



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA
(ILACVN)**

**CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – ECOLOGIA E
BIODIVERSIDADE**

PADRÕES LATITUDINAIS NA DIVERSIDADE DE MACROALGAS DE RIACHOS

MAYCON PEIXOTO XAVIER

Foz do Iguaçu
2019



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA
(ILACVN)**

**CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – ECOLOGIA E
BIODIVERSIDADE**

PADRÕES LATITUDINAIS NA DIVERSIDADE DE MACROALGAS DE RIACHOS

MAYCON PEIXOTO XAVIER

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas: Ecologia e Biodiversidade.

Orientador: Prof. Dr. Cleto Kaveski Peres

Foz do Iguaçu
2019

MAYCON PEIXOTO XAVIER

PADRÕES LATITUDINAIS NA DIVERSIDADE DE MACROALGAS DE RIACHOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas: Ecologia e Biodiversidade.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Cleto Kaveski Peres
UNILA

Prof. Dr. Samuel Fernando Adami
UNILA

Msc. Richard Wilander Lambrecht
UNILA

Foz do Iguaçu, _____ de _____ de _____.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): _____

Curso: _____

Tipo de Documento	
(.....) graduação	(.....) artigo
(.....) especialização	(.....) trabalho de conclusão de curso
(.....) mestrado	(.....) monografia
(.....) doutorado	(.....) dissertação
	(.....) tese
	(.....) CD/DVD – obras audiovisuais
	(.....) _____

Título do trabalho acadêmico: _____

Nome do orientador(a): _____

Data da Defesa: ____/____/____

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública [Creative Commons Licença 3.0 Unported](#).

Foz do Iguaçu, ____ de _____ de _____.

Assinatura do Responsável

Dedico este trabalho aqueles que defendem a educação e a ciência como um bem acessível a todos!

AGRADECIMENTOS

Difícil é poder agradecer a todos que contribuíram com a minha formação como cientista e para a realização deste trabalho. Por isso, limito-me a agradecer aos que participaram e me apoiaram nessa jornada da graduação.

Gostaria de começar agradecendo ao meu orientador e querido amigo, Dr. Cleto Kaveski Peres, que têm me acompanhado e orientado desde a sua querida disciplina de Diversidades de Algas e Fungos e seguindo pelos mais doidos projetos de IC, com altas doses de genial criatividade.

Gratidão aos integrantes da banca, Dr. Samuel Fernando Adami e Msc. Richard Wilander Lambrecht, por aceitarem ao convite e pelas preciosas sugestões.

Pelo auxílio com as ferramentas de geoprocessamento, que têm sido uma maneira genial de abordar questões ecológicas, agradeço novamente ao professor Dr. Samuel Fernando Adami. Pelas ideias e pelas sugestões de fontes de dados biogeográficos, obrigado Dr. Peter Lowenberg.

Mãe e Pai, Sra Marta e Sr. Francisco, sou muito grato a vocês pela educação que me deram e grato, também, pelo apoio e pelo carinho que me impulsionam a nunca desistir dos meus sonhos. Irmã, Mayara, e sobrinhas Samantha e Caroline, obrigado por cuidarem dos nossos véios em minha ausência e claro, obrigado por serem sempre tão carinhosas.

À toda minha unida “grande família” pelo carinho, e agradecer, especialmente, aos meus camaradas e irmãos Renan “carioca” e Wesley por terem topado essa ideia louca de vir, juntos, ao Sul em busca do sonho latino-americano.

Às pessoas maravilhosas que tive a oportunidade de conhecer na UNILA. Cada amigo e amiga. Cada amor vivido. Gracias chiquilines!

À cada professor, técnico e estudante que constroem a cada dia, um curso de Ciências Biológicas-Ecologia e Biodiversidade e uma UNILA com excelência, representando com dignidade a ciência latino-americana.

Por fin, quisiera agradecer a la vida por haber me dado tanto!

*A grama era mais verde
A luz era mais brilhante
O sabor era mais doce
As noites maravilhosas
Rodeado pelos amigos
A brilhante névoa do amanhecer
A água correndo
O rio sem fim
Para sempre e sempre
Pink Floyd – High Hopes*

XAVIER, Maycon Peixoto. **Padrões Latitudinais na Diversidade de Macroalgas de Riachos** 2019. 46p. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas: Ecologia e Biodiversidade) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2019.

RESUMO

A distribuição geográfica das espécies não é uniforme, e tende a variar em resposta aos fatores no ambiente. Padrões de distribuição latitudinal, por exemplo, têm sido um dos mais investigados. No entanto, estudos para a distribuição espacial, em grandes escalas, de macroalgas de riachos são quase escassos. Com isso, o objetivo do presente estudo foi o de avaliar se o padrão de distribuição global da diversidade (α , β e γ) de macroalgas de riachos respondia a um gradiente latitudinal, e quais seriam os fatores que em grandes escalas poderiam estar estruturando cada comunidade à nível regional. Para a realização deste estudo, dados de ocorrência de espécies (dados bióticos com dados de coordenadas) foram retirados de 31 regiões do planeta. Dados climáticos e geológicos foram extraídos a partir de arquivos georreferenciados (rasters) para testar que fatores poderiam estar estruturando os padrões de distribuição. A partir de uma análise HP (análise de partição hierárquica), foi possível verificar quais fatores explicavam os padrões para cada diversidade (α , β e γ). O presente estudo demonstrou que a distribuição de macroalgas de riachos responde ao gradiente latitudinal. Os padrões de distribuição global das diversidades α e γ apresentaram um padrão de estruturação latitudinal similar e inesperado. Em ambos os casos, a diversidade foi baixa nos extremos (trópicos e pólos) e apresentou um pico nas latitudes de 40° (regiões temperadas). O padrão de diversidade γ não pôde ser explicada por nenhuma das variáveis selecionadas. O padrão de diversidade α , por outro lado, foi explicado pela correlação positiva da diversidade com as variáveis carbono orgânico no solo (COS) e nível de conservação regional (NCR). Por fim, a distribuição da diversidade β , ademais de apresentar o padrão esperado, apresentou um padrão linear negativamente correlacionado com a latitude, o que reforçou que a distribuição das macroalgas de riachos (diversidade β) provavelmente siga as regras descritas por Rapoport (1982) para a distribuição latitudinal de espécies. Para esse padrão, correlações negativas da diversidade com as variáveis COS e variação sazonal de temperatura (VST), se apresentaram como boas explicações para tal. A partir destes processos de estruturação identificados espera-se um incremento no poder de previsão para a variação das comunidades macroalgais de riachos em grandes escalas.

Palavras-chave: Alga. Latitude. Macroecologia. Comunidade. Limnologia.

XAVIER, Maycon Peixoto. **Padrões Latitudinais na Diversidade de Macroalgas de Riachos** 2019. 46p. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas: Ecologia e Biodiversidade) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2019.

ABSTRACT

The geographic distribution of species is not uniform, and tends to vary in response to factors in the environment. Latitudinal distribution patterns, for example, have been one of the most investigated. However, studies for the spatial distribution, on large scales, of macroalgae of streams are scarce. The objective of the present study was to evaluate if the global distribution pattern of the diversity (α , β and γ) of streams macroalgae responded to a latitudinal gradient, and what would be the factors that in large scales could be structuring each community at regional level. For this study, species occurrence data (biotics data more coordinated data) were taken from 31 regions of the planet. Climatic and geological data were extracted from georeferenced files (rasters) to test what factors might be structuring distribution patterns. From an HP analysis (hierarchical partition analysis), it was possible to verify which factors explained the patterns for each diversity (α , β and γ). The present study demonstrated that the distribution of macroalgae of streams responds to the latitudinal gradient. The global distribution patterns of α and γ diversities presented a similar and unexpected pattern of latitudinal structuring. In both cases, the diversity was low in the extremes (tropics and poles) and presented a peak in latitudes of 40° (temperate regions). The diversity γ pattern could not be explained by any of the selected variables. The diversity α pattern, on the other hand, was explained by the positive correlation of diversity with the variables soil organic carbon (COS) and regional conservation level (NCR). Finally, the distribution of β diversity, in addition to presenting the expected pattern, presented a linear pattern negatively correlated with latitude, which reinforced that the distribution of streams macroalgae (β diversity) probably follow the rules described by Rapoport (1982) for the latitudinal distribution of species. For this pattern, negative correlations of diversity with the COS variables and temperature seasonality (VST) were presented as good explanations for this. From these identified structuring processes it is expected an increase in the prediction power for the variation of macroalgal communities of streams at large scales.

Key words: Algae. Latitude. Macroecology. Community. Limnology.

XAVIER, Maycon Peixoto. **Padrões Latitudinais na Diversidade de Macroalgas de Riachos** 2019. 46p. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas: Ecologia e Biodiversidade) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2019.

RESUMEN

La distribución geográfica de las especies no es uniforme y tiende a variar en respuesta a los factores del entorno. Los patrones de distribución latitudinal, por ejemplo, han sido uno de los más investigados. Sin embargo, los estudios para la distribución espacial, en grandes escalas, de macroalgas de arroyos son escasos. El objetivo del presente estudio fue evaluar si el patrón de distribución global de la diversidad (α , β y γ) de las macroalgas de arroyos respondía a un gradiente latitudinal, y cuáles serían los factores que a gran escala podrían estar estructurando cada comunidad a nivel regional. Para este estudio, se tomaron datos de la ocurrencia de especies (datos bióticos con datos de coordenadas) de 31 regiones del planeta. Los datos climáticos y geológicos se extrajeron de archivos georreferenciados (rasters) para probar qué factores podrían estar estructurando los patrones de distribución. A partir de un análisis de HP (análisis de partición jerárquica), fue posible verificar qué factores explicaron los patrones para cada diversidad (α , β y γ). El presente estudio demostró que la distribución de macroalgas de arroyos responde al gradiente latitudinal. Los patrones de distribución global de las diversidades α y γ presentaron un patrón similar e inesperado de estructuración latitudinal. En ambos casos, la diversidad fue baja en los extremos (trópicos y polos) y presentó un pico en latitudes de 40° (regiones templadas). El patrón de diversidad γ no pudo ser explicado por ninguna de las variables seleccionadas. El patrón de diversidad α , por otro lado, se explicó por la correlación positiva de la diversidad con las variables carbono orgánico en el suelo (COS) y el nivel de conservación regional (NCR). Finalmente, la distribución de la diversidad β , además de presentar el patrón esperado, presentó un patrón lineal correlacionado negativamente con la latitud, lo que reforzó que la distribución de las macroalgas de arroyos (diversidad β) probablemente siga las reglas descritas por Rapoport (1982) para la distribución latitudinal de las especies. Para este patrón, las correlaciones negativas de la diversidad con las variables COS y la variación estacional de la temperatura (VST) se presentaron como buenas explicaciones para tal. A partir de estos procesos de estructuración identificados, se espera un aumento en el poder de predicción para la variación de comunidades macroalgales de arroyos a grandes escalas.

