

Universidade Federal de Juiz de Fora
Programa de Pós-Graduação em Ecologia

Simone Jaqueline Cardoso

**INFLUÊNCIA DA MORFOMETRIA DE LAGOS NA DIVERSIDADE
FITOPLANCTÔNICA**

Juiz de Fora

2009

Simone Jaqueline Cardoso

Influência da morfometria de lagos na diversidade fitoplanctônica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ecologia Aplicada a Conservação e Manejo de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr.Fábio Roland

Juiz de Fora

2009

Cardoso, Simone Jaqueline.

Influência da morfometria de lagos na diversidade fitoplanctônica /
Simone Jaqueline Cardoso . -- 2010.
103 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Ecologia)-Universidade Federal de Juiz
de Fora, Juiz de Fora, 2010.

1. Biodiversidade. 2. Ecologia. I. Título.

CDU 502.2/504

SIMONE JAQUELINE CARDOSO

**INFLUÊNCIA DA MORFOMETRIA DE LAGOS NA DIVERSIDADE
FITOPLANCTÔNICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ecologia Aplicada a Conservação e Manejo de Recursos Naturais.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a: Vera Lúcia de Moraes Huszar
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr.: José Luíz Attayde
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr.: Fábio Roland
Universidade Federal de Juiz de Fora

Um ponto, que virou uma mancha, que
virou uma letra, que virou uma
palavra, que virou uma estória...

Simone J. Cardoso

“Cada lago é um órgão da Terra”

Harold Sioli, 1965

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre está ao meu lado iluminando meus caminhos, minha mente e meu coração.

À minha família, minha bússola, meu alicerce. Em especial a minha mãe Sônia, exemplo de luta e determinação. Ao meu pai Joaquim, que sempre se esforçou para que eu nunca deixasse de estudar. À minha irmã Cibele, que está sempre comigo, dividindo as alegrias e tristezas da vida. A todos os meus familiares que mesmo à distância estão rezando e torcendo por mim, especialmente as minhas avós queridas, Maria e Nadir. Aos passarinhos da minha janela e ao meu cachorrinho Toby, por me darem carinho gratuito e alegrarem meus dias, principalmente na fase de escrita deste trabalho.

Ao meu pai científico, Fábio Roland, muito mais que um orientador, um amigo. Obrigada por tudo o que me ensinou e tem ensinado e por me abrir as portas de um mundo que eu nunca havia pensado existir para mim, a ciência.

À minha família de coração, com quem passo a maior parte dos meus dias e com quem divido não só o trabalho, mas muitas alegrias: Nathan, Raquel, Felipe, Natália, Mariana, Marcela, Caique, Gladson, Anderson, Rafael Almeida, Rafael Paiva, Guilherme Alfenas, Guilherme Bianqui, Maíra, Carol, Luciana Vidal, Lúcia, Michele, e aqueles que passaram pelo LEA e já encontraram seus caminhos: Raphaela, Alessandro, Dionéia, Marina, Eliese, Fernanda e Emílio. Obrigada a todos, sem a torcida e a ajuda de vocês nada disso seria o mesmo.

Um agradecimento especial ao Rafael Almeida, que na reta final me ajudou com os intermináveis “chic-chic” para mapeamento dos lagos. Ao Professor Arcilan, que me incentivou desde o início e me orientou nos cálculos do FA. Ao Felipe que me ensinou os primeiros passos do ArcGis e ao Márcio Malafaia que me salvou com os “pepinos” dos programas.

Aos professores Francisco de Assis Esteves, Reinaldo Bozelli, Vinícius Farjalla e Fábio Roland, por permitirem que eu conhecesse a Amazônia, em especial o lago Batata, que antes só conhecia através da literatura e infundáveis histórias do meu orientador. Conhecer Trombetas significou muito para mim.

Aos componentes da banca, Prof. Dr. José Luíz Attayde e Prof^a. Dr^a. Vera Huszar por se disponibilizarem tão prontamente a contribuírem com o trabalho.

Ao José Carlos pela amizade e por sempre me ajudar prontamente com as documentações.

Ao programa de Pós Graduação em Ecologia e à Universidade Federal de Juiz de Fora.

E a todos aqueles, que por ventura, não se encontram descritos neste agradecimento, mas, com certeza, estão agradecidos no meu coração.

RESUMO

A morfometria trata da quantificação e medida dos diversos elementos da forma, englobando, portanto, o conjunto de métodos para medir as dimensões físicas de um indivíduo ou sistema. As avaliações morfológicas têm sido um mecanismo de estudo de muitas áreas dentro da ciência e funcionam como ferramentas fundamentais tanto em escala microscópica, quanto em dimensões ecossistêmicas. Em sistemas lacustres, a compreensão dos fatores que envolvem variáveis morfométricas é de grande importância; pois, esses fatores, podem contribuir com muitas informações a respeito de suas estruturas e funções, sobre a dinâmica de cadeias tróficas, e a regulação do fluxo de substâncias desses ambientes. A morfologia dos sistemas lacustres é um fator importante também na distribuição de espécies em diferentes níveis de observação, sejam eles, locais, regionais ou globais. Resultados que suportam esta aplicabilidade foram encontrados neste estudo, que utilizou a comunidade fitoplanctônica como modelo de estudo. Foram realizados levantamentos morfométricos e de riqueza fitoplanctônica em 26 lagos amazônicos de águas claras e em 40 diferentes lagos naturais e artificiais, sendo 20 lagos brasileiros e 20 lagos de diferentes regiões do mundo. Através de regressões lineares simples, foram encontradas relações positivas significativas ($p < 0,005$) entre a riqueza de espécies fitoplanctônicas e parâmetros morfométricos como área, perímetro, volume, índice de desenvolvimento de margem e índice de desenvolvimento de volume. No entanto, o índice de desenvolvimento de margem, foi o que melhor representou a relação entre complexidade do sistema e a riqueza de espécies do fitoplâncton, caracterizando um efeito de borda em lagos.

Palavras-chave: Lagos. Morfometria. Biodiversidade. Fitoplâncton. Lagos amazônicos.

ABSTRACT

Morphometry is the measurement of various elements of form, and it includes methods to measure since the physical dimensions of an individual to the dimensions of a system. Morphological evaluations are good study mechanisms in many areas of science and work as fundamental tools from a microscopic scale to the dimensions of an ecosystem. In lakes, the understanding of the factors involving morphometric variables is of great importance. These factors can contribute with a lot of information about the structures and functions, on the dynamics of food chains, and on regulating the flow of substances such systems. The morphology of lakes is also an important factor in the species distribution at different levels of observation, whether local, regional or global. Results supporting this applicability were found in this study, which used the phytoplankton community as a model. It was performed surveys on morphometric features and phytoplankton richness in 26 Amazonian clear water lakes and on 40 different natural and artificial lakes, 20 lakes in Brazil and 20 lakes in different regions of the world. Through linear regression, we found significant positive relationships ($p < 0.005$) between phytoplankton richness and morphometric parameters such as area, perimeter, volume, shoreline development and volume development. Although, the shoreline development was the one that best correlated to the phytoplankton diversity, featuring such an edge effect in lakes.

Keywords: Lakes. Morphometry. Biodiversity. Phytoplankton. Amazonian lakes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Esquema 1: Parâmetros morfológicos e seus papéis nos estudos de lagos. Modificado de Häkanson (2004).....	20
Mapa 1: Mapa da localização do rio Trombetas, identificados alguns de seus lagos marginais (cortesia Felipe Siqueira Pacheco).....	27
Mapa 2: Mapa da localização dos 16 sistemas brasileiros selecionados	28
Mapa 3: Mapa da localização dos 20 sistemas mundiais selecionados.....	30
Desenho 1: Exemplos da riqueza fitoplanctônica inventariada em 26 lagos de inundação do rio Trombetas em dezembro de 2007.....	49
Desenho 2: representação da influência das margens em lagos, comparando lagos regulares (b, d, e) e lagos dendríticos (a, c, f). a) Lago Biwa (Japão); b) Baía do Biguá (MT – Pantanal); c) Lago Erepecu (PA –Amazônia); d) Lagos Peter e Paul (EUA); e) Lago dos Manacás (MG – Juiz de Fora); f) Reservatório Banglang (China).....	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Número de táxons por estação de amostragem no período de águas baixas..... 39

Gráfico 2: Riqueza relativa dos grupos taxonômicos por estação de amostragem no período de águas baixas..... 40

Gráfico 3: Variação da densidade fitoplanctônica por estação de amostragem no período de águas baixas..... 41

Gráfico 4: Densidade relativa, em indivíduos por mL, por estação de amostragem no período de águas baixas..... 42

Gráfico 5: Diversidade e equitabilidade de táxons por estação de amostragem no período de águas baixas..... 43

Gráfico 6: Número de táxons por estação de amostragem no período de águas altas.
Número de táxons por estação de amostragem no período de águas baixas..... 44

Gráfico 7: Riqueza relativa dos grupos taxonômicos por estação de amostragem no período de águas altas..... 45

Gráfico 8: Variação da densidade fitoplanctônica entre as estações de amostragem no período de águas altas..... 45

Gráfico 9: Densidade relativa, em indivíduos por mL, por estação de amostragem no período de águas altas..... 46

Gráfico 10: Diversidade e equitabilidade táxons por estação de amostragem no período de águas altas..... 47

Gráfico 11: Regressões lineares simples com base em dados morfométricos calculados e riqueza (número de espécies) fitoplanctônica, apresentados neste estudo para 26 lagos amazônicos de águas claras no período de águas baixas..... 61

Gráfico 12: Regressões lineares simples com base em dados morfométricos calculados e riqueza (número de espécies) fitoplanctônica, apresentados neste estudo para 26 lagos amazônicos de águas claras no período de águas baixas..... 62

Gráfico 13: Regressões lineares simples com base em dados morfométricos calculados e riqueza (número de espécies) fitoplanctônica, apresentados neste estudo para 26 lagos amazônicos de águas claras no período de águas altas..... 64

Gráfico 14: Regressões lineares simples com base em dados morfométricos calculados e riqueza (número de espécies) fitoplanctônica, apresentados neste estudo para 26 lagos amazônicos de águas claras no período de águas altas..... 65

Gráfico 15: regressões lineares simples com base em dados morfométricos calculados e riqueza (número de espécies) fitoplanctônica de 16 lagos brasileiros..... 67

Gráfico 16: regressões lineares simples com base em dados morfométricos calculados e riqueza (número de espécies) fitoplanctônica de 16 lagos brasileiros..... 68

Gráfico 17: regressões lineares simples com base em dados morfométricos calculados e riqueza (número de espécies) fitoplanctônica de 20 lagos mundiais..... 70

Gráfico 18: regressões lineares simples com base em dados morfométricos calculados e riqueza (número de espécies) fitoplanctônica de 20 lagos mundiais..... 71

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Localização do rio Trombetas e de seus lagos marginais de águas claras..... 26
- Tabela 2:** Localização dos 20 sistemas lacustres brasileiros..... 28
- Tabela 3:** Localização dos 20 sistemas lacustres mundiais..... 29
- Tabela 4:** Relação, fórmulas e descrição dos parâmetros morfométricos : Comprimento máximo, largura máxima, área, volume, profundidade máxima, profundidade média, profundidade relativa, perímetro, índice de desenvolvimento de margem, índice de desenvolvimento de volume, índice morfométrico e fator de assimetria..... 35
- Tabela 5:** Concentração de nutrientes (Carbono Orgânico Dissolvido – COD; nitrogênio total –N e fósforo total - P), profundidade máxima (Zmax), Secchi, zona eufótica (Zeu) e clorofila a em lagos amazônicos de águas claras e no rio Trombetas. A = águas baixas ; B = águas altas. Os lagos Batata e Mussurá e o rio Trombetas possuem quatro estações de coleta..... 38
- Tabela 6:** Riqueza de espécies fitoplanctônicas em lagos amazônicos de águas claras e no rio Trombetas nos períodos de águas baixas e águas altas..... 48
- Tabela 7:** Riqueza de espécies fitoplanctônicas em lagos brasileiros naturais e artificiais..... 50

Tabela 8: Riqueza de espécies fitoplanctônicas em lagos mundiais naturais e artificiais.....	51
Tabela 9: Parâmetros morfométricos referentes aos lagos amazônicos de águas claras e o rio Trombetas no período de águas baixas.....	54
Tabela 10: Parâmetros morfométricos referentes aos lagos amazônicos de águas claras e o rio Trombetas no período de águas altas.....	55
Tabela 11: Parâmetros morfométricos referentes aos diferentes lagos brasileiros naturais e artificiais.....	57
Tabela 12: Parâmetros morfométricos referentes aos diferentes lagos mundiais.....	59
Tabela 13: Valores de índice de desenvolvimento de margem (DL) apresentados por Hutchinson (1957) e Wetzel (2001). Os autores usam o símbolo DL , correspondente ao Ld neste trabalho.....	75

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 LAGOS E SUAS FORMAS	18
1.2 A IMPORTÂNCIA DAS FORMAS	19
1.3 COMUNIDADES BIOLÓGICAS E A PAISAGEM	21
1.4 PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DO FITOPLÂNCTON	23
1.5 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
1.6 HIPÓTESE PARA O ESTUDO	24
2 ÁREA DE ESTUDO	25
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 MÉTODOS PARA A AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA E DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA EM NÍVEL LOCAL	31
3.1.1 Amostragem e preservação das amostras.....	31
3.1.2 Análises.....	32
3.2 MÉTODOS PARA A AVALIAÇÃO DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA EM NÍVEIS REGIONAL E GLOBAL	33
3.3 CÁLCULO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS	33
3.3.1 Imagens de Satélite	33
3.3.2 Atributos morfométricos	34
3.3.3 Análises estatísticas	34
4 RESULTADOS	37
4.1 CONDIÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA NOS LAGOS DE INUNDAÇÃO AMAZÔNICOS E NO RIO TROMBETAS	37
4.2 COMPOSIÇÃO, DENSIDADE E DIVERSIDADE DO FITOPLÂNCTON NOS 26 LAGOS DE INUNDAÇÃO AMAZÔNICOS E NO RIO TROMBETAS	39
4.2.1 Período de águas baixas	39
4.2.2 Período de águas altas	43

4.3 RIQUEZA FITOPLANCTÔNICA	47
4.3.1 Local	47
4.3.2 Regional	50
4.3.3 Global	51
4.4. ASPECTOS MORFOMÉTRICOS	52
4.4.1 Local	52
4.4.2 Regional	56
4.4.3 Global	58
4.5 RELAÇÃO ENTRE OS ASPECTOS MORFOMÉTRICOS E A DIVERSIDADE FITOPLANCTÔNICA	60
4.5.1 Local	60
4.5.1.1 Período de águas baixas.....	60
4.5.1.2 Período de águas altas	63
4.5.2 Regional	66
4.5.3 Global	69
5 DISCUSSÃO	72
5.1 COMPOSIÇÃO E DIVERSIDADE FITOPLANCTÔNICA	72
5.1.1 Local	72
5.1.2 Regional e Global	73
5.2 RELAÇÃO ENTRE MORFOMETRIA DE LAGOS E RIQUEZA FITOPLANCTÔNICA	74
5.3 HETEROGENEIDADE ESPACIAL, EFEITO DE BORDA E ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO DE MARGEM	77
5.4 COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA E ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO DE MARGEM	78
6 CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS	81
ANEXOS	92

1 INTRODUÇÃO

1.1 LAGOS E SUAS FORMAS

Os primeiros estudos considerando a forma dos lagos surgiram com Thienemann, na tentativa de se criar uma classificação ou tipologia desses sistemas considerando suas gêneses (WETZEL, 2001; ANEXO 1). Esse mesmo autor publicou um dos primeiros trabalhos utilizando a palavra “morfometria” para caracterizar os atributos de forma. Neste trabalho, Thienemann considerava a influência da morfometria na produtividade primária em lagos (THIENEMANN, 1927). No entanto, o primeiro trabalho clássico com um foco específico no estudo da forma dos sistemas lacustres, descrevendo suas gêneses e apresentando parâmetros de mensuração, foi “Limnological Methods” (Métodos Limnológicos) realizado pelo norte americano Paul Smith Welch em 1948 (WELCH, 1948) e posteriormente melhor discutido e exemplificado por HUTCHINSON (1957).

Mais tarde, o trabalho de Thienemann sobre morfometria e produção primária em lagos foi sistematicamente testado por Brylinsky e Mann, em 43 lagos árticos e 12 reservatórios distribuídos entre o Ártico e regiões tropicais (BRYLINSKY & MANN, 1973). Com esse trabalho, esses autores chegaram à conclusão de que a morfometria não influenciava a produção primária. Logo em seguida, outra publicação (RICHARDSON, 1975) rebatia essa informação, negando a ausência de relação entre as duas variáveis, e afirmando que os parâmetros utilizados por Brylinsky e Mann não estavam adequados. Richardson afirmou, ainda, que os resultados do trabalho estavam, portanto, influenciados por erros metodológicos. O mesmo argumento foi apresentado por FEE (1979), confirmando os erros metodológicos de Brylinsky e Mann e comprovando a influência da morfologia de lagos na produção primária.

Após a publicação de FEE (1979), surgiram trabalhos pesquisando o poder de predição dos parâmetros de forma e volume em lagos suecos (HAKANSON, 1977; 1981a), enfocando a relação entre o conteúdo de substâncias húmicas e a morfometria (RASMUSSEN et al., 1989), a influência da forma sobre o sedimento (HAKANSON, 1981b; BLAIS & KALFF, 1995), a importância da morfometria para os processos de eutrofização (GENKAY-KATO & CARPENTER, 2004) e a produtividade biológica (CARLSON, 1977; STRASKRABA, 1980),

e sua relação com padrões físicos e químicos como dissolução de nutrientes (ALBERT et al., 2005; PAIRA & DRAGO, 2007).

No Brasil, o trabalho pioneiro sobre morfometria de lagos foi desenvolvido por John Melack para caracterizar a planície do rio Solimões na Amazônia (MELACK, 1984). O trabalho de Melack foi seguido de outros trabalhos de caracterização em lagos de inundação de águas claras, também na planície amazônica (PANOSSO et al., 1995), em lagoas costeiras fluminenses (PANOSSO et al., 1998), em Minas Gerais, nas lagoas do Nado (BEZERRA-NETO & PINTO-COELHO, 2002) e Dom Helvécio (BEZERRA-NETO & PINTO-COELHO, 2008), no Pantanal Matogrossense (FANTIN-CRUZ et al., 2008), em sistemas lacustres do médio Araguaia (MORAIS et al., 2005), e em reservatórios de hidroelétricas brasileiros (ROSA et al., 1998; 1999; SANTOS, 2009). Foram desenvolvidos, ainda, trabalhos propondo novos parâmetros metodológicos para elucidar a influência das margens em condicionantes limnológicos de reservatórios, como os desenvolvidos por (ASSIREU et al., 2002; 2004).

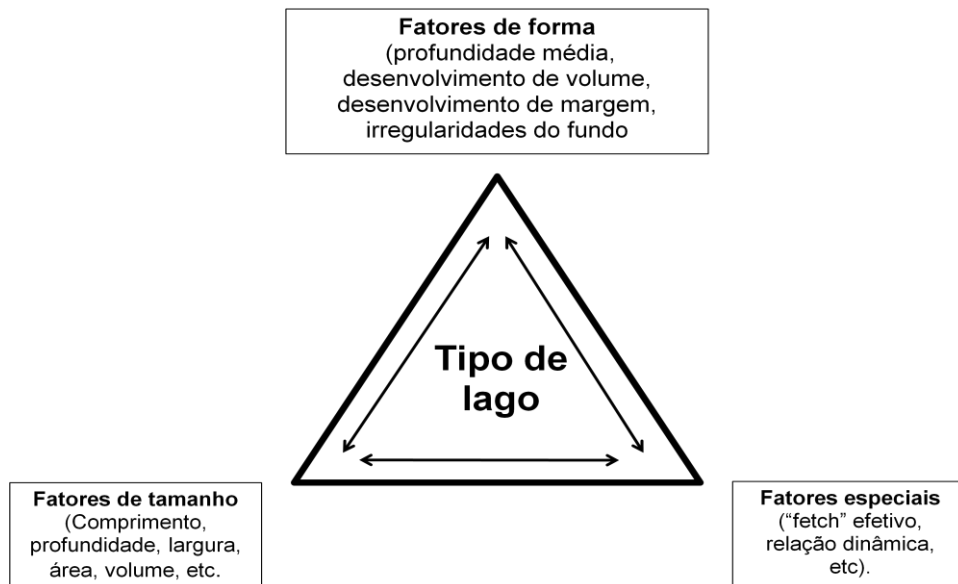
A avaliação da influência da morfometria na dinâmica de lagos tem sido um assunto muito discutido desde os primórdios da limnologia, porém com poucas informações que comprovem e qualifiquem esse tipo de influência. Os trabalhos de HÄKANSON (2004; 2005), que são alguns dos mais completos sobre o assunto, abordam de forma abrangente a importância de se estudar a forma dos lagos, porém com algumas limitações quanto aos parâmetros biológicos. Trabalhos envolvendo padrões morfométricos e comunidades são poucos e consideram moluscos, aves e peixes (BROWNE, 1981), bactérias (BEISNER et al., 2006), em suas correlações. No entanto, aqueles que consideram o plâncton (BEISNER et al., 2003; MARKENSTEN, 2006) são escassos e até o presente poucos trabalhos abordaram a diversidade fitoplanctônica (SMITH et al., 2005).

1.2 A IMPORTÂNCIA DAS FORMAS

A morfologia de lagos trata da quantificação e medida dos diversos elementos da forma, englobando, portanto, o conjunto de métodos para medir as dimensões físicas de um indivíduo ou sistema (VON-SPERLING, 1999). As avaliações morfológicas têm sido um mecanismo de estudo de muitas áreas dentro da ciência e funcionam como uma ferramenta fundamental tanto em escala microscópica (p.ex. estudo sobre células), quanto em dimensões ecossistêmicas (p. ex. estudo de relevos e fisionomias).

Em sistemas lacustres, a compreensão dos fatores que envolvem variáveis morfométricas é de grande importância, pois, esses fatores podem contribuir com muitas informações a respeito das estruturas e funções, sobre a dinâmica de cadeias tróficas, e sobre a regulação do fluxo de substâncias desses sistemas (HAKANSON, 1995; BRONMARK e HANSSON, 2006).

Existem muitos atributos mensuráveis em um lago, o que torna muitas vezes confusa a aplicabilidade da morfologia de lagos. Em síntese, os principais parâmetros descritores podem ser separados em três grupos: fatores de forma, fatores de tamanho e fatores especiais (Esquema 1; HAKANSON, 2004). Os fatores de forma podem ser atributos adimensionais, como o índice de desenvolvimento de margem, que fornece a informação sobre a irregularidade das margens de um lago, ou métricas simples, como as de profundidade média, que nos dá uma noção de como a “massa d’água” interage com o sedimento. Os atributos de tamanho são medidas simples, que nos fornecem informações métricas, como: comprimento, área e volume. Os fatores especiais, por sua vez, são aqueles que nos trazem informações sobre a dinâmica do lago, como as medidas de “fetch” (pista) do lago, que qualificam a ação dos ventos sobre a superfície dos lagos, informando a direção dos ventos, capazes de promover padrões de mistura e estratificação.



Esquema 1: Parâmetros morfológicos e seus papéis nos estudos de lagos. Modificado de HÄKANSON (2004).

Os lagos podem apresentar formas muito variadas, que em muitos casos, estão relacionadas aos processos de formação desses sistemas, ao tipo de interações que

estabelecem com o meio e às condições ambientais a que são submetidos. Alguns lagos são alongados, tendendo a uma forma elíptica, a exemplo daqueles formados por glaciações, como o lago Biwa no Japão. Outros se formam a partir de meandros perdidos de rios, como os “oxbow lakes” (lagos em ferradura) da planície de inundação do Pantanal ou são bem dendríticos, apresentando várias reentrâncias formadas pela ação da água como os lagos de inundação amazônicos e os reservatórios criados pelo homem. Outros, ainda, são simples, com formatos circulares, formas típicas de lagos pequenos naturais.

