inspetoria de Obras contra as Secas desde 1932, reuniu especialistas para estudar açudes e pesca. Entre eles, além de Lenz e Sioli, estava o limnólogo estadunidense Stillman Wright (1898-1989), discípulo de Chance Juday.

Interessado em investigar a hibernação dos sapos durante a seca, Sioli retornou ao Brasil em 1938 com uma bolsa do Conselho de Pesquisas do Reich (*Reichsforschungsrat*) para prosseguir o estudo no Instituto Biológico de São Paulo. No entanto, uma série de imprevistos impediu-o de dar continuidade à pesquisa. Decidindo-se, então, por uma visita à Amazônia, um interesse acalentado há anos, Sioli viu-se impossibilitado de retornar à Alemanha devido ao início da Segunda Guerra Mundial. Com uma nova bolsa do Conselho de Pesquisas do Reich, ele iniciou estudos limnológicos sobre as águas da Amazônia (Sioli, 1979, 2006).

Entre 1940 e 1942, Sioli percorreu os rios amazônicos, observando o perfil das águas e o papel preponderante delas na paisagem, caracterizada pelos rios de proporções gigantescas, paranás, córregos, igarapés, igapós e lagoas. Em Belém do Pará, conectou-se com pesquisadores alemães que trabalhavam no Museu Paraense Emílio Goeldi, a mais tradicional instituição dedicada ao estudo da região amazônica principalmente dos pontos de vista da história natural e da etnografia (Sanjad, 2010). O zoólogo suíço Gottfried Hagmann (1874-1946), que trabalhava no Museu, acompanhou-o em várias expedições pelos rios amazônicos e chamou a sua atenção para alguns aspectos da geomorfologia e do modo como ela afetava as características das águas correntes. Durante suas viagens pela região, Sioli contou com o apoio de missionários alemães, fazendeiros e outros intermediários, incluindo indígenas, ribeirinhos e camponeses, que o auxiliaram na viabilização de suas viagens e estudos (Sioli, Kohlhepp, 2007).

Em suas memórias, ele descreve o deslumbramento com a paisagem amazônica (Sioli, 1979). Interessado em explorar as águas correntes do ponto de vista limnológico, Sioli coletou amostras das águas, plantas e animais aquáticos, utilizando os instrumentos simples de que dispunha. Ele destacou a diferenciação entre águas pretas, claras e brancas (na realidade, águas barrentas, como o Amazonas, devido ao alto teor de sedimentos transportados), uma classificação indígena realizada pelas populações indígenas da Amazônia, que em muitos casos associavam a coloração com propriedades ecológicas como a abundância de peixes, fertilidade do solo e ocorrência de mosquitos (Junk *et. al.*, 2011). Não-indígenas, como os colonizadores portugueses e viajantes europeus entraram em contato com essa tipologia e a adotaram, como foi o caso do

naturalista britânico Alfred Russell Wallace (1823-1913), que percorreu a Amazônia entre 1848 e 1952 e divulgou essa tipologia em seus escritos (Wallace, 1889, p. 281). O conhecimento indígena sobre as águas e demais componentes do seu ambiente, acumulado ao longo de séculos, foi fundamental para a produção e reprodução simbólica e material das sociedades locais. Elas se relacionam de diversas formas com os cursos d'água, para alimentação, transporte, higiene, recreação, práticas rituais, etc. As narrativas cosmogônicas de fundação e ordenamento dessas sociedades em grande parte dos casos envolvem relações primordiais com as águas e os seres que nelas habitam.

Reconhecendo a força e a importância desse acervo de conhecimentos, os europeus foram dependentes deles no processo de ocupação do território, ao passo que os indígenas se utilizaram estrategicamente dos cursos d'água em sua mobilidade. "O rio acabou por incorporar o conhecimento – e as imaginações – em movimento", afirma Harris (2017, p. 118) e muito dele representa "uma parte viva e íntima da vida cotidiana" das populações ribeirinhas, que planejam suas atividades segundo o ritmo das cheias e vazantes e da migração dos peixes, em um aprendizado constante. Isto é válido para as mediações que redundaram na ocupação territorial e no estabelecimento de redes de comércio e outras formas de interação, mas também se aplica ao caso do conhecimento científico. Recentemente há um esforço de reconhecer a amplitude dos conhecimentos tradicionais sobre o ambiente e, inclusive, uma tentativa de incorporá-los ao léxico da ciência ocidental. Londono e colaboradores (2016), por exemplo, analisam os conhecimentos sobre os corpos d'água dos Uitoto, comunidade indígena da Amazônia Colombiana, apontando correspondências epistemológicas entre aqueles saberes e os achados da hidrobiologia. Segundo os autores, "cientistas indígenas há muito tem usado uma forte abordagem holística (transdisciplinar) com a finalidade de interpretar as intrincadas interrelações do Sistema Terra com seus ambientes domésticos e paisagens" (Londono *et. al.* p. 8). De forma similar aos cientistas ocidentais, os Uitoto classificam as águas segundo a cor, mas incluem em sua taxonomia fatores como os animais que vivem ao longo dos rios e propriedades, como as aplicações médicas de determinados cursos d'água ou seus atributos mitológicos e ritualísticos (Londono *et. al.*, 2016).

Se foi por meio de Wallace ou por interação direta com as populações indígenas, o fato é que Sioli adotou a classificação dos rios amazônicos em águas negras, claras e brancas e procurou explicar os fatores responsáveis por aquela diferenciação. O geólogo alemão Fritz Ackermann, que se encontrava em Belém na época, acompanhou Sioli em suas jornadas e sugeriu a hipótese de que a diferenciação das águas amazônicas derivava de variações no solo e na geomorfologia das regiões de nascente e captação (Sioli, 1979, p. 245). Sioli seguiu essa trilha de investigação, que foi interrompida com a entrada do Brasil na Segunda Guerra ao lado dos Aliados em 1942, o que resultou em sua prisão até o fim do conflito. Após sua libertação, ele trabalhou no Instituto Agrônomo do Norte (IAN), no laboratório de Hidrobiologia, onde teve acesso a equipamentos para avançar em suas pesquisas (Sá e Silva, 2019). Ele fez análise dos aspectos físico-químicos das águas coletadas, constatando sua extrema pobreza em termos de nutrientes e elementos químicos. Com base nesses dados, inferiu que os solos das áreas de onde aquelas águas provinham também eram pobres, considerando os rios como expressões da paisagem circundante, uma dedução decisiva para os rumos posteriores dos estudos sobre a ecologia amazônica realizados por ele e pelo grupo que se articulou em torno daquela problemática (Kohlhepp e Sioli, 2007). Contrariando um dos mitos mais persistentes sobre a natureza amazônica, de que se tratava de um solo fértil, Sioli defendeu que o solo de terra

firme, sobre o qual se encontrava a Hileia, servia mais como suporte para a floresta tropical do que como reservatório de nutrientes, o que foi confirmado pelas pesquisas realizadas por outros estudiosos. Apenas nas várzeas, formações modeladas pelos rios de águas brancas, que transportam alto teor de partículas em suspensão, havia depósito de sedimentos, tornando-as férteis e, por isso, eram as únicas propícias à agricultura (Sioli, 1975; Sioli, 1984). Ligado a uma instituição agrônômica, Sioli propôs algumas iniciativas de prática agrícola na região levando em consideração esses fatores (Sá e Silva, 2019). Em seguida, ele se dedicou a explorar o papel do solo, da formação geológica, da composição mineral e da cobertura vegetal das regiões de origem dos rios e irrigadas nas propriedades físico-químicas e peculiaridades dos diferentes tipos de águas (Sioli, 1975; 1979; Kohlhepp e Sioli, 2007).