Palabras clave: Alga. Latitud. Macroecología. Comunidad. Limnología.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 BIODIVERSIDADE, O QUE É E COMO MENSURAR?.....	12
1.1.1 Diversidade de Algas.....	13
1.2 RIACHOS E MACROALGAS.....	14
1.3 PADRÕES GLOBAIS PARA A DISTRIBUIÇÃO DA BIODIVERSIDADE.....	16
1.4 OBJETIVOS.....	19
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
2.1 COLETA DE DADOS SOBRE DISTRIBUIÇÃO GLOBAL.....	20
2.2 DADOS CLIMÁTICOS E GEOLÓGICOS.....	21
2.3 ANÁLISE DOS DADOS.....	22
3 RESULTADOS.....	24
3.1 LATITUDE E DIVERSIDADE.....	24
3.2 ANÁLISE DE PARTIÇÃO HIERÁRQUICA.....	26
4 DISCUSSÃO.....	31
4.1 DIVERSIDADES ALFA E GAMA.....	31
4.2 DIVERSIDADE BETA.....	34
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
REFERÊNCIAS.....	37
APÊNDICES.....	43
APÊNDICE 1 – ÁREAS AMOSTRADAS.....	44
APÊNDICE 2 – CARBONO ORGÂNICO NO SOLO.....	45
APÊNDICE 3 – VARIAÇÃO SAZONAL DE TEMPERATURA	46

1 INTRODUÇÃO

1.1 BIODIVERSIDADE, O QUE É E COMO MENSURAR?

Biodiversidade é, em termos simples, toda a vida em suas mais variadas formas, englobando desde genes até paisagens à luz da sua composição, estrutura e função (Primack *et al.* 1998). Essa hierarquia de níveis organizacionais está implícita na definição desenvolvida pela ONU em sua Convenção sobre Diversidade Biológica de 1992, que assume que a biodiversidade é a variabilidade entre organismos vivos desde seus recursos, em qualquer tipo de ambiente: isso inclui diversidade dentro e entre espécies e também diversidade de ecossistemas (Magurran 2010). Esta diversidade não está uniformemente distribuída pelo planeta, onde determinadas áreas tendem a apresentar maiores riquezas e/ou maior quantidade de indivíduos que outras (Magurran 2010). Esses padrões globais de distribuição não são, nem nunca foram estáticos, e estão sendo moldados pela evolução biológica e pela transformação do planeta também (Primack *et al.* 1998).

Entender e conservar a biodiversidade é algo extremamente importante, pois além de sua importância cênica e/ou paisagística, mantê-la conservada pode ser sumamente utilitarista. Isso porque a mesma nos brinda uma gama de bens primários e serviços ecossistêmicos, dos quais somos dependentes, tal como os recursos pesqueiros, que são em sua grande maioria “selvagem” ou seja dependente exclusivamente de um sistema natural, dentre vários outros recursos como qualidade do ar, da água e de solos (Magurran 2010). Na prática, avaliar o quão biodiverso pode ser nosso planeta e o que essa biodiversidade nos traz, depende de que especifiquemos sobre que aspecto da biodiversidade, e em que espaço e tempo, nós queremos avaliá-la (Magurran 2010). É comum considerar a composição e a abundância relativa de uma comunidade, assembleia, população, etc. em determinado lugar, ou a diversidade genética associada às espécies que ali estão; ou até como as comunidades ou biomas tem se transformado ao longo do tempo em

determinada região biogeográfica (Magurran 2010).

Uma forma simples de avaliar a biodiversidade é comparando duas ou mais localidades a partir da composição e/ou riqueza. Assim, a riqueza local é denominada diversidade α (alfa), a partir da diversidade α afirma-se o quanto um local é mais diverso (por número de espécies) que o outro (Bowman *et al* 2017). Outro índice para a comparação a partir de dados sobre composição de espécies é a de diversidade β (beta), que pretende medir a variação na composição entre os diferentes locais. Com a medida de diversidade β pode-se avaliar o quão redundante é a diversidade entre os locais de uma determinada região, assim quão maior a variação da composição entre os locais em uma dada região, mais biodiversa ela é (Bowman *et al.* 2017). Por último, está a composição geral de uma determinada região, a qual denominamos diversidade γ (gama), e serve para a comparação bruta entre diferentes regiões biogeográficas (Bowman *et al* 2017).

1.1.1 Diversidade de Algas

Algas são os produtores primários de maior sucesso ocupando ambientes de riachos e são, na maior parte daqueles lugares, a principal fonte de recurso de energia para maiores níveis tróficos (Allan & Castillo 2007; Necchi 2016). Algas são organismos de alta plasticidade e com estratégias de vida oportunista que lhes permitem explorar melhor os ambientes lóticos, que apresentam grande instabilidade ao longo do tempo (Allan & Castillo 2007; Necchi 2016). Alguns padrões de biomassa e estrutura da comunidade de algas na natureza são claros, e estes podem ser explicados por vários tipos de gradientes, o que basicamente está relacionado a nutrientes, disponibilidade de luz, e perdas (por distúrbios e herbivoría) (Necchi 2016). Estes gradientes operam desde escalas espaciais pequenas a grandes (de habitats aos biomas) e por períodos de semanas a anos (Necchi 2016).

As macroalgas bentônicas são definidas como aglomerações celulares, de possível visualização a olho nu, que possuam talo filamentoso,

parenquimatoso ou colonial, onde um exame microscópico geralmente é necessário para realização da identificação taxonômica (Sheath & Cole 1992; Oliveira 2011; Peres 2011). As algas são plantas representadas por um grupo diverso e que melhor está relacionado funcional-ecologicamente do que evolutivamente, compreendendo a todos os organismos que realizam fotossíntese cloro-oxigênica, exceto organismos que conformam o grupo Embryophyta - “plantas terrestres” (Bolton 2016). Elas são encontradas em oceanos, em lagos, ou em rios. Este estudo tratará daquelas que são encontradas em ambientes aquáticos lóticos (rios, riachos, córregos, sangas, etc.)

As principais linhagens representadas em ambientes lóticos são: Chlorophyta, Charophyta, Rhodophyta, Heterokontophyta (Chrysophyceae, Phaeophyceae, Xanthophyceae e Bacillariophyceae) - eucariontes; e Cyanobacteria - procariontes (Necchi Jr. *et al.* 1991; Sheath & Cole 1992; Hu & Xie 2006; Branco *et al.* 2010). Dentre as quais aquelas de maior riqueza e mais distribuídas são Chlorophyta e Cyanobacteria (Sheath & Cole 1992; Hu & Xie 2006). Rhodophyta apesar de não contribuir, consideravelmente, em riqueza de espécies, está representada por espécies bem distribuídas e abundantes, que têm importante contribuição para a produtividade primária e abrigo para outros organismos naqueles ambientes (Graham *et al.* 2009; Necchi *et al.* 2008; Oliveira 2011).

1.2 RIACHOS E MACROALGAS

Ambientes aquáticos continentais são de natureza peculiar, e historicamente têm tido importância para a ecologia, pois facilitam estudos com enfoque ecossistêmico (somente lagos) e/ou de ecologia de comunidades (rios e lagos) (e.g. Lindeman 1942; Hutchinson 1961), graças a que estes apresentam limites bem definidos (Jackson *et al.* 2001). Ambientes deste tipo estão representados em variadas formas, no entanto podem ser basicamente definidos em lênticos ou lóticos (Roth *et al.* 2009). Ambientes lóticos segundo Maitland

(1990), se diferenciam dos lênticos por conta do fluxo unidirecional, da ausência de estratificação térmica, da alta variação nas condições físico-químicas e estruturais, e do fluxo mais intenso de nutrientes. Para Necchi (2016), essa diferença estrutural não é absolutamente clara, visto que lagos podem apresentar fluxos e que grandes rios podem apresentar baixo fluxo em determinado setor e/ou momento. No entanto, o mesmo autor afirmou que há uma clara e importante diferença entre um ambiente e outro quanto à estruturação das comunidades de algas e ao hábito algal predominante. Neste sentido, a predominância de algas planctônicas é bastante comum em lênticos e a de algas bentônicas em lóticos, visto que a estratégia de fixação no substrato termina sendo um fator determinante para a predominância desse hábito por sobre aquele das algas planctônicas.

Ambientes lóticos são espaço-temporalmente heterogêneos, apresentando quatro dimensões: i) a longitudinal, que une a cabeceira à foz; ii) a lateral, que conecta o canal à planície de inundação e a vegetação marginal; iii) a vertical, que liga o canal à zona hiporréica e ao escoamento superficial e; iv) a temporal, que conecta todas as demais dimensões à variação sazonal (Ward 1989). Ambientes lóticos estão extremamente conectados com o ambiente terrestre que os cerca, e são bastante influenciados por estes. Nesse sentido, a ecologia de ambientes lóticos tende a considerar um rio e sua superfície de drenagem como algo único (Townsend 2009), visto que a natureza geológica exerce grande influência sobre as características físico-químicas do ambiente aquático (turbidez, condutância específica e pH, por exemplo) (Biggs 1995).

A teoria do rio contínuo apresentada por Vannote *et al.* (1980), se tornou um grande paradigma na limnologia. Considerando a classificação hierárquica dos ambientes lóticos (ordens), os autores descreveram uma importante dinâmica integradora (longitudinal) entre produtividade, cadeia alimentar e nutrientes em cada ordem. Sobre a produtividade e o aporte nutricional, algumas previsões foram feitas: i) em cabeceiras, altamente sombreadas de 1ª à 3ª ordem, espera-se que o aporte da produtividade e nutrientes seja em maior parte alóctone, advindo da entrada de matéria orgânica

(serrapilheira) e/ou da lixiviação. No entanto, havendo também um pequeno aporte autóctone advindo, principalmente de algas bentônicas e alguns outros micróbios quimiotróficos; ii) em riachos de 4^a à 6^a ordem, espera-se que o aporte de produtividade seja em maior parte autóctone, com destaque para as algas bentônicas e algumas outras plantas aquáticas, mas ainda com aporte nutricional sendo em grande parte alóctone procedente da lixiviação desde as margens; e por último, iii) em grandes rios de 7^a ordem à foz, espera-se que o aporte de produtividade seja em maior parte autóctone, havendo discreta presença de algas bentônicas e outras plantas aquáticas por conta da maior profundidade, com maior importância do fitoplâncton. Tendo, também como aporte nutricional aquela matéria que flui desde as cabeceiras (Vannote *et al.* 1980; Allan & Castillo 2007). Em resumo, as diferenças ambientais em cada hierarquia conferem variações na estrutura das comunidades destes ambientes.

Peres *et al.* (2017) comprovaram que a influência da fitofisionomia marginal em riachos é importante na estruturação das assembleias de macroalgas verdes (Chlorophyta) de ambientes subtropicais. Naquele estudo encontraram que em regiões com predomínio de riachos de margens sem cobertura vegetal, a riqueza tendeu a ser maior que naquelas predominadas por riachos cobertos. A informação do trabalho acima pode indicar que essa diferença seja observada não só naquelas assembleias como também em comunidades, visto que as algas verdes são um dos grupos mais predominantes (riqueza e abundância) nas comunidades de macroalgas de riachos em todo o mundo (ver Necchi 2016). Esse padrão pode ser explicado pelo bloqueio à entrada de luz em segmentos de pequeno porte (riachos são exemplos). Este efeito potencializado à nível regional, termina aumentando a riqueza local (Peres *et al.* 2017).