As relações entre a forma de um lago e seu tamanho, sua natureza física e química e os eventos biológicos que acontecem nela podem parecer aparentes. No entanto, são enormemente dependentes e relacionadas a outras forças ambientais, como o clima e o relevo. Alterações ambientais, como as mudanças climáticas atuais, interferem muito nas condições do meio aquático. Um exemplo é o fenômeno das chuvas ácidas, que promovem tanto alterações de temperatura quanto de pH nesses ecossistemas. Em lagos, dependendo do volume de água ou da área em contato com o meio terrestre, os danos podem ser intensificados, havendo concentração dos componentes ácidos como em lagos pequenos e rasos, ou amenizados, havendo diluição como em lagos grandes e profundos. Essas alterações, por sua vez, atingem diretamente a biota, causando mortandade de animais e extinção de espécies. Desta forma, fica evidente que a morfologia de um sistema pode influenciar de maneira direta ou indireta não só as condições físicas e químicas da água mas também as comunidades biológicas que nela existem.

1.3 COMUNIDADES BIOLÓGICAS E A PAISAGEM

A ecologia é a ciência da casa e de todos os organismos contidos nela (ODUM, 1988). Há muito tempo se vem tentando conhecer melhor as interações entre os seres vivos e o meio ambiente. Esta tem sido, talvez, a ambição do homem desde seus primórdios, antes mesmo de existir ciência. Trata-se de uma tarefa não muito fácil, pois a vida na Terra é dinâmica e pode variar tanto no tempo quanto no espaço, em escalas diversas (TOWNSEND et al., 2006).

Na escala de “paisagem”, o ideal é olharmos para os organismos em nível de populações ou comunidades (ODUM, 1988). Desta maneira, uma floresta ou um lago podem constituir uma paisagem que abriga uma gama variada de interações. Um lago pode abrigar muitas espécies e populações que coexistem e se sobrepõem. Cada espécie alcança sua

densidade máxima em pontos particulares do espaço ou em diferentes momentos no tempo (MARGALEF, 1983). A existência de fatores favoráveis a muitas espécies proporciona uma maior riqueza e, conseqüentemente, uma maior biodiversidade (HARRISON, 2006a; TUNDISI & TUNDISI, 2008).

O conceito de diversidade de espécies é muito discutido, principalmente, por ser argumento para muitas iniciativas de preservação e conservação ambiental, abrangendo também o cenário político e social (LEWINSOHN & PRADO, 2002). Sob um contexto mais teórico, esse conceito tem sido uma grande incógnita para os ecólogos, que buscam padrões de distribuição de espécies no globo, a exemplo das pesquisas enfocando a diversidade nos trópicos e nos ambientes temperados, tentando encontrar um gradiente latitudinal de biodiversidade (TOWNSEND et al., 2006; MOSS, 2007, COSTA et. al.; em prep.). Entre as formas de se conhecer a diversidade, uma das medidas mais simples para quantificar e expressar a complexidade de táxons de uma região diz respeito à riqueza de espécies (MAGURRAN, 2003; SANTOS, 2009). Riqueza de espécies consiste simplesmente no número de espécies presente em uma determinada comunidade ou área de interesse (WILSEY et al., 2005; RICKLEFS, 2003).

Em uma escala de paisagem, a distribuição da riqueza e a estruturação das comunidades podem estar associadas a características ambientais, tanto em escalas globais, a exemplo do aumento das diferenças de temperatura na superfície da Terra, ou regionais, como a heterogeneidade espacial de habitats (BEISNER et al., 2006). Alguns padrões de distribuição de espécies, que eram até bem pouco tempo atrás reconhecidos apenas para ambientes terrestres, como os propostos pela teoria da biogeografia de ilhas (MACARTHUR & WILSON, 1967), estão atualmente sendo também reconhecidos em lagos. À medida que lagos se tornam isolados uns dos outros, são criadas as condições intrínsecas, necessárias e essenciais para que um processo de especiação ocorra.

Um dos primeiros trabalhos a considerar lagos como “ilhas” em um contexto biogeográfico foi desenvolvido por BARBOUR & BROWN (1974), ao examinarem a diversidade de peixes em lagos americanos, seguidos de outros trabalhos considerando a dispersão de mexilhões (SEPKOSKI & REX, 1974), gastrópodes (LASSEN, 1975; AHO, 1978), e zooplâncton (BROWNE, 1981). Outros fatores biogeográficos que tem sido muito discutido estão relacionados aos parâmetros morfométricos e à conectividade dos sistemas (NABOUT et al., 2007). Lagos maiores, assim como lagos mais profundos, podem potencialmente abrigar um número maior de espécies, por apresentarem uma área de interações maior (SCHEFFER et al., 2006). Em sistemas conectados, por sua vez, há um fluxo maior de

espécies, gerando um efeito homogeneizador entre eles (BINI & THOMAZ, 2001; BINI, 2003; DAGA, 2009). Outro fator importante a ser considerado, e que até o momento tem sido abordado apenas em estudos de sistemas terrestres é o efeito de borda. Esse efeito é pouco explorado em sistemas lacustres para descrever padrões de comunidades biológicas. Apenas trabalhos que versam sobre a zonação de comunidades bentônicas (ESTEVES, 1998) e de macrófitas aquáticas (HAKANSON, 2004) o consideram como fator como relevante, de modo que muito pouco se sabe sobre efeito de borda nesses ambientes e menos ainda sobre seus efeitos para a comunidade planctônica.

1.4 PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DO FITOPLÂNCTON

Entre os séculos XIX e XX, época em que muito se discutia sobre macro ecologia e em que se acreditava que muitas teorias fossem irrelevantes em uma escala microscópica (O'MALLEY, 2007), surge, a partir de estudos microbiológicos em laboratório, uma das teorias ecológicas de distribuição de espécies ainda hoje muito debatida. Esta é conhecida por uma frase famosa utilizada pela primeira vez por BAAS (1934): “everything is everywhere, but the environment selects” (qualquer coisa está em qualquer lugar, mas o ambiente seleciona) (WIT & BOUVIER, 2006). Esta teoria de distribuição de espécies foi utilizada pela primeira vez a partir de ensaios com bactérias, mas também tem sido aplicada ao plâncton numa tentativa de se explicar sua distribuição, e em casos mais específicos, para explicar a distribuição de algumas cianobactérias como *Cylindrospermopsis raciborskii* (LUNDHOLM & MOESTRUP, 2006).

Muitas espécies planctônicas são cosmopolitas (REYNOLDS, 2006), no entanto, sua distribuição no espaço, ainda não é bem conhecida. Em escala local, a distribuição do plâncton é muitas vezes classificada como agregada, ou dispersão em manchas (MARGALEF, 1983; KALFF, 2002). Muito se sabe sobre a distribuição vertical do plâncton em lagos, mais abordada em trabalhos limnológicos do que a componente horizontal, até mesmo por questões históricas. A componente horizontal, por sua vez, carece ainda de estudos. A morfometria de lagos é apontada em muitos trabalhos como variável a ser considerada na explicação de padrões de distribuição de espécies fitoplanctônicas (REYNOLDS, 1999; 2006; WETZEL, 2001), no entanto, geralmente pouco qualificadas. Trata-se de uma vertente muito importante, pois conhecer o quanto a forma de lagos pode ser

um fator preditivo para diversidade fitoplanctônica poderá ser uma ferramenta fundamental no manejo dos ecossistemas aquáticos.

1.5 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.5.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as relações entre a riqueza fitoplanctônica e os atributos morfométricos de sistemas lacustres em três escalas espaciais: local, regional e global.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Comparar aspectos gerais da morfologia de lagos, condições físicas e químicas da água, bem como a composição, riqueza, equitabilidade e abundância do fitoplâncton de 26 lagos amazônicos de águas claras, em dois períodos do pulso hidrológico (águas baixas e águas altas).
- b) Descrever e comparar aspectos gerais da riqueza fitoplanctônica com padrões morfométricos de diferentes sistemas lacustres brasileiros e mundiais.
- c) Estabelecer uma relação teórica entre riqueza fitoplanctônica e morfologia de lagos de lagos.

1.6 HIPÓTESE PARA O ESTUDO

Habitats heterogêneos favorecem o aumento da diversidade de espécies. Portanto, quanto maior a complexidade morfométrica de lagos, maior a riqueza fitoplanctônica abrigada por eles.

2 ÁREA DE ESTUDO

As áreas de estudo deste trabalho estão organizadas em escalas espaciais:

- I) Local - lagos amazônicos de águas claras;
- II) Regional – diferentes lagos brasileiros naturais e artificiais;
- III) Global – diferentes lagos mundiais naturais e artificiais;

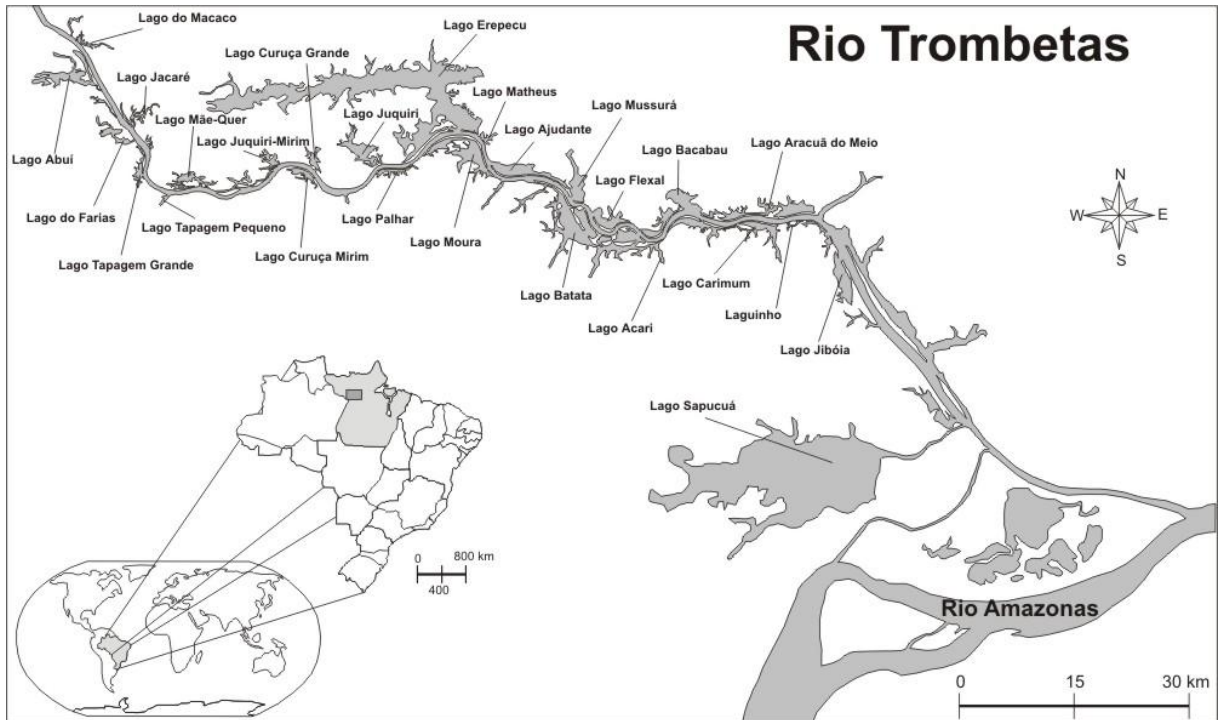
D) LAGOS AMAZÔNICOS DE ÁGUAS CLARAS

A bacia do rio Trombetas está localizada entre as coordenadas S 2°11'31", O 57°9'33" e S 55°26'36", O 0°57'17" e possui uma área de aproximadamente de 7.050.000 km² (SIOLI, 1984). Trata-se de uma região marcada por elevada pluviosidade anual, que varia entre 1500 e 3000 mm (LIN, 2003) e por inundações periódicas influenciadas pelo degelo dos Andes. O pulso de inundação nos grandes rios desta região é efeito da sazonalidade e depende da localização desses rios em relação ao rio Amazonas. Nos tributários da margem direita do Amazonas a enchente vai de setembro/outubro a abril/maio, enquanto nos da margem esquerda o pico da águas altas ocorre em junho/julho. (BARROS, 2008).

O rio Trombetas pertence à bacia do médio rio Amazonas e tem sua cabeceira nos maciços da Guiana. Percorre as litologias terciárias da Formação Barreiras, de idade posterior ao Plioceno (RADAMBRASIL, 1976). Este rio, que se localiza a margem esquerda do rio Amazonas e tem um leito bem definido, com margens estáveis que se modificam quando atingem os sedimentos terciários da Formação Barreiras. Nesta porção da bacia é que se encontram lagos associados ao rio, oriundos dos trabalhos de erosão e deposição de sedimentos (BOZELLI et al., 2000). As coletas para o presente estudo foram realizadas em 26 desses lagos marginais (Tabela 1, Mapa 1)

Tabela 1: Localização do rio Trombetas e de 26 de seus lagos marginais de águas claras.

Sistema	Coordenada Geográfica
Lago Abuir	S 1° 16' 17", O 56° 56' 56"
Lago Acari	S 1° 33' 06", O 56° 13' 11"
Lago Ajudante	S 1° 27' 21", O 56° 22' 45"
Lago Aracuã do meio	S 1° 30' 48", O 56° 07' 37"
Lago Bacabau	S 1° 29' 34", O 56° 11' 06"
Lago Batata	S 1° 31' 56", O 56° 18' 31"
Lago Carimum	S 1° 31' 37", O 56° 06' 06"
Lago Curuça Grande	S 1° 26' 21", O 56° 38' 04"
Lago Curuça Mirim	S 1° 25' 15", O 56° 37' 17"
Lago Erepecu	S 1° 20' 26", O 56° 28' 06"
Lago Farias	S 1° 21' 45", O 61° 01' 51"
Lago Flexal	S 1° 30' 49", O 56° 16' 10"
Lago Jacaré	S 1° 20' 32", O 56° 51' 01"
Lago Jibóia	S 1° 38' 05", O 55° 59' 30"
Lago Juqueri	S 1° 25' 02", O 56° 34' 06"
Lago Juqueri Mirim	S 1° 24' 55", O 60° 58' 58"
Lago Laginho	S 1° 31' 43", O 56° 04' 07"
Lago Macaco	S 1° 12' 51", O 56° 53' 50"
Lago Matheus	S 1° 24' 49", O 56° 24' 37"
Lago Moura	S 1° 03' 39", O 15° 08' 58"
Lago Mussurá	S 1° 28' 57", O 56° 18' 17"
Lago Mãe Quer	S 1° 25' 55", O 56° 46' 58"
Lago Palhar (Palhau)	S 1° 26' 46", O 56° 31' 14"
Lago Sapucuá	S 1° 47' 25", O 55° 59' 38"
Lago Tapagem Grande	S 1° 24' 51", O 60° 59' 07"
Lago Tapagem Pequena	S 1° 25' 59", O 56° 51' 26"



Mapa 1: Mapa da localização do rio Trombetas, identificados 26 de seus lagos marginais (por Felipe S. Pacheco).

II) DIFERENTES LAGOS BRASILEIROS NATURAIS E ARTIFICIAIS

Foram selecionados 16 lagos brasileiros, incluindo lagos de inundação e reservatórios de hidrelétricas, de diferentes regiões do país. Dois destes lagos (lago Batata e lago Mussurá), são pertencentes à bacia do rio Trombetas e também fazem parte da análise local (Tabela 2, Mapa 2). O critério utilizado para a seleção foi a presença de dados publicados em literatura científica sobre a riqueza de espécies fitoplanctônicas.

Tabela 2: Localização dos 16 sistemas lacustres brasileiros

Sistema	Localização	Coordenada Geográfica	Fonte
Lago Batata	Amazônia - Pará	S 1° 31' 56", O 56° 18' 31"	Huszar, 1996
Lago Mussurá	Amazônia - Pará	S 1° 28' 57", O 56° 18' 17"	Huszar, 1996
Lago Cruzeta	Rio Grande do Norte	S 6° 24' 23", O 36° 47' 35"	Chellappa et al., 2008
Lago Paranoá	Brasília	S 15° 47' 20", O 47° 48' 40"	Branco & Senna, 1996
Lago Taperoá	Paraíba	S 7° 12' 51", O 36° 50' 41"	Barbosa, 2002
Lagoa da Pampulha	Minas Gerais	S 19° 51' 08", O 43° 58' 41"	Figueredo & Giani, 2001
Lagoa da UFES	Espírito Santo	S 20° 16' 39", O 40° 18' 20"	Martins & Fernandes, 2006
Lagoa dos Patos	Rio Grande do Sul	S 32°20', O 52°20'	Corrêa & Bergesch, 2008
Baía Santa Rosa	Pantanal - Mato Grosso	S 16°42' 14,1", O 56°28'19,6"	Cardoso et al., em prep.
Corixo Moquém	Pantanal - Mato Grosso	S 16°34'5,4", O 56°24'2,6"	Cardoso et al., em prep.
Lagoa do Coqueiro	Pantanal - Mato Grosso	S 16°15'12", O 56°22'12"	Loverde-Oliveira, 2005
UHE Corumbá	Goiás	S , O 48° 33' 28"	Santos, 2009
UHE Itumbiara	Goiás	S 18° 22' 00", O 49° 01' 00"	Santos, 2009
Reservatório Manacás	Minas Gerais	S 21° 46' 44", O 43° 22' 07"	Soares et al., 2009
APM Manso	Mato Grosso	S 14° 50' 38", O 55° 41' 05"	Santos, 2009
UHE Mascarenhas de Moraes	Minas Gerais	S 20° 22' 00", O 46° 54' 00"	Santos, 2009

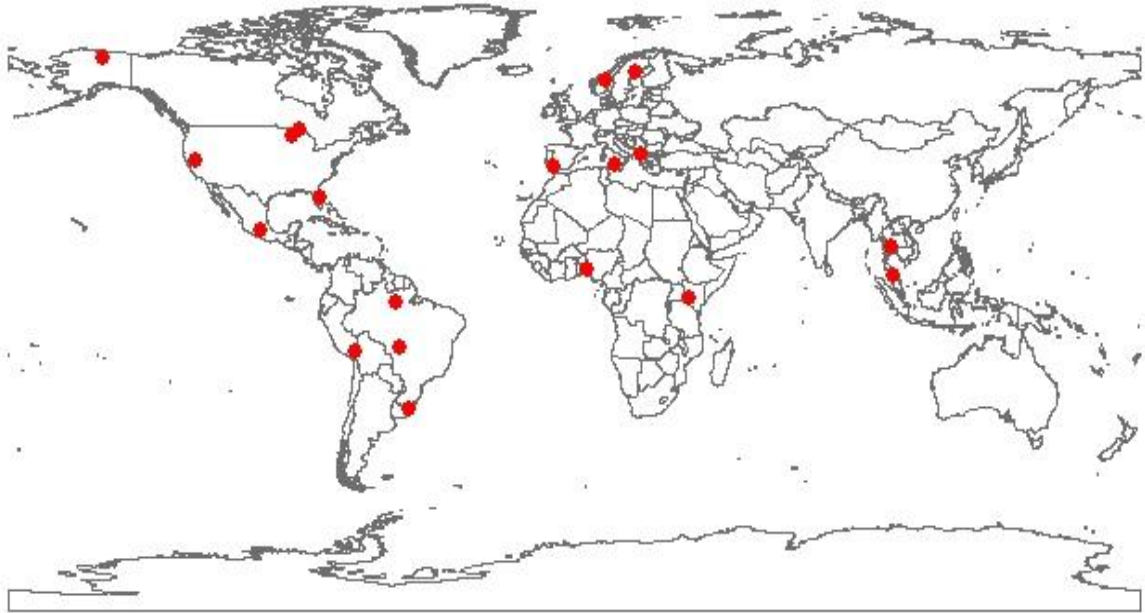
**Mapa 2:** Mapa da localização dos 20 sistemas brasileiros selecionados.

III - DIFERENTES LAGOS MUNDIAIS NATURAIS E ARTIFICIAIS

Foram selecionados 20 lagos de diferentes regiões do mundo, incluindo lagos de inundação e reservatórios de hidroelétricas. Três destes lagos (lago Batata, APM Manso e Lagoa dos Patos) também fazem parte da análise regional (Tabela 3, Mapa 3). O critério utilizado para a seleção foi a presença de dados publicados em literatura científica sobre a riqueza de espécies fitoplanctônicas.

Tabela 3: Localização dos 20 sistemas lacustres mundiais

Sistema	Localização	Coordenada Geográfica	Fonte
Lago Batata	Amazônia - Pará	S 1° 31' 56", O 56° 18' 31"	Huszar, 1996
APM Manso	Mato Grosso	S 14° 50' 38", O 55° 41' 05"	Santos, 2009
Lagoa dos Patos	Rio Grande do Sul	S 32°20', O 52°20'	Corrêa & Bergesch, 2008
Sandsjon	Suécia	N 64° 19' 35", L 19° 44' 08"	Bergström et al., 2008
Arancio	Itália	N 37° 37' 50", L 13° 03' 58"	Flores & Barone,, 1998
Kastoria	Grécia	N 40° 31' 37", L 21° 17' 37"	Moustaka-Gouni et al., 2007
Santa Olalla	Espanha	N 36° 58' 39", O 6° 28' 39"	López-Archilla et al., 2003
Atnsjoen	Noruega	N 61° 52' 42", L 10° 10' 22"	Brettum & Halvorsen, 2004
Toolik	Alasca	N 68° 37' 54", O 149° 36' 21"	Forsström, 2006
Peter	EUA	N 46° 15' 07", O 89° 30' 13"	Elser et al., 1986
Paul	EUA	N 46° 15' 07", O 89° 30' 13"	Elser et al., 1987
Indian River Lake	EUA	N 28° 16' 49", O 80° 38' 16"	Badylak & Philips, 2004
Tahoe	EUA	N 39° 05' 00", O 120° 01' 00"	Kamenir et al., 2008
Superior	EUA	N 47° 43' 00", O 87° 07' 00"	Barbiero et al., 2001
Rama IX	Tailândia	N 14° 02' 01", L 100° 43' 08"	Pongswat et al., 2004
Banglang Reservoir	Tailândia	N 6° 05' 56", L 101° 17' 42"	Ariyadej et al., 2004
Zempoala	México	N 19° 03' 02", O 99° 18' 51"	García-Rodríguez & Tavera, 2002
Titicaca	Peru/Bolívia	S 15° 49' 00", O 69° 20' 00"	Morales et al., 2008
Awba Reservoir	Nigéria	N 7° 26' 33", L 3° 53' 15"	Akin-Oriola, 2003
Naivasha	Quênia	S 0° 46' 30", L 36° 21' 21"	Hubble & Harper, 2002



Mapa 3: Mapa da localização dos 20 sistemas mundiais selecionados .

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MÉTODOS PARA A AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA E DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA EM NÍVEL LOCAL – LAGOS AMAZÔNICOS DE ÁGUAS CLARAS.

3.1.1 AMOSTRAGEM E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS

Amostras para quantificação de nutrientes (C; N; P) e avaliação das comunidades fitoplanctônicas foram coletadas em 26 lagos de inundação do rio Trombetas em dezembro de 2007 e junho de 2008. Os períodos de coleta foram representativos das fases de águas baixas e águas altas respectivamente.

Amostras para a estimativa da densidade fitoplanctônica foram coletadas em sub-superfície e fixadas com solução de Lugol (VOLLENWEIDER, 1974). As referentes à análise qualitativa foram coletadas por meio de uma rede de plâncton de malha de 25 μm de poro e preservadas com solução Transeau (BICUDO & MENEZES, 2004).

As alíquotas de água, coletadas para a quantificação de nitrogênio e fósforo totais, foram preservadas a $\text{pH} < 2,0$ até serem analisadas. As amostras para estudo das concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) foram filtradas em membrana GF/C (1,2 μm) e fixadas com ácido fosfórico. Amostras para a quantificação de clorofila a (100 mL) foram filtradas em filtros GF/C e os filtros resfriados até o momento da análise. A profundidade máxima foi aferida em cada sistema por meio de um ecobatímetro da marca GARMIN modelo GPSmap 520 s. A transparência da água foi estimada utilizando o disco de Secchi e o limite da zona eufótica como três vezes o valor para o disco de Secchi (COLE, 1994).