Menos do que detalhar os achados de Sioli, importa sublinhar como o contato com as coleções d'água da Amazônia e os interesses que elas despertaram modelaram suas práticas, compreensões e significados da limnologia. Se a disciplina havia tradicionalmente se desenvolvido no estudo dos "lagos como microcosmos", Sioli encontrou na Amazônia uma multiplicidade de "águas correntes" de dimensões, formas e características variadas. Ele menciona como foi difícil aplicar aos rios os princípios da limnologia clássica, "determinados, nas suas particularidades, muito menos por leis próprias, internas, do que acontece com um lago" (Sioli, 1965b). O exame dos entrelaçamentos entre as águas correntes, a floresta e o solo na Amazônia tornou-se o tema principal de suas pesquisas que lhe estabeleceram como uma autoridade internacional sobre a ecologia amazônica, contribuindo, ao mesmo tempo, para ampliar as fronteiras da limnologia. O geógrafo Hilgard O'Reily Sternberg (2005, p. 256) registra o papel de Sioli nessa mudança: "colocando a tônica nos rios, Sioli muito contribuiu para a evolução do próprio conceito da limnologia, tradicionalmente centrada nos lagos (...)", também reiterado em outros textos memorialísticos (Junk, 1985, 2001; 2007). Certamente, ele não foi o único responsável por esse alargamento epistemológico do campo, nem mesmo o principal. Na Europa, a limnologia já se dedicava à análise de outros corpos d'água além dos lagos, como vimos no caso da fundação da Sociedade Internacional de Limnologia, em que Thienemann e Naumann (1922) definiram a disciplina como o estudo da água doce em geral. Em um panorama histórico da limnologia, Sioli assinala essa ampliação do escopo dos corpos d'água abrangidos nos estudos: "além dos lagos, a limnologia passou a ocupar-se dos pântanos, poços, rios e córregos, fontes, águas subterrâneas e mesmo pequenas acumulações temporárias de águas" (Sioli, 1978, p. 101).

Sioli integrou à limnologia o estudo de uma formação ecológica praticamente única no que se refere à relevância das águas em sua composição. A diversidade e a variabilidade dos corpos d'água na Amazônia levantaram novas questões para o campo. O enquadramento da materialidade daquelas águas por uma abordagem moldada por sua formação e experiência em um "estilo de pensamento" específico (Fleck, 2010) provocou esses deslocamentos epistemológicos.

O reconhecimento da singularidade das águas na Amazônia levou Sioli a construir uma genealogia intelectual própria, identificando Hans Bluntschli (1877-1962), pesquisador suíço que percorreu a região entre 1912 e 1913, como o "pai da ecologia amazônica" (Sioli, 1984b, p.10). Em seu relato "A Amazônia como Organismo Harmônico", apresentado à Sociedade Alemã de Geografia e Estatística em Frankfurt em 1918, e publicado em 1921, Bluntschli (1962) atribuiu às águas um papel central na paisagem amazônica. Segundo Sioli (1962), Bluntschli foi o primeiro a captar "a essência da natureza amazônica":

O ciclo da água, vinda do mar através do ar à terra, recoberta de floresta e, voltando da floresta pela planície fluvial ao mar eterno, este é o grande momento que domina o quadro da Amazônia, sua vida e o seu caráter. Talvez não haja nenhuma outra parte da Terra em que a força poderosa do ciclo das águas se apresente diante da visão mental do homem com tanta clareza e nitidez. Na Amazônia nada existe de morto nem de vivo que não possa decorrer dele. (Bluntschli, 1962 [1921]).

Sioli (1962) identificou Bluntschli como o primeiro a notar “com os olhos despreconcebidos e a intuição segura de um observador geral, como neste país os fatores que compõem a natureza agem em conjunto e correspondem um ao outro, criando uma verdadeira unidade.” Ele havia reconhecido “a ligação íntima da natureza não viva e do mundo dos organismos” (Sioli, 1962).

A visão holística de Bluntschli sobre a Amazônia como um todo interconectado, com as águas desempenhando um papel central, convergiu com a abordagem de Sioli. Por meio das águas, Sioli explorou o funcionamento da complexa ecologia amazônica. Considerando os rios como expressões da paisagem circundante, seu programa enfatizou a interdependência entre as águas, os processos geológicos e as características do solo e da vegetação. Ao invés de “microcosmos” guiados por suas leis internas, as águas correntes da Amazônia eram vistas como veículos de transporte dos metabólitos da paisagem rumo ao oceano; “elos finais das cadeias de muitas reações” (Batista e Sioli, 1965). Elas representaram a principal via para deslindar os entrelaçamentos entre os componentes físicos, geográficos, químicos e biológicos. “Podemos escolher as águas de uma dada região como ponto de partida na tentativa de chegar a uma melhor compreensão do caráter geral e das condições naquela região mesma”, escreveu (Sioli, 1965, p. 14). Em linha com a perspectiva organicista de Thienemann (Jax, 1998, 2020; Potthast, 2006), Sioli abordou biocenoses e os biótopos como “unidades de vida” e “organismos de ordem superior”, ressoando a concepção de Bluntschli da “Amazônia como organismo harmônico”. Os corpos d’água seriam “um órgão” do ambiente e dependente dele”. Nessa perspectiva, ele identificou os rios como “sistemas renais” da paisagem (Sioli, 1978) – o “sistema excretor” que carrega e metaboliza os resíduos para o oceano; “a urina da paisagem” (Sioli, 1965, 1965b; 1967, 1968; 1975, 1991).

Ao enfatizar a interconexão das águas com o ambiente terrestre, Sioli aproximou ainda mais a limnologia de outras ciências. Como ele lembra (Sioli, 1989), Thienemann já mencionara sobre a importância de a limnologia “subir à terra” de maneira a explorar as interdependências com o solo, não se restringindo às dinâmicas internas do ambiente aquático. Com esta finalidade, Sioli integrou especialistas de outras áreas em seu programa de investigação, que ganhou crescente caráter de equipe. Ele pôde fazer isso com mais autonomia após assumir a direção do Instituto Max Planck de Limnologia de Plön, sucedendo Thienemann. O primeiro especialista que ele recrutou foi o pedólogo Hans Klinge e, gradualmente outros pesquisadores se juntaram ao grupo (1928-1999) (Sioli, 1979, 1989), ajustando seus interesses e especialidades à análise das “cadeias de relações entrelaçadas” da ecologia amazônica. Em análise retrospectiva, Sioli afirma que ao invés de seguir uma diretriz linear de pesquisa, ele compôs um mosaico, identificando pontos iniciais importantes, sendo os demais participantes dedicados em preencher as lacunas com novas peças, refinando a precisão da imagem ao longo do tempo:

O mais importante no início foi encontrar os pontos fixos mais importantes neste quadro e colocá-los na tela. Naturalmente, os pontos iniciais eram aqueles conectados por interações

mútuas. Inicialmente poderíamos delinear apenas uma imagem muito grosseira, mas uma estrutura na qual as linhas ideias de conexão entre essas primeiras pedras do mosaico já eram reconhecíveis. Na sequência futura da pesquisa, o espaço entre as pedras do mosaico teve de ser preenchido por novas peças, que envolviam temáticas de pesquisa mais especializadas em relação aos pontos de partida de maneira que a precisão da imagem se tornou cada vez mais fina e detalhada" (Sioli, 1979, p. 248)

Embora essa representação sugira uma certa "teleologia" ao presumir um quadro a ser completado, simplificando assim o papel das contingências e das transformações ocorridas no processo, ela mostra como os achados iniciais de Sioli e as questões subsequentes serviram como referência para formular uma agenda de investigação que uniu um grupo diversificado. Para este estudo, é relevante examinar as implicações epistemológicas desse movimento para a limnologia. Ao ampliar o escopo e as disciplinas associadas à limnologia, definindo-a como "um setor das ciências biológicas e um "ramo das geociências" (Sioli, 1965, 1978), Sioli a posicionou como uma "ciência-ponte", em linha com a proposta de Thienemann – uma disciplina integradora que fomentava o diálogo e as conexões com outras áreas de estudo.