1.3 PADRÕES GLOBAIS PARA A DISTRIBUIÇÃO DA BIODIVERSIDADE

A diversidade biológica local é o resultado da riqueza regional de espécies interagindo com as condições ambientais locais e processos

ecológicos que governam o subconjunto de espécies em um local (Bowman *et al.* 2017). Padrões geográficos, sejam climáticos ou geológicos, em grande escala influenciam o conjunto de espécies regionais; e o conjunto regional, por sua vez, afeta indiretamente a estruturação das comunidades locais (Bowman *et al.* 2017). Área disponível e processos históricos estão entre os principais fatores influenciando na diversidade regional (Allan & Castillo 2007; Bowman *et al.* 2017). Assim, a variação na riqueza regional de espécies resulta dos processos de especiação, das diferentes capacidades de dispersão das espécies e das oportunidades históricas de dispersão (Bowman *et al.* 2017). Em consideração à área, simplesmente onde há mais espaço se assume que potencialmente haverá mais espécies (Bowman *et al.* 2017). Sobre processos históricos, o fato de que exista maior diversidade nos trópicos consiste também em que as regiões temperadas e polares foram submetidas a grandes mudanças climáticas naturais e de longo prazo, o que incrementou o gradiente latitudinal e altitudinal de riqueza de espécies (Bowman *et al.* 2017). O padrão de gradiente latitudinal de distribuição, é bastante reconhecido, com o aumento na riqueza de espécies desde as regiões polares às equatoriais, havendo poucas exceções (Allan & Castillo 2007; Butlin *et al.* 2009; Necchi 2016; Bowman *et al.* 2017). Tal padrão latitudinal está fortemente influenciado por processos históricos tal como as grandes glaciações, que levaram à grandes extinções (Bowman *et al.* 2017). Ademais, a relativa estabilidade climática que se mantêm nos trópicos permite maior produtividade e maior diversidade de habitats (Bowman *et al.* 2017). Essas condições, por sua vez, permitem uma maior especialização dos organismos, a partir por exemplo de interações bióticas (Allan & Castillo 2007; Bowman *et al.* 2017), o que aumenta também a especiação (Butlin *et al.* 2009).

Os trópicos (entre 23,5°N e 23,5°S) são caracterizados por alta pluviosidade e temperaturas quentes e invariantes. Nas regiões subtropicais que fazem fronteira com os trópicos, a precipitação torna-se mais sazonal, com estações secas e chuvosas pronunciadas (Bowman *et al.* 2017). Os principais desertos do mundo estão associados às zonas de alta pressão a cerca de 30°N e 30°S, e aos efeitos de barreiras das grandes cadeias montanhosas (Bowman

et al. 2017). Temperaturas sub-congelantes durante o inverno são uma das características mais importantes das zonas temperadas e polares. A quantidade de precipitação ao norte e ao sul dos 40° varia dependendo da proximidade do oceano e da influência das cadeias montanhosas (Bowman *et al.* 2017). Ademais do gradiente latitudinal, um gradiente longitudinal tem sido apontado em alguns casos como tão importante quanto o latitudinal, onde as variações no regime de chuvas ou na média de temperatura podem ter a ver com o relevo (gradiente altitudinal), proximidade de uma área com algum oceano, etc. (Hawkins & Diniz-Filho 2004), e/ou características geológicas das bacias de drenagem (Biggs 1995).

Para espécies em ambientes de regiões temperadas e/ou polares espera-se que a estratégia de vida predominante seja a de tipo generalista (Rapoport 1982). Em riachos, as espécies generalistas ocorrem em ampla extensão geográfica adaptadas para várias condições ambientais; estes táxons podem inclusive ocorrer em lagos ou lagoas (Necchi 2016). Um exemplo de espécie generalista é a alga verde *Cladophora glomerata* que têm sido encontrada amplamente distribuída na Europa e na América do Norte (eg. Whitton 1984; Sheath *et al.* 1986; Sheath *et al.* 1988; Cazaubon *et al.* 1995; Johnson 2002). Para algas em ambientes de regiões tropicais a estratégia predominante, esperada, é a de tipo especialista. Espécies especializadas com um conjunto bastante restrito de requisitos ecológicos são limitadas em sua distribuição e podem estar restritas a certas regiões geográficas (Santelices & Marquet 1998). Alguns estudos listaram um número de espécies exclusivas de diferentes grupos de algas encontradas em apenas um ou poucos locais de amostragem e podem ser classificadas dentro desta categoria (Necchi 2016). Os táxons especialistas são restritos a um tipo específico de habitat, ou seja pontualmente (Necchi 2016). Sistemas isolados alimentados por nascentes, por exemplo, têm o potencial de conter certas espécies de algas restritas, como a alga vermelha *Sheathia boryana* (Abdelahad *et al.* 2015).

Esse padrão de distribuição latitudinal para espécies generalistas e especialistas está de acordo com a proposta de Rapoport (1982),

que o defendeu como padrão geral para a biodiversidade. A regra de Rapoport, como é conhecida, afirma que organismos que evoluíram em altas latitudes desenvolveram maior tolerância à variação ambiental, por conta da pressão do ambiente mais instável sazonalmente (Santelices & Marquet 1998). Assim, estes organismos atualmente podem ocupar maior amplitude espacial tolerando melhor a grande amplitude térmica daqueles ambientes (Rapoport 1982; Santelices & Marquet 1998). Por outro lado, a estabilidade climática como já dito acima, permite o estabelecimento de uma grande quantidade de espécies especialistas, que se restringem a um determinado tipo de ambiente (Rapoport 1982; Santelices & Marquet 1998). As espécies especialistas dependem de condições peculiares, restritas a alguns habitats, e com isso, terminam apresentando uma distribuição mais restringida (Santelices & Marquet 1998).

1.4 OBJETIVOS

A proposta deste estudo emerge de uma necessidade de abordar de forma mais complexa a estruturação das comunidades de macroalgas de riachos a partir de fatores biogeográficos e macroecológicos. Esse tipo de investigação é escassa ainda, havendo até o momento um único estudo (Sheath & Cole 1992), que avaliou, restritamente, a biogeografia de macroalgas de riachos na América do Norte e Caribe. O estudo de Sheath e Cole (1992) não utilizou os índices de diversidades α , β e γ como ferramenta de interpretação dos padrões biogeográficos. Assim, a partir de dados obtidos em estudos anteriores em várias partes do mundo, o estudo teve como objetivo verificar a contribuição dos fatores climáticos e geológicos caracterizados em gradientes espaciais (latitude), sobre a diversidade de macroalgas.

Conhecendo o que a literatura nos apresenta acerca das estratégias dos organismos nas diferentes regiões (polar, temperada e tropical), e dos padrões comumente apresentados na natureza, o presente estudo tem como predições encontrar que: i) o padrão global de distribuição de macroalgas responde aos gradientes geográficos; ii) a tendência no aumento do número de

espécies na escala regional (diversidade γ) com a diminuição da latitude, seguindo os padrões geralmente apresentados para outros grupos taxonômicos; iii) tendência de aumento dos valores de diversidade β (comunidades locais mais dissimilares) com a diminuição da latitude, ocasionado pela predominância de estratégias especialistas naquelas regiões; iv) tendência de aumento no número local de espécies (diversidade α) com a diminuição da latitude, tal como ocorre com o caso da diversidade γ .

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 COLETA DE DADOS SOBRE DISTRIBUIÇÃO GLOBAL

Com o propósito de entender como processos em escalas com grande amplitude podem interferir em padrões globais, o presente trabalho buscou utilizar toda a informação disponível em estudos sobre distribuição de macroalgas de riachos, no planeta. Para serem aproveitados, os estudos deveriam atender a critérios importantes: a) apresentarem dados de coordenadas geográficas e/ou de localização aproximada para cada ponto, a partir de mapas ou descrições; b) apresentarem o período no qual foram realizadas as amostragens, onde para os casos com coletas em mais de um período, somente o período com maior riqueza seria selecionado; c) apresentarem no mínimo 10 pontos de amostragem (contendo espécies) que tenham sido amostrados uma única vez, onde para os casos onde haviam mais de 10 pontos, a seleção dos pontos seria a partir de sorteio. Com isso, foram encontrados dados de 31 regiões pertencentes à diferentes partes no mundo, onde na América do Norte (8 regiões) [41°N-80°N; 69-549 m.a.n.m.], na América do Sul (14) [4°S-29°S; 87-3072 m.a.n.m.], na Ásia (2) [28°N-36°N; 718-998 m.a.n.m.], na Europa (5) [42°N-69°N; 202-1071 m.a.n.m.] e na Oceania (2) [37°S-42°S; 404-795 m.a.n.m.].

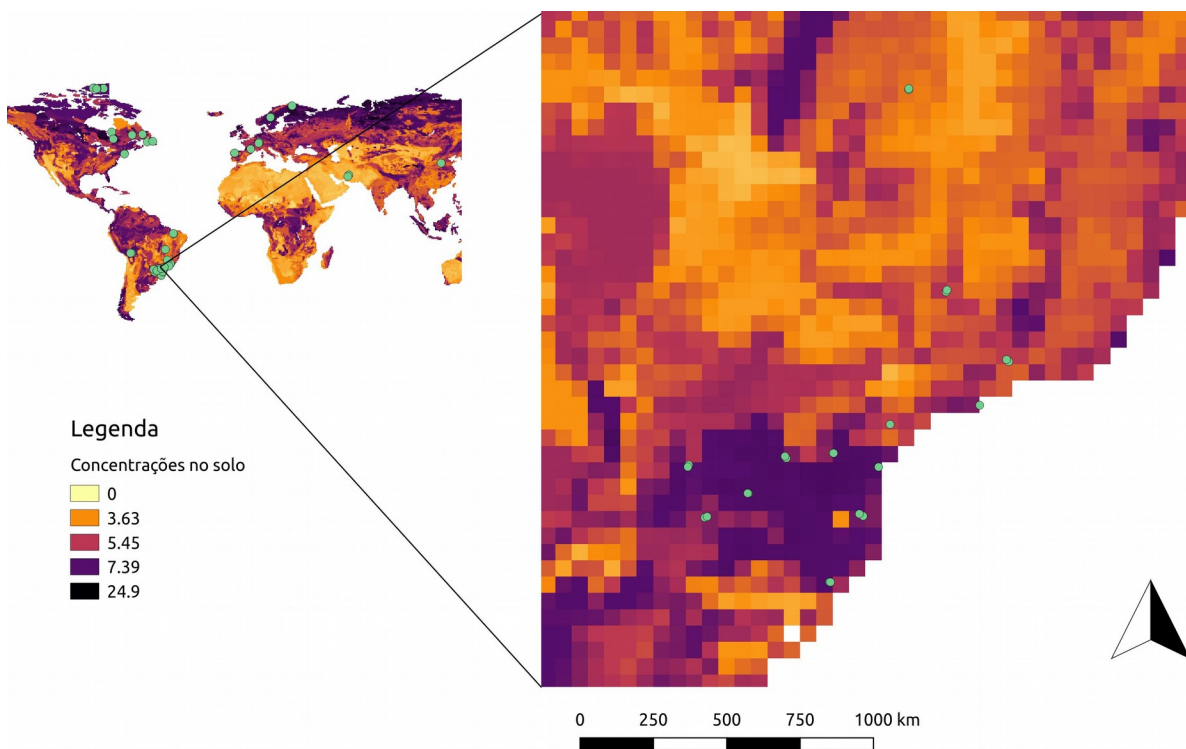
2.2 DADOS CLIMÁTICOS E GEOLÓGICOS

Para cada região foram extraídas informações adicionais que auxiliam no entendimento de como os gradientes geográficos (latitudinais) de distribuição das espécies são gerados. Foram extraídas informações climáticas (média de temperatura diária máxima, média de temperatura diária mínima, variação sazonal de temperatura, média de radiação diária, precipitação mensal total, precipitação anual total, variação sazonal de precipitação, escoamento anual, umidade relativa do ar e velocidade média mensal dos ventos) e geológicas (altitude, carbono orgânico no solo, continentalidade e pH do solo), usando a técnica de extração de informação de *rasters*, no Qgis versão 2.18 (2016). Ademais destas variáveis quantitativas, duas variáveis qualitativas ordinais foram obtidas a partir da observação das imagens satelitais de cada região selecionada. Estas variáveis foram o nível de conservação regional (ambiental) e estado da vegetação marginal. Para o nível de conservação regional, usou-se uma escala de 1 ao 6, onde 1- ambiente íntegro, 2- ambiente conservado com interferência detectável, 3- ambiente de vegetação natural aparente mas já degradado, 4- ambiente de pouca vegetação natural com muita agropecuária, 5- ambiente muito degradado mas com vegetação ciliar e 6- totalmente degradado; e para vegetação marginal, usou-se uma escala de 1 ao 4, onde 1- riachos sombreados de áreas florestais, 2- riachos sombreados de áreas abertas, 3- riachos pouco sombreados de bosques de coníferas e 4- riachos abertos de áreas abertas.