3.1.2 ANÁLISES

As concentrações de nitrogênio total foram estimadas por titulometria segundo MACKERETH et al., (1978) e as concentrações de fósforo total (PT) foram estimadas segundo o método do complexo azul de molibdênio, através de leitura em espectrofotômetro (GOLTERMAN et al., 1978). O carbono orgânico dissolvido foi analisado pelo método UV em um analisador de carbono Tekmar-Dohrmann modelo Phoenix 8000 e a clorofila a foi analisada pelo método de extração com etanol a quente segundo NUSCHE & PALME (1975).

A abundância fitoplanctônica foi estimada através do método de Utermöhl (UTERMÖHL, 1958) em um microscópio invertido Olympus modelo IX71. O volume sedimentado foi definido de acordo com a concentração de algas e detritos, sendo o tempo de sedimentação nunca inferior a três horas para cada centímetro de altura da câmara (MARGALEF, 1983). As unidades (células, colônias e filamentos) foram enumeradas em campos aleatórios (UHELINGER, 1964) em número suficiente para alcançar 100 indivíduos da espécie mais freqüente, quando o erro é inferior a 20%, a um intervalo de confiança de 95% (LUND et al., 1958). Quando isso não foi possível, foram contados tantos campos quantos necessários para que se estabilizasse o número de espécies adicionadas por campo (método da área mínima), para que se garantisse uma representatividade qualitativa mínima das espécies (HUSZAR & GIANI, 2004).

As unidades taxonômicas foram agrupadas nos principais grupos taxonômicos de acordo com VAN DER HOEK et al., (1995) exceto para Cyanobacteria (KOMÁREK & ANAGNOSTIDIS, 1999; 2005) e identificadas de acordo com bibliografia adequada. A diversidade fitoplanctônica foi acessada por meio dos valores de riqueza (número total de espécies por amostra) e através do índice de Shannon (H') (SHANNON & WEAVER, 1963), inventariados em cada estação de amostragem. A equitabilidade foi estimada através do índice de equitabilidade J (ODUM, 1988).

3.2 MÉTODOS PARA A AVALIAÇÃO DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA EM NÍVEIS REGIONAL E GLOBAL

Em níveis regional e global a comunidade fitoplanctônica foi acessada por meio de valores de riqueza taxonômica (número de táxons por amostra). Os valores de riqueza (Tabelas 7 e 8), foram retirados de literaturas científicas que apresentaram os mesmos métodos de amostragem, método de sedimentação (UTERMÖHL, 1958). Esses valores são provenientes de tabelas, listas de espécies e gráficos apresentados nos trabalhos. Em relação à abrangência da amostragem, foram considerados os sistemas que representassem uma maior representatividade das diferentes regiões do Brasil e do Mundo.

3.3 CÁLCULO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

3.3.1 IMAGENS DE SATÉLITE

As imagens de satélite utilizadas para os cálculos morfométricos foram acessadas no site público “global land cover facility” (<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat/> ou <http://www.landcover.org>), e no banco de imagens do Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>).

Foram utilizadas imagens LANDSAT e as bandas TM3, TM4 e TM5. Os contornos de margem foram realizados, principalmente, a partir da banda 5, que opera na faixa espectral de 1.550 a 1.750 nm, referente ao infra-vermelho médio, e com resolução espacial de 30 x 30m (MOREIRA, 2007).

A banda 5 foi escolhida, preferencialmente, no processo de mapeamento, por facilitar a delimitação das margens. Nesta banda, os corpos d’água apresentam uma aparência enegrecida, ou seja, ficam muito escuros devido à capacidade da água de absorver a faixa do infra-vermelho e de refletir baixos comprimentos de onda. Esta característica dos corpos d’água, portanto, facilitou a delimitação entre a água (cores mais escuras) e o solo (cores mais claras).

Foram utilizadas imagens, sempre que possível, imagens recentes e referentes aos períodos de águas altas e águas baixas de cada sistema. Todas as imagens foram processadas no programas ArcGis 9.x e Spring 5.1.2. As delimitações de margem foram realizadas manualmente, sempre na máxima resolução possível, inferior a 1:100.000.

3.3.2 ATRIBUTOS MORFOMÉTRICOS

Todos os atributos morfométricos deste estudo, foram calculados segundo metodologia proposta por HÄKANSON (2004), exceto o Fator de Assimetria (FA), calculado segundo ASSIREU (2004) e estão descritas na Tabela 4. Os atributos: área, perímetro, volume, índice de desenvolvimento de margem, índice de desenvolvimento de volume, índice morfométrico e FA foram analisados juntamente com a riqueza de espécies em regressões lineares simples a fim de se testar as hipóteses deste estudo.

3.3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foram utilizadas regressões lineares simples para relacionar dados morfométricos e riqueza fitoplanctônica. Esses dados foram logaritimizados (\log_{10}) para melhor evidenciar as relações. Para todos os testes estatísticos as diferenças foram consideradas significativas se a probabilidade de um evento ocorrer fosse $< 0,005$ (p), correspondente ao intervalo de 95% de confiança. Todos os testes, bem como os gráficos, foram realizados no programa SigmaPlot versão 11.0.

Tabela 4: Relação, fórmulas e descrição dos parâmetros morfométricos : Comprimento máximo, largura máxima, área, volume, profundidade máxima, profundidade média, profundidade relativa, perímetro, índice de desenvolvimento de margem, índice de desenvolvimento de volume, índice morfométrico e fator de assimetria.

Parâmetro	Sigla	Unidade	Fórmula	Observações	Descrição
Comprimento máximo	L_{max}	km	-	-	Lmax é definido como a linha que conecta os dois pontos mais distantes do lago. Esta linha pode ser reta, em lagos regulares, ou curva, em de lagos irregulares.
Largura máxima	B_{max}	km	-	-	Bmax é definida como a linha que une os dois pontos mais distantes das margens sem ultrapassar seus limites.
Área	A	km ²	$A = \text{ABS}(\sum(x_i * Y_i + 1) - \sum(y_i * x_i + 1))/2,0$	ABS = símbolo do valor absoluto; x _i e y _i = coordenadas geográficas.	A área total do lago pode ser calculada através do mapeamento por imagem de satélite, em que cada ponto em torno da margem se torna uma coordenada geográfica integrada a um arquivo vetorial.
Volume	V	m ³	$V_l = \sum_{i=0}^n (Lc/2) * (A_i + A_{i+1})$ $V_p = \sum_{i=0}^n (Lc/3) * (A_i + A_{i+1} + \sqrt{(A_i + A_{i+1})})$	Lc = o intervalo de contorno; A _i = a área total dentro dos limites da linha de contorno (em km ²).	Para o cálculo do volume em m ³ podem ser utilizadas duas fórmulas: A fórmula V _l utilizada para uma aproximação linear do volume e a fórmula V _p para uma aproximação parabólica.
Profundidade máxima	D_{max}	m	-	-	Dmax é definida como a máxima profundidade conhecida para o lago. E pode ser estimada através dos arquivos raster da interface GIS.
Profundidade média	D_{mv}	m	$D_{mv} = V/A$		Dmv em metros é definida como a razão entre o volume do lago (V em m ³) e a área do lago (A em m ²).
Profundidade relativa	D_{rel}	m	$D_{rel} = D_{max} * \sqrt{\pi} / (20,0 * \sqrt{A})$	A = área (em m ²).	Drel é definida como a razão entre a profundidade máxima (D _{max}) e o diâmetro médio do lago.
Perímetro	L₀	km	-	-	O perímetro, em metros, pode ser estimado por programas de geoprocessamento (GIS), como os utilizados neste estudo também para calcular a área.

Continuação

Parâmetro	Sigla	Unidade	Fórmula	Observações	Descrição
Índice de desenvolvimento de margem	L_d	adimensional	$L_d = L_0/2 * \sqrt{(\pi * A)}$	L ₀ = Perímetro do lago (em km); A = Área do lago (em km ²).	L _d é a razão entre a margem de um lago qualquer e a margem de um círculo perfeito de área igual a do lago. De forma que, o seu valor reflete o quanto o contorno do lago se afasta do contorno de um círculo perfeito de mesma área.
Índice de desenvolvimento de volume	V_d	adimensional	$V_d = (A * D_{mv} * 0,001)/(A * D_{max} * 0,001 * 1/3)$ $= 3 * (D_{mv}/D_{max})$	D _{mv} = profundidade média.	V _d é definido pela razão entre o volume de água do lago e o volume de um cone com a base igual a da superfície do lago (A em km ²) e com altura igual a máxima profundidade (D _{max} em m).
Índice morfométrico	MI	adimensional	$MI = L_0/D_{mv}$	L ₀ = perímetro (em m); D _{mv} = profundidade média (em m).	MI é uma relação entre o perímetro e a profundidade média.
Fator de Assimetria	FA	adimensional	$FA=(I-L)/L (I \geq L > 0)$	V = o número de vetores oriundos do campo gradiente; L = número de vetores assimétricos; I = O número de linhas utilizado para unir, via triangulação de Delaunay, os centros de cada vetor.	FA - Operador de Fragmentação Assimétrica, consiste em gerar campos aleatórios vetoriais a partir de matrizes numéricas e das coordenadas geográficas geradas no sistema GIS. Dada a distribuição cartesiana desses pontos aplica-se o processo de Triangulação de Delaunay (Adelsbrunner, 1993; Assireu et al, 2004).

4 RESULTADOS

4.1 CONDIÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA NO RIO TROMBETAS E NOS LAGOS DE INUNDAÇÃO AMAZÔNICOS

As condições físicas e químicas da água, aqui apresentadas, são referentes a duas estações bem marcadas, a estação de águas baixas e a estação de águas altas, que constituem os limites do pulso de inundação na planície amazônica (JUNK, 1997).

Os nutrientes analisados foram: Carbono Orgânico Dissolvido (COD), nitrogênio total (N) e fósforo total (P) (Tabela 5). No período de águas baixas, o COD variou de 3,30 mg.L⁻¹ (lago Carimum) a 6,97 mg.L⁻¹ (lago Farias). Já no período de águas altas as concentrações de COD variaram de 3,61 mg.L⁻¹ (rio Trombetas) a 7,77 mg.L⁻¹ (lago Flexal). As concentrações de N, por sua vez, variaram de 0,24 mg.L⁻¹ (lago Jibóia) a 0,66 mg.L⁻¹ (lago Farias) no período de águas baixas, e de 0,07 mg.L⁻¹ (Bacabal) a 0,20 mg.L⁻¹ (lagos: Ajudante, Curuçá Grande e Tapagem Pequena) no período de águas altas. Com relação às concentrações de P, o menor valor encontrado, no período de águas baixas, foi 0,0112 mg.L⁻¹ (lago Acari) e o maior foi 0,08 mg.L⁻¹ (lago Sapucuá). Em relação ao período de águas altas, o menor valor foi abaixo de 0,001 mg.L⁻¹ (lagos: Abuí, Flexal, Jibóia, Laguinho, Palhau e Sapucuá), e o maior foi 0,015 (lago Curuçá Grande).

A menor profundidade (Z_{\max}) mensurada no período de águas baixas foi 1,40 m (lago Laguinho) e a maior foi 5,0 m (lago Moura). Em comparação, no período de águas altas o menor valor de Z_{\max} foi de 8,10 m (lagos Laguinho e Macaco) e o maior foi de 13 m (lago moura). As profundidades mínimas e máximas do disco de Secchi para o período de águas baixas foram, respectivamente, 0,40 m (lago Sapucuá) e 2,10 m (lago Acari). Já no período de águas altas, a medidas de Secchi variaram entre 0,90 m (rio Trombetas) e 1,80 m (lagos Erepecu e Sapucuá). O menor limite da zona eufótica (Z_{eu}) no período de águas baixas foi a 1,20 m (Sapucuá) e o maior a 4,0 m (lago Tapagem Grande). No período de águas altas, esse limite variou entre 2,70 m (rio Trombetas) e 5,40 m (lago Erepecu).

Os sistemas, no período de águas baixas, apresentaram valores mínimos de concentração de clorofila-a abaixo de 0,001 mg.L⁻¹ (lagos: Bacabal, Juqueri Mirim, Laguinho) e valor máximo de 41,96 mg.L⁻¹ (lago Jacaré). No período de águas altas, os valores de

clorofila-a encontrados foram entre o mínimo de 1,07 mg.L⁻¹ (lago Batata) e o máximo de 10,91 mg.L⁻¹ (lago Juquiri).

Tabela 5: Concentração de nutrientes (Carbono Orgânico Dissolvido – COD; nitrogênio total – N e fósforo total - P), profundidade máxima (Z_{max}), Secchi, zona eufótica (Z_{eu}) e clorofila a em 26 lagos amazônicos de águas claras e no rio Trombetas. **A** = águas baixas ; **B** = águas altas.

Sistema	COD (mg.L ⁻¹)		N (mg.L ⁻¹)		P (mg.L ⁻¹)		Z_{max} (m)		Secchi (m)		Z_{eu} (m)		Clorofila a (µg.L ⁻¹)	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Lago Abuí	4,03	3,82	0,42	0,16	0,0173	0,000	2,50	10,00	1,70	1,60	2,50	4,80	10,08	8,61
Lago Acari	3,45	4,40	0,28	0,08	0,0112	0,003	3,70	9,20	2,10	1,50	3,70	4,50	8,70	5,51
Lago Ajudante	3,45	4,90	0,45	0,20	0,0220	0,013	1,90	8,80	1,20	1,30	1,90	3,90	10,36	4,00
Lago Aracuam do Meio	3,75	4,97	0,33	0,10	0,0293	0,003	1,90	8,30	0,80	1,20	1,90	3,60	39,15	4,03
Lago Bacabal	4,57	4,84	0,36	0,07	0,0269	0,003	1,90	8,80	1,20	1,30	1,90	3,90	0,00	3,37
Lago Batata	-	4,15	0,39	0,17	0,0407	0,004	2,40	8,60	0,60	1,30	1,80	3,90	12,14	8,67
Lago Carimum	3,30	6,77	0,54	0,10	0,0328	0,008	1,90	8,80	1,10	1,20	1,90	3,60	18,42	5,30
Lago Curuçá Grande	5,47	5,32	0,51	0,20	0,0234	0,015	2,10	9,40	1,70	1,30	2,10	3,90	12,43	4,06
Lago Curuçá Mirim	4,24	4,32	0,50	0,18	0,0362	0,002	2,90	10,00	1,90	1,20	2,90	3,60	8,88	4,06
Lago Erepecu	4,34	4,65	0,43	0,08	0,0260	0,009	4,20	11,00	1,30	1,80	3,90	5,40	14,21	7,13
Lago do Farias	6,97	5,27	0,66	0,14	0,0291	0,003	1,50	9,00	1,30	1,10	1,50	3,30	16,35	5,33
Lago Flexal	-	7,77	0,50	0,15	0,0297	0,000	2,40	9,00	0,90	1,20	2,40	3,60	19,54	4,63
Lago do Jacaré	5,36	5,83	0,58	0,18	0,0393	0,014	2,10	9,50	1,00	1,30	2,10	3,90	41,96	7,25
Lago Jibóia	3,37	5,62	0,24	0,12	0,0248	0,000	1,70	8,40	1,30	1,20	1,70	3,60	17,13	8,88
Lago Juquiri Mirim	3,51	4,45	0,36	0,10	0,0138	0,003	2,30	9,40	1,60	1,60	2,30	4,80	0,00	8,58
Lago Juquiri	4,11	4,26	0,28	0,15	0,0277	0,007	3,40	10,00	1,80	1,40	3,40	4,20	9,07	10,91
Lago Laguinho	4,85	5,44	0,46	0,08	0,0232	0,000	1,40	8,10	1,00	1,20	1,40	3,60	0,00	9,56
Lago do Macaco	6,60	4,07	0,61	0,14	0,0359	0,010	2,30	8,10	1,60	1,20	2,30	3,60	14,21	6,56
Lago Mãe Quer	4,52	4,50	0,61	0,15	0,0488	0,000	2,80	11,00	2,00	1,20	2,80	3,60	1,70	3,46
Lago do Mateus	5,60	3,92	0,57	0,09	0,0287	0,004	1,60	9,40	1,60	1,30	1,60	3,90	26,05	8,45
Lago do Moura	3,66	3,89	0,42	0,15	0,0282	0,006	5,00	13,00	2,10	1,30	5,00	3,90	6,66	3,55
Lago Mussurá	-	7,04	0,47	0,18	0,0262	0,002	2,40	9,00	0,50	1,30	1,50	3,90	12,65	3,79
Lago Palhau	4,12	4,44	0,35	0,16	0,0375	0,000	2,30	8,90	1,30	1,20	2,30	3,60	5,25	1,18
Lago Sapucá	4,57	3,75	0,58	0,08	0,0842	0,000	2,20	8,30	0,40	1,80	1,20	5,40	19,98	6,38
Lago Tapagem Grande	4,65	6,16	0,36	0,15	0,0172	0,004	4,00	12,00	1,70	1,40	4,00	4,20	4,38	6,69
Lago Tapagem Pequena	4,38	4,21	0,30	0,20	0,0150	0,010	2,00	9,10	1,40	1,20	2,00	3,60	8,88	2,86
Rio Trombetas	3,56	3,61	0,26	0,17	0,0163	0,004	2,50	11,00	1,80	0,90	2,50	2,70	4,66	1,07

4.2 COMPOSIÇÃO, DENSIDADE E DIVERSIDADE DO FITOPLÂNCTON EM 26 LAGOS DE INUNDAÇÃO AMAZÔNICOS E NO RIO TROMBETAS.

4.2.1 PERÍODO DE ÁGUAS BAIXAS

No período de águas baixas, as estações que apresentaram a menor riqueza taxonômica (menos de 15 táxons por amostras), foram as estações 3, 10 e 21 referentes aos lagos Sapucuá, Tapagem Grande e rio Trombetas respectivamente (Gráfico 1). Por sua vez, as estações que obtiveram a maior riqueza taxonômica foram: 17 (lago Flexal) e 2 (Curuçá Grande).

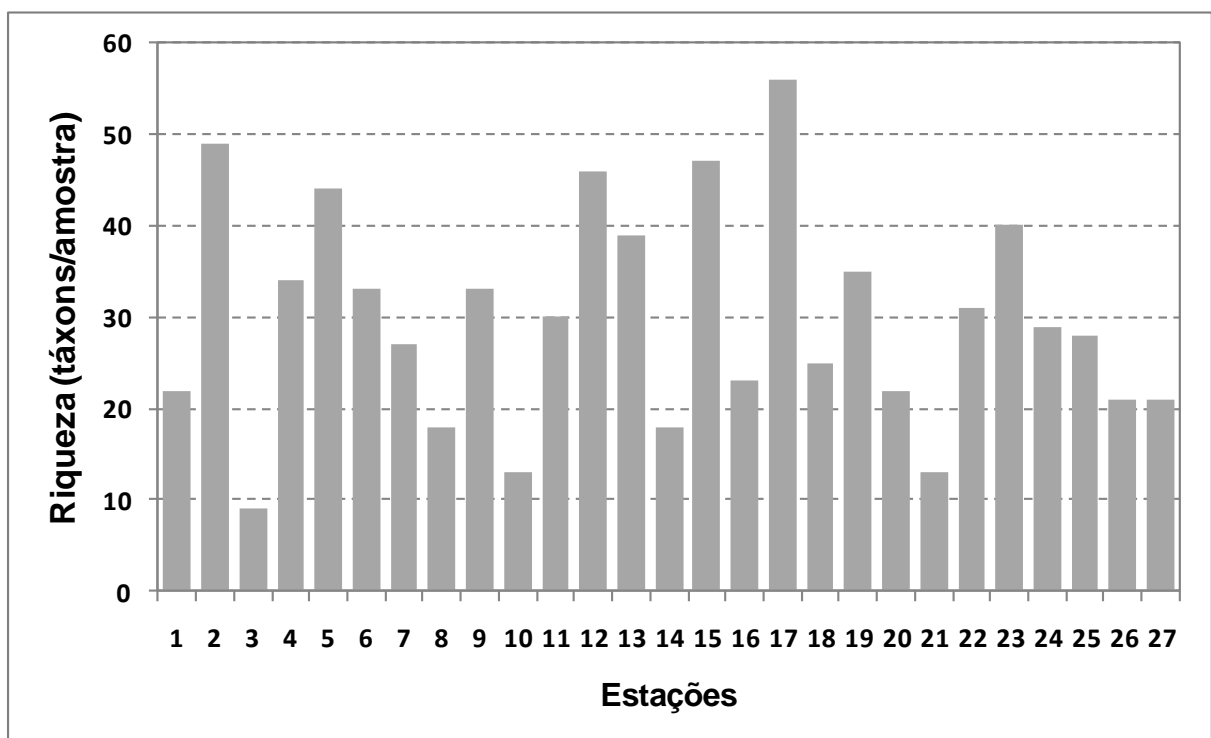


Gráfico 1: Número de táxons por estação de amostragem no período de águas baixas. Estações: **1** - Tapagem Pequena; **2** - Curuçá Grande; **3** - Sapucuá; **4** - Mussurá; **5** - Laguinho; **6** - Bacabal; **7** - Carimum; **8** - Farias; **9** - Curuçá Mirim; **10** - Tapagem Grande; **11** - Jacaré; **12** - Mãe Quer; **13** - Juquiri; **14** - Macaco; **15** - Batata; **16** - Palhau; **17** - Flexal; **18** - Jibóia; **19** - Ajudante; **20** - Moura; **21** - Trombetas; **22** - Abuí; **23** - Erepecu; **24** - Aracuã do meio; **25** - Acari; **26** - Matheus; **27** - Juqueri Mirim.

Os grupos taxonômicos que mais contribuíram para a riqueza relativa de espécies no período de águas baixas, foram: o grupo das clorofíceas (*Chlorophyceae*), com cerca de 40% de representatividade nas estações de amostragem (Gráfico 2), seguido do grupo das desmídeas (*Zygnematophyceae*), que contribuíram em média com 30% por estação, e das cianobactérias (*Cyanobacteria*), que contribuíram em média, com 20%.

Em termos de densidade (número de ind.mL⁻¹) (Gráfico 3), a variação do número de táxons foi desde valores inferiores a 200 ind.mL⁻¹ encontrados nas estações: 3 (lagos Sapucuá), 10 (Tapagem Grande) e 21 (rio Trombetas); e superior a 22.300 ind.mL⁻¹, inventariado na estação 7 (lago Carimum). As espécies que mais contribuíram para a elevada densidade na estação 7 são pertencentes ao grupo das cianobactérias (Gráfico 4), a saber, em ordem de contribuição: *Synechococcus nidulans*, *Jaaginema geminata*, *Pseudanabaena limnetica* e *Planktolyngbya limnetica*. As estações 3 (lago Sapucuá) e 11 (lago Jacaré), também apresentaram dominância do grupo das cianobactérias, porém as espécies dominantes foram outras: *Anabaena* sp.1 na estação 3 e *Planktolyngbya limnetica* na estação 11.