Sioli (1965, 1978) não somente reafirmou a concepção da limnologia como um ramo da ecologia, como também a situou como uma forma de ecologia de paisagem, destacando em seus escritos as interações entre os regimes hídricos e os componentes geográficos das regiões (1965b, 1967, 1968, 1973, 1977, 1978, 1984, 1985). Ao especificar a limnologia como uma seção da ecologia de paisagens, ele propôs uma abordagem mais holística e integrativa. Como domínio específico da ecologia, a ecologia de paisagem só se organizou formalmente nos anos 1980. As águas, especialmente na Amazônia, eram elos particularmente propícios para analisar a "estrutura funcional da paisagem" e dar um vislumbre "da economia material, do 'balanço' de uma paisagem natural inteira" (Sioli, 1965, p 5). Historicamente a Amazônia e o imaginário da natureza tropical em geral referendavam a ideia de abundância tendo em vista a composição vegetal e faunística, mas não as águas (Slater, 2002; Andrade, 2012). Partindo das águas visava-se, "em último termo, a compreensão de toda a dinâmica da Amazônia", (Sioli 1965). A Amazônia foi escolhida como local privilegiado para esses estudos, não apenas devido à sua riqueza e complexidade ambiental, mas também por ser considerada à época pouco afetada pela intervenção humana, permitindo uma análise dos sistemas hídricos em um estado mais "natural". Até os anos 1970, quando o desmatamento massivo cresceu exponencialmente, a Amazônia mantinha de pé cerca de 99% de sua cobertura vegetal (Pádua, 2015, p. 236), então considerada nativa, já que somente a partir da década de 1980 a ecologia histórica, a arqueologia e a antropologia apontaram que menos do que "intocada", a floresta e sua alta biodiversidade resultam de muitos séculos de manejo pelos povos originários (Clement, 2008; Clement *et. al.*, 2015; Balée, 2013).

A proposta da limnologia amazônica como "ecologia de paisagem" representou um avanço significativo ao permitir uma análise funcional da "cadeia de reações e estrutura de efeitos" de forma abrangente. A abordagem holística da Amazônia como um "corpo harmônico" contribuiu para uma apreensão do "quadro geral" que estruturava as dinâmicas da paisagem. A noção de paisagem pode ser correlacionada à abordagem organicista de Thienemann e da ecologia alemã por implicar um regime de visualidade – uma apreensão pela vista, que, apesar de pressupor um enquadramento, busca ser abrangente e transmitir um senso de totalidade. Em uma de suas palestras, Thienemann argumentou que a percepção das "unidades de vida", que abrangiam

desde organismo individual até biocenoses e “unidades de ordem superior”, era uma forma visual de interpretar a natureza. Não se tratava de uma explicação causal, mas de uma interpretação que transcende essa abordagem, envolvendo intuição e uma postura contemplativa. Apenas combinando a intuição e um tipo particular de visão seria possível distinguir as formas (*Gestalten*) e, assim, perceber a “evidente” unidade da natureza (Jax, 2020, p. 132-3).

Além da ecologia de paisagens, Sioli ajudou a demarcar outra especialidade ao estruturar seu programa de pesquisa: a ecologia tropical, nome que deu ao departamento do Instituto de Limnologia de Plön dedicado ao estudo das questões amazônicas, que incluiu pesquisas sobre outras regiões nos trópicos. Em um relatório institucional, justificou essa escolha por duas razões: “assinalar os trópicos como o centro de gravidade do campo de trabalho” e para mostrar que os estudos não se limitavam à limnologia, mas consideravam as águas como elos de unidades mais abrangentes.

O contexto de surgimento desse departamento ilustra como as demarcações epistemológicas possuíam uma dimensão política. É preciso retroceder à nomeação de Sioli, em 1957, como sucessor de Thienemann na direção da mais antiga instituição especializada em hidrobiologia/ limnologia para deixar isso claro. Sioli havia desenvolvido sua carreira na Amazônia, inicialmente, como bolsista do Conselho Alemão de Pesquisas, depois como colaborador do Instituto Agrônomo do Norte (1945 a 1954) e, em seguida, como diretor do laboratório de hidrobiologia do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), criado em 1952, cargo que ocupava quando assumiu o lugar de Thienemann (Sioli, 1979; Junk, 2001; Sá e Silva, 2019). Ele havia publicado um número expressivo de trabalhos sobre as águas amazônicas mas não estava entre as figuras de maior projeção no campo. Sua escolha como sucessor de Thienemann gerou controvérsias, com alguns expoentes da limnologia internacional questionando sua competência científica e a relevância dos estudos amazônicos para a limnologia europeia (Moehler 07.11.1956). Havia a expectativa de que o posto fosse ocupado por alguém mais familiarizado com questões da limnologia na Europa, mais especificamente, na Alemanha, as quais gravitavam em torno de “problemas práticos” das águas como o manejo de águas residuais, problemas de abastecimento, questões relativas à pesca e a poluição de mananciais pela indústria. No pós-Segunda Guerra, o próprio Thienemann advertiu sobre a degradação ambiental das águas na Europa (Thienemann 24.10.1952, 08.06.1953, 26.11.1953; Thienemann, 1953). Em 1955, ele estabeleceu um programa de sensibilização do público sobre mudanças na provisão de água e a qualidade das águas naturais. Mudanças no abastecimento deveriam exigir a consulta a especialistas, leis especiais relativas às águas deveriam ser reforçadas e os rios deveriam ser monitorados em todo o seu curso, independente das fronteiras administrativas (Egerton, 2008).

Naquele contexto, pesquisas sobre as águas amazônicas estavam distantes do horizonte de preocupações da limnologia em Plön. Apesar das objeções, Sioli assegurou sua posição como diretor do Instituto em 1957. O plano que ele apresentou ao comitê administrativo da Sociedade Max Planck ilustra como defendeu uma concepção de limnologia que legitimava a continuidade dos investimentos nos estudos amazônicos (Sioli, 28.11.1957). Ele argumentou a favor da pesquisa teórica desvinculada de preocupações práticas imediatas e reforçou a limnologia como parte da ecologia. Para ele, as dimensões teóricas e aplicadas da limnologia eram entrelaçadas. Em termos de conhecimento teórico, argumentou que apesar de relevantes, atividades como coleta e classificação botânica e zoológica ou inventário das condições fisiográficas não eram a finalidade última da limnologia. Sioli demonstrou familiaridade com os principais horizontes de expansão para a limnologia. Defendeu a integração da pesquisa experimental,

minimizando o antagonismo entre estudos de laboratório e de campo e destacou a importância da produtividade biológica na limnologia. Sioli sugeriu ir além da mera produtividade orgânica: propôs uma “fisiologia do metabolismo” em ambientes aquáticos que incluía traçar a trajetória de materiais e suas transformações (Sioli, 28.11.1957).

Em sintonia com a perspectiva holística de Thienemann, Sioli compreendeu a limnologia como uma síntese ecológica destinada a entender a vida nos corpos d’água em sua totalidade. Como ecologia de paisagem, a limnologia deveria incluir os humanos na teia de interdependências ecológicas para contrabalançar os efeitos prejudiciais das ações antrópicas sobre as paisagens. Fenômenos como a superpopulação humana e os excessos da civilização técnico-industrial tornavam essencial o observar essas interdependências para a própria sobrevivência das sociedades (Sioli, 28.11.1957).