Os *rasters* (*gridded cell data*) são matrizes georreferenciadas com valores de uma determinada variável contidos em pixels (células) (Drielsma *et al.* 2007, Menezes *et al.* 2016). Um modelo de *raster* com suas células diferenciadas de acordo com valores estimados para cada área, pode ser visto logo abaixo na **figura 1**. Essa base de dados foi obtida a partir das plataformas Worldclim (Fick & Hijmans 2017), Climond (Kriticos *et al.* 2012) e Atlas of the

Biosphere (SAGE 2002). Com as posições dadas pelas coordenadas foi possível extrair os dados georreferenciados a partir das matrizes (uma matriz para cada variável). Utilizando essa técnica foi possível extrair os dados climáticos e geológicos, e assim, cada região pôde ser caracterizada quanto aos parâmetros mencionados acima.

Figura 1 – Modelo de *raster* para a variável carbono orgânico no solo, mostrando em detalhes cada célula georreferenciada.



Fonte: O autor, 2019. Adaptado da plataforma Atlas of the Biosphere (Sage 2002).

2.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados de diversidade γ foram obtidos a partir do N total (espécies) de cada região; os de diversidade α foram obtidos a partir da média

dos valores de N (espécies) por ponto em cada região; os dados para diversidade β foram obtidos a partir de 1 - mediana da similaridade, através da submissão dos valores de N (espécies), por ponto em cada região, a um teste de similaridade (Jaccard) utilizando o programa Past 3.21. Os valores de diversidades para cada região podem ser visto na **tabela 1**, na seção 3.

Considerando que a variável latitude funciona como um *proxy*, representando a combinação de outras variáveis (Hawkins & Diniz-Filho 2004), inicialmente foi feita uma análise de ajuste de modelo para verificar o melhor modelo para a relação entre a latitude e cada valor de diversidade (α , γ e β), utilizando o programa R, versão 3.4.1. Em seguida, para testar a influência das variáveis preditoras “diretas” (geo-climáticas) sobre o padrão de diversidade (α , γ e β) global das macroalgas, uma análise de partição hierárquica (HP, pacote *hier.part* do R) foi utilizada. Para a realização da HP, a latitude foi retirada com o intuito de propiciar o entendimento sobre quais parâmetros poderiam estar diretamente envolvidos com os padrões biogeográficos da diversidade de macroalgas. Além disso, a latitude é claramente colinear com várias das demais variáveis, o que foi notado nos dados. Ademais de latitude, as variáveis: média de temperatura diária máxima, umidade do ar, precipitação anual, velocidade dos ventos e pH do solo foram também retiradas, com base nos critérios do fator de inflação de variância (VIF, pacote *car* no R). A retirada dessas variáveis foi necessária para evitar falsas interpretações de correlações, por conta de que variáveis explicativas colineares, quando combinadas, induzem o modelo à apontá-las como altamente explicadoras e mascaram, ademais, o efeito de outras variáveis na análise (Legendre & Legendre 2012).

Na HP, além de se encontrar quais as variáveis ambientais que explicam significativamente o padrão da diversidade, o modelo consegue mensurar o efeito da variável preditora sobre as variáveis respostas (diversidades) (Chevan & Sutherland 1991). A HP calcula o efeito independente (“I”) e o efeito combinado (“J”), de todas as variáveis preditoras sobre as outras (diversidades) (Mac Nally 2002). Por fim, os resultado da HP são expressados em um Z-score para cada uma das variáveis preditoras. Esse Z-score é obtido a

partir de 5000 aleatorizações que geram um 95% de intervalo de confiança. Assim, variáveis preditoras com valores de Z maiores que 1,65 são tidas como explicadoras significativas para o modelo (Mac Nally 2002).

3. RESULTADOS

3.1 LATITUDE E DIVERSIDADE

Para averiguar as predições elucidadas neste trabalho, primeiro todos os valores de diversidades (α , β e γ) foram relacionados para cada região, como apresentado logo abaixo na **tabela 1**.

Tabela 1 – Valores de latitude e diversidades (γ , α e β) para cada uma das regiões selecionadas. A diversidade β como 1 menos a mediana da similaridade de Jaccard.

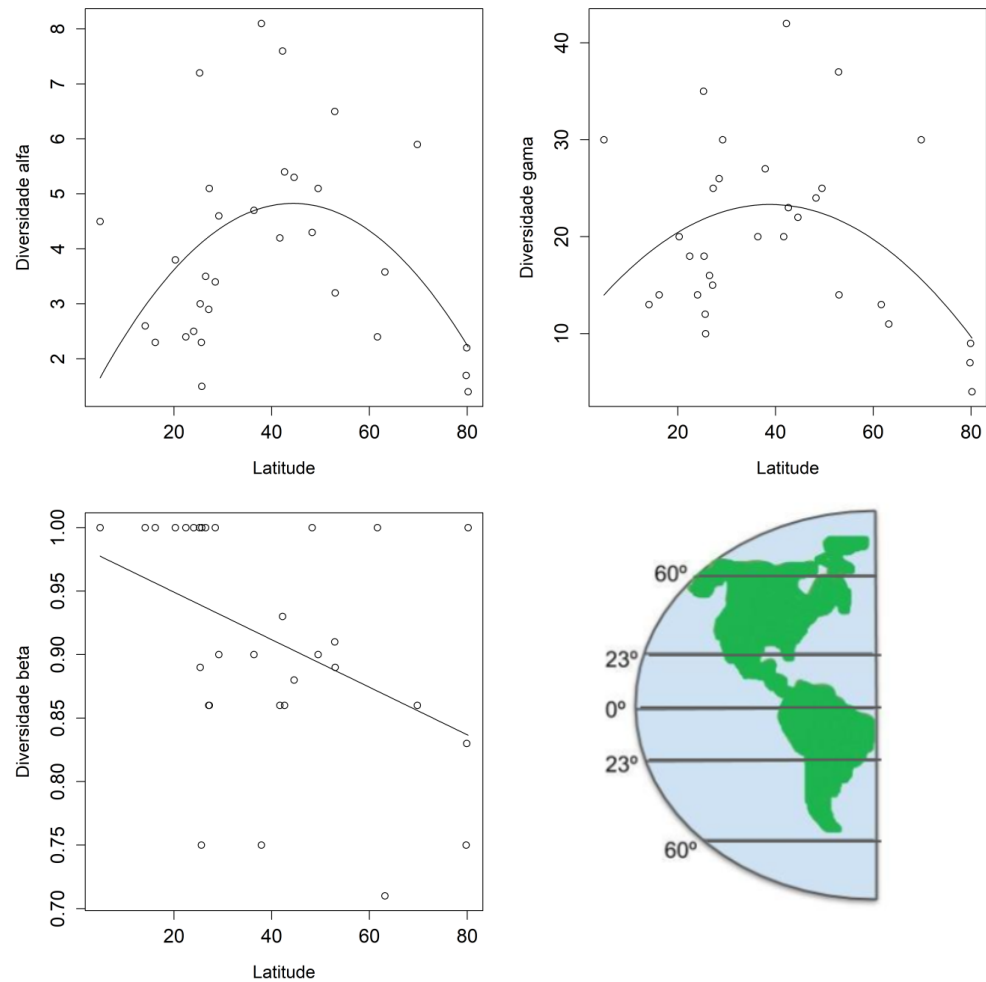
América do Norte	Latitude	Div γ	Div α	Div β
Alaska	61.617344	13	2,4	1
Axel Heiberg 1	80.192695	4	1,4	1
Axel Heiberg 2	79.775734	7	1,7	0,75
Ellesmere Island	79.902918	9	2,2	0,83
Labrador	52.958334	14	3,2	0,89
Newfoundland	49.472222	25	5,1	0,9
Quebec	52.886482	37	6,5	0,91
Rhode Island	41.663976	20	4,2	0,86
América do Sul	Latitude	Div γ	Div α	Div β
Bolívia	-16.163955	14	2,3	1
Chapada dos Veadeiros	-14.092788	13	2,6	1
Guarapuava	-25.355760	18	3	0,89
Itatiaia	-22.408072	18	2,4	1
Mata Atlântica Paulista	-24.012923	14	2,5	1
Piauí	-4.8601480	30	4,5	1
PE das Araucárias	-26.462136	16	3,5	1
PE do Turvo	-25.231247	25	5,1	0,86
PE Vila Velha	-25.231247	35	7,2	1
PN Aparados da Serra	-29.177065	30	4,6	0,9
PN do Iguaçu	-25.593341	12	2,3	0,75

PN Saint Hilaire Lange	-25.673111	10	1,5	1
PN Serra do Itajaí	-27.117302	15	2,9	0,86
Serra da Canastra	-20.257998	20	3,8	1
Ásia	Latitude	Div γ	Div α	Div β
China	36.359524	20	4,7	0,9
Irã	28.455555	26	3,4	1
Europa	Latitude	Div γ	Div α	Div β
Finlândia	69.788686	30	5,9	0,86
Galícia	42.204754	42	7,6	0,93
Riou Mort	44.564412	22	5,3	0,88
Suécia	63.148184	11	3,6	0,71
Vosges	48.266997	24	4,3	1
Oceania	Latitude	Div γ	Div α	Div β
Nova Zelândia 1	-42.600380	23	5,4	0,86
Nova Zelândia 2	-37.877588	27	8,1	0,75

Fonte: O autor, 2019.

Em seguida, alguns gráficos *biplot*, com o melhor ajuste de função, foram utilizados. Assim, na **figura 2**, um gráfico com o melhor ajuste de função não-linear, encontrou-se para diversidade α um padrão de curva quadrática ($p < 0,05$) em relação ao gradiente de latitude. Neste caso, a maior diversidade α se encontrou em regiões temperadas (ápice em $\sim 40^\circ$) e os menores índices de diversidade α , nas regiões tropicais e polares. Em regiões tropicais o índice foi um pouco menor que o das regiões polares. Para diversidade γ , encontrou-se também um padrão de curva quadrática em relação ao gradiente ($p < 0,05$). Novamente os maiores índices representaram a região temperada do globo (ápice em $\sim 40^\circ$), enquanto que as regiões tropicais e polares apresentaram os menores índices. Para a diversidade β , assim como o previsto, o teste encontrou um padrão linear ($p < 0,05$), onde a diversidade β tende a diminuir, de baixas a altas latitudes.

Figura 2 – Gráficos demonstram a influência da latitude sobre as diversidades α , γ e β , respectivamente, de macroalgas de riachos. Curva com o melhor ajuste ($p < 0,05$).