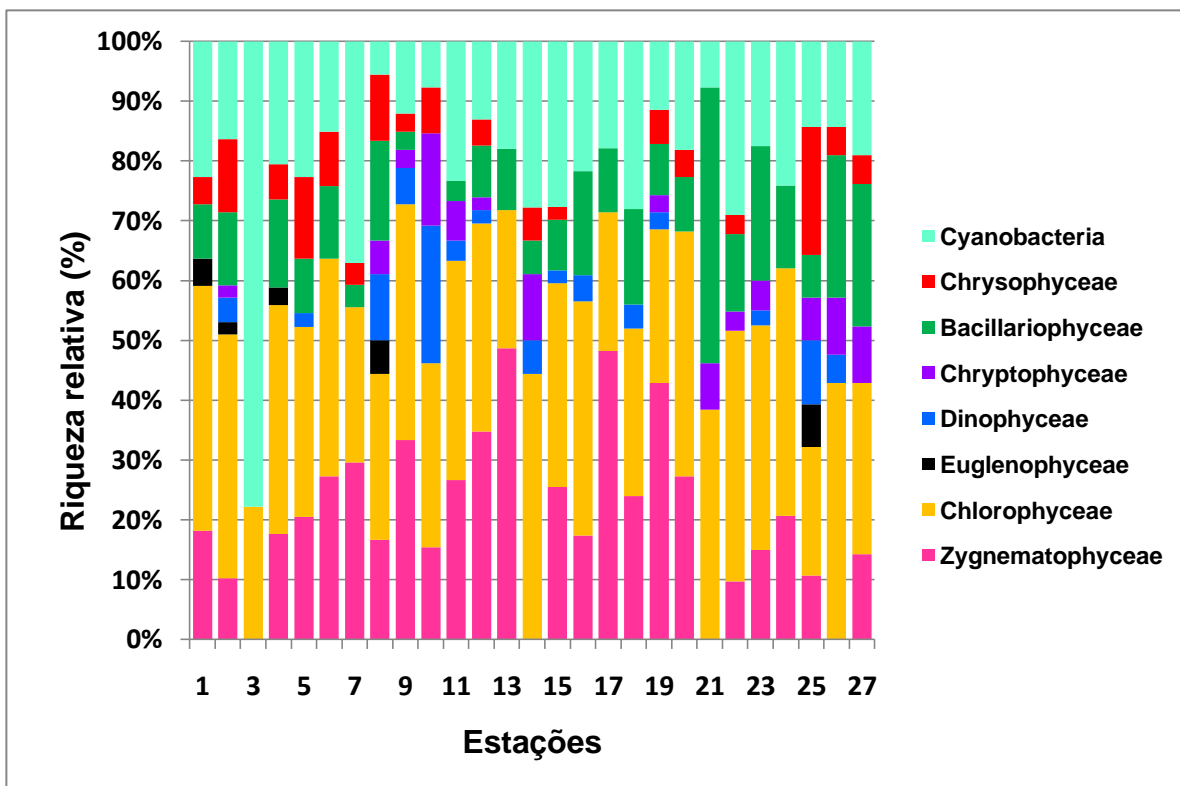


Gráfico 2: Riqueza relativa dos grupos taxonômicos por estação de amostragem no período de águas baixas. Legenda para as estações iguais ao gráfico 1.

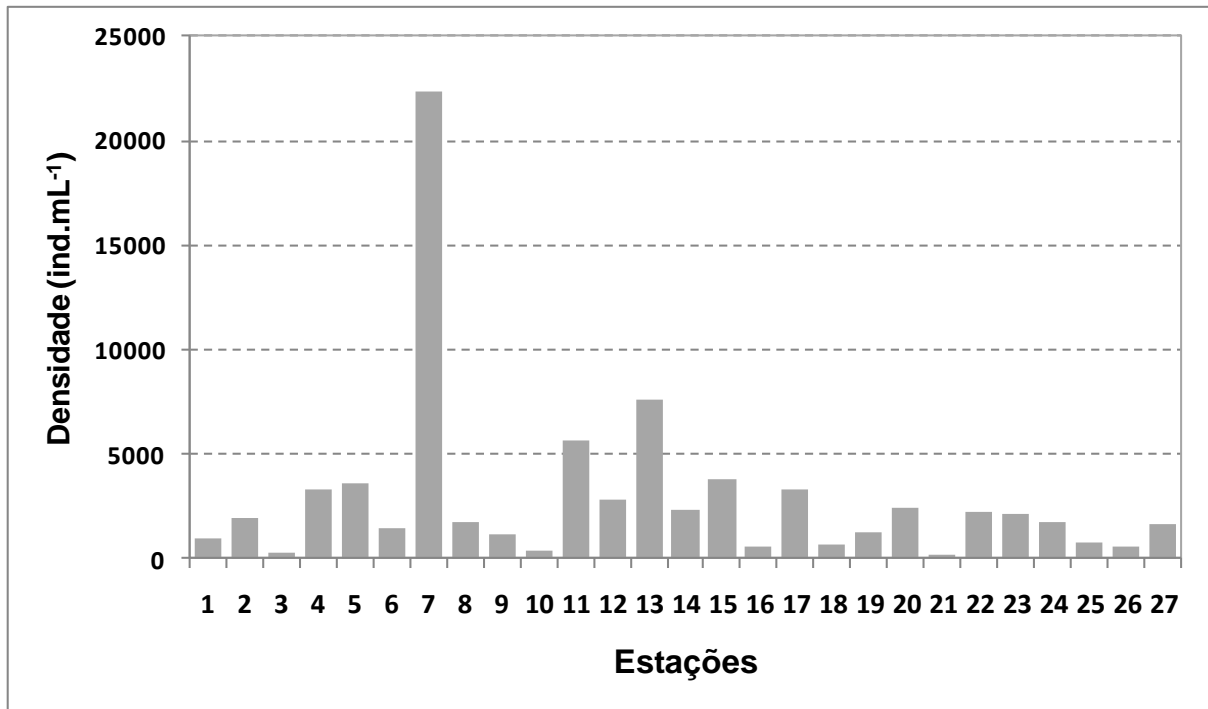


Gráfico 3: Variação da densidade fitoplanctônica por estação de amostragem no período de águas baixas. Legenda para as estações iguais ao gráfico 1.

De maneira geral, o grupo das cianobactérias foi, não só o mais representativo em número de indivíduos na estação 7 (lago Carimum), como também na maioria das demais estações (Gráfico 4). Em ordem de contribuição dos grupos por estação, seguem-se os grupos das desmídeas e das clorofíceas, a exceção da estação 8 (lago Farias), onde a maior contribuição foi do grupo das crisofíceas (*Chrysophyceae*), representado principalmente pela espécie *Dinobryon divergens*.

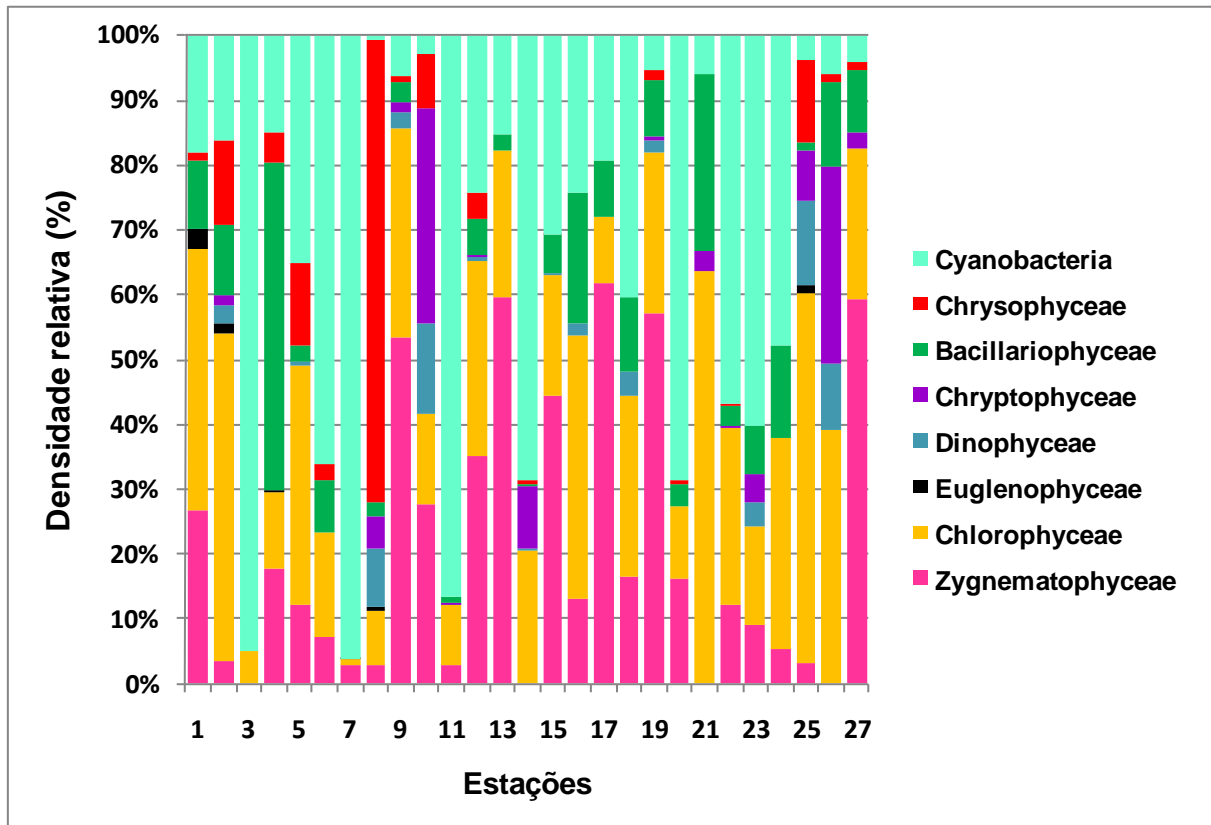


Gráfico 4: Densidade relativa, em indivíduos por mL, por estação de amostragem no período de águas baixas. Legenda para as estações iguais ao gráfico 1.

A diversidade foi acessada por meio do índice de Shannon (H'). O índice de diversidade de Shannon foi criado inspirado na teoria da informação (SHANNON & WEAVER, 1963), e é expresso em bits.ind^{-1} numa escala que varia de 1 a 5. Os valores representam o grau de informação com que as espécies contribuem para o “pool” (variedade) total de espécies de uma área amostrada (MARGALEF, 1983). Ou seja, o quanto cada espécie representa para aquele determinado ambiente, ou estação de amostragem. Em sua fórmula, o índice faz uma ponderação entre as espécies raras e dominantes com base na probabilidade de ocorrência de cada uma, em relação ao número total de espécies inventariadas.

A componente equitabilidade (J), por sua vez, informa como as espécies estão distribuídas. Quanto maior o valor de equitabilidade, mais homogênea é a distribuição das espécies. Esse índice pode ser calculado tanto em termos densidade, quanto em termos de biomassa de indivíduos (táxons) presentes na amostra. O índice de equitabilidade “ J ” é, normalmente, expresso em porcentagem (ODUM, 1988).

No presente estudo, a estação que obteve o menor valor de diversidade H' , inferior a 1 bit.ind.⁻¹, foi a estação 7 (lago Carimum). Os maiores valores de diversidade H' , superiores a 4,5 bits.ind.⁻¹, foram encontrados nas estações 2 (lago Curuçá Grande), 12 (lago Mãe Quer) e 17 (lago Flexal) (Gráfico 5). Em relação à equitabilidade, a estação que obteve o menor valor, cerca de 10%, foi a estação 7 (lago Carimum) e as que obtiveram os maiores valores foram as estações 1 (lago Tapagem Pequena), 16 (lago Palhau) e 26 (lago Matheus) com aproximadamente 90%.

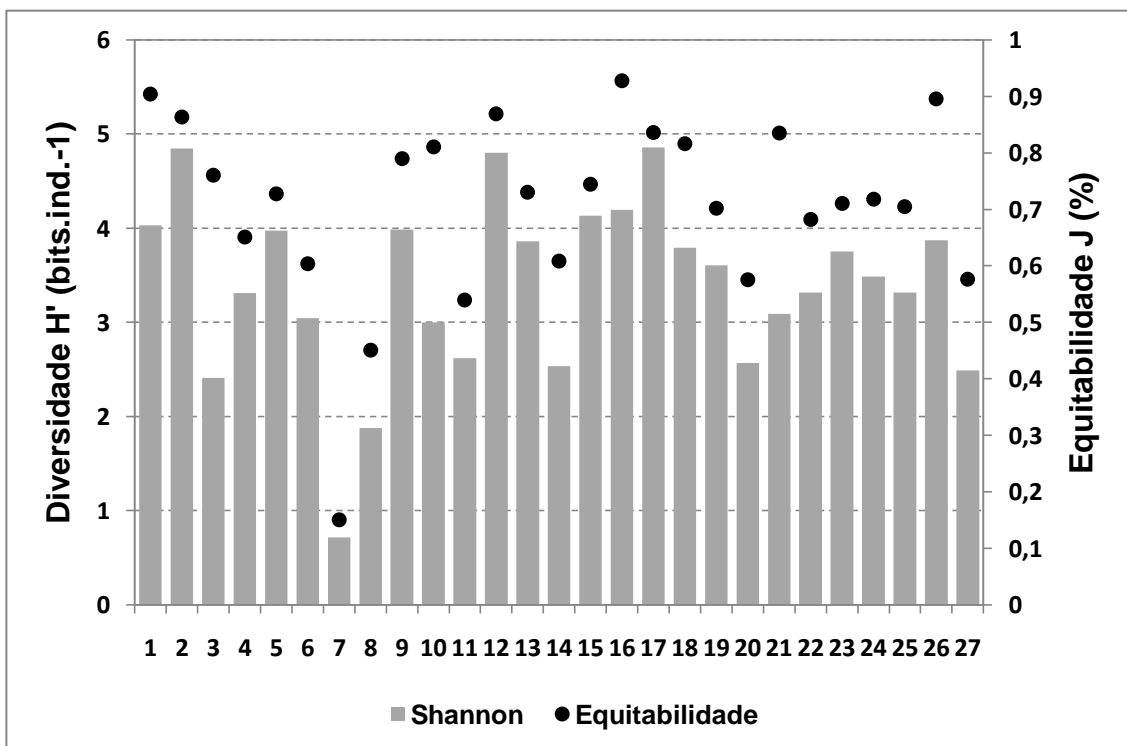


Gráfico 5: Diversidade e equitabilidade de táxons por estação de amostragem no período de águas baixas. Legenda para as estações iguais ao gráfico 1.

4.2.2 PERÍODO DE ÁGUAS ALTAS

O período de águas altas apresentou valores de riqueza inferiores a 45 táxons por estação (Gráfico 6). Esse número foi menor que o inventariado para o período de águas baixas (mais de 50 táxons na estação 17). Em termos de composição florística (Gráfico 7), os grupos mais representativos foram o das clorofíceas, com cerca de 30%, e o grupo das criptofíceas (Chryptophyceae), com aproximadamente 20% de contribuição em número de táxons.

Em densidade, as estações: 14 (lago Macaco), 16 (lago Palhau) e 21 (rio Trombetas), apresentaram os menores números totais de indivíduos (inferior a 200 ind.mL⁻¹) (Gráfico 8). Os maiores valores (acima de 1.600 ind.mL⁻¹), foram inventariados nas estações 13 (lago Juquiri), 22 (lago Abuí), 23 (lago Erepecu) e 25 (lago Acari). Os grupos que mais contribuíram em densidade relativa (Gráfico 9) foram as criptofíceas, com máximas de 80% em algumas estações, as clorofíceas, entre 10% e 30% de contribuição, e as cianobactérias, com mínimas de 3% e máxima de 52% na estação 25 (lago Acari). O grupo das criptofíceas esteve representado, principalmente, pela espécie *Cryptomonas aff. marsonii*. As clorofíceas foram representadas principalmente pelas espécies *Chlorella homosphaera* e *Oocystis lacustris*. O grupo das cianobactérias, por sua vez, foi representado, principalmente, pelas espécies *Jaaginema geminata* e por uma espécie do gênero *Chroococcus*, denominada neste estudo de *Chroococcus sp.2*. Esta foi também a espécie mais abundante na estação 22, que obteve maior contribuição percentual de cianobactérias.

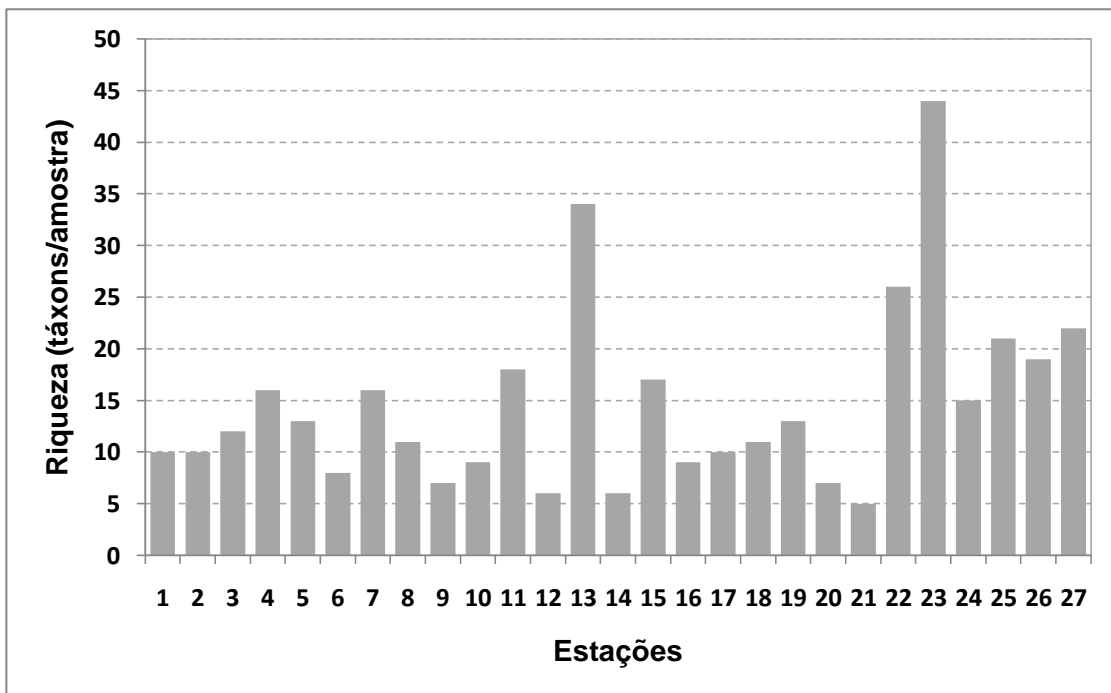


Gráfico 6: Número de táxons por estação de amostragem no período de águas altas. Número de táxons por estação de amostragem no período de águas baixas. Estações: **1** -Tapagem Pequena; **2**- Curuçá Grande; **3** - Sapucúá; **4** - Mussurá; **5** - Laguinho; **6** - Bacabal; **7** - Carimum; **8** - Farias; **9** - Curuçá Mirim; **10** - Tapagem Grande; **11** - Jacaré; **12** - Mãe Quer; **13** - Juquiri; **14** - Macaco; **15** - Batata; **16** - Palhau; **17** - Flexal; **18** - Jibóia; **19** - Ajudante; **20** - Moura; **21** - Trombetas; **22** - Abuí; **23** - Erepecu; **24** - Aracuã do meio; **25** - Acari; **26** - Matheus; **27** - Juqueri Mirim.

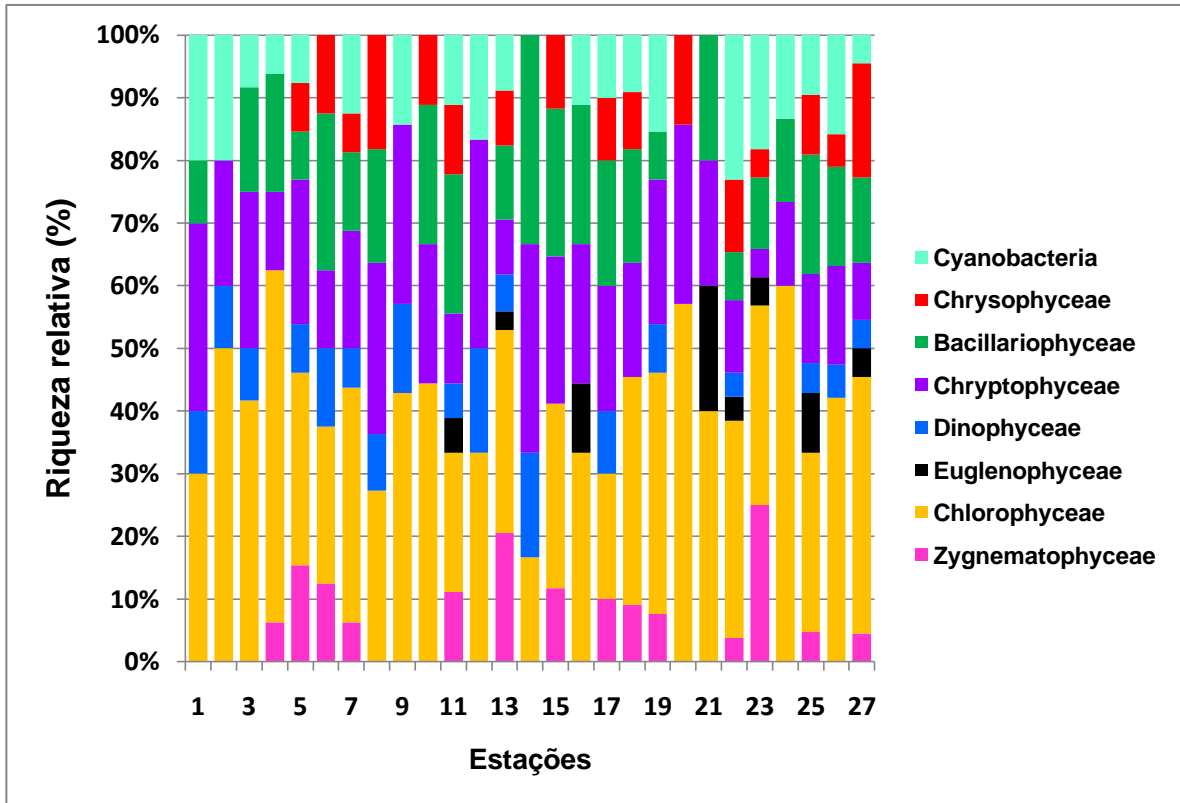


Gráfico 7: Riqueza relativa dos grupos taxonômicos por estação de amostragem no período de águas altas. Legenda para as estações iguais ao gráfico 6.

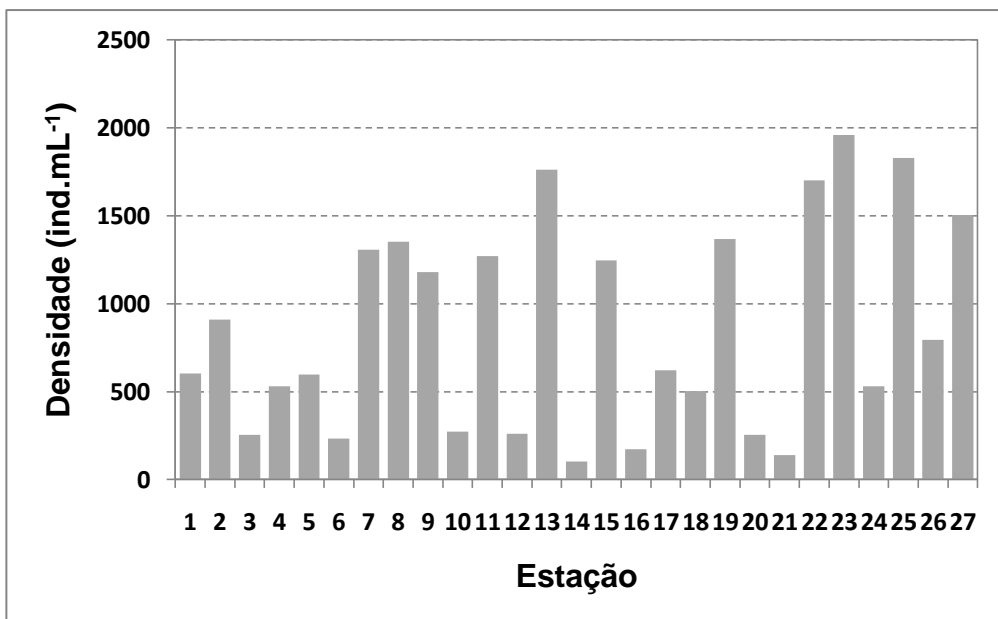


Gráfico 8: Variação da densidade fitoplancônica entre as estações de amostragem no período de águas altas. Legenda para as estações iguais ao gráfico 6.