Sioli rejeitou a ideia de que problemas decorrentes das atividades humanas sobre os corpos d’água, como contaminação por esgoto e poluição, fossem temas centrais da limnologia, considerando-os expressões patológicas de paisagens afetadas pela civilização técnico-industrial. Ele argumentou que a limnologia deveria focar no estudo das águas como “unidades de vida”, enquanto que as “degenerações” da civilização moderna deveriam ser abordadas “do ponto de vista da toxicologia ou da patologia.” Sioli chegou a afirmar que o Reno sequer poderia ser considerado um rio, mas sim “um canal num leito artificial delimitado por bancos de cimento, que descarrega no mar os dejetos turvos de milhões de pessoas e de suas práticas econômicas, ao mesmo tempo em que é uma via de transporte.” (Sioli, 28.11.1957). Ele propôs que em Plön se distinguíssem claramente duas linhas de atuação: uma dedicada à pesquisa limnológica e outra ao manejo das águas residuais; uma dedicada à ecologia das águas e outra à patologia. “Como um organismo, uma paisagem também fica doente quando o equilíbrio interno é perturbado pelos humanidade, capaz de criar um deserto de civilização internamente desarmônico” (Sioli, 28.11.1957), esclareceu.

Sioli exemplificou os rendimentos teóricos e práticos da limnologia como “ecologia de paisagem” com seus próprios achados na Amazônia. Diferentemente das paisagens degradadas dos climas temperados, os trópicos permitiam examinar o papel das águas na fisiologia e morfologia das paisagens, por serem áreas pouco afetadas pelas atividades humanas. O *tropos* da natureza tropical intocada serviu para justificar os investimentos da limnologia na região amazônica. Ele também justificou o foco na Amazônia pelo fato de outras instituições na Europa se dedicarem a estudos tropicais, como o Instituto de Doenças Tropicais de Hamburgo e congêneres em países que, como a Alemanha, não mais possuíam colônias (Sioli, 28.11.1957).

Assim, Sioli esclareceu os administradores do Instituto de Limnologia de Plön como pretendia continuar as pesquisas sobre a ecologia amazônica, ao mesmo tempo em que não considerava prioritário integrar à agenda da instituição a questão das águas residuais. O registro do encontro em que Sioli apresentou seu plano de trabalho revela que sua proposta gerou muita discussão. Os membros do comitê decidiram que, antes de aprovar o plano, Sioli deveria se familiarizar com as pesquisas sobre os regimes hídricos realizadas na Europa e, em seguida, ajustar seu programa à luz dos novos conhecimentos (Bahlreich, 06.12.1957).

Os questionamentos aos estudos sobre a limnologia amazônica em Plön não cessaram após Sioli assumir a direção. Em suas memórias, ele relata que era visto como um “outsider” entre os limnólogos alemães e que “muitas influências poderosas” tentavam impedi-lo de seguir com os estudos que ele queria priorizar. Pressionavam-no para dedicar-se aos problemas

práticos da poluição dos rios alemães (Sioli, 1979, p. 247). O aumento dessa pressão externa levou-o, em 1966, a dividir o instituto em duas seções: além da seção de “ecologia tropical”, que agrupou os que se dedicavam à Amazônia, foi criada uma seção de “limnologia geral”, voltada principalmente aos problemas relacionados às águas na Europa. Isso permitiu que ele expandisse a equipe de ecologia tropical com ampla liberdade de pesquisa conferida pela Sociedade Max Planck (Sioli, 1979, p. 247). As “linhas gerais” que Sioli estabeleceu a partir da análise das águas amazônicas em suas “paisagens aquáticas”, ou seja, em suas interfaces com as características do solo, da vegetação, do perfil geológico, foram aprofundadas, revistas, ajustadas por um coletivo de pesquisadores. O clima entraria mais tarde nessa equação, em grande medida pelo intercâmbio com os achados desenvolvidos por Enéas Salati, do CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura) -USP e seu grupo. Como mencionado, Hans Klinge dedicou-se a pesquisas dos solos. Com William Rodrigues, do INPA, Klinge procurou determinar a biomassa vegetal e com Ernst Fittkau elaborou a hipótese de que a baixa biomassa de consumidores derivava dos baixos índices de nutrientes na vegetação das florestas da parte central da Amazônia. Georg Irion, por sua vez, indicou a incapacidade dos solos amazônicos de fixar grandes quantidades de nutrientes para o crescimento das plantas, sendo impraticável a substituição dos componentes deficientes por fertilizantes minerais em função do ciclo fechado de nutrientes. Karin Furch aprofundou estudos sobre os parâmetros físico-químicos das águas e Junk integrou as áreas alagadas ao horizonte de investigações, além de estudar o impacto das barragens nos regimes hídricos da região, exemplos indicativos da extensão do “mosaico” composto a partir dos “pontos fixos” estabelecidos por Sioli. O foco sobre ele é pelo protagonismo que ele teve na organização desse coletivo tanto em termos epistêmicos quanto institucionais. Não é possível detalhar essa expansão neste trabalho. Importa mencionar que ela envolveu estreita colaboração com parceiros brasileiros. O protagonismo de Sioli também se refletiu nas muitas negociações que ele travou para viabilizar que essa agenda fosse seguida tanto por brasileiros quanto por alemães, ainda que não necessariamente em termos equânimes (Gama e Velho, 2005). O INPA foi a base institucional dessa rede. Em 1965, Sioli fundou a revista *Amazoniana* com o então diretor do INPA, Djalma Batista (1916-1979), especializada em divulgar trabalhos relacionados à limnologia da Amazônia e estudos afins. Os estudantes e pesquisadores dedicados à ecologia tropical eram incentivados a passar uma temporada de estudos na Amazônia. Em 1961, o “discípulo” de Thienemann, Ernst Josef Fittkau, passou um período no INPA. Em 1969, Sioli formalizou um acordo de cooperação entre o INPA e o Instituto Max Planck de Limnologia. O acordo foi continuamente renovado e teve um papel relevante na formação de novos quadros envolvidos no estudo da ecologia da Amazônia, tanto no Brasil quanto na Alemanha (Gama, 2004; Junk *et. al.*, 2010). Após a aposentadoria de Sioli, em 1977, Wolfgang Junk, que já vinha se dedicando ao estudo das águas e da vegetação em regiões inundadas, assumiu a coordenação desse acordo.

Os desdobramentos da parceria entre Brasil e Alemanha na ecologia tropical são variados e complexos. Neste trabalho, destacamos que as pesquisas acompanharam os avanços na ecologia de modo geral. No contexto do Programa Biológico Internacional (*International Biological Program - IBP*), estabelecido pelo Conselho Internacional de Associações Científicas em 1964, Sioli e o grupo de Plön focaram no estudo da produção primária das águas amazônicas, ou seja, a produção de matéria orgânica em um corpo d’água, uma questão, como vimos relevante na limnologia. O tema ganhou destaque com o IBP, cujo foco era “As Bases Biológicas da Produtividade e o Bem-Estar Humano” (Aronova, Baker, Oreskes, 2010).

A complexidade das águas nos trópicos apresentava desafios significativos para o estudo da produção primária, devido à presença de “prados flutuantes” que afetavam a incidência da luz, bem como os diferentes níveis de turvação e de produção orgânica entre as águas brancas, negras e claras. Esses problemas tinham implicações práticas evidentes. Segundo Sioli (1973), esperava-se que esses estudos na Amazônia levassem “a uma utilização racional e não destrutiva de seus recursos, para o benefício material da espécie humana”.