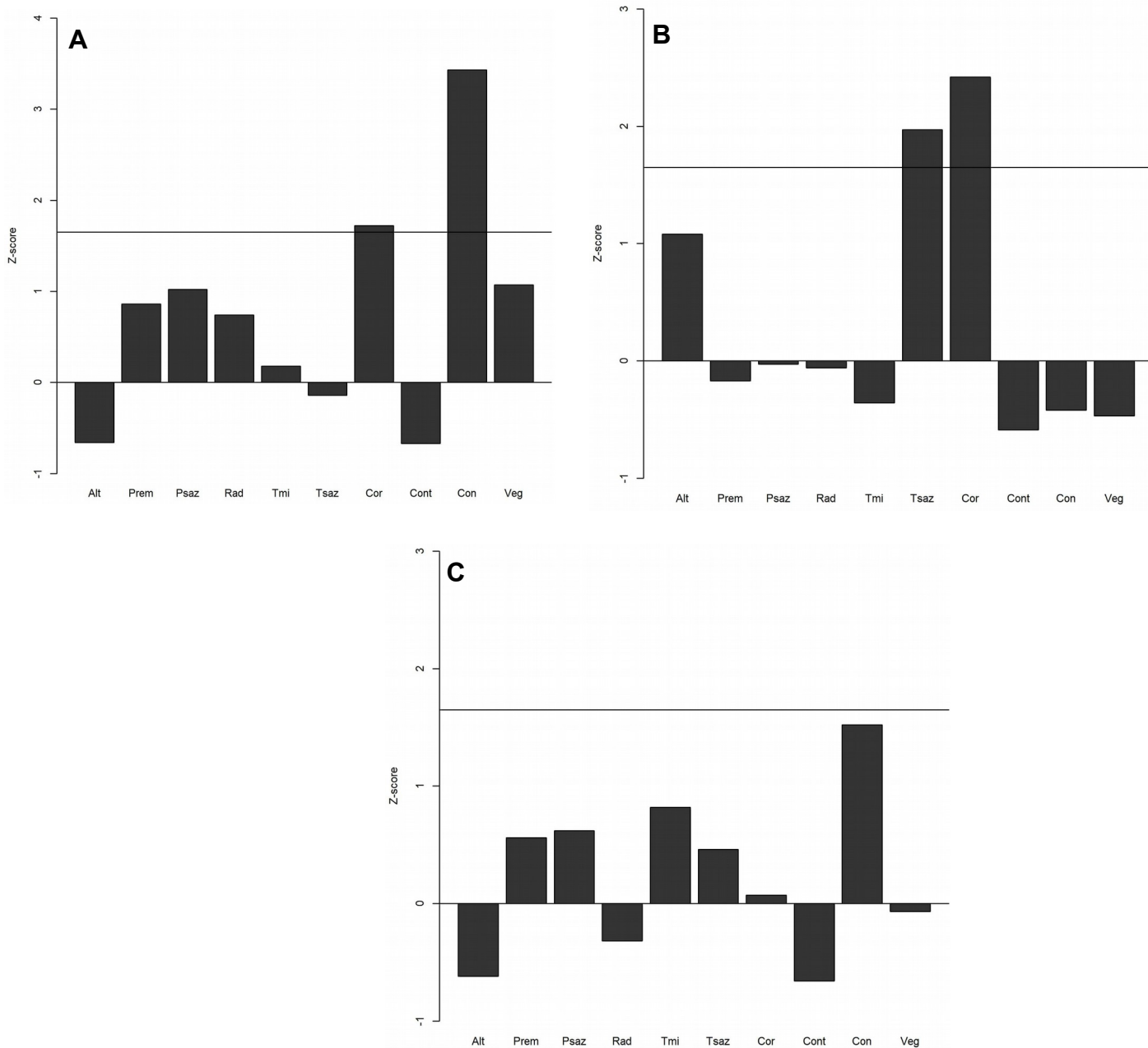
Fonte: O autor, 2019.

3.2 ANÁLISE DE PARTIÇÃO HIERÁRQUICA

A partir da análise HP foi possível evidenciar que as variáveis “carbono orgânico no solo” (COS) e “nível de conservação regional” (NCR) contribuíram significativamente com o padrão observado para a diversidade α . A

variável COS respondeu, sozinha, a 5,2% e em combinação com as demais variáveis (altitude, precipitação mensal total, variação sazonal de precipitação, média da radiação diária, etc.) respondeu a 3,5%. Ou seja, que tal variável significativamente influenciou 8,7% do padrão latitudinal observado para a diversidade α . A variável NCR respondeu, sozinha, a 9,1% e em combinação respondeu a 10,5%. Ou seja, que no total ela, significativamente, influenciou 19,6% do padrão latitudinal observado para a diversidade α de macroalgas de riachos. Para diversidade γ nenhuma variável demonstrou ser significativamente influente no padrão latitudinal de diversidade observado (Z-score menor que 1,65), como pode ser visto no gráfico **C** da **figura 3**. E, para diversidade β , as variáveis COS e “variação sazonal de temperatura” (VST) foram encontradas como significativas contribuidoras para o padrão. A variável COS respondeu, sozinha, a 6,7% e em combinação respondeu a 11,6%. Ou seja, que no total ela, significativamente, influenciou 18,3% do padrão observado para a diversidade β . E, a VST respondeu, sozinha, a 5,9% e em combinação respondeu a 7,0%. Ou seja, que no total ela significativamente influenciou 12,9% do padrão latitudinal observado para a diversidade β de macroalgas de riachos. Os resultados da HP para diversidades α , β e γ estão representados, graficamente, na **figura 3**. E, os resultados, percentuais, para α e β estão representados na **tabela 2**. Ambos, logo abaixo.

Figura 3 – Gráficos demonstram os resultados da análise HP para a diversidade alfa (A), para a diversidade beta (B) e para a diversidade gama (C). Legendas no eixo x são: altitude (Alt), precipitação mensal total (Prem), variação sazonal de precipitação (Psaz), média de radiação diária (Rad), média de temperatura diária mínima (Tmin), variação sazonal de temperatura (Tsaz), carbono orgânico no solo (Cor), continentalidade (Cont), nível de conservação regional (Con) e estado da vegetação marginal (Veg).



Fonte: o autor, 2019

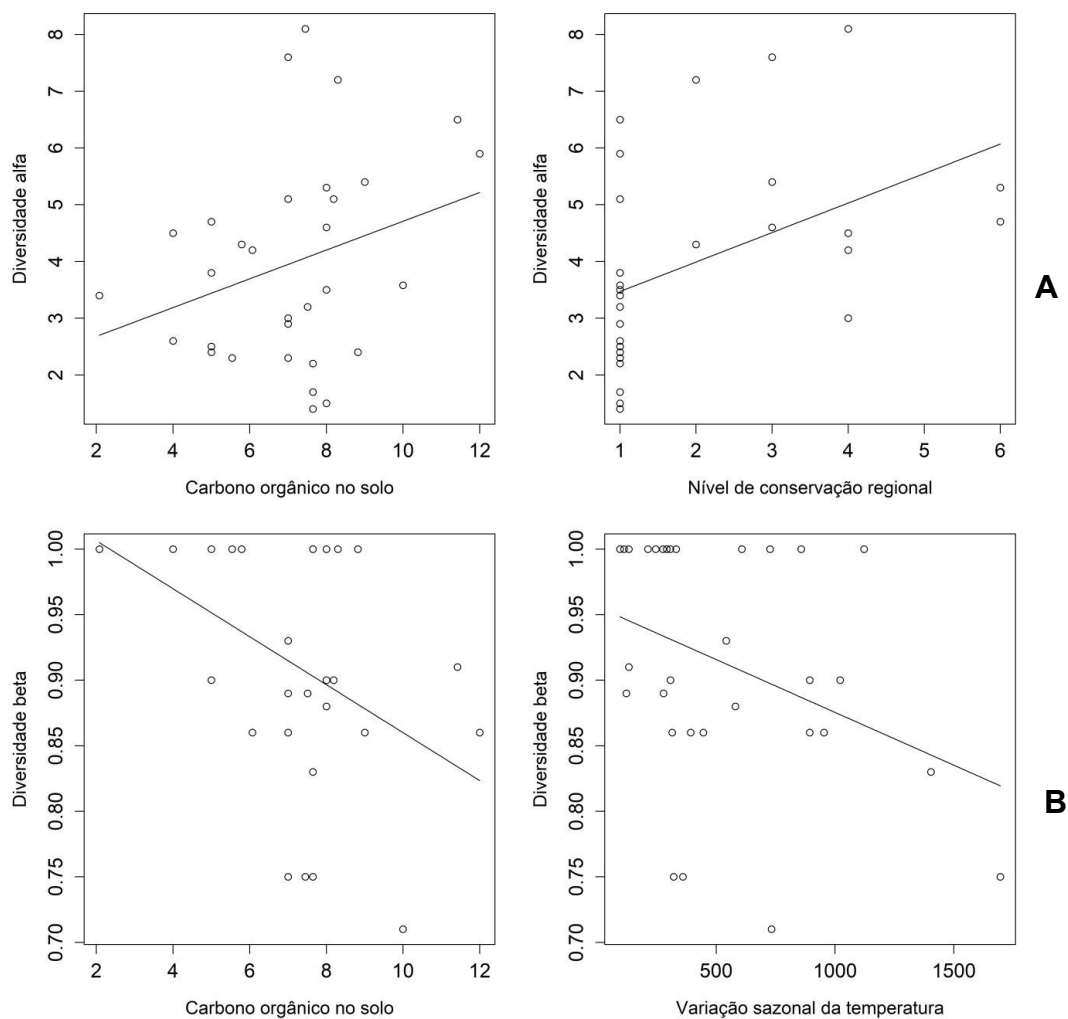
Tabela 2 – Resultados da análise de partição hierárquica (HP), apresentando as variáveis independentes, com significativa influência sobre as diversidades (α e β), detectadas pela HP (z-score > 1,65). Os efeitos das variáveis independentes estão representados por “I” (efeito independente), “J” (efeito combinado) e “Total” (I+J).

Variáveis dependentes	Variáveis independentes significantes	Partição Hierárquica		
		I	J	Total
Diversidade α	Carbono orgânico no solo	5,2%	3,5%	8,7%
	Nível de conservação regional	9,1%	10,5%	19,6%
Diversidade β	Carbono orgânico no solo	6,7%	11,6%	18,3%
	Variação sazonal de temperatura	5,9%	7,0%	12,9%

Fonte: o autor, 2019

Com o auxílio de gráficos *biplot*, como mostrado na **figura 4**, foi possível observar que a diversidade α está positivamente correlacionada com a variável COS, e negativamente correlacionada com a variável NCR. Ambas variáveis foram identificadas pela HP como significativamente explicativas. Novamente, utilizando gráficos *biplot*, foi possível verificar que a diversidade β está negativamente correlacionada com as duas variáveis detectadas na HP (COS e VST).

Figura 4 – Gráficos demonstram que a diversidade α de macroalgas de riacho está, correlacionada com as variáveis COS e, negativamente correlacionada com NCR; a escala do eixo x no gráfico para NCR vai de 1 (mais conservado) à 6 (menos conservado) (A). Gráficos demonstram que a diversidade β de macroalgas de riacho está, negativamente, correlacionada com as variáveis COS e VST (B).



Fonte: O autor, 2019.