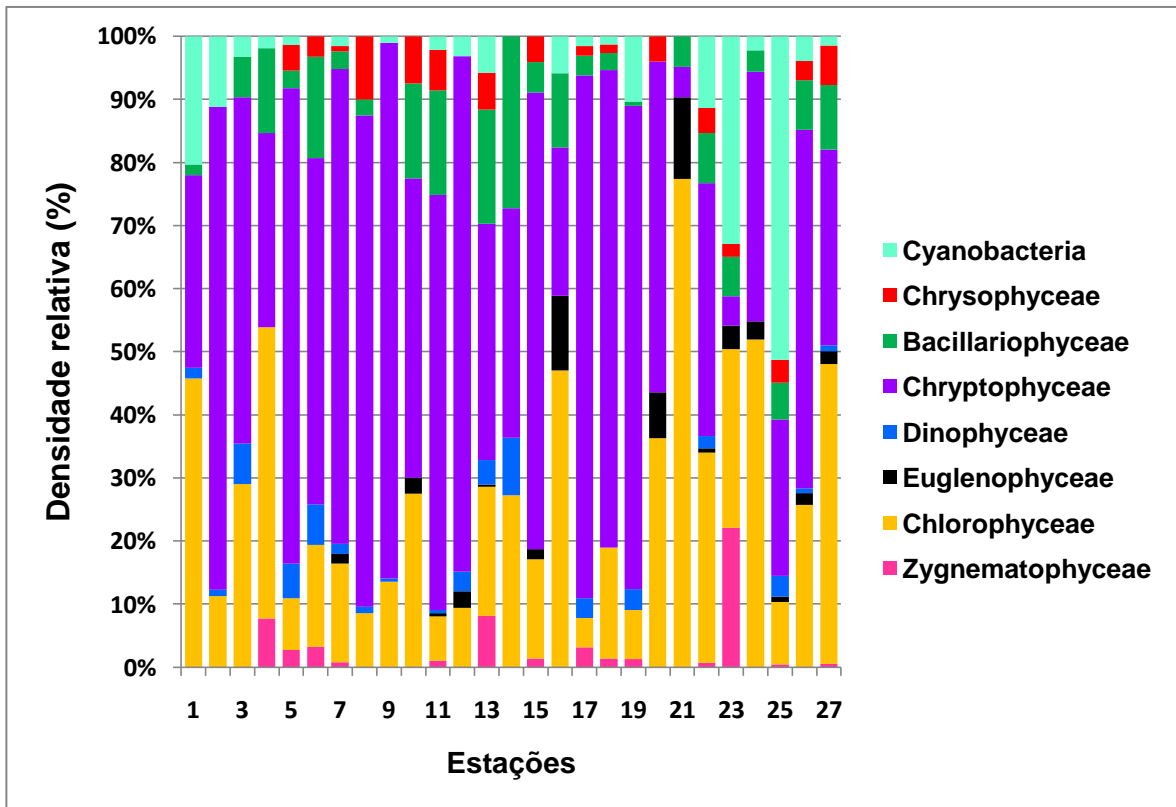


Gráfico 9: Densidade relativa, em indivíduos por mL, por estação de amostragem no período de águas altas. Legenda para as estações iguais ao gráfico 6.

Os menores valores referentes à diversidade H' inventariada neste período (águas altas) (Gráfico 10), foram encontrados nas estações 17 (lago Flexal) e 21 (rio Trombetas) (menos de $1,5 \text{ bits.ind}^{-1}$). Os valores mais elevados (superiores a $3,5 \text{ bits.ind}^{-1}$), foram encontrados nas estações 13 (lago Juquiri), 20 (lago Moura) e 23 (lago Erepecu). De maneira geral, os maiores índices de equitabilidade, em relação ao período anterior, demonstram que as espécies estão melhor distribuídas. Um efeito decorrente do poder diluidor das águas altas.

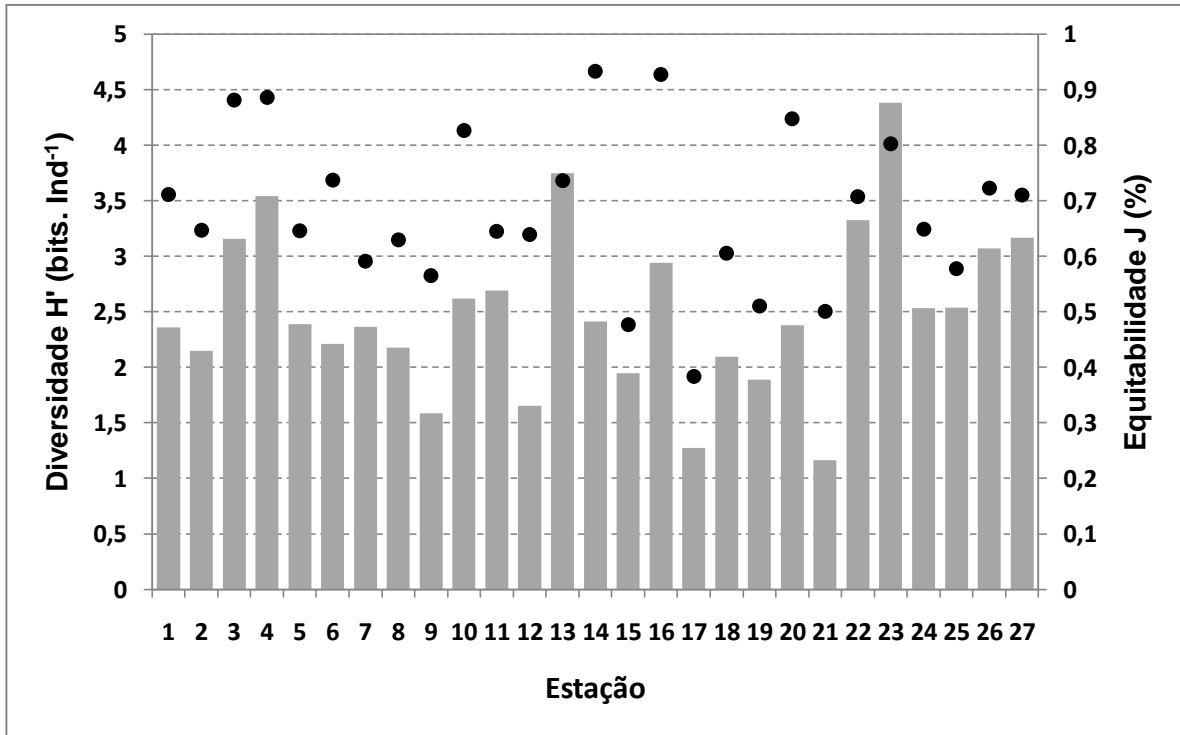


Gráfico 10: Diversidade e equitabilidade táxons por estação de amostragem no período de águas altas. Legenda para as estações iguais ao gráfico 6.

4.3 RIQUEZA FITOPLANCTÔNICA NOS TRÊS NÍVEIS GEOGRÁFICOS ANALISADOS

4.3.1 LOCAL - LAGOS AMAZÔNICOS DE ÁGUAS CLARAS

Os sistemas amazônicos compostos pelos lagos de inundação e pelo rio Trombetas (Tabela 6; Desenho 1), apresentaram uma amplitude de riqueza taxonômica entre entre 3 (lago Sapucaá) e 56 táxons (lago Flexal) no período de águas baixas. No período de águas altas essa variação foi entre 6 (lagos Mãe Quer e Macaco) e 44 táxons (lago Erepecu).

Tabela 6: Riqueza de espécies fitoplanctônicas em lagos amazônicos de águas claras e no rio Trombetas nos períodos de águas baixas e águas altas. **A** = águas baixas ; **B** = águas altas.

Sistema	Riqueza	
	A	B
Lago Abuir	29	26
Lago Acari	26	21
Lago Ajudante	35	13
Lago Aracuã do meio	29	15
Lago Bacabau	33	8
Lago Batata	32	16
Lago Carimum	27	16
Lago Curuça Grande	49	10
Lago Curuça Mirim	33	7
Lago Erepecu	39	44
Lago Farias	18	11
Lago Flexal	56	10
Lago Jacaré	29	18
Lago Jibóia	25	11
Lago Juqueri	39	34
Lago Juqueri Mirim	20	22
Lago Laguinho	44	13
Lago Macaco	18	6
Lago Matheus	20	19
Lago Moura	22	7
Lago Mussurá	36	18
Lago Mãe Quer	46	6
Lago Palhar (Palhau)	23	9
Lago Sapucúá	9	12
Rio Tapagem Grande	13	9
Tapagem Pequena	22	10
Trombetas	13	8



Desenho 1 – Exemplos da riqueza fitoplanctônica inventariada em 26 lagos de inundação do rio Trombetas em dezembro de 2007. As barras equivalem a 10 μ m.. Para as imagens sem barras a escala equivale à barra maior.

4.3.2 REGIONAL - DIFERENTES LAGOS BRASILEIROS NATURAIS E ARTIFICIAIS

Os sistemas brasileiros pesquisados na literatura apresentam diferentes níveis tróficos e condições físicas e químicas da água. Como estes não eram o foco deste trabalho, não foram considerados para qualificar a riqueza de espécies apresentada em cada sistema. A amplitude de riqueza de espécies entre os sistemas estudados foi de valores mínimos iguais a 9 espécies (Corixo Moquém) e máximos de 188 espécies no lago Batata (Tabela 7).

Tabela 7: Riqueza de espécies fitoplanctônicas em 16 lagos brasileiros naturais e artificiais.

Sistema	Riqueza	Fonte
Lago Batata	188	Huszar, 1996
Lago Mussurá	139	Huszar, 1996
Lago Cruzeta	95	Chellappa et al., 2008
Lago Paranoá	76	Branco & Senna, 1996
Lago Taperoá	125	Barbosa, 2002
Lagoa da Pampulha	46	Figueredo & Giani, 2001
Lagoa da UFES	34	Martins & Fernandes, 2006
Lagoa dos Patos	82	Corrêa & Bergesch, 2008
Baía Santa Rosa	16	Cardoso et al., em prep.
Corixo Moquém	9	Cardoso et al., em prep.
Lagoa do Coqueiro	80	Loverde-Oliveira, 2005
UHE Corumbá	101	Santos, 2009
UHE Itumbiara	109	Santos, 2009
Reservatório Manacás	46	Dados não publicados
APM Manso	144	Santos, 2009
UHE Mascarenhas de Moraes	125	Santos, 2009

4.3.3. GLOBAL - DIFERENTES LAGOS MUNDIAIS NATURAIS E ARTIFICIAIS

Bem como os sistemas brasileiros, os sistemas mundiais pesquisados na literatura apresentam diferentes condições climáticas, níveis tróficos e condições físicas e químicas da água. Assim como para pesquisa realizada para o nível regional, estes parâmetros não foram considerados para qualificar a riqueza de espécies apresentada em cada sistema. Assim, considerando a riqueza de espécies por si só, esta está representada entre os valores mínimos de 10 táxons (lago Sandsjon) e máximos de 188 táxons (lago Batata) (Tabela 8).

Tabela 8: Riqueza de espécies fitoplanctônicas em 20 lagos mundiais naturais e artificiais.

Sistema	Riqueza	Fonte
Lago Batata	188	Huszar, 1996
APM Manso	144	Santos, 2009
Lagoa dos Patos	82	Corrêa & Bergesch, 2008
Lago Stor - Sandsjon	10	Bergström et al., 2008
Lago Arâncio	93	Flores & Barone,, 1998
Lago Kastória	67	Moustaka-Gouni et al., 2007
Lago Santa Olalla	34	López-Archilla et al., 2003
Lago Atnsjoen	60	Brettum & Halvorsen, 2004
Lago Toolik	136	Forsström, 2006
Lago Peter	29	Elser et al., 1986
Lago Paul	34	Elser et al., 1987
Lago Indian River	154	Badylak & Phlips, 2004
Lago Tahoe	129	Kamenir et al., 2008
Lago Superior	100	Barbiero et al., 2001
Lago Rama IX	86	Pongswat et al., 2004
Reservatório Banglang	135	Ariyadej et al., 2004
Lago Zempoala	67	García-Rodríguez & Tavera, 2002
Lago Titicaca	39	Morales et al., 2008
Reservatório Awba	14	Akin-Oriola, 2003
Lago Naivasha	170	Hubble & Harper, 2002

4.4 ASPECTOS MORFOMÉTRICOS NOS TRÊS NÍVEIS GEOGRÁFICOS ANALISADOS

4.4.1 LOCAL - LAGOS AMAZÔNICOS DE ÁGUAS CLARAS

Os parâmetros morfológicos mensurados nos sistemas amazônicos apresentaram uma gama de variações, tanto entre os lagos, como entre os períodos de amostragem (Tabela 9 e Tabela 10). Além dos lagos, foram mensurados também, os parâmetros referentes ao rio Trombetas, que foram em sua grande maioria, muito superiores aos demais, porém não entram nas análises deste estudo, que visa essencialmente sistemas lacustres. Estes valores estão aqui representados como forma de comparação e categorização dos ambientes.

Comparando os períodos de amostragem, águas baixas e águas altas, nota-se que no período de águas baixas, os valores foram inferiores aos de águas altas em praticamente todos os parâmetros avaliados. O comprimento máximo dos lagos variou entre 1,35 km (lago Matheus) e 36,89 km (lago Sapucuá) na águas baixas, enquanto na águas altas ficou entre 1,69km (lago Matheus) e 46,12 (lago Sapucuá). Os valores de largura máxima variaram entre 0,20 km (lago Laguinho) e 11,24 km (lago Erepecu) na águas baixas e entre 0,25 km (lago Laguinho) e 14,05 km (lago Erepecu) na águas altas.

Os valores de área, perímetro, profundidade e volume foram os que sofreram maior variação entre os períodos. A área variou de 0,33 km² (lago Tapagem Pequena) a 111,32 km² (lago Sapucuá) no período de águas baixas e entre 0,35 km² (lago Laguinho) e 185,53 km² (lago Sapucuá) no período de águas altas. O perímetro variou entre 8,22 km (lago Matheus) e 1.368 km (lago Erepecu) na águas baixas e entre 10,27 km (lago Matheus) e 1.710 km (lago Erepecu) no período de águas altas. As profundidades máximas variaram entre 1,40 m (Laguinho) e 5m (Moura) na águas baixas, enquanto na águas altas ficaram entre 8m (Laguinho) e 9m (lago Mussurá). O volume variou entre 5,2 x10⁴ m³ (Laguinho) e 1,8 x 10⁹ m³(Erepecu) na águas baixas, e entre 3,3 x 10⁴ m³ (Laguinho) e 8,1 x 10⁷ m³ (Erepecu) no período de águas altas.

Os índices de desenvolvimento de margem (L_d), desenvolvimento de volume (V_d) e fator de assimetria (FA) apresentaram respostas diferenciadas. Os dois primeiros foram mais sensíveis às mudanças do que o FA, que refletiu muito pouco as variações assimétricas das margens. O L_d variou entre 3,47 (Matheus) e 37,46 (Erepecu) no período de águas baixas, e entre 3.36 (Matheus) e 36,27 (Erepecu) na águas altas. O V_d variou entre 0,05 (lago Tapagem

Pequena) e 2,65 (Erepecu) na águas baixas, e entre 3,47 (Matheus) e 37,46 (Erepecu) na águas altas. Para efeito de comparação é preferencial o uso da longitude com descritor, pois, este, foi o que melhor representou as variações do FA entre os sistemas em comparação com a latitude. De maneira geral esse descritor apresentou variações muito tênues. No período de águas baixas os valores variaram entre 1,018 (Laguinho) e 1,044 (lagos Ajudante e Aracua do Meio). No período de águas altas variaram entre 1,01 (Laguinho) e 1,04 (Ajudante).

O índice morfométrico, bem como os valores de profundidade média calculada e profundidade relativa são uma estimativa da distribuição da água no espaço. Eles representam como a água está distribuída horizontalmente e verticalmente. Quanto maior os valores e Dm e Drel, por exemplo, mais profundo será o lago, e mais semelhantes a um “cone” eles serão. No entanto, quanto menores os valores, mais rasos são os lagos e, segundo HAKANSON (2004) serão mais próximos de uma “bacia rasa”. O índice morfométrico é uma relação entre o perímetro e a profundidade média. Ele nos fornece a informação de quão proporcional é a distribuição da água em relação ao perímetro, por exemplo, se um lago possui um valor de perímetro elevado e uma profundidade baixa, maior será o valor expresso, o que significa que ele, provavelmente, ocupa uma grande área e é raso. Porém, se ele apresentar um perímetro pequeno e uma profundidade elevada, mais profundo será o lago em um menor espaço de área.

Nos lagos amazônicos, o índice morfométrico (MI) variou entre 53,16 (Laguinho) e 179,20 (Sapucua) na águas baixas, e entre 69,91 (Laguinho) e 169,54 (Sapucua) na águas altas. Os demais parâmetros teóricos de profundidade como: profundidade relativa (Drel) e profundidade média calculada (Dm) também apresentaram variações proeminentes entre os períodos. A profundidade média variou entre 0,14 m (lago Acari) e 7,64 m (Erepecu) na águas baixas e, entre 0,10 m (Matheus) e 10,09 (Erepecu) na águas altas. A profundidade relativa oscilou entre 0,04 (Erepecu) e 0,43 (Acari) na águas baixas e entre 0,05 (Sapucua) e 1,04 (Mussurá) na águas altas.

Tabela 9: Parâmetros morfométricos referentes aos lagos amazônicos de águas claras e o rio Trombetas no período de águas baixas.

Sistema	Lmax Comprimento Máximo (km)	Bmax Largura máxima (km)	A Área (km ²)	V Volume (m ³)	D _{max} Profundida de máxima (m)	D _{mv} Profundida de média (m)	D _{rel} Profundida de relativa	L _o Perímetro (km)	L _d Índice de desenvolvemento de margem	V _d Índice de desenvolvemento de volume	Índice morfométrico (MI)	Média Variância Média Variância			
												FA Latitude	FA Longitude	Média	Variância
Lago Abuir	9,21	3,01	17,39	2,2 x 10 ⁷	2,50	1,26	0,05	219,61	14,86	1,51	174,97	-	-	1,031	0,031
Lago Acari	1,88	0,49	0,58	8,4 x 10 ⁴	3,70	0,14	0,43	13,91	5,13	0,12	96,98	0,998	0,036	1,039	0,029
Lago Ajudante	6,04	1,18	3,52	7,8 x 10 ⁵	1,90	0,22	0,09	34,75	5,23	0,35	157,58	1,042	0,041	1,044	0,030
Lago Aracua do meio	8,48	2,35	4,31	1,6 x 10 ⁶	1,90	0,36	0,08	58,56	7,95	0,57	161,31	1,042	0,041	1,044	0,030
Lago Bacabau	2,13	1,12	1,67	2,7 x 10 ⁵	1,90	0,16	0,13	22,29	4,86	0,25	138,54	1,001	0,045	1,036	0,029
Lago Batata	14,83	3,23	18,37	1,9 x 10 ⁷	2,65	1,02	0,05	179,11	11,79	1,16	175,23	1,034	0,037	1,034	0,031
Lago Carimum	5,84	2,63	3,71	1,2 x 10 ⁶	1,90	0,31	0,09	48,91	7,16	0,49	158,62	1,011	0,044	1,037	0,031
Lago Curuça Grande	4,23	1,23	2,22	6,8 x 10 ⁵	2,10	0,31	0,12	45,08	8,53	0,44	146,92	1,030	0,041	1,030	0,031
Lago Curuça Mirim	5,99	0,99	2,94	1,2 x 10 ⁶	2,90	0,39	0,15	60,30	9,92	0,41	153,83	1,035	0,036	1,033	0,031
Lago Erepecu	33,98	11,24	106,24	8,1 x 10 ⁷	4,20	7,64	0,04	1368,78	37,46	5,46	179,16	-	-	1,037	0,031
Lago Farias	8,11	2,90	5,60	4,1 x 10 ⁶	1,50	0,73	0,06	120,89	14,41	1,46	165,24	1,027	0,042	1,033	0,030
Lago Flexal	4,13	1,10	2,68	4,7 x 10 ⁵	2,40	0,18	0,13	26,68	4,59	0,22	151,73	1,033	0,035	1,032	0,032
Lago Jacaré	8,46	0,46	5,29	5,0 x 10 ⁶	2,10	0,95	0,08	156,18	19,16	1,36	164,45	-	-	1,036	0,030
Lago Jibóia	14,44	1,59	9,89	5,5 x 10 ⁶	1,70	0,56	0,05	95,71	8,58	0,99	171,34	1,031	0,034	1,027	0,031
Lago Juqueri	6,42	2,76	7,54	5,3 x 10 ⁶	3,40	0,71	0,11	119,51	12,28	0,62	168,80	1,025	0,042	1,037	0,030
Lago Juqueri Mirim	4,34	2,43	2,66	7,8 x 10 ⁵	2,30	0,29	0,12	44,49	7,69	0,38	151,54	1,029	0,043	1,031	0,031
Lago Laguinho	1,82	0,20	0,21	3,3 x 10 ⁴	1,40	0,16	0,27	8,36	5,15	0,34	53,16	1,057	0,033	1,018	0,032
Lago Macaco	11,55	0,81	3,37	2,8 x 10 ⁶	2,30	0,84	0,11	130,99	20,11	1,09	156,77	-	-	1,038	0,031
Lago Matheus	1,35	0,83	0,44	4,3 x 10 ⁴	1,60	0,10	0,21	8,22	3,47	0,18	84,76	1,027	0,060	1,029	0,038
Lago Moura	8,04	1,36	6,67	3,6 x 10 ⁶	5,00	0,53	0,17	89,11	9,73	0,32	167,45	-	-	1,029	0,033
Lago Mussurá	5,34	1,47	3,92	1,3 x 10 ⁶	1,93	0,33	0,09	52,35	7,46	0,51	159,64	1,029	0,038	1,037	0,033
Lago Mãe Quer	6,75	1,03	4,02	2,1 x 10 ⁶	2,80	0,51	0,12	81,79	11,51	0,55	160,09	1,033	0,038	1,029	0,031
Lago Palhar (Palhau)	6,13	0,63	1,83	5,5 x 10 ⁵	2,30	0,30	0,15	42,01	8,75	0,39	141,43	1,004	0,055	1,033	0,032
Lago Sapucua	36,89	7,35	111,32	3,9 x 10 ⁸	2,20	3,46	0,02	620,39	16,59	4,72	179,20	1,026	0,038	1,028	0,030
Lago Tapagem Grande	5,46	0,66	1,95	6,2 x 10 ⁵	4,00	0,32	0,25	45,28	9,15	0,24	143,26	1,018	0,051	-	-
Lago Tapagem Pequena	1,41	0,33	0,33	5,1 x 10 ⁴	2,00	0,15	0,31	11,00	5,39	0,23	71,70	1,025	0,036	1,021	0,034
Rio Trombetas	187,33	2,50	115,49	3,0 x 10 ⁸	2,50	2,58	0,02	461,77	12,12	3,09	179,22	1,012	0,030	1,039	0,030

Tabela 10: Parâmetros morfométricos referentes aos lagos amazônicos de águas claras e o rio Trombetas no período de águas altas.