O conceito de ecossistemas foi estruturante no desenho do IBP, permitindo “refinar os inquéritos biológicos tornando-os uma ciência ‘moderna’ fundamentada em princípios teóricos sólidos e que empregava métodos inovadores” (Aronova, Baker, Oreskes, 2010). O programa baseou-se na coleta e quantificação de dados em diferentes biomas usando métodos computacionais para criar modelos que ajudassem no manejo dos ecossistemas (Golley, 1993; Aronova, Baker, Oreskes, 2010). Embora não tenha alcançado todos os objetivos, o IBP impulsionou a ecologia de ecossistemas nas universidades e instituições de pesquisa (Aronova, Baker, Oreskes, 2010).

Sioli gradualmente adotou a nova linguagem da ecologia de ecossistemas e sua abordagem cibernética, mas relutou em aceitar todos os seus pressupostos epistêmicos. Ele passou a utilizar o conceito de ecossistema em seus estudos sobre os ambientes aquáticos da Amazônia, substituindo termos como biocenoses, “unidades de vida”, “organismos de ordem superior” ou “organismo harmônico”, comuns na limnologia europeia, especialmente na abordagem holística de Thienemann. Para Sioli, essa transição não representou um obstáculo significativo, pois ele via o ecossistema como uma versão moderna do “organismo harmônico” de Bluntschli, ou dos conceitos de Thienemann, adaptados à linguagem científica contemporânea (Sioli, 1986). O limnólogo Hans-Joachim Elster (1974) também reconheceu essa equivalência, argumentando que limnólogos, desde Forbes e Thienemann, já praticavam a ecologia de ecossistemas. No entanto, Jax (1998) questiona essa equiparação, destacando diferenças filosóficas entre o conceito de ecossistema e os formulados no contexto das filosofias organicistas.

Frank Golley (1993) argumentou que a persistência das abordagens holísticas organicistas retardou a adoção da ecologia de ecossistemas na Alemanha, devido à associação política com o nazismo. Em contrapartida, Jax (1998) apontou a continuidade dessas abordagens na ecologia alemã do pós-guerra como o fator que atrasou a pesquisa em ecossistemas na Alemanha. A correspondência entre as ideias organicistas e o conceito de ecossistema, segundo Jax (1998), ocorreu devido a interpretações vagas da nova terminologia. Sioli reconheceu esse caráter vago em seu trabalho: “O resultado dessa interação é uma unidade funcional na Terra, para a qual nós hoje usamos uma palavra um tanto quanto vaga: ecossistema.” (Sioli, 1973b, p. 321). Ele propôs uma concepção mais ampla de ecossistema, como uma unidade “maior que a soma das partes e consiste não apenas de uma rede de materiais e de energia, mas também de todo o esplendor dos fenômenos da vida” (Sioli, 1977, p. 793). Sioli criticou o que considerava uma abordagem centrada na quantificação, formalização matemática, elaboração de modelos e ferramentas computacionais. Segundo ele, os ecólogos priorizavam a abordagem cibernética, “negligenciando, ao mesmo tempo, outros caracteres efetivamente biológicos no contexto interno dos ecossistemas, como os problemas morfológicos, filogenéticos, fisiológicos, etológicos, psicológicos (Sioli, 1979b, p. 145). Sioli propôs que ao invés de se basear apenas em modelos, a ecologia de ecossistemas deveria se concentrar na elaboração de princípios e reconhecer os fatores elementares que determinam as características de cada conjunto. Além disso, defendeu uma abordagem menos rígida em termos quantitativos, reconhecendo os limites do conhecimento e tendo flexibilidade ao considerar as consequências das mudanças nos

ecossistemas. Ele alertou contra uma visão mecanicista como a que predominava na perspectiva cibernética, que arriscava tratar os seres humanos e outros organismos como meras “engrenagens pré-fabricadas de um mecanismo (...) sem qualquer destino ou experiências subjetivas” (Sioli, 1979b). Para ele o ecossistema era interessante para a pesquisa biológica por também compreender “toda a coloração da vida e a riqueza avassaladora em destinos que ele comporta e que igualmente constituem seu conteúdo” (Sioli, 1979, p. 156).

Em meio à devastação ecológica na Amazônia provocada pelos programas de desenvolvimento do regime militar, Sioli defendeu a limnologia como ferramenta crucial para entender as consequências do desmatamento (Sioli, 1973b, 1977, 1980, 1986). Após sua aposentadoria em 1977, ele continuou a denunciar os impactos ambientais até seus últimos anos de vida, falecendo em 2004, em Plön. Intervenções sobre os corpos d’água impulsionadas pelo credo desenvolvimentista se tornaram temas importantes da pesquisa limnológica na Amazônia. Seu sucessor, Wolfgang Junk, investigou os efeitos das barragens nos regimes hídricos (1979, 1980, 1981, 1983) e expandiu a cooperação Brasil-Alemanha em pesquisa ecológica. Junk igualmente contribuiu para ampliar os horizontes da limnologia ao estudar as áreas inundáveis, que impunham desafios à limnologia clássica pela complexidade ecológica. Ele criticou como a limnologia clássica era pouca atenta aos fenômenos ocorrentes nos trópicos, “que se poderia, de uma maneira exagerada, definir a limnologia como a ciência das águas temperadas” (Junk, 1980, p. 775). Ele defendeu o potencial das áreas tropicais para o estudo de formações ecológicas complexas como as zonas alagadas, já que modificações antrópicas como a construção de diques, de canais e a retificação de leitos haviam restringido a possibilidade de compreendê-las nas regiões temperadas (Junk, 1980). Junk igualmente expandiu o escopo dos estudos realizados no bojo da cooperação Brasil-Alemanha, ao incluir outras formações ecológicas, como as áreas inundáveis do Pantanal e a Mata Atlântica. Desde a proposta de estudar os lagos como “microcosmos” e de abordá-los a partir de uma perspectiva ecológica no final do século XIX, a limnologia ganhou novas configurações. As apropriações criativas das tradições científicas e o tráfego de conhecimentos entre diferentes espaços foram cruciais para essas transformações. As características materiais das águas amazônicas e seu enquadramento por tradições de pesquisa gestadas em outras regiões foram centrais nesse processo.

Considerações finais

A Sociedade Brasileira de Limnologia foi criada em 1982. O prêmio anual que ela concede aos trabalhos de destaque na disciplina leva o nome de Harald Sioli, em reconhecimento ao papel que ele teve na formação dos limnólogos no Brasil. Francisco de Assis Esteves, um dos principais nomes do campo, professor de limnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, é um dos formados por Sioli. Em um de seus escritos sobre a disciplina, Esteves (2011) afirma: “O limnólogo deve sair do lago e ir para a terra, se desejar entender o que ocorre dentro dele. Trazer a visão de Thieneman para a realidade atual significa dizer que é necessário incluir a dinâmica da paisagem e principalmente o homem na abordagem da limnologia moderna.” Esteves invoca a herança intelectual de Thienemann para defender a limnologia como estudo das dinâmicas de paisagem capaz de integrar em seu quadro de análise os efeitos das ações humanas.

A referência de Esteves a Thienemann destaca como a abordagem do limnólogo alemão repercutiu no desenvolvimento da limnologia brasileira. Não se trata tanto de uma linhagem

intelectual ininterrupta, que posiciona Thienemann como fonte de origem da disciplina no Brasil, mas sim de um exemplo de como sua forma particular de conceber e praticar a limnologia ressoou além de suas fronteiras originais. Este trabalho explora como o trânsito das ideias de Thienemann para a Amazônia, mediado por um de seus discípulos, impôs ajustes, mudanças e expansões. Essas transformações resultaram, por um lado, do caráter único das paisagens aquáticas na Amazônia, com sua enorme variedade de cursos d'água, em termos de fisionomia, composição química e propriedades, e sua estreita interface com outros componentes das paisagens, levando Sioli a se referir a elas como "paisagens aquáticas".