4. DISCUSSÃO

4.1. DIVERSIDADES ALFA E GAMA

As regiões tropicais, em geral, apresentam os maiores valores em biodiversidade no planeta. Esse padrão é explicado pela estabilidade climática, com constante entrada de energia solar e precipitação de chuvas (Bowman *et al.* 2017). A diversidade γ representa a riqueza “bruta” de uma dada região. A diversidade α , por sua vez, representa a média para todos os valores de riqueza local em dada região (Magurran 2003). Esperava-se altos valores para os dois índices nas regiões tropicais, no entanto, ambos apresentaram um padrão que contraria um consenso geral sobre distribuição latitudinal de espécies, com baixos valores de diversidade α e γ , nos trópicos e pólos, e altos valores nas regiões temperadas, conforme visto nos gráficos da **figura 2** anteriormente. Sheath e Cole (1992) haviam encontrado um resultado similar em seu estudo, restrito à América do Norte, onde as comunidades mais diversas (riqueza bruta) foram encontradas no bioma Taiga (entre os paralelos 45° e 65° N). Considerando a diversidade γ , nenhuma variável “direta” foi apontada como explicativa na HP, o que prejudicou o entendimento do padrão latitudinal para este índice. Por outro lado, neste estudo foram encontradas duas variáveis “diretas” explicativas (COS e NCR) para diversidade α .

A deposição de COS se dá por excessiva produtividade terrestre local, onde a atividade decompositora microbiana não é suficiente para consumir a matéria orgânica (comum nos trópicos) (Post *et al.* 1982). Se dá também em ambientes de pouca produtividade terrestre, mas com pouca ação de organismos decompositores (comum em altas latitudes), por conta da temperatura mais fria (Post *et al.* 1982). Sendo o COS um indicador de produtividade podemos, então, inferir que junto a este, em meio a matéria orgânica da qual ele é parte, se encontre também certas concentrações de

nutrientes como nitrogênio (Batjes 1996) e fósforo (Vesterdal *et al.* 1995). E assim como o COS estes nutrientes estão se depositando no solo e conseqüentemente lixiviando aos riachos por meio da drenagem. O uso destes nutrientes por parte das algas, é importante, para seu crescimento (Veraart *et al.* 2008). Veraart *et al.* (2008) demonstraram que o aumento da concentração daqueles nutrientes em até três vezes levou a um aumento da riqueza, onde o grupo mais beneficiado foi o de diatomáceas. Ou seja, maiores concentrações de COS significariam maiores entradas de nutrientes nos riachos. E por fim, isso implicaria no incremento da riqueza de espécies local, o que explicaria a positiva relação entre a diversidade α e o COS, identificada (8,7%) na HP. Outra possível explicação para a relação positiva entre diversidade α e o COS poderia ser a da mixotrofia em algas. As algas em geral optam pela produção por via autotrófica, no entanto, existem casos de mixotrofia onde os organismos que normalmente fazem fotossíntese podem acabar optando pela via heterotrófica, principalmente quando há um aumento de carbono orgânico no ambiente (Neilson & Lewin 1974). Nenhuma alga pode crescer somente a partir da via heterotrófica, no entanto a presença de carbono orgânico pode representar uma importante ajuda em momentos de baixa entrada de energia luminosa (Neilson & Lewin 1974), onde por exemplo o acetato (carbono orgânico) é assimilado como lipídio permitindo o crescimento das algas no escuro (Neilson & Lewin 1974). A composição química da bacia de drenagem influencia os corpos aquáticos da mesma (Biggs 1995), desse modo, o COS seguramente é drenado para os riachos próximos afetando, assim, suas comunidades.

Sobre a correlação negativa da diversidade α com o NCR (19,6%), um primeiro fator a ser considerado pode ser o da falta de sombreamento por vegetação ripária que, na maioria das vezes, está ausente por conta da interferência antrópica (Allan & Castillo 2007; Biggs & Gerbeaux 1993), havendo exceção para poucos casos onde naturalmente ela não existe, como em alguns campos naturais. Peres *et al.* (2017), num estudo de grande amplitude geográfica (região Sul do Brasil) encontraram que os mais altos valores para algas verdes em riachos estavam em biomas campestres com

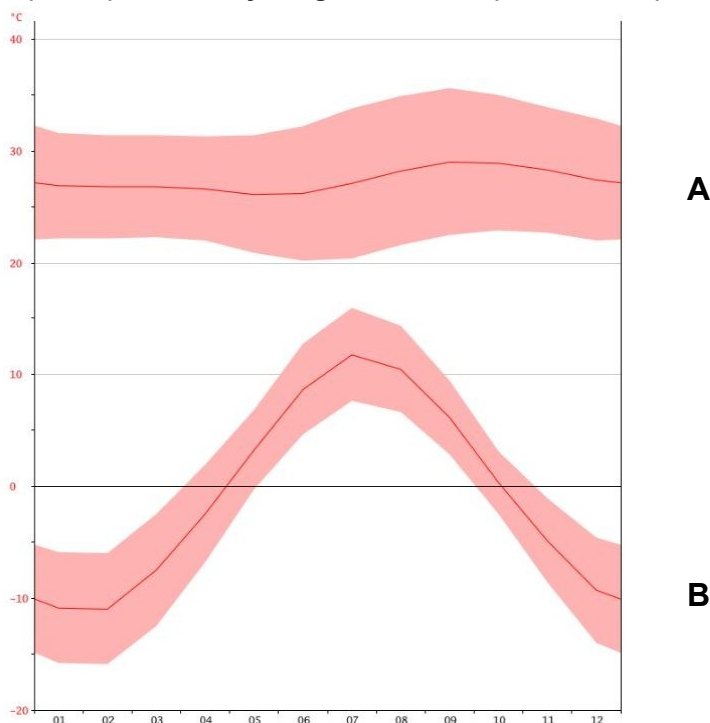
pouco ou nenhum sombreamento por mata ciliar. Robinson e Rushforth (1987), num estudo mais restrito, nos EUA, controlaram o fator do sombreamento em uma única bacia e encontraram o mesmo padrão de maior diversidade para diatomáceas, em riachos sem sombreamento. Em ambos estudos, a maior disponibilidade de luz nos riachos têm sido apontada como a grande responsável pelo incremento na riqueza das espécies. Cabe ainda mencionar que as algas verdes, um dos grupos mais diversos, são reconhecidamente beneficiados por essa maior disponibilidade de luz (Peres *et al.* 2017). Isso porque as algas verdes possuem um sistema pigmentar adaptado para condições de alta irradiação (Peres *et al.* 2017). Ainda sobre nível de conservação, um segundo fator que pode estar relacionado com esse padrão, é o aumento de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, por conta de atividades agrícolas (Maitland 1990; Biggs & Gerbeaux 1993) ou mesmo por conta de dejetos urbanos (Allan & Castillo 2007), no entorno. Veraart *et al.* (2008) demonstraram que o aumento da concentração daqueles nutrientes em até três vezes levou a um aumento da riqueza, onde o grupo mais beneficiado foi o de diatomáceas.

Não é comum encontrar maior diversidade em ambientes menos conservados. E, ainda que a degradação ambiental pareça benéfica à diversidade de macroalgas de riachos, na realidade não deve ser o que acontece. Vale lembrar, que esse padrão representa somente um pool local. Ou seja, que provavelmente ele se dê por conta de que algumas espécies beneficiadas estejam ocupando esses ambientes impactados. Assim, à nível global (não referindo a diversidade γ), o pool de espécies deve estar sendo reduzido. Isso faz sentido, se considerarmos que existem espécies restritas (especialistas) adaptadas a determinados biomas/habitats, dependendo de condições específicas, tal como presença de sombreamento (Robinson & Rushforth 1987). Cabe dizer que esse processo não foi verificado aqui, mas deverá ser abordado em trabalhos futuros.

4.2. DIVERSIDADE BETA

O padrão de aumento proporcional da diversidade β em direção aos trópicos (**ver figura 2**) era um resultado previsto, baseado principalmente na teórica regra de Rapoport (1982). Assim, em regiões tropicais, a composição de espécies entre os diferentes pontos de amostragem variam mais que em regiões de altas latitudes (temperadas e polares). Na HP foi identificado que a variável VST explicou 12,9% (**ver tabela 2**) do padrão latitudinal para a diversidade β . A VST é maior nas regiões polares (Ayoade 1996), como evidenciado na **figura 5** abaixo. Ademais, encontrou-se que a diversidade β está negativamente correlacionada com a VST, como pode ser visto na **figura 4**. Esse resultado reforçou a ideia de que a distribuição latitudinal de macroalgas esteja sob os efeitos descritos pela regra de Rapoport.

Figura 5 – Gráficos demonstram a diferença nas curvas de VST para uma região tropical (Timon-BR) (A) e para uma região polar (Utsjoki-FI) (B). No eixo x, os meses do ano (1 a 12) e no eixo y, os graus celsius (-20°C a 40°C).



Fonte: Organização Climate-data, 2019.

Outra variável encontrada como explicativa na HP, foi a de COS, que inclusive explicou com mais força (18,3%) que a VST, como pode ser visto na **tabela 2**. Diferentemente da relação desta variável com a diversidade α , aqui ela foi negativamente correlacionada com a diversidade β . A explicação da influência do COS sobre a distribuição β segue sendo a mesma apresentada acima para ambos casos, de evidência indireta de nutrientes e de mixotrofia em algas. A correlação negativa aqui é um dado interessante, e pode apontar para um possível favorecimento de grupos específicos de macroalgas em cada região. Com isso, ainda que a riqueza aumente por local, no fim das contas as espécies que vão sendo adicionadas às comunidades são praticamente as mesmas para cada local amostrado em cada uma das regiões. A homogeneização das comunidades da região implica, então, na diminuição da diversidade β .

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em resumo, o presente estudo demonstrou que a distribuição de macroalgas de riachos responde ao gradiente latitudinal. Os fatores geológicos, relacionados ao solo (COS e NCR) se apresentaram como importantes fatores estruturando as comunidades em largas escalas. A diversidade γ apresentou um padrão de estruturação latitudinal inesperado, e não pode ser explicada por nenhuma das variáveis selecionadas. O padrão latitudinal para diversidade α também foi inesperado, porém o gradiente de COS e o NCR (uso da terra), seriam bons explicadores para este padrão de distribuição de macroalgas de riachos em largas escalas. Por fim, a distribuição da diversidade β , de acordo com o gradiente latitudinal, ademais de apresentar o padrão esperado, teve sua estruturação com importante contribuição das variáveis COS e VST. Ambos resultados, negativamente correlacionados. A correlação negativa com a variável

VST é a única a reforçar o padrão de resposta ao gradiente latitudinal encontrado. Ademais, reforça que a distribuição das macroalgas de riachos (diversidade β) provavelmente funcione sob as regras descritas por Rapoport (1982). A partir destes processos de estruturação identificados esperamos poder ampliar o poder de previsão para a variação das comunidades macroalgais de riachos em grandes escalas.

REFERÊNCIAS

ABDELAHAD, N.; BOLPAGNI, R.; LASINIO, G.J.; VIS, M.L.; AMADIO, C.; LAINI, A. & KEIL, E.J.. Distribution, morphology and ecological niche of *Batrachospermum* and *Sheathia* species (Batrachospermales, Rhodophyta) in the fontanili of the Po plain (northern Italy). **European journal of phycology**, v. 50, n. 3, p. 318-329, 2015.

ALLAN, J.D. & CASTILLO, M.M.. **Stream ecology: structure and function of running waters**. Springer Science & Business Media, 2007.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os Trópicos**. 3ª Edição. Editora Bertrand Brasil, 1996.

BATJES, N.H.. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European journal of soil science**, v. 47, n. 2, p. 151-163, 1996.

BIGGS, B.J.F.. The contribution of flood disturbance, catchment geology and land use to the habitat template of periphyton in stream ecosystems. **Freshwater biology**, v. 33, n. 3, p. 419-438, 1995.