Sistema	Lmax Comprimento Máximo (km)	Bmax Largura máxima (km)	A Área (km ²)	V Volume (m ³)	D _{max} Profundidade máxima (m)	D _{mv} Profundidade média (m)	D _{rel} Profundidade relativa	L _o Perímetro (km)	L _d Índice de desenvolvimento de margem	V _d Índice de desenvolvimento de volume	Índice morfométrico (MI)	Média Variância Média Variância			
												FA Latitude	FA Longitude	Média	Variância
Lago Abuir	11,51	3,77	28,98	4,8 x 10 ⁷	10,00	1,64	0,16	274,51	14,38	0,49	167,12	-	-	1,031	0,031
Lago Acari	2,35	0,61	0,97	1,5 x 10 ⁵	9,20	0,15	0,83	17,39	4,97	0,05	112,32	0,998	0,036	1,039	0,029
Lago Ajudante	7,56	1,47	5,86	1,6 x 10 ⁶	8,80	0,28	0,32	43,44	5,06	0,09	156,63	1,042	0,041	1,044	0,030
Lago Aracuaã do meio	10,60	2,93	7,19	3,3 x 10 ⁶	8,30	0,46	0,27	73,20	7,70	0,17	158,95	1,042	0,041	1,044	0,030
Lago Bacabau	2,66	1,40	2,78	5,4 x 10 ⁵	8,80	0,19	0,47	27,86	4,71	0,07	144,12	1,001	0,045	1,036	0,029
Lago Batata	18,54	4,04	30,61	4,1 x 10 ⁷	12,00	1,34	0,19	223,89	11,42	0,33	167,27	1,034	0,037	1,034	0,031
Lago Carimum	7,30	3,28	6,18	2,4 x 10 ⁶	8,80	0,39	0,31	61,13	6,94	0,13	157,28	1,011	0,044	1,037	0,031
Lago Curuça Grande	5,29	1,53	3,70	1,4 x 10 ⁶	9,40	0,38	0,43	56,35	8,26	0,12	149,76	1,030	0,041	1,030	0,031
Lago Curuça Mirim	7,49	1,23	4,90	2,4 x 10 ⁶	10,00	0,49	0,40	75,38	9,61	0,15	154,25	1,035	0,036	1,033	0,031
Lago Erepecu	42,47	14,05	177,06	1,8 x 10 ⁹	11,00	10,09	0,07	1710,97	36,27	2,75	169,52	-	-	1,037	0,031
Lago Farias	10,13	3,62	9,33	8,7 x 10 ⁶	9,00	0,94	0,26	151,11	13,96	0,31	161,35	1,027	0,042	1,033	0,030
Lago Flexal	5,16	1,38	4,47	9,8 x 10 ⁵	9,00	0,22	0,38	33,34	4,45	0,07	152,90	1,033	0,035	1,032	0,032
Lago Jacaré	10,57	0,58	8,82	1,1 x 10 ⁷	9,50	1,21	0,28	195,22	18,55	0,38	160,88	-	-	1,036	0,030
Lago Jibóia	18,05	1,98	16,49	1,2 x 10 ⁷	8,40	0,73	0,18	119,64	8,31	0,26	165,00	1,031	0,034	1,027	0,031
Lago Juqueri	8,02	3,46	12,56	1,2 x 10 ⁷	10,00	0,91	0,25	149,39	11,89	0,27	163,49	1,025	0,042	1,037	0,030
Lago Juqueri Mirim	5,43	3,04	4,44	1,6 x 10 ⁶	9,40	0,36	0,40	55,61	7,45	0,12	152,78	1,029	0,043	1,031	0,031
Lago Laguinho	2,27	0,25	0,35	5,2 x 10 ⁴	8,10	0,15	1,21	10,45	4,99	0,06	69,91	1,057	0,033	1,018	0,032
Lago Macaco	14,44	1,02	5,62	5,9 x 10 ⁶	8,10	1,05	0,30	163,73	19,48	0,39	156,12	-	-	1,038	0,031
Lago Matheus	1,69	1,04	0,74	7,5 x 10 ⁴	9,40	0,10	0,97	10,27	3,36	0,03	101,54	1,027	0,060	1,029	0,038
Lago Moura	10,05	1,70	11,12	7,6 x 10 ⁶	13,00	0,68	0,35	111,38	9,42	0,16	162,68	-	-	1,029	0,033
Lago Mussurá	6,68	1,84	6,54	2,7 x 10 ⁶	9,00	0,41	1,04	65,44	7,22	0,04	157,92	1,029	0,038	1,037	0,033
Lago Mãe Quer	8,44	1,29	6,70	4,3 x 10 ⁶	11,00	0,65	0,38	102,24	11,14	0,18	158,20	1,033	0,038	1,029	0,031
Lago Palhar (Palhau)	7,67	0,78	3,06	1,09 x 10 ⁶	8,90	0,36	0,45	52,51	8,47	0,12	146,10	1,004	0,055	1,033	0,032
Lago Sapucúá	46,12	9,18	185,53	8,5 x 10 ⁸	8,30	4,57	0,05	775,49	16,06	1,65	169,54	1,026	0,038	1,028	0,030
Lago Tapagem Grande	6,82	0,82	3,25	1,3 x 10 ⁶	12,00	0,38	0,59	56,60	8,86	0,10	147,33	1,018	0,051	-	-
Lago Tapagem Pequena	1,76	0,41	0,55	8,5 x 10 ⁴	9,10	0,15	1,09	13,75	5,22	0,05	89,18	1,025	0,036	1,021	0,034
Rio Trombetas	187,33	3,12	192,48	6,6 x 10 ⁹	26,00	3,40	0,17	577,22	11,74	0,39	169,56	1,012	0,030	1,039	0,030

4.4.2 REGIONAL - DIFERENTES LAGOS BRASILEIROS NATURAIS E ARTIFICIAIS

Os resultados em nível regional tiveram uma variação ainda maior que no nível local (Tabela 11). São considerados diferentes sistemas de diferentes regiões do Brasil. Como critério de seleção foram considerados os lagos que apresentavam literatura científica sobre a riqueza fitoplanctônica.

A variação do comprimento máximo e da largura máxima foram: comprimento: mínimo de 0,22km (lago Manacás) e máximo de 272,52km (Lagoa dos Patos). Quanto à largura, o valor mínimo foi 0,13km (baía Santa Rosa) e o máximo 60,13(lagoa dos Patos)

Os valores de área, perímetro, profundidade e volume foram os que sofreram maior variação. A área variou de 0,01 km² (lago lagoa da UFES) a 1,0341,44 km² (lagoa dos Patos). O perímetro variou entre 0,45 km (lago da UFES) e 1.270 km (lagoa dos Patos). As profundidades máximas variaram entre 1,0 m (baía Sta. Rosa) e 76 m (UHE Itumbiara). O volume variou entre 1,9 x10⁵ m³ (lago Manacás) e 2,8 x 10¹² m³(Lagoa dos Patos).

Os índices de desenvolvimento de margem (L_d), desenvolvimento de volume (V_d) e fator de assimetria (FA) apresentaram respostas diferenciadas. Os dois primeiros foram também, nesta escala regional, mais sensíveis às mudanças do que o FA. O L_d variou entre 1,11 (lago da UFES) e 13,15 (UHE Mascarenhas de Moraes). O V_d variou entre 0,01 (lago Mussurá) e 3,41 (lagoa da Pampulha). Para efeito de comparação é preferencial o uso da longitude com descritor, pois, este, foi o que melhor representou as variações do FA entre os sistemas em comparação com a latitude. De maneira geral esse descritor apresentou variações mais pronunciadas que na escala local com mínima de 0,356 (lago da UFES) e máxima de 1,048 (UHE Mascarenhas de Moraes)

Nos lagos brasileiros o índice morfométrico (MI) variou entre 0,35 (lago da UFES) e 489,68 (lagoa dos Patos). Os demais parâmetros teóricos de profundidade como: profundidade relativa (D_{rel}) e profundidade média calculada (D_m) também apresentaram ampla variação. A profundidade média variou entre 0,41 m (lago Mussurá) e 36,79 m (UHE Mascarenhas). A profundidade relativa oscilou entre 0,01 (lago dos Manacás) e 1,04 (lago Mussurá).

Tabela 11: Parâmetros morfométricos referentes aos diferentes lagos brasileiros naturais e artificiais

Sistema	L _{max} Comprimento Máximo (km)	B _{max} Largura máxima (km)	A Área (km ²)	V Volume (m ³)	D _{max} Profundidade máxima (m)	D _{mv} Profundidade média (m)	D _{rel} Profundidade relativa	L _o Perímetro (km)	L _d Índice de desenvolvimento de margem	V _d Índice de desenvolvimento de volume	Índice morfométrico (MI)	FA			
												Latitude	Variação	Longitude	Variação
Lago Batata	18,54	4,04	30,61	4,09 x 10 ⁷	12,00	1,34	0,19	223,89	13,21	0,06	167,27	1,034	0,037	1,034	0,031
Lago Mussurá	6,68	1,84	6,54	2,7 x 10 ⁶	9,00	0,41	1,04	65,44	7,22	0,01	157,92	1,029	0,038	1,037	0,033
Lago Cruzeta	5,43	1,03	3,71	3,5 x 10 ⁷	11,00	9,44	0,51	32,43	4,75	2,58	3,43	1,017	0,029	1,026	0,032
Lago Paranoá	16,10	5,55	38,39	49,8 x 10 ⁷	38,00	12,97	0,54	102,63	6,60	1,02	7,91	1,039	0,029	0,987	0,070
Lago Taperoá	4,07	1,13	3,04	9,1 x 10 ⁶	5,60	2,96	0,28	26,42	8,38	1,58	8,94	1,032	0,038	1,032	0,038
Lagoa da Pampulha	3,29	0,71	1,98	1,8 x 10 ⁷	8,00	9,10	0,50	13,62	3,23	3,41	1,50	1,088	0,029	1,026	0,086
Lagoa da UFES	0,15	0,14	0,01	1,8 x 10 ⁶	1,20	1,29	0,93	0,45	1,11	3,22	0,35	1,178	0,004	0,356	0,243
Lagoa dos Patos	272,52	60,13	10341,44	2,8 x 10 ¹²	12,00	2,59	0,01	1270,09	3,52	0,65	489,68	1,013	0,031	1,032	0,029
Baía Santa Rosa	1,05	0,13	0,18	1,2 x 10 ⁶	1,00	0,68	0,21	3,54	2,39	2,05	5,19	1,037	0,033	1,111	0,030
Corixo Moquém	3,29	0,16	0,46	5,8 x 10 ⁶	1,50	1,25	0,20	11,97	4,97	2,49	9,61	1,029	0,034	0,887	0,117
Lagoa do Coqueiro	3,86	0,76	2,52	2,2 x 10 ⁷	4,70	0,88	0,26	14,62	2,60	0,56	16,69	1,019	0,028	0,881	0,147
UHE Corumbá	51,05	9,76	144,19	1,3 x 10 ¹⁰	48,00	10,46	0,35	175,60	8,23	0,65	16,78	1,047	0,030	1,061	0,029
UHE Itumbiara	120,85	14,78	747,83	7,7 x 10 ¹¹	76,00	24,21	0,25	2047,04	11,56	0,96	84,57	1,050	0,030	-	-
Reservatório Manacás	0,22	0,21	0,02	1,9 x 10 ⁵	4,00	0,83	0,34	0,72	1,35	0,62	0,88	0,907	0,151	1,016	0,050
APM Manso	44,71	12,20	257,88	8,1 x 10 ¹⁰	47,00	31,35	0,26	625,77	10,99	2,00	19,96	1,055	0,029	1,046	0,031
UHE Mascarenhas de Moraes	93,85	19,18	247,46	9,1 x 10 ¹⁰	43,00	36,74	0,24	733,29	13,15	2,56	19,96	1,034	0,031	1,048	0,031

4.4.3 GLOBAL - DIFERENTES LAGOS MUNDIAIS NATURAIS E ARTIFICIAIS

Os resultados em nível global tiveram uma variação ainda maior que no nível regional (Tabela 12). São considerados diferentes sistemas de diferentes regiões do mundo. Como critério de seleção, assim como para o nível regional, foram considerados os lagos que apresentavam literatura científica sobre a riqueza fitoplanctônica.

A variação do comprimento máximo e da largura máxima foram: comprimento: mínimo de 0,22km (lago Paul) e máximo de 272,52km (Lagoa dos Patos). Quanto à largura, o valor mínimo foi 0,13 km (lago Paul) e o máximo 260 km (lago Superior).

Os valores de área, perímetro, profundidade e volume foram os que sofreram maior variação. A área variou de 0,02 km² (lago Paul) a 82.400 km² (lago Superior). O perímetro variou entre 0,55 km (lago Paul) e 1859 km (lago Titicaca). As profundidades máximas variaram entre 2,50 m (lago Santa Olalla) e 501 m (lago Tahoe). O volume variou entre 4,7 x10⁴ m³ (lago Paul) e 12,10 x 10¹² m³(lago Superior).

Os índices de desenvolvimento de margem (L_d), desenvolvimento de volume (V_d) e fator de assimetria (FA) apresentaram respostas diferenciadas. Os dois primeiros foram também, nesta escala global, mais sensíveis às mudanças do que o FA. O L_d variou entre 1,10 (lago Paul) e 14,67 (reservatório Banglang). O V_d variou entre 0,06 (lago Batata) e 2,84 (lago Indian River). De maneira geral o FA, como descritor, apresentou variações mais pronunciadas que na escala local com mínima de 0,868 (lago Peter) e máxima de 1,083 (lago Santa Olalla)

Nos lagos mundiais, o índice morfométrico (MI) variou entre 19,96 (APM Manso) e 567.927,10 (lago Indian River). Os demais parâmetros teóricos de profundidade como: profundidade relativa (Drel) e profundidade média calculada (Dm) também apresentaram ampla variação. A profundidade média variou entre 1,04 m (lago Atnsjoen) e 248,50 m (lago Tahoe). A profundidade relativa oscilou entre 0,01 (lagoa dos Patos) e 9,63 (lago Peter).

Tabela 12: Parâmetros morfométricos referentes aos diferentes lagos mundiais.

Sistema	L _{max} Comprimento Máximo (km)	B _{max} Largura máxima (km)	A Área (km ²)	V Volume (m ³)	D _{max} Profundidade máxima (m)	D _{mv} Profundidad e média (m)	D _{rel} Profundidad e relativa	L _o Perímetro (km)	L _d Índice de desenvolviment o de margem	V _d Índice de desenvolvimento de volume	Índice morfométrico (MI)	FA Latitude	FA Longitude	Média	Variância	Média	Variância
Lago Batata	18,54	4,04	30,61	4,1 x 10 ⁷	12,00	1,34	0,19	223,89	13,21	0,06	167,27	1,034	0,037	1,034	0,031		
APM Manso	44,71	12,20	257,88	8,1 x 10 ¹⁰	47,00	31,35	0,26	625,77	10,99	2,00	19,96	1,055	0,029	1,046	0,031		
Lagoa dos Patos	272,52	60,13	10341,44	2,7 x 10 ¹²	12,00	2,59	0,01	1270,09	3,52	0,65	489,68	1,013	0,031	1,032	0,029		
Sandsjon	7,85	1,75	6,38	2,3 x 10 ⁷	50,00	3,51	1,75	19,52	2,18	0,21	390,47	1,092	0,026	1,059	0,030		
Arâncio	1,93	0,65	1,25	3,2 x 10 ⁷	30,00	9,20	2,38	7,90	1,99	0,92	263,20	1,060	0,038	1,046	0,026		
Kastória	7,83	5,18	28,70	1,7 x 10 ⁸	8,00	4,00	0,13	34,46	1,81	1,50	4307,52	0,990	0,027	1,032	0,031		
Santa Olalla	1,91	0,70	0,51	1,9 x 10 ⁶	2,50	1,04	0,31	7,59	2,99	1,25	3037,21	0,983	0,037	1,083	0,027		
Atnsjoen	8,51	0,72	4,57	1,7 x 10 ⁷	80,20	36,71	3,33	19,85	2,62	1,37	247,56	1,026	0,033	-	-		
Toolik	2,09	1,57	1,49	3,3 x 10 ⁶	25,00	7,10	1,81	9,88	2,28	0,85	395,40	-	-	1,044	0,028		
Peter	0,26	0,18	0,03	6,02 x 10 ⁴	19,30	1,91	9,63	0,68	1,08	0,30	35,18	0,917	0,011	0,868	0,214		
Paul	0,22	0,13	0,02	4,7 x 10 ⁴	12,20	2,40	7,70	0,55	1,10	0,59	44,85	1,000	0,037	0,985	0,260		
Indian River Lake	209,84	16,44	891,09	1,7 x 10 ¹¹	2,00	1,89	0,01	1134,85	10,72	2,84	567427,10	1,044	0,029	1,042	0,031		
Tahoe	35,00	19,00	499,00	12,4 x 10 ¹⁰	501,00	248,50	1,99	125,00	1,58	1,49	249,50	-	-	-	-		
Superior	560,00	260,00	82400,00	12 x 10 ¹²	307,00	145,63	0,09	4385,00	2,93	1,42	14283,39	-	-	-	-		
Rama IX	3,48	2,17	3,33	7,4 x 10 ⁶	2,60	2,23	0,13	11,64	1,80	2,57	4475,96	1,037	0,025	0,926	0,019		
Banglang Reservoir	22,57	2,90	47,32	14,2 x 10 ⁸	85,00	30,01	1,10	357,74	14,67	1,06	4208,70	1,057	0,029	1,053	0,032		
Zempoala	0,48	0,37	0,07	1,4 x 10 ⁵	5,00	1,91	1,63	1,48	1,53	1,15	295,23	1,093	0,017	1,074	0,058		
Titicaca	222,10	65,43	9100,69	89,3 x 10 ¹⁰	281,00	98,12	0,26	1859,86	5,50	1,05	6618,70	1,040	0,031	1,041	0,031		
Awba Reservoir	0,74	0,20	0,10	2,1 x 10 ⁵	5,50	2,05	1,52	2,09	1,84	1,12	379,78	0,968	0,044	1,032	0,036		
Naivasha	17,25	14,23	138,03	2,0 x 10 ⁹	18,00	14,45	0,14	86,36	12,07	2,41	4797,84	1,027	0,031	1,027	0,030		

4.5 RELAÇÃO ENTRE OS ASPECTOS MORFOMÉTRICOS E A DIVERSIDADE FITOPLANCTÔNICA NOS TRÊS NÍVEIS GEOGRÁFICOS ANALISADOS

4.5.1 LOCAL - LAGOS AMAZÔNICOS DE ÁGUAS CLARAS

4.5.1.1 PERÍODO DE ÁGUAS BAIXAS

Foram realizadas regressões lineares simples, para avaliar a influência dos parâmetros morfométricos na riqueza de espécies dos sistemas amazônicos. As relações foram consideradas significativas se a probabilidade de um evento ocorrer ao acaso fosse $< 0,005$ (p). Na análise local foram considerados dois períodos, águas baixas e águas altas.

No período de águas baixas as regressões entre log riqueza de espécies e os parâmetros morfométricos: log índice de desenvolvimento de margem ($p = 0,39$) (Gráfico 11a), log fator de assimetria ($p = 0,66$) (Gráfico 11b), log índice de desenvolvimento de volume ($p = 0,34$) (Gráfico 11c), log área ($p = 0,46$) (Gráfico 11d), log perímetro ($p = 0,40$) (Gráfico 12a), log volume ($p = 0,44$) (Gráfico 12b) e log índice morfométrico ($p = 0,78$) (Gráfico 12c), não foram significativas, como pode ser observado através dos valores de p.

A regressão entre o índice de desenvolvimento de margem e o fator de assimetria também não foi significativa ($p = 0,359$) (Gráfico 12d). No entanto, a regressão entre o índice de desenvolvimento de margem e o índice de desenvolvimento de volume obteve um $p < 0,005$ e um r^2 de 0,696 (Gráfico 12e).

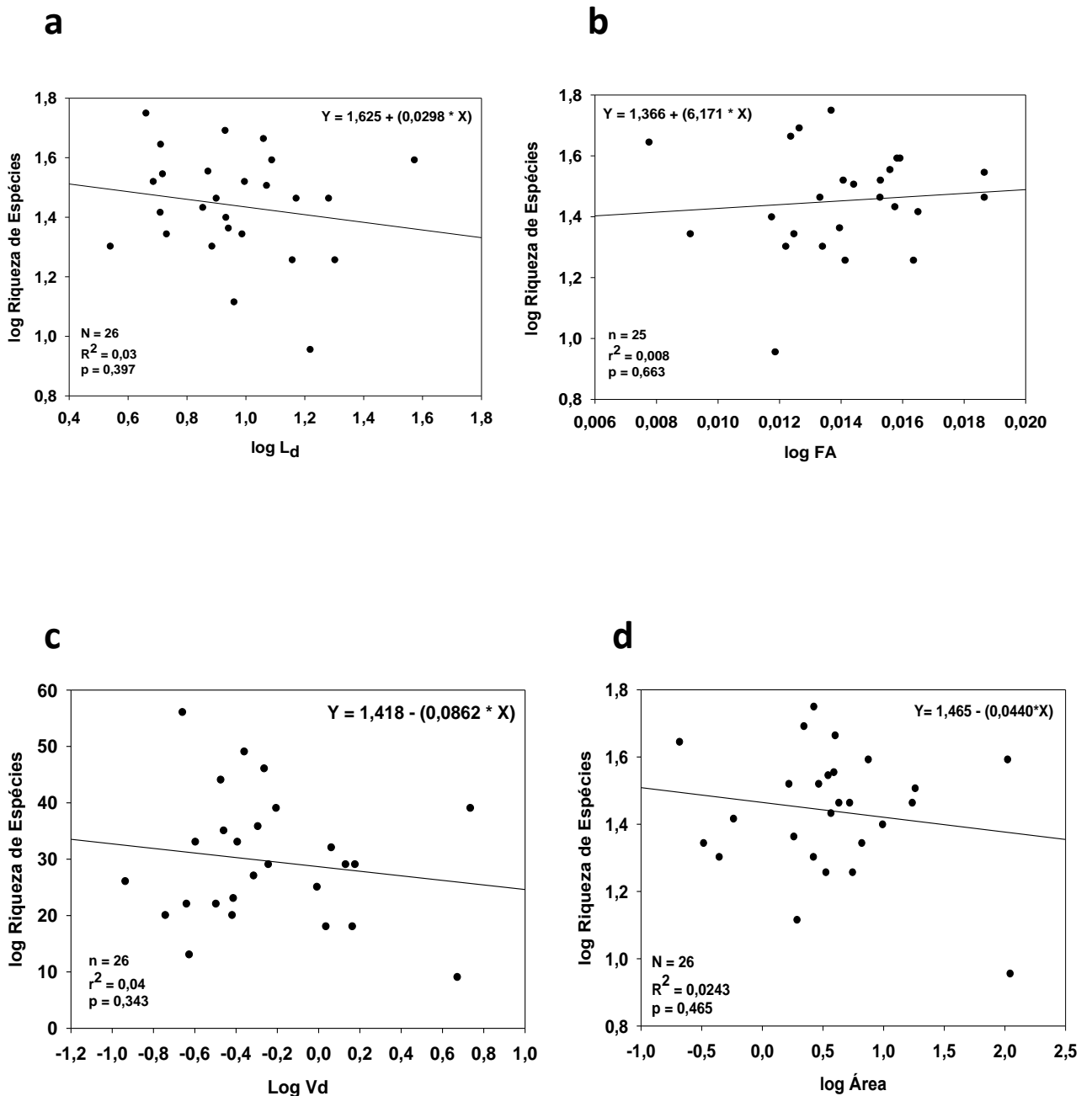


Gráfico 11: Regressões lineares simples com base em dados morfométricos calculados e riqueza (número de espécies) fitoplanctônica, apresentados neste estudo. Os valores de **p** correspondem ao intervalo de 95% de confiança. Em: **a)** log riqueza de espécies e log índice de desenvolvimento de margem; **b)** log riqueza de espécies e log fator de assimetria; **c)** log riqueza de espécies e log índice de desenvolvimento de volume; **d)** log riqueza de espécies e logaritmo da área.