Não se trata de afirmar que os estudos limnológicos sobre a Amazônia realizados por Sioli e seus parceiros foram unilateralmente determinados pelos caracteres ambientais das águas. O argumento é que houve uma interação entre a materialidade dos corpos d'água e um "estilo de pensamento" holístico que Sioli adquiriu em sua formação, ao qual ele integrou outros diálogos e influências, incluindo estudos realizados por outros pesquisadores em instituições amazônicas. Esses diálogos envolveram também o profundo conhecimento que os habitantes locais, que haviam aprendido a interagir com as águas por gerações. Sem esses mediadores, as observações de Sioli durante seus muitos e longos percursos pelos rios não teriam sido possíveis. O quanto esse contato modelou seus achados é uma questão a ser explorada em outra análise.

Thienemann representou uma das vertentes que enquadrou a perspectiva em torno das águas amazônicas, mas não foi a única. A centralidade conferida às águas como elos finais de cadeias de reações e elementos imersos na estrutura das paisagens foi decisiva para elucidar os complexos e intrincados enredamentos que caracterizam a Amazônia. A imagem de um "organismo harmônico" organizado em torno das águas, como concebeu Bluntschli, pode ser vista como uma ideia-força que efetivou um programa de pesquisas, com saldo considerável no avanço da compreensão daquele bioma.

Os vários autores e conceitos discutidos neste trabalho mostram que a constituição de uma disciplina específica dedicada às "águas continentais" envolveu mananciais diversos que se comunicaram e se afetaram mutuamente na densa circulação de ideias, pessoas e abordagens que atravessaram o Atlântico marcante das ciências no século XX. Embora seja possível falar de "estilos" (Harwood, 1993) da limnologia na Alemanha, nos Estados Unidos ou no Brasil, houve intercâmbios e hibridizações que influenciaram os desenvolvimentos em todos esses contextos, com níveis diferenciados de alcance.

Com esse mapeamento sintético, a intenção foi mostrar como a perspectiva holística modelou uma forma específica de conhecer as águas, contribuindo para a estruturação da ecologia como disciplina individualizada. De certa forma, essa apreensão holística favorecida pelas águas continentais não foi inaugurada por Thienemann; ela estava presente na concepção de Forbes, dos lagos como microcosmos. Analisando a atuação de Forbes, Daniel Schneider descreve como ele absorveu as preocupações políticas de seus informantes, ultrapassando as fronteiras "entre o conhecimento local e científico, entre a ecologia pura e aplicada" e estabelecendo os contornos da ecologia "como ciência fundamentalmente conectada à política de transformação ambiental" (Schneider 2000, p. 684). O mesmo pode ser dito de Sioli, que construiu sua identidade profissional em referência à Amazônia, legitimou seu campo científico articulando as dimensões pura e aplicada e vocalizou na arena pública sua profunda preocupação com os efeitos perversos do desenvolvimentismo na região.

As águas foram os portais para a elucidação das complexas engrenagens da ecologia amazônica, e, ao mesmo tempo, os marcadores dos prognósticos sombrios que Sioli projetou para a Amazônia caso continuassem os programas de desenvolvimento. Para ele, a limnologia poderia alertar sobre os efeitos das intervenções danosas à ecologia amazônica, como também apontar para o planejamento de interações mais sinérgicas com as dinâmicas do ecossistema. Nesse sentido, ela poderia ser uma “ciência-ponte” capaz de promover uma abordagem ecológica não só de uma região específica, mas de toda a biosfera, conceito organizador do ambientalismo global a partir do final dos anos 1960: “Ora, este caráter da limnologia dirigido à procura de quanto ocorre num corpo de água, de sua vida total, não só é aplicável ao estudo das águas, como ainda constitui a base de uma abordagem ecológica para qualquer espaço geográfico e também para toda a Terra. Mais ainda: às seções da biosfera e, finalmente, a toda a biosfera” (Sioli, 1978). Ao estruturar um coletivo voltado ao estudo das paisagens aquáticas amazônicas em seus múltiplos aspectos, Sioli contribuiu para o processo de construção de uma rede transnacional de “observadores disciplinados” (Selcer, 2015) da qual dependeu a emergência da ideia de ambiente global. Desta forma ele ajudou a posicionar as ciências aquáticas como campos relevantes para o estabelecimento, circulação e legitimação do Antropoceno.

Apoio: CNPq; Rachel Carson Center for Environment and Society (RCC)

Referências bibliográficas:

- ANDRADE, R. P. *A Amazônia na Era do Desenvolvimento: Saúde, Alimentação, Meio Ambiente (1946-1966)*. Tese de Doutorado em História das Ciências e da Saúde. Rio de Janeiro, Casa de Oswaldo Cruz – Fiocruz, 2012.
- ARONOVA, E., BAKER, K., ORESKES, N. Big Science and Big Data in Biology: from the International Geophysical Year through the International Biological Program to the Long Term Ecological Research (LTER) Network, 1957–Present. *Historical Studies in the Natural Sciences*, v. 40, n. 2, 2010, p. 183–224.
- BAHLREICH. Vermerk Betr. Kuratoriumsitzung der Hydrobiologischen Anstalt am 29.11.1953 in Bad Nauheim. Göttingen, 6.12.1957. Notação: Abt. II, Rep. 66, Nr. 2343. Bd. 112. Arquivo Histórico da Sociedade Max Planck, Berlim.
- BALÉE, W. *Cultural Forests of the Amazon: a Historical Ecology of People and their Landscapes*. Tuscaloosa: Alabama University Press, 2013.
- BATISTA, D.; SIOLI, H. Introdução. *Amazoniana*, v. 1, n. 1, 1965, p. 1-7.
- BLUNTSCHLI, H. A Amazônia como Organismo Harmônico. Trad. Harald Sioli. *Cadernos do INPA*, v.1 Manaus, 1962.
- BOCKING, S. Stephen Forbes, Jacob Reighard, and the emergence of aquatic ecology in the Great Lakes region. *Journal of the History of Biology*, v. 23, n. 3, 1990, p. 461–498.
- COLEMAN, D. C. *Big Ecology: the Emergence of Ecosystem Science*. Berkeley/ Los Angeles/ London: University of California Press, 2010.
- CLEMENT, C. R. Crop Domestication in the Amazon. In SELIN, H. (Ed.). *Encyclopaedia of the History of Science, Technology, and Medicine in Non-Western Cultures*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2008. p. 1–7.
- COOPER, G. J. *The science of the struggle for existence: on the foundations of ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003
- DELEAGE, J.-P. *História da Ecologia: uma Ciência do Homem e da Natureza*. Lisboa, Dom Quixote, 1993.