BIGGS, B.J.F. & GERBEAUX, P.. Periphyton development in relation to macro-scale (geology) and micro-scale (velocity) limiters in two gravel-bed rivers, New Zealand, **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, 27:1, 39-53, 1993.

BOLTON, J.J.. What is aquatic botany?—And why algae are plants: the importance of non-taxonomic terms for groups of organisms. **Aquatic Botany**, v. 132, p. 1-4, 2016.

BOWMAN, W.D.; HACKER, S.D. & CAIN, M.L.. **Ecology**, 4ª edition. Sunderland, Massachusetts: Sinauer, 2017.

BRANCO, C.C.Z.; NECCHI JR., O.; PERES, C.K. Effects of artificial substratum types and exposure time on macroalgal colonization in a tropical stream. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie*, v. 178, n. 1, p. 17-27, 2010.

BUTLIN, R.; BRIDLE, J. & SCHLUTER, D.. **Speciation and patterns of diversity**. Cambridge University Press, 2009.

CAZAUBON, A.; ROLLAND, T. & LOUDIKI, M.. Heterogeneity of periphyton in French Mediterranean rivers. **Hydrobiologia**, v. 300, n. 1, p. 105-114, 1995.

CHEVAN, A. & SUTHERLAND, M.: Hierarchical partitioning. *Am. Stat.* 45, 90–96, 1991.

CLIMATE-DATA ORGANIZATION. **Clima: Timon.** Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/maranhao/timon-31932/>> . Acesso em: 13 jun. 2019.

CLIMATE-DATA ORGANIZATION. **Clima: Utsjoki.** Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/europa/finlandia/utsjoki/utsjoki-109302/>> . Acesso em: 13 jun. 2019.

DRIELSMA, M.; FERRIER, S. & MANION, G.. A raster-based technique for analysing habitat configuration: The cost–benefit approach. **Ecological Modelling**, v. 202, n. 3-4, p. 324-332, 2007.

FICK, S.E. & HIJMANS, R.J.. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International journal of climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, 2017. Disponível em: <<http://worldclim.org/version2>>

GRAHAM, L.E.; GRAHAM, J.M. & WILCOX, L.W.. *Algae*, 2nd edn. Benjamin Cummings, San Francisco, 2009.

HAWKINS, B.A. & DINIZ-FILHO, J.A.F.. ‘Latitude’ and geographic patterns in species richness. **Ecography**, v. 27, n. 2, p. 268-272, 2004.

HU, B.F. & XIE, S.L.. Effect of seasonality on distribution of macroalgae in a stream system (Xin'an Spring) in Shanxi Province, North China. **Journal of integrative plant Biology**, v. 48, n. 8, p. 889-896, 2006.

HUTCHINSON, G. E.. The paradox of the plankton. **The American Naturalist**, v. 95, n. 882, p. 137-145, 1961.

ISHIBASHI, T.H.. *Macroalgas lólicas do Parque Nacional Chapada dos Veadeiros e arredores (GO): levantamento florístico e distribuição ecológica das comunidades.* **Unesp**, 2013.

JACKSON, D.A.; PERES-NETO, P.R. & OLDEN, J.D.. What controls who is where in freshwater fish communities the roles of biotic, abiotic, and spatial factors. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 58, n. 1, p. 157-170, 2001.

JOHNSON, L.R. **The freshwater algal flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae.** Cambridge University Press, 2002.

KRITICOS, D.J.; WEBBER, B.L.; LERICHE, A.; OTA, N.; MACADAM, I.; BATHOIS, J. & SCOTT, J.K.. CliMond: global high resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modelling. **Methods in Ecology & Evolution** 3: 53-64, 2012.

LEGENDRE, P. & LEGENDRE, L.. Numerical Ecology. **Elsevier Science**, Amsterdam, 2012.

LINDEMAN, R.L.. The trophic-dynamic aspect of ecology. **Ecology**, v. 23, n. 4, p. 399-417, 1942.

MAC NALLY, R.. Multiple regression and inference in ecology and conservation biology: further comments on identifying important predictor variables. **Biodivers. Conserv.** 11, 1397–1401, 2002.

MAGURRAN, A. E.. **Measuring biological diversity**. Blackwell, Oxford, 2003.

MAGURRAN, A.E.. Q&A: What is biodiversity?. **BMC biology**, v. 8, n. 1, p. 145, 2010.

MAITLAND, P.S.. Biology of fresh-waters. 2^a ed: Blackie Glasgow and London, 1990.

MENEZES, C.G.; STEFFEN, J.L.; ALMEIDA, I.K. & SANCHES, T.F.. Versatilidade do uso de dados georreferenciados na caracterização da declividade de bacias hidrográficas: implicações metodológicas. **Geociências** (São Paulo), v. 35, n. 2, p. 247-254, 2016.

NECCHI JR., O.; DIP, M.R. & GÓES, R.M.. Macroalgae of a stream in southeastern Brazil: composition, seasonal variation and relation to physical and chemical variables. **Hydrobiologia**, v. 213, n. 3, p. 241-250, 1991.

NECCHI JR., O.; BRANCO, C.C.Z. & BRANCO, L.H.Z.. Distribution of stream macroalgae in São Paulo State, southeastern Brazil. **Algological Studies** 97:43-57, 2000.

NECCHI JR., O.; BRANCO, L. H. Z. & BRANCO, C. C. Z.. Ecological distribution of stream macroalgal communities from a drainage basin in the Serra da Canastra National Park, Minas Gerais, Southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 63, n. 4, p. 635-646, 2003.

NECCHI JR., O.; BRANCO, L.H.Z. & SPEZAMIGLIO, D.N.. Distribuição ecológica de comunidades de macroalgas de ambientes lóticos do Parque Nacional de Itatiaia (RJ, MG), Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, p. 135-145, 2008.

NECCHI JR., O.. **River algae**. Springer International Publishing, p. 1-4, 2016.

NEILSON, A.H. & LEWIN, R. A. The uptake and utilization of organic carbon by algae: an essay in comparative biochemistry. **Phycologia**, v. 13, n. 3, p. 227-264, 1974.

OLIVEIRA, R.C.. Distribuição ecológica das comunidades de macroalgas de ambientes lóticos em duas unidades de conservação abrangendo os biomas da Floresta Estacional Semidecidual e Campos no estado do Paraná. **Unesp**, 2011.

PERES, C.K.. Taxonomia, distribuição ambiental e considerações biogeográficas de algas verdes macroscópicas em ambientes lóticos de unidades de conservação do sul do Brasil. **Unesp**, 2011.

PERES, C.K.; TONETTO, A.F.; GAREY, M.V. & BRANCO, C.C.Z.. Canopy cover as the key factor for occurrence and species richness of subtropical stream green algae (Chlorophyta). **Aquatic Botany**, v. 137, p. 24-29, 2017.

POST, W.M.; EMANUEL, W.R.; ZINKE, P.J. & STANGENBERGER, A.G.. Soil carbon pools and world life zones. **Nature**, v. 298, n. 5870, p. 156, 1982.

PRIMACK, R.; ROZZI, R.; FEINSINGER, P.; DIRZO, R. & MASSARDO, F.. **Fundamentos de conservación biológica: Perspectivas latinoamericanas**. México: Fondo de la Cultura Económica, 1998.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. **Open Source Geospatial Foundation Project**, 2016. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>

RAPOPORT, E.H.. **Aerography: geographical strategies of species**. Pergamon Press, 1982.

ROBINSON, C.T. & RUSHFORTH, S.R.. Effects of physical disturbance and canopy cover on attached diatom community structure in an Idaho stream. **Hydrobiologia**, v. 154, n. 1, p. 49-59, 1987.

ROTH, R.A.; WOODWARD, S.L.; HOLZMAN, B.A.; KUENNECKE, B.H. & QUINN, J.A.. **Freshwater aquatic biomes**. Greenwood Press, 2009.

SAGE - Centre for Sustainability and the Global Environment. **Atlas of the Biosphere**, 2002. Disponível em: <<https://nelson.wisc.edu/sage/data-and-models/atlas/maps.php>>

SANTELICES, B.; MARQUET, P.. Seaweeds, latitudinal diversity patterns, and Rapoport's rule. **Diversity and Distributions**, v. 4, n. 2, p. 71-75, 1998.

SAY, P. J.. Le Riou-Mort, affluent du Lot pollué par métaux lourds. I. Etude préliminaire de la chimie et des algues benthiques. In: **Annales de Limnologie-International Journal of Limnology**. EDP Sciences, p. 113-131, 1978.

SHEATH, R.G. & BURKHOLDER, J.M.. Characteristics of softwater streams in Rhode Island II. Composition and seasonal dynamics of macroalgal communities. **Hydrobiologia**, v. 128, n. 2, p. 109-118, 1985.

SHEATH, R.G. & COLE, K.M.. Biogeography of stream macroalgae in North America. **Journal of Phycology**, v. 28, n. 4, p. 448-460, 1992.

SHEATH, R.G. & MÜLLER, K.M.. Distribution of stream macroalgae in four high Arctic drainage basins. **Arctic**, p. 355-364, 1997.

SHEATH, R.G.; HAMBROOK, J.A. & NERONE, C.A.. The benthic macro-algae of Georgian Bay, the North Channel and their drainage basin. In: **Limnology and Fisheries of Georgian Bay and the North Channel Ecosystems**. Springer, Dordrecht, p. 141-148, 1988.

SHEATH, R.G.; HAMILTON, P.B.; HAMBROOK, J.A. & COLE, K.M.. Stream macroalgae of the eastern boreal forest region of North America. **Canadian Journal of Botany**, v. 67, n. 12, p. 3553-3562, 1989.

SHEATH, R.G.; MORISON, M.O.; KORCH, J.E.; KACZMARCZYK, D. & COLE, K.M.. Distribution of stream macroalgae in south-central Alaska. **Hydrobiologia**, v. 135, n. 3, p. 259-269, 1986.

SHI, Y.; XIE, S.L.; LI, Z.; HU, B.F.; LI Y.H. & ZHANG, M.. Effect of environmental factors on distribution of stream macroalgae in Niangziguan Spring in Shanxi Province, North China. **African journal of biotechnology**, v. 11, n. 18, p. 4168-4179, 2012.

TONETTO, A.F.; PERES, C.K.; HIRATA, R.T. & BRANCO, C.C.Z.. Spatial and temporal distribution of stream macroalgae in a tropical river basin. **Biota Neotropica**, v. 15, n. 4, 2015.

TOWNSEND, C.R.; BEGON, M. & HARPER, J.L.. **Fundamentos em ecologia**. Artmed Editora, 2009.

VANNOTE, R.L.; MINSHALL, G.W.; CUMMINS, K.W.; SEDELL, J.R. & CUSHING, C.E.. The river continuum concept. **Canadian journal of fisheries**

and aquatic sciences, v. 37, n. 1, p. 130-137, 1980.

VERAART, A.J.; ROMANÍ, A.M.; ORNÉS, E. & SABATER, S.. Algal response to nutrient enrichment in forested oligotrophic stream 1. **Journal of Phycology**, v. 44, n. 3, p. 564-572, 2008.

VESTERDAL, L.; DALSGAARD, M.; FELBY, C; RAULUND-RASMUSSEN, K. & JØRGENSEN, B.B.. Effects of thinning and soil properties on accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus in the forest floor of Norway spruce stands. **Forest Ecology and Management**, v. 77, n. 1-3, p. 1-10, 1995.