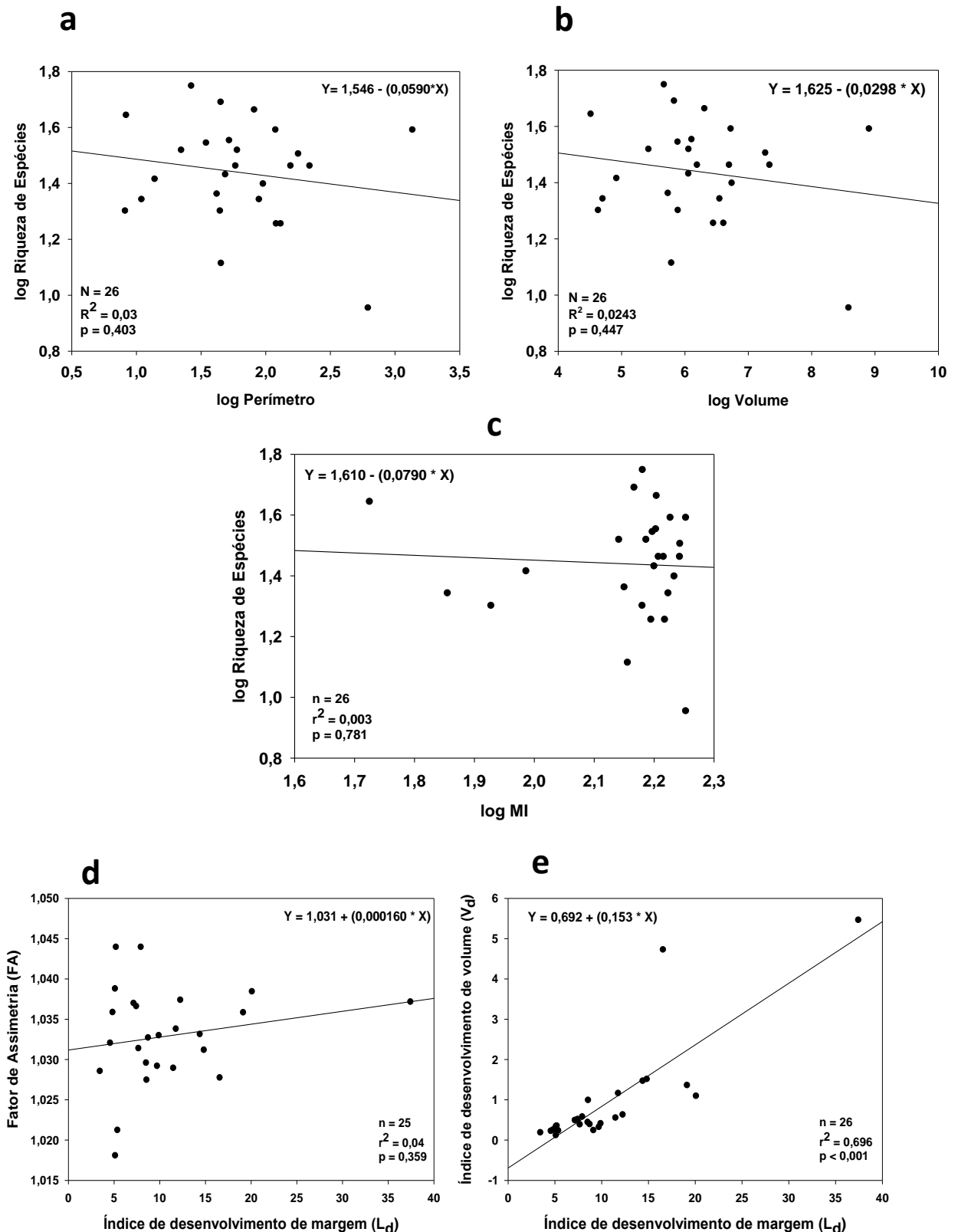


Gráfico 12: Regressões lineares simples com base em dados morfométricos calculados e riqueza (número de espécies) fitoplancônica, apresentados neste estudo. Os valores de p correspondem ao intervalo de 95% de confiança. Em: **a)** log riqueza de espécies e log do perímetro; **b)** log riqueza de espécies e log do volume; **c)** log riqueza de espécies e log índice morfométrico; **d)** fator de assimetria e índice de desenvolvimento de margem; **e)** índice de desenvolvimento de volume e índice de desenvolvimento de perímetro.

4.5.1.2 PERÍODO DE ÁGUAS ALTAS

Para o período de águas altas, também foram realizadas regressões lineares simples, para avaliar a influência dos parâmetros morfométricos na riqueza de espécies dos sistemas amazônicos. As regressões entre log riqueza e log fator de assimetria ($p = 0,21$) (Gráfico 13b), entre log riqueza e log índice de desenvolvimento de volume ($p = 0,193$) (Gráfico 13c) e entre log riqueza e log índice morfométrico ($p = 0,502$) (Gráfico 13c), não foram significativas. No entanto, as regressões entre log riqueza e os parâmetros: log índice de desenvolvimento de margem ($p = 0,005$; $r^2 = 0,28$) (Gráfico 14a), log área ($p < 0,005$; $r^2 = 0,15$) (Gráfico 13d), log perímetro ($p < 0,005$; $r^2 = 17$) (Gráfico 14a) e log volume ($p < 0,005$; $r^2 = 0,17$) (Gráfico 14b) foram significativas com $p < 0,005$, apesar de apresentarem valores de r^2 inferiores a 30 %.

A regressão entre o índice de desenvolvimento de margem e o fator de assimetria também não foi significativa ($p = 0,359$) (Gráfico 14d). No entanto, a regressão entre o índice de desenvolvimento de margem e o índice de desenvolvimento de volume obteve um $p < 0,005$ e um r^2 de 0,75 (Gráfico 14e).

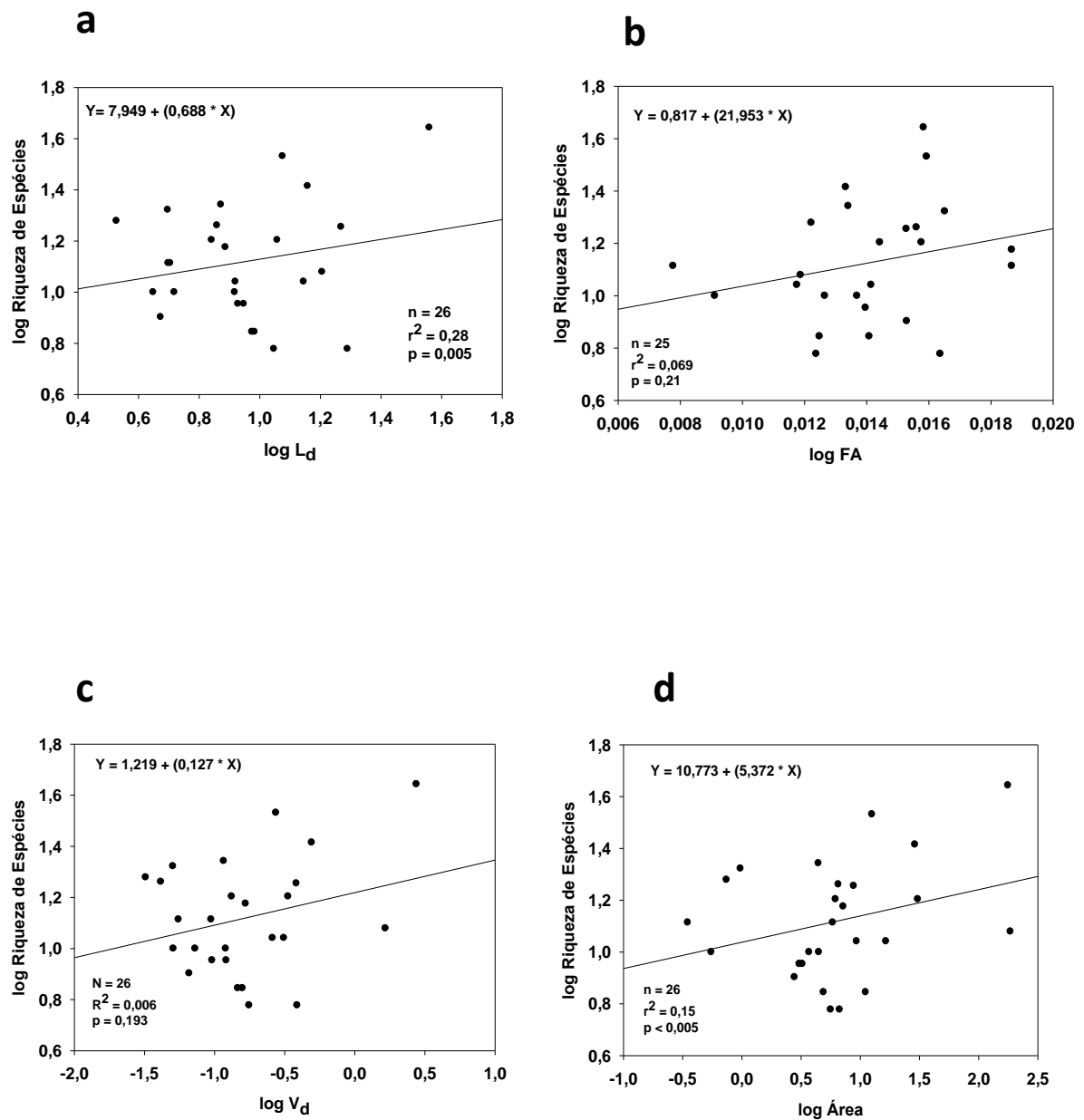


Gráfico 13: Regressões lineares simples com base em dados morfológicos calculados e riqueza (número de espécies) fitoplanctônica, apresentados neste estudo. Os valores de **p** correspondem ao intervalo de 95% de confiança. Em: **a)** riqueza de espécies e índice de desenvolvimento de margem; **b)** riqueza de espécies e fator de assimetria; **c)** riqueza de espécies e índice de desenvolvimento de volume; **d)** riqueza de espécies e logaritmo da área.

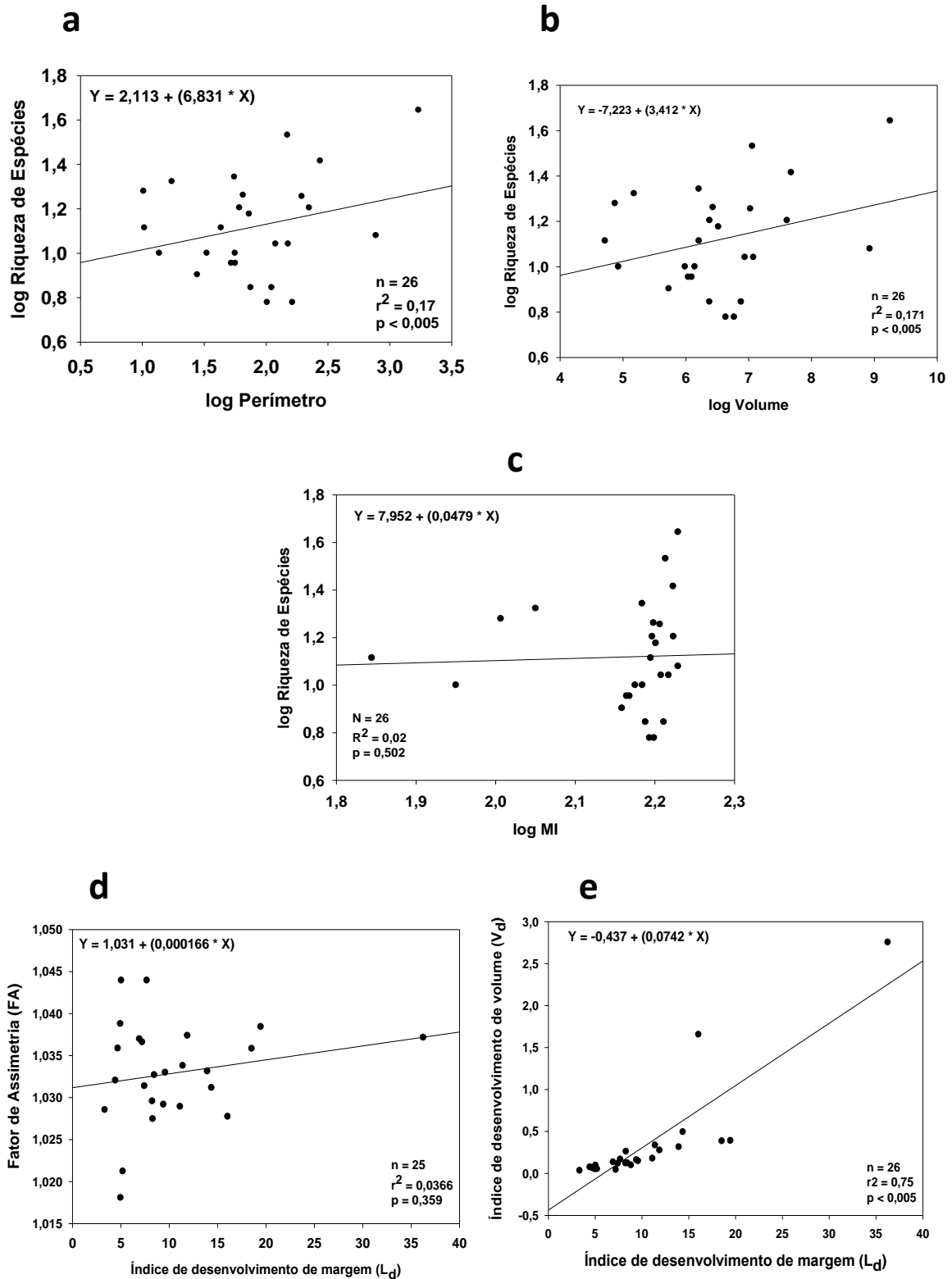


Gráfico 14: Regressões lineares simples com base em dados morfométricos calculados e riqueza (número de espécies) fitoplanctônica, apresentados neste estudo. Os valores de **p** correspondem ao intervalo de 95% de confiança. Em: **a)** riqueza de espécies e logaritmo do perímetro; **b)** riqueza de espécies e logaritmo do volume; **c)** riqueza de espécies e índice morfométrico; **d)** fator de assimetria e índice de desenvolvimento de margem; **e)** índice de desenvolvimento de volume e índice de desenvolvimento de perímetro.

4.5.2 REGIONAL - DIFERENTES LAGOS BRASILEIROS NATURAIS E ARTIFICIAIS

Assim como para o nível local, foram realizadas regressões lineares simples, para avaliar a influência dos parâmetros morfométricos na riqueza de espécies dos sistemas brasileiros. As regressões entre log riqueza e os parâmetros morfométricos apresentaram diferentes valores para o “p”. As regressões entre log riqueza e os parâmetros: log índice de desenvolvimento de margem ($p < 0,005$; $r^2 = 0,74$) (Gráfico 15a), log fator de assimetria ($p = 0,005$; $r^2 = 0,59$) (Gráfico 15b) e entre log índice de desenvolvimento de volume ($p = 0,005$; $r^2 = 0,15$) (Gráfico 15c) foram significativas. Valores semelhantes foram encontrados entre log riqueza e log área ($r^2 = 0,37$) (Gráfico 15d) e entre log riqueza e log perímetro ($p < 0,005$; $r^2 = 0,42$) (Gráfico 16a), mas não foram encontrados entre log riqueza e log volume ($p < 0,05$) (Gráfico 16b) e entre log riqueza e o índice morfométrico ($p = 0,04$) (Gráfico 16c).

A regressão entre o índice de desenvolvimento de margem e o fator de assimetria foi significativa ($p < 0,005$, $r^2 = 0,50$) (Gráfico 16d). No entanto, a regressão entre o índice de desenvolvimento de margem e o índice de desenvolvimento de volume não foi significativa ($p = 0,4$) (Gráfico 16e).

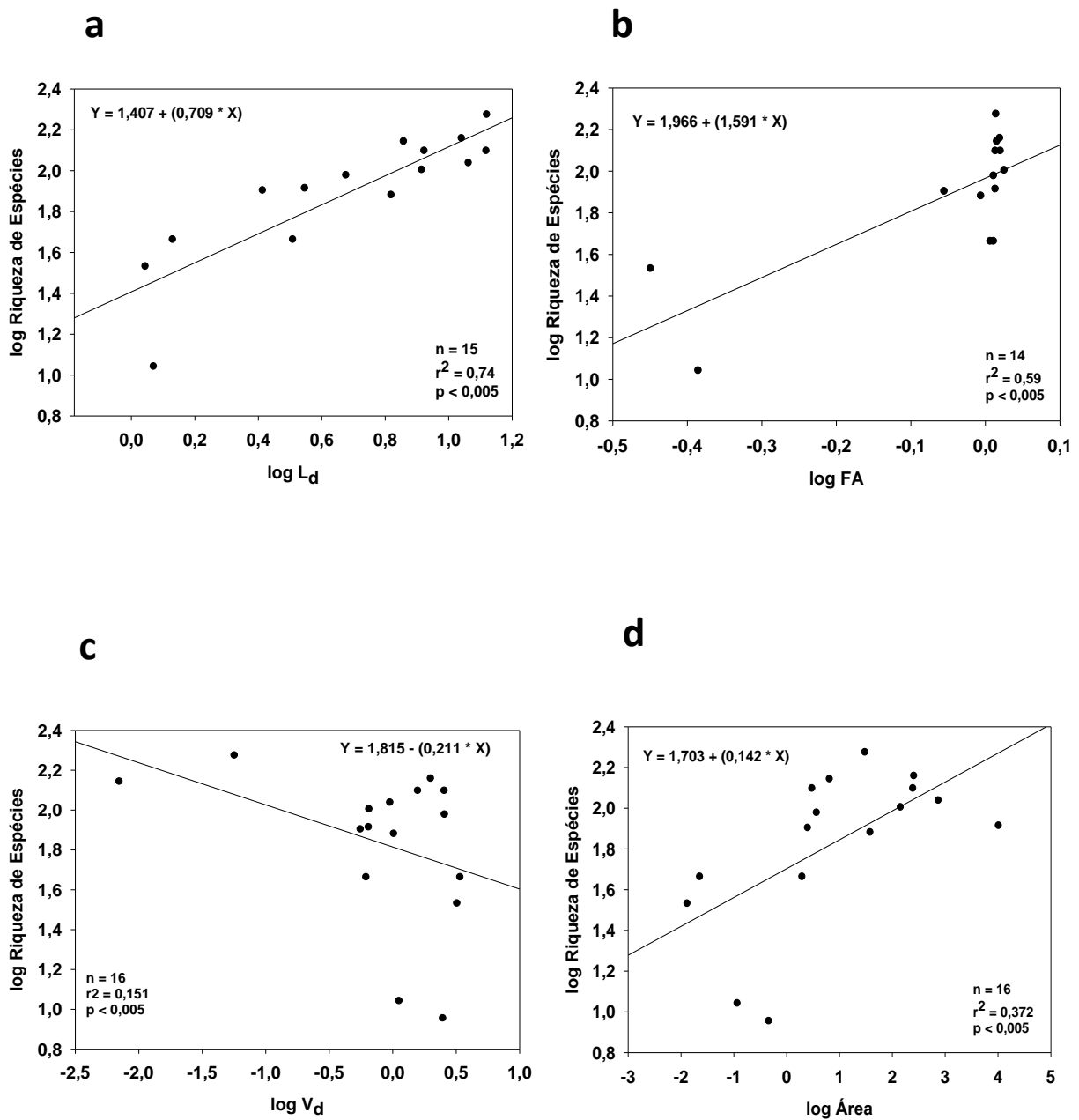


Gráfico 15: regressões lineares simples com base em dados morfométricos calculados e riqueza (número de espécies) fitoplanctônica pesquisados em literatura científica. Os valores de **p** correspondem ao intervalo de 95% de confiança. Em: **a)** riqueza de espécies e índice de desenvolvimento de margem; **b)** riqueza de espécies e fator de assimetria; **c)** riqueza de espécies e índice de desenvolvimento de volume; **d)** riqueza de espécies e logaritmo da área.

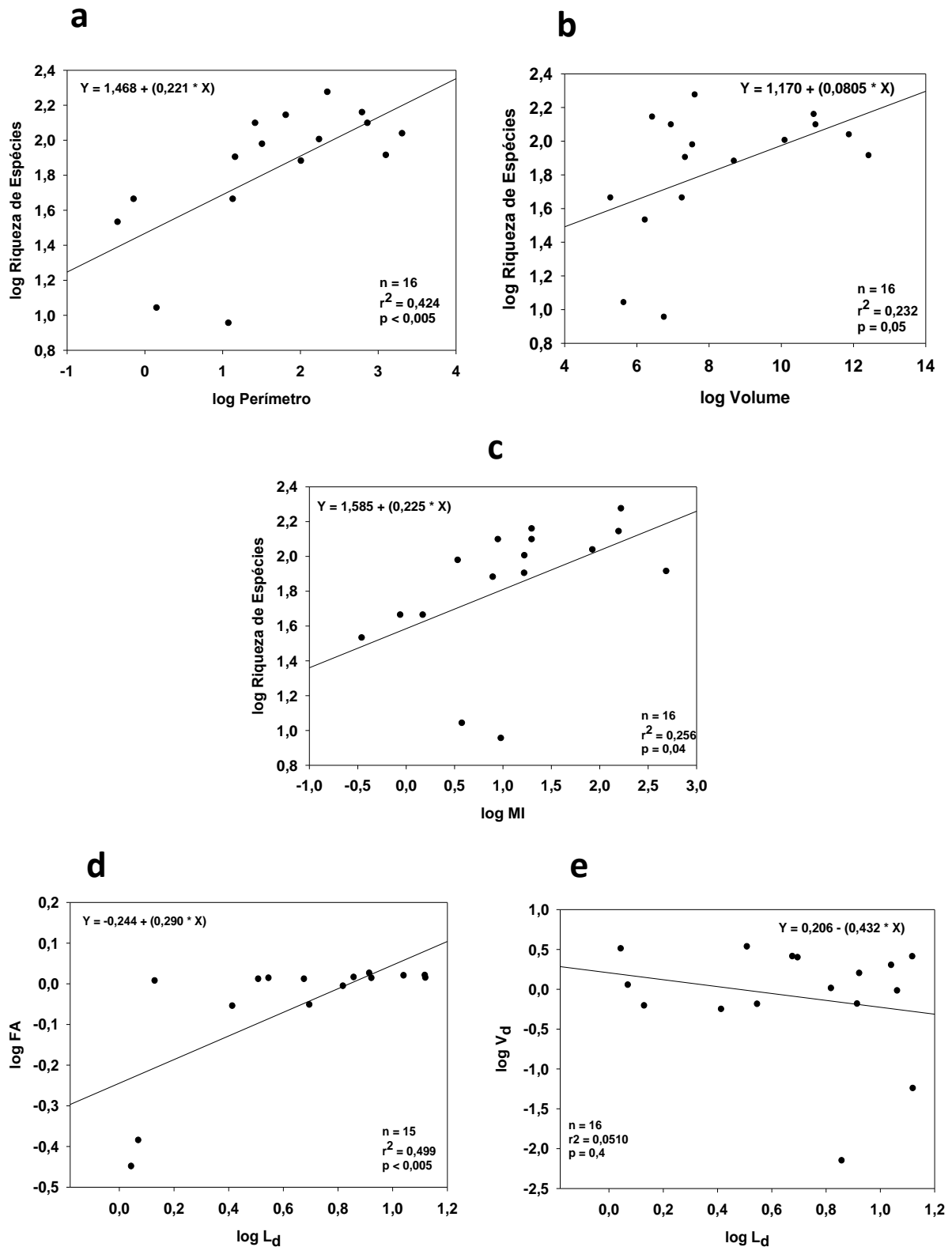


Gráfico 16: Regressões lineares simples com base em dados morfométricos calculados e riqueza (número de espécies) fitoplanctônica pesquisados em literatura científica. Os valores de **p** correspondem ao intervalo de 95% de confiança. Em: **a)** riqueza de espécies e logaritmo do perímetro; **b)** riqueza de espécies e logaritmo do volume; **c)** riqueza de espécies e índice morfométrico; **d)** fator de assimetria e índice de desenvolvimento de margem; **e)** índice de desenvolvimento de volume e índice de desenvolvimento de perímetro.