Dos lagos temperados às águas amazônicas: a constituição histórica da limnologia como saber ecológico entre a Alemanha e o Brasil

- EGERTON, F. N. Thienemann, August F. In KOERTGE, N. (Ed). *New Dictionary of Scientific Biography*. Detroit: Charles Scribner's Sons/ Thomson Gale, 2008, p. 35-38.
- EGERTON, F. History of Ecological Sciences, Part 50: Formalizing Limnology, 1870s to 1920s. *Bulletin of the Ecological Society of America*, v. 95, n. 2, 2014, p. 131-153
- ELSTER, H.-J. (1974). History of limnology. *Internationale Vereinigung Für Theoretische und Angewandte Limnologie Mitteilungen*, v. 20, n. 1, p. 7–30.
- ESTEVES, F. A. *Fundamentos de Limnologia* (3ª ed.). Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- GAMA, W. N. G. *O papel do estado na regulação do acesso de pesquisadores estrangeiros na Amazônia brasileira na década de 1990: o caso do INPA*. Tese de Doutorado em Política Científica e Tecnológica). Campinas, Unicamp, 2004.
- GAMA, W. N. G.; VELHO, L. A cooperação científica internacional na Amazônia. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 54, 2005, p. 205-224.
- GOLLEY, F. B. *A History of the Ecosystem Concept in Ecology: More Than a Sum of the Parts*. New Haven, CT: Yale University Press, 1993.
- HAGEN, J. *An Entangled Bank: the Origins of Ecosystem Ecology*. New Brunswick: Rutgers University Press, 1992.
- HARWOOD, J. *Styles of Scientific Thought. The German Genetics Community 1900-1933*, Chicago 1993.
- HARRIS, M. Descobrendo conexões ao longo do rio no Baixo Amazonas, Brasil. *Anuário Antropológico*, v. 42, n. 1, 2017, p. 111-135.
- ILLIES, J.; SCHWABE, H. Limnologie und Ökologie. *Biologisches Zentralblatt*, 78, 1959.
- JAX, K. Holocoen and Ecosystem - On the Origin and Historical Consequences of Two Concepts. *Journal of the History of Biology*, v. 31, n. 1, 1998, p. 13–142.
- JAX, K. "Organismic" positions in early German-speaking ecology and its (almost) forgotten dissidents. *History and Philosophy of the Life Sciences*, v. 42, 2020, art. 44.
- JAX, K. Formation of Scientific Societies. In SCHWARZ, A.; JAX, K. (Eds) *Ecology revisited: Reflecting on Concepts, Advancing Science*. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer, 2011, p. 171-4.
- JUNK, W. J. Recursos hídricos da região amazônica: utilização e preservação. *Acta Amazonica*, v. 9, n. 4, 1979, p. 37–51.
- JUNK, W. J. Areas inundáveis—um desafio para limnologia. *Acta Amazonica*, v. 10, n. 4, 1980, p. 75–795.
- JUNK, W. J., ROBERTSON, B. A., DARWICH, A. J., & VIEIRA, I. Investigações limnológicas e ictiológicas em Curuá-Una, a primeira represa hidrelétrica na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, v. 11, n. 4, 1981, p. 689–717.
- JUNK, W. J. Aquatic habitats in Amazonia. *The Environmentalist*, v. 3(5 Supplement), 1983, p. 24–34.
- JUNK, W. Por ocasião dos 75 anos de Sioli. *Amazoniana*, v. 9, n. 3, 1985.
- JUNK W. 2001 Appraisal of the scientific work of Harald Sioli, *Amazoniana* XVI, n. 3/4, 2001, p. 285–297.
- JUNK, W. In KOHLHEPP, G.; SIOLI, H. *Gelebtes, geliebtes Amazonien: Forschungsreisen im brasilianischen Regenwald zwischen 1940 und 1962*. München: Pfeil, 2007, p.
- JUNK, W. J., SAINT-PAUL, U., WANTZEN, K.M., HENLE, K., DENICH, M. Tropenökologische Forschung in der Zusammenarbeit zwischen Deutschland und Brasilien: die Entwicklung der letzten 20 Jahre. In: COSTA, S., KOHLHEPP, G., NITSCHACK, H., SANGMEISTER, H. (Eds.) *Brasilien heute: geographischer Raum, Politik, Wirtschaft, Kultur* Bibliotheca Ibero-Americana 134. Vervuert, Frankfurt/M., S. 2010, p. 701 – 717
- JUNK, W., FERNANDEZ-PIEPADE, M.T., SCHONGART, J., COHN-HAFT, M., ADENEY, J.M., and WITTMAN, F. A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands. *Wetlands*, v. 31, p. 2011. 623–640.
- KINGSLAND, S. E. *The Evolution of American Ecology, 1890-2000*. Baltimore: John Hopkins University Press, 2005.

- KOHLHEPP, G.; SIOLI, H. *Gelebtes, geliebtes Amazonien: Forschungsreisen im brasilianischen Regenwald zwischen 1940 und 1962*. München: Pfeil, 2007.
- LARA, J. T. *Radioisótopos, Ciências da vida e Ecologia no Brasil (1949-2007)*. Tese (Doutorado em História das Ciências e da Saúde) - Casa de Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2024.
- LINTON, J. *What is Water? The History of a Modern Abstraction*. Vancouver/ Toronto: UBC Press, 2010.
- LOVEJOY, T. George Evelyn Hutchinson 13 January 1903 — 17 May 1991. *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, v. 57, 2011, p. 167-177.
- LUCIANO, E. The shape of Anthropocene: The early contribution of the water sciences. *Anthropocene Review*, v. 10, n. 3, 2023, p. 732-749.
- MCINTOSH, R. P. *The Background of Ecology: Concept and Theory*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.
- MENTZ, S. *An Introduction to the Blue Humanities*. London/ New York: Routledge, 2024.
- MILLS, E. L. *Biological Oceanography: an early History, 1870-1960*. Toronto: Toronto University Press, 2012.
- MITMAN, G. *The State of Nature: Ecology, community, and American Social Thought, 1900-1950*. Chicago: University of Chicago Press, 1992.
- MOEHLER, O. Brief an den Präsidenten der Max Planck Gesellschaft, Otto Hahn, 7.11.1956. Notação: Abt II, Rep. 66, Nr. 2343, Bd. 112. Arquivo Histórico da Sociedade Max Planck, Berlim.
- NATURE. This quiet lake could mark the start of a new Anthropocene epoch, 11/07/23. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-023-02234-z>
- OPPERMANN, S. *Blue Humanities*. Cambridge: Cambridge University Press, 2023.
- PÁDUA, J. A. A Mata Atlântica e a Floresta Amazônica na construção do território brasileiro: estabelecendo um marco de análise. *Revista de História Regional*, v. 20, n. 2, 232-251, 2015.
- PÁDUA, J. A.; CHAMBOULEYRON, R. Movimentos dos rios, movimentos da história. *Revista Brasileira de História*, v. 39, n. 81, 2019.
- PARRINELLO, G., BENSON, E. S., VON HARDENBERG, W. G. Estimated truths: water, science, and the politics of approximation. *Journal of Historical Geography*, v. 68, 2020, p. 3-10.
- PRATT, M. L. *Os olhos do Império: relatos de viagem e transculturação*. Bauru: Edusc, 1999.
- PIREDDU, P. L. The Relationship Between George Evelyn Hutchinson and Vladimir Ivanovic Vernadsky: Roots and Consequences of a Biogeochemical Approach. *Journal of the History of Biology*, v. 56, 2023, p. 339-363.
- ROBERTS, Lissa. "Situating Science in Global History: Local Exchanges and Networks of Circulation". *Itinerario*, v. 33, 2009, p 9-30.
- SA, D. M. ; SILVA, A. F. C. da. Amazônia Brasileira, Celeiro do Mundo: Ciência, Agricultura e Ecologia no Instituto Agrônomo do Norte nos anos 1940 e 1950. *Revista de História*, v. 178, 2019, p. 1-26.
- SANJAD, N. *A Coruja de Minerva: O Museu Paraense entre o Império e a República (1866-1907)*. Brasília: Instituto Brasileiro de Museus; Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi; Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz. 2010.
- SCHNEIDER, D. Local Knowledge, Environmental Politics, and the Founding of Ecology in the United States: Stephen Forbes and "The Lake as a Microcosm" (1887), *Isis*, v. 91, n. 4, p. 681-705, 2000.
- SCHNELLER, G. *Das Werk August Thienemanns. Die theoretische Begründung und Entwicklung und der ökologischen Limnologie und allgemeinen Ökologie zur eigenständigen Wissenschaft*. Frankfurt a. M.: Peter Lang, 1993
- SCHWARZ, A.; AX, K. Early Ecology in the German-Speaking World Through WWII. In: SCHWARZ, A.; AX, K. (Eds). *Ecology: Revisited. Reflecting on concepts, advancing science*. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer, 2011, p. 171-4.
- SECORD, J. A. Knowledge in transit. *Isis*, v. 95, 2004, p. 654-72.
- SELCER, P. Fabricating Unity: The FAO-UNESCO Soil Map of the World. *Historical Social Research / Historische Sozi-*

alforschung, v. 40, n. 2, 2015, p. 174-201.