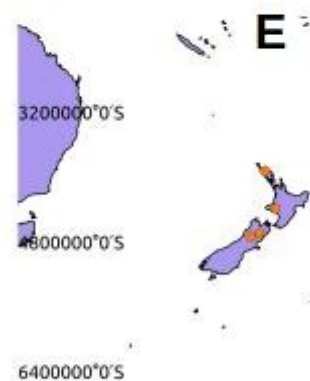
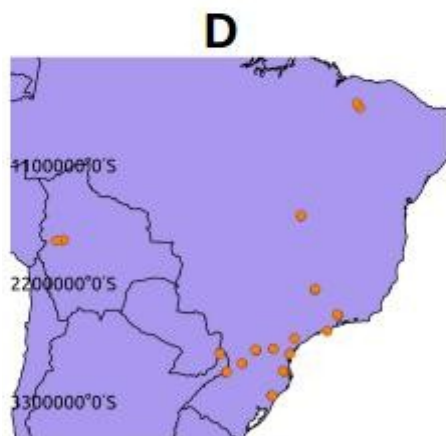
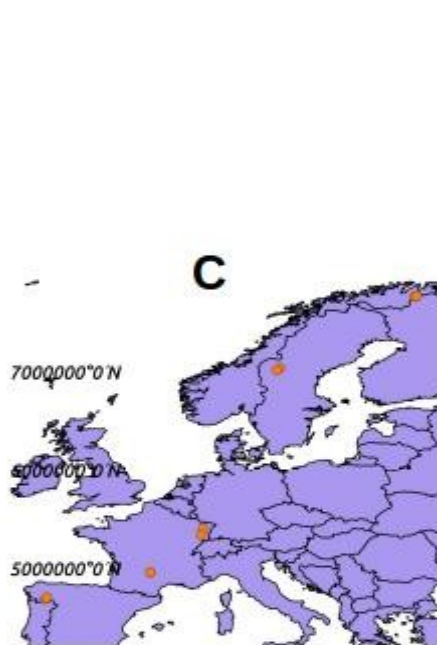
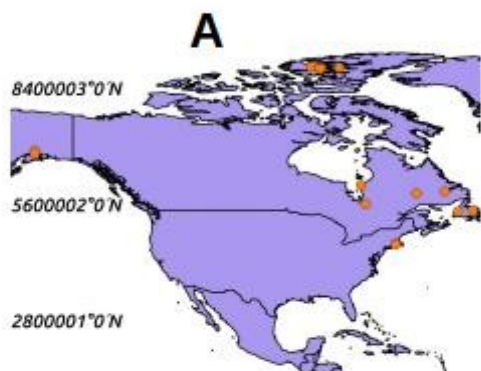
WARD, J. V.. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 8, n. 1, p. 2-8, 1989.

WHITTON, B.A.. **Ecology of European Rivers**. Blackwell Scientific, Oxford, 1984.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – ÁREAS ESTUDADAS

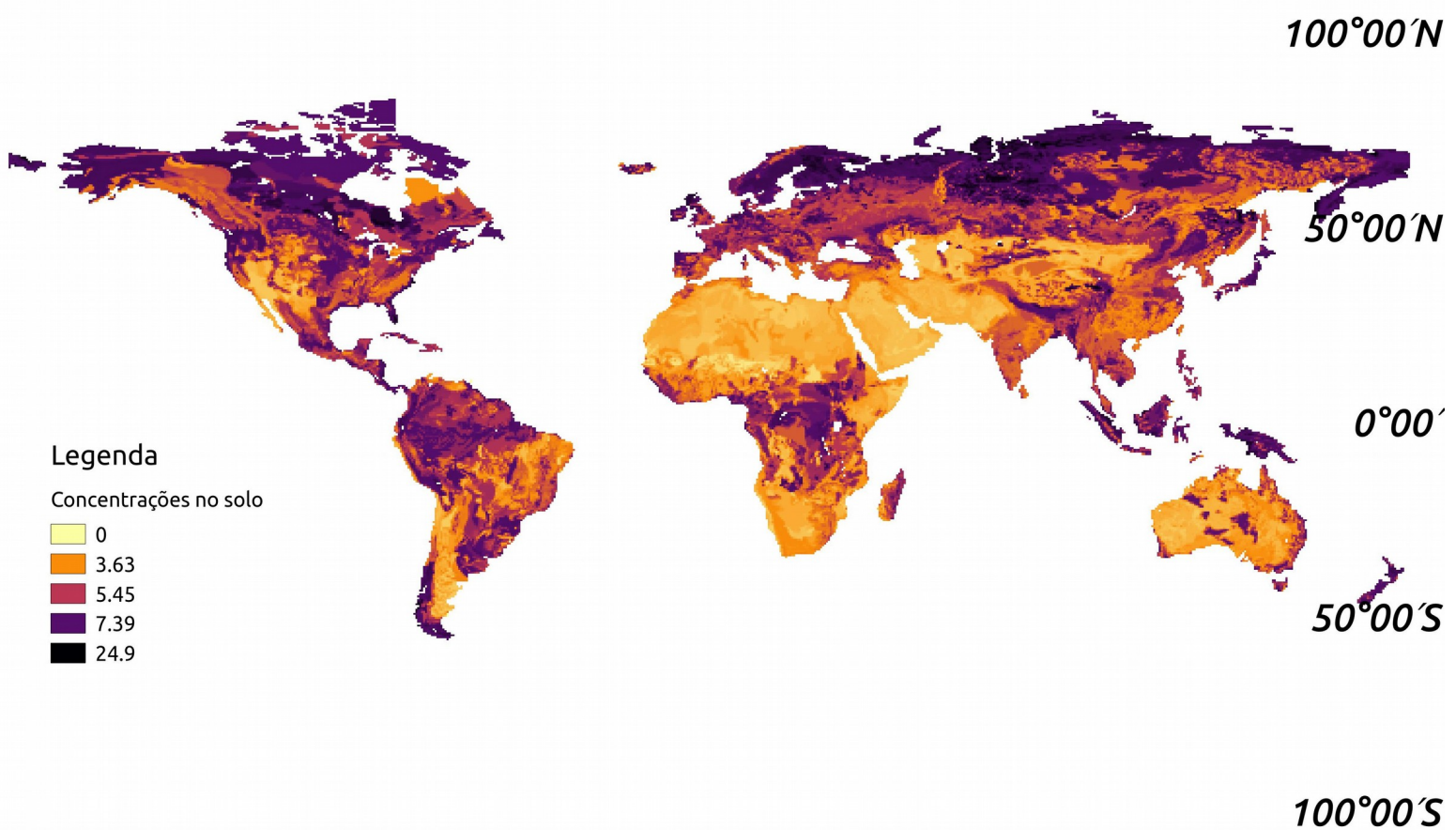
Áreas estudadas no mundo. Os continentes representados foram a América do Norte (A), a Ásia (B), a Europa (C), a América do Sul (D) e a Oceania (E).



Fonte: O autor, 2019.

APÊNDICE 2 – CARBONO ORGÂNICO NO SOLO

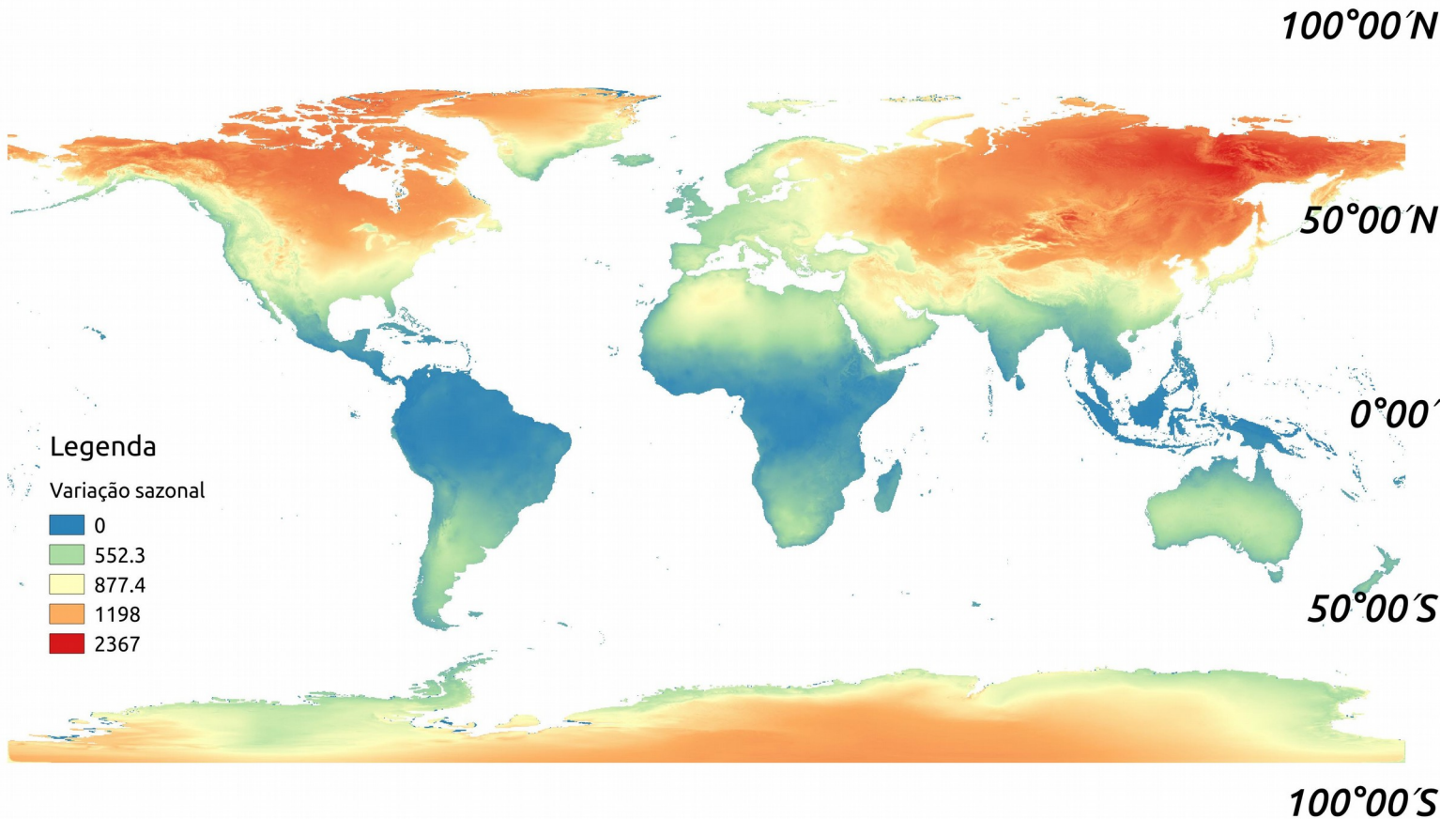
O carbono orgânico no solo (COS) no mundo. As zonas mais escuras detêm maiores concentrações de COS (kg-C/m² a 1m de profundidade), enquanto que as mais claras possuem pequenas densidades.



Fonte: O autor, 2019. Adaptado da plataforma Atlas of the Biosphere (Sage 2002).

APÊNDICE 3 – VARIAÇÃO SAZONAL DE TEMPERATURA

A variação sazonal de temperatura no mundo. As zonas em vermelho escuro apresentam as maiores variações sazonais. Os valores de variação variaram de 0 a 2367 (os valores foram gerados a partir da fórmula $SD\{T_{avg1}, \dots, T_{avg12}\} * 100$).



Fonte: O autor, 2019. Adaptado da plataforma Worldclim (Fick & Hijmans 2017).