SIOLI, H. *Gedanke über reine und angewandte Limnologie und über die zukünftigen Aufgaben der Hydrobiologischen Anstalt der Max Planck Gesellschaft*. Vortrag gehalten auf der Sitzung des Kuratoriums der Hydrobiologischen Anstalt der Max Planck Gesellschaft in Bad Nauheim am 28.11.1957. Notação: Abt II, Rep. 66, Nr. 2343, Bd. 112. Arquivo Histórico da Sociedade Max Planck, Berlim.

SIOLI, H. August Thienemann (7.9.1882-22.4.1960). *Mitteilungen aus der Max Planck Gesellschaft*, Heft 4, 1960, p. 200-206.

SIOLI, H. Introdução a Hans Bluntschli "A Amazônia como Organismo Harmônico". Manaus: Cadernos do INPA, 1962.

SIOLI, H. A limnologia e a sua importância em pesquisas da Amazônia. *Amazoniana*, v. I, n. I, 1965, p. 11-35.

SIOLI, H. Bemerkung zur Typologie amazonischer Flüsse. *Amazoniana*, v. I, n. I, 1965b, p. 74-82.

SIOLI, H. Studies in Amazonian waters, *Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica*, v. 3, Belém-PA, 1967, p. 9-50.

Sioli, H. (1968) Zur Ökologie des Amazonas-Gebietes. In: FITTKAU E. J. (eds.). *Biogeography and Ecology in South America*. The Hague: Dr. W. Junk Publishers, p. 137-170.

SIOLI, H. Principais biótopos de produção primária nas águas da Amazônia. *Boletim Geográfico*, v. 32, n. 236, 1973 p. 1-27.

SIOLI, H. Brazilian Amazon Region and Their Ecological Effects. In: MEGGERS, B.E. AYENSU & W.D. DUCKWORTH (Eds.). *Tropical Forest Ecosystems in Africa and South America: a Comparative Review*. Washington: Smithsonian Press, 1973b, p. 321-334.

SIOLI, H. Tropical Rivers as Expressions of Their Terrestrial Environment. In: Goley F, Medina E (eds) *Tropical Ecological System. Trend in Terrestrial and Aquatic Research*. New York: Springer-Verlag, 1975, p. 275-288.

SIOLI, H. Amazonasgebiet - Zerstörung des ökologischen Gleichgewichtes? *Geologische Rundschau*, v. 66, n. 3, 1977, p. 782-795.

SIOLI, H. Limnologia, a ciência. *Boletim Paulista de Geografia*, v. 55, 1978, p. 93-105.

SIOLI, H. My Life in the Amazon. *Biotropica*, v. II, n. 4, 1979, p. 241-250.

SIOLI, H. (1979b) Principles and Models as Tools for Ecosystem-Research, with examples from the Amazon Basin, *Biogeographica*, v. 16, 1979b, p. 145-158.

SIOLI, H. Foreseeable Consequences of Actual Development Schemes and Alternative Ideas. In BARBIRA SCAZZOCHIO, F. (ed.): *Land People and Planning in Contemporary Amazonia*. Proceedings of the Conference on the Development of Amazonia in Seven Countries, Cambridge, 23-26 Sept. 1979. Centre of Latin American Studies, Occasional Publications No. 3, Cambridge: Cambridge University, 1980, p. 257-268.

SIOLI, H. Introduction: History of the discovery of the Amazon and of research of Amazonian waters and landscapes. In SIOLI, H. (Ed.) *The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dordrecht: W. Junk Publishers, 1984, p. 1-14.

SIOLI, H. *Amazônia: Fundamentos da Ecologia da Maior Região de Florestas Tropicais*. Petrópolis-RJ: Editora Vozes, 1985.

SIOLI, H. A Ecologia Paisagista da Amazônia e as Perspectivas de uma Utilização Racional dos Recursos. In *Anais do I. Simpósio do Trópico Úmido*, v. I (Temas Multidisciplinares), 1986, p. 31-41.

SIOLI, H. Dr. Hans Klinge zur Vollendung des 60. Lebensjahres. *Amazoniana*, v. 11, n. 1, 1989, p. i-vi.

SIOLI, H. Introduction to the Symposium: Amazonia - Deforestation and Possible Effects. *Forest Ecology and Management*, v. 38, n. 3,4, 1991, p. 123-132.

SIOLI, H. 50 anos de pesquisas em limnologia na Amazônia. *Acta Amazonica*, 2006, vol.36, n.3, pp. 287-298.

SLACK, Nancy. G. *Evelyn Hutchinson and the Invention of Modern Ecology*. New Haven: Yale University Press, 2010.

SLATER, C. *Entangled Edens: visions of the Amazon*. Berkeley: University of California Press, 2002.

- STERNBERG, H. O'. Harald Sioli: Falece cientista apaixonado pela Amazônia. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi – Ciências Naturais*, v. 1, n. 1, 2005, p. 255-7.
- THIENEMANN, A. Letter to the Military Occupation Authorities concerning Hydrobiological Institute, Plön, 30 Jun. 1945. Notação: Abt III Rep. 66, Nr. 2342, Mappe 1 von 8. Arquivo Histórico da Sociedade Max Planck, Berlim.
- THIENEMANN, A. Letter to the Military Occupation Authorities concerning Hydrobiological Institute, Plön, 20 July 1945. Notação: Abt III Rep. 66, Nr. 2342, Mappe 1 von 8. Arquivo Histórico da Sociedade Max Planck, Berlim.
- THIENEMANN, A. Auszug – Vortrag an den Hochschul. Dienst. 8.6.1953 "Die Probleme der Wasserversorgung". Notação: Abt III Rep. 66, Nr. 2342, Mappe 1 von 8. Arquivo Histórico da Sociedade Max Planck, Berlim.
- THIENEMANN, A. Vortrag "Wasser und Gewässer in Natur und Kultur. Hauptversammlung der Max Planck Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften, am 24.10.1952 in Hamburg. Notação: Abt III Rep. 66, Nr. 2342, Mappe 1 von 8. Arquivo Histórico da Sociedade Max Planck, Berlim.
- THIENEMANN, A. Naturgemäß Pflege des Wasserhaushaltes – ein Gebot der Stunde, *Unser Wald*, Juli/ August 1953 (Sonderdruck). Notação: Abt III Rep. 66, Nr. 2342, Mappe 1 von 8. Arquivo Histórico da Sociedade Max Planck, Berlim.
- THIENEMANN, A. Zum Neubau der Plöner Institut, 26.11.1953. 7 fls. Notação: Abt III Rep. 66, Nr. 2342, Mappe 1 von 8. Arquivo Histórico da Sociedade Max Planck, Berlim.
- WALLACE, A.R. *A Narrative of Travels on the Amazon and Rio Negro with an Account of the Native Tribes, and Observations on the Climate, Geology, and Natural History of the Amazon Valley*. London, Ward, Lock, and Co., 1889
- WORSTER, D. *Nature's Economy: a History of Ecological Ideas*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

Recebido em fevereiro de 2024

Aceito em maio de 2024