4.5.3 GLOBAL - DIFERENTES LAGOS MUNDIAIS NATURAIS E ARTIFICIAIS

As regressões entre riqueza e os parâmetros morfométricos em nível global apresentaram diferentes valores de “p”, sendo significativa entre log riqueza e os parâmetros: log índice de desenvolvimento de margem ($p < 0,005$ e $r^2 = 0,46$) (Gráfico 17a) e log índice de desenvolvimento de volume ($p < 0,005$ e $r^2 = 0,459$) (Gráfico 17c). Porém, entre log riqueza e log fator de assimetria ($p = 0,24$) (Gráfico 17b) e entre log riqueza e log área não foi significativa ($p = 0,02$) (Gráfico 17d), bem como para log perímetro a relação não foi significativa ($p = 0,01$), porém, entre log perímetro, percebe-se uma tendência, ratificada pelo r^2 ($r^2 = 0,30$) (Gráfico 18a). Esta tendência também ocorre entre log riqueza e log volume ($p = 0,04$; $r^2 = 0,21$) (Gráfico 18b), mas não é observada entre riqueza e o índice morfométrico ($p = 0,32$) (Gráfico 18c).

A regressão entre o índice de desenvolvimento de margem e o fator de assimetria não foi significativa ($p = 0,24$) (Gráfico 18d). No entanto, a regressão entre o índice de desenvolvimento de margem e o índice de desenvolvimento de volume foi significativa ($p < 0,005$; $r^2 = 0,232$) (Gráfico 18e).

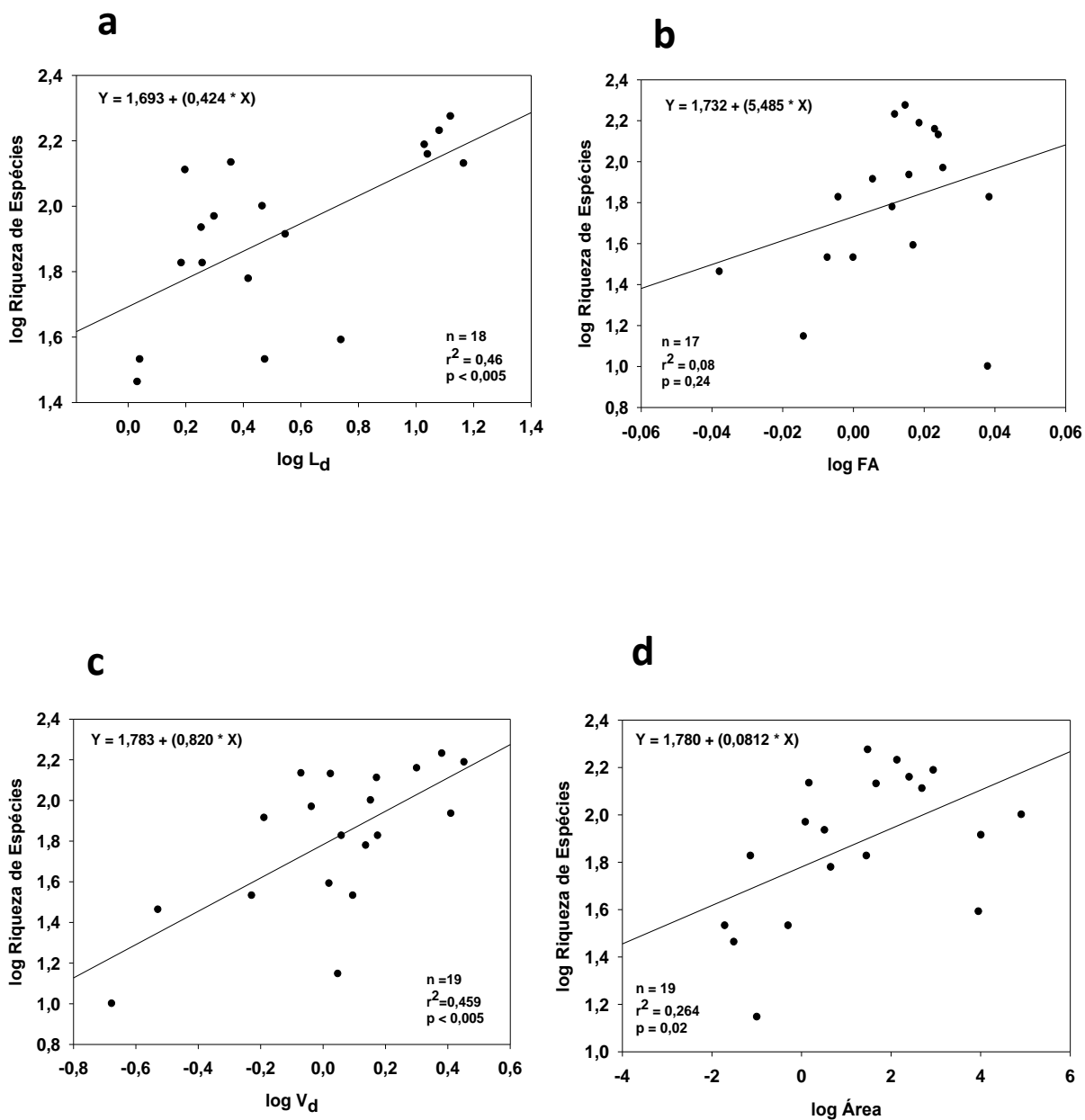


Gráfico 17: Regressões lineares simples com base em dados morfométricos calculados e riqueza (número de espécies) fitoplanctônica pesquisada em literatura científica. Os valores de **p** correspondem ao intervalo de 95% de confiança. Em: **a)** riqueza de espécies e índice de desenvolvimento de margem ; **b)** riqueza de espécies e fator de assimetria; **c)** riqueza de espécies e índice de desenvolvimento de volume; **d)** riqueza de espécies e logaritmo da área.

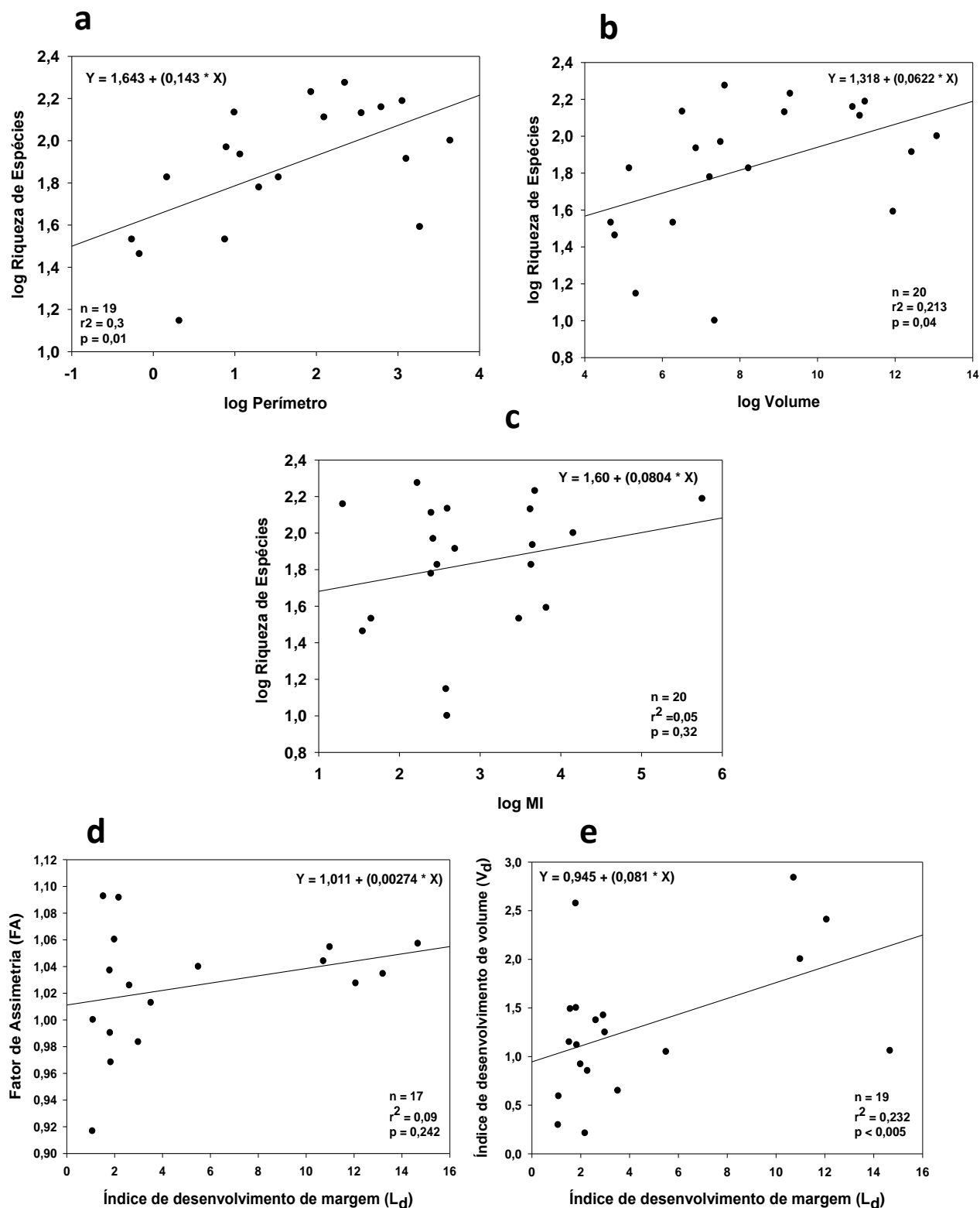


Gráfico 18: Regressões lineares simples com base em dados morfométricos calculados e riqueza (número de espécies) fitoplanctônica pesquisados em literatura científica. Os valores de **p** correspondem ao intervalo de 95% de confiança. Em: **a)** riqueza de espécies e logaritmo do perímetro; **b)** riqueza de espécies e logaritmo do volume; **c)** riqueza de espécies e índice morfométrico; **d)** fator de assimetria e índice de desenvolvimento de margem; **e)** índice de desenvolvimento de volume e índice de desenvolvimento de perímetro.

5 DISCUSSÃO

5.1 COMPOSIÇÃO E DIVERSIDADE FITOPLANCTÔNICA

5.1.1 CONTEXTO LOCAL - LAGOS AMAZÔNICOS DE ÁGUAS CLARAS

A comunidade fitoplanctônica dos lagos amazônicos e do rio Trombetas, avaliada neste estudo em dois períodos distintos (águas baixas e águas altas), apresentou variações na densidade e na composição de espécies entre os lagos e entre os períodos. Essas mudanças estão associadas principalmente ao pulso de inundação que promove alterações significativas nas comunidades (JUNK, 1997).

As dominâncias das classes Chlorophyceae e Zygnematomyceae no período de águas baixas, e da classe Chryptophyceae no período de águas altas já foram relatadas na literatura para os lagos Batata e Mussurá e para o rio Trombetas (HUSZAR, 1994; 1996; SOPHIA & HUSZAR, 1996). No entanto, este trabalho é um primeiro relato sobre a composição do fitoplâncton para os demais lagos de inundação do rio Trombetas.

De maneira geral, os ambientes apresentaram baixas concentrações de nutrientes (C, N e P), tanto no período de águas altas, quanto no período de águas baixas. No entanto, esse fator, bem como a disponibilidade de luz, aparentemente não afetaram a densidade do fitoplâncton, que apresentou valores muito próximos aos relatados na literatura para lagos amazônicos de águas claras. Porém, uma alteração na composição foi observada, principalmente na substituição, em representatividade taxonômica, da classe Cyanobacteria no período de águas baixas pela classe Chryptophyceae no período de águas altas.

A riqueza de espécies contabilizada nos lagos Batata e Mussurá neste estudo, são inferiores a relatada na literatura, o que nos permite afirmar que, provavelmente, também foi inferior para os demais sistemas. Esta riqueza menor está associada principalmente ao esforço amostral, eventual neste trabalho (coletas sazonais), em comparação com coletas intensivas semanais em trabalhos publicados para períodos de longa duração.

5.1.2 CONTEXTOS REGIONAL E GLOBAL

Sob contextos regional e global, os valores de riqueza relatados em literatura científica e disponibilizados também neste estudo, podem ser considerados comparáveis, visto que utilizaram a mesma metodologia de amostragem (amostras de sub-superfície) e de análise (UTERMÖHL, 1958) e são trabalhos, em sua maioria, de longa duração; o que confere credibilidade aos inventários taxonômicos apresentados por eles.

Além dos fatores morfométricos propostos neste trabalho, outros fatores locais podem também contribuir para as variações da riqueza de espécies nos sistemas, como nutrientes, luz e tempo de residência, muitas vezes não disponibilizados na literatura.

Trabalhos relatando a riqueza de espécies em sistema brasileiros são ainda escassos e em algumas regiões do país como as regiões norte e nordeste. O mesmo se verifica para lagos mundiais, em que dados referentes a sistemas lacustres da América do Sul e da África.

Para uma melhor avaliação dos padrões de distribuição e diversidade de espécies, devem se levar em consideração diferentes expressões ou níveis que correspondam às respostas das diversas comunidades aos processos que operam em diferentes escalas (SANTOS, 2009). De forma que, mais respostas ecológicas serão encontradas à medida que mais trabalhos desta natureza forem disponibilizados através de publicações científicas.

Algumas respostas foram acessadas por meio deste trabalho, onde foram considerados apenas os valores de riqueza de espécies, uma medida muito simples. No entanto, sob um ponto de vista teórico, outros descritores da comunidade fitoplanctônica poderão estar melhor relacionados à morfologia de lagos, como as associações funcionais ou mesmo a composição florística das principais classes, por exemplo, o que se configura como uma perspectiva futura para melhor elucidar as relações aqui propostas.

5.2 RELAÇÃO ENTRE MORFOLOGIA DE LAGOS E RIQUEZA FITOPLANCTÔNICA

A relação espécie-área, difundida através da teoria de biogeografia de ilhas, considera que: ilhas de áreas maiores comportam um número maior de espécies em comparação com ilhas de áreas menores (MACARTHUR & WILSON, 1967). Esta relação foi evidenciada pela primeira vez em lagos comparando a diversidade de moluscos, zooplâncton e peixes com a área desses sistemas (BROWNE, 1981) e reafirmada em estudos recentes considerando o fitoplâncton em sistemas naturais e artificiais (SMITH et al., 2005).

Neste trabalho uma relação positiva entre a riqueza de espécies fitoplanctônicas e a área dos lagos, também foi encontrada nos três níveis de análise: local, regional e global. Essa relação foi testada à partir de uma regressão simples entre $\log x$ e $\log y$ que expressam a relação de MacArthur: $S = cA^Z$ (MACARTHUR & WILSON, 1967). Em nível local (lagos amazônicos de águas claras), lagos maiores como o lago Erepecu, por exemplo, foram os que apresentaram a maior riqueza de espécies, principalmente no período de águas baixas. Acredita-se que essa diferença entre os períodos se deva ao poder homogeneizador das cheias, o que torna os sistemas mais similares durante as águas altas (HUSZAR, 1994). Em escala regional, considerando diferentes sistemas brasileiros a partir de dados provenientes de literatura científica, valores elevados de riqueza também foram encontrados nos sistemas de maior área, a exemplo do reservatório APM Manso. Esta relação riqueza-área (espécie-área), também foi observada na análise global, confirmando a aplicabilidade desta teoria aos sistemas lacustres e à comunidade fitoplanctônica.

Além da área, outros descritores, testados pela primeira vez neste estudo, também apresentaram relações positivas com a riqueza fitoplânctônica como: perímetro, volume, índice de desenvolvimento de volume e índice de desenvolvimento de margem. No entanto, o descritor que melhor se relacionou a riqueza foi o índice de desenvolvimento de margem, principalmente em escalas regional e global.

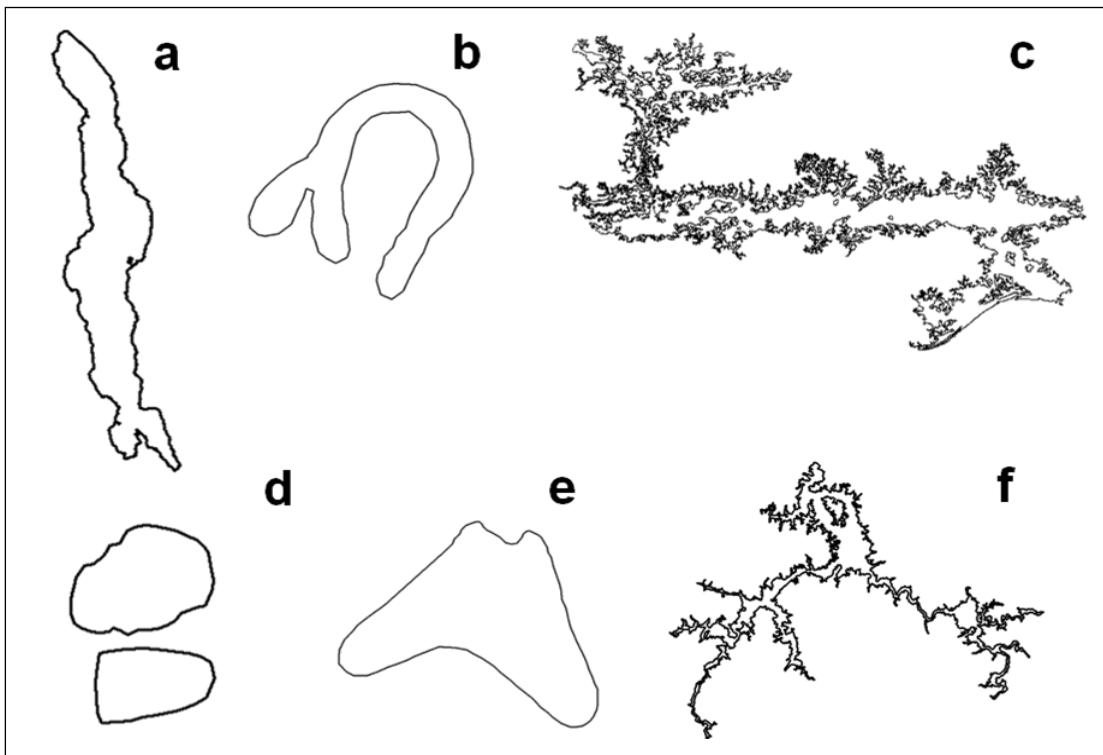
Teoricamente o índice de desenvolvimento de margem (L_d) é descrito como a razão entre as margens de um lago qualquer e as margens de um círculo perfeito com área igual a do lago (HAKANSON, 2004). Os valores provenientes dessa razão indicam, portanto, o grau de irregularidade do entorno de um lago, quanto mais irregulares, ou com mais reentrâncias forem as margens, maiores serão os valores de L_d , que funciona desta forma como um estimador da influência das margens, ou de um efeito de borda. De fato, os lagos mais irregulares, com mais reentrâncias, foram os que apresentaram valores mais elevados de L_d .

como os lagos amazônicos em nível local, em especial o lago Erepecu com um valor muito acima do que é relatado na literatura ($L_d = 37$) (Tabela 13). Há que se considerar, porém, que a literatura não contabiliza com precisão os lagos de inundação, e lagos brasileiros nem se quer são citados como exemplos.

Tabela 13: Valores de índice de desenvolvimento de margem (D_L) apresentados por HUTCHINSON (1957) e WETZEL (2001). Os autores usam o símbolo D_L , correspondente ao L_d neste trabalho.

Forma	Exemplo	D_L
Circular	lagos vulcânicos	1,04 – 1,15
Subcircular	lagos formados por ação do vento	3,0
Elípica	lagos do Ártico	2,8
Subrectangular alongado	lagos glaciais	2,5 - 5,0
Dendritica	lagos de inundação - Finlândia	21
Lunada	oxbow lakes	1,0 - 3,0
Triangular	lagos de vales	3,6
Irregular	lagos de Wisconsin	1,5 - 2,5

Os valores referentes ao índice de desenvolvimento de margem e a riqueza de espécies apresentaram relações significativas, principalmente em níveis regional e global. No nível local, porém, essa relação esteve mais ligada à área e ao perímetro. O que de certa forma é cabível, visto que, todos os lagos neste nível de análise são muito dendríticos. O que permite, a princípio, assumir para estes resultados é que: a riqueza de espécies fitoplanctônicas aumenta com o aumento da influência das margens, configurando um “efeito de borda” em lagos. Este efeito se intensifica a medida que as reentrâncias dos sistemas aumentam. Sob uma concepção teórica, as reentrâncias funcionariam como redutos de biodiversidade, pois apresentam mais condições para mais e diferentes espécies habitem esses sistemas (Desenho 2).



Desenho 2: representação da influência das margens em lagos, comparando lagos regulares (b, d, e) e lagos dendríticos (a, c, f). **a)** Lago Biwa (Japão); **b)** Baía do Biguá (MT – Pantanal); **c)** Lago Erepecu (PA – Amazônia); **d)** Lagos Peter e Paul (EUA); **e)** Lago dos Manacás (MG – Juiz de Fora); **f)** Reservatório Banglang (China).

O fator de assimetria (FA), que a princípio seria, com base na literatura, um estimador mais refinado da influência das margens (ASSIREU et al., 2004), não foi um bom estimador, visto que não houve relação entre a riqueza de espécies e o mesmo. O que pode ser evidenciado, também, através das regressões simples entre FA e o índice de desenvolvimento de margem em todos os níveis de análise. Da mesma forma, o índice morfométrico (MI) que mede a relação entre o perímetro e a profundidade média não esteve significativamente relacionado à riqueza de espécies fitoplanctônicas.

A relação entre o índice de desenvolvimento de margem e o índice de desenvolvimento de volume relaciona o quanto a área pode prever o volume de um lago, ou neste caso, o quanto o desenvolvimento de margem pode prever o desenvolvimento de volume. Essa relação foi muito significativa para a análise em nível local, provavelmente

devido ao fato desses lagos serem muito semelhantes (rasos e dendríticos). Esta relação também foi observada em nível global, não sendo, porém, observado em nível regional.

5.3 HETEROGENEIDADE ESPACIAL, EFEITO DE BORDA E ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO DE MARGEM

Há muitas generalizações que podem ser feitas acerca da riqueza de espécies nas comunidades, contudo, para boa parte dessas generalizações existem importantes exceções, e para muitas delas as explicações atuais não são completamente testáveis (TOWNSEND, 2006). Um exemplo dessas generalizações diz respeito a um conceito de biogeografia de ilhas muito conhecido em ecologia: a relação espécie-área. Muitas vezes, ao se interpretar essa teoria, considera-se apenas o tamanho dos sistemas *per si* (WHITAKER & FERNÁNDEZ-PALACIOS, 2007), em que apenas o fator tamanho (área), isoladamente, é utilizado para se explicar a distribuição de espécies, quando na verdade, fatores intrínsecos ao tamanho como a heterogeneidade de habitats, também estão envolvidos. Ao se dizer que, “quanto maior a área da ilha, maior a diversidade”, a premissa se torna verdadeira à medida em que se compreende que o número de espécies pode ser uma função do número de habitats: quanto maior a ilha, maior o número de habitats.

Ambientes heterogêneos espacialmente muitas vezes acomodam mais espécies porque eles possibilitam uma maior variedade de micro-habitats, uma variação maior de microclimas, mais refúgios diferentes para as presas e assim por diante – o espectro na variedade de recursos é incrementado (TOWNSEND et al., 2006). Alguns exemplos de sistemas complexos considerados em estudos ecológicos são as áreas de ecótonos, como as áreas de borda florestais, regiões em que normalmente se encontra a maior riqueza de espécies (ODUM, 1988). Em fragmentos de florestas por exemplo, as bordas são marcadas pela presença de espécies diferentes das existentes no interior. Na borda há a presença de arbustos e árvores menores que possuem muitos galhos ao longo do tronco, provavelmente em decorrência de uma área maior exposta à luz, favorecendo a fotossíntese e conseqüentemente a um aumento em biomassa, diferente daquelas no interior do fragmento, que apresentam poucos galhos e todos localizados no topo dos troncos formando o dossel, região que recebe mais luz, devido ao adensamento de árvores. Normalmente, as árvores da borda são também

mais resistentes a pragas e funcionam com um “cinturão” de proteção para as demais (FORMAN & GODRON, 1986).

A medida em que, vários fragmentos se originam em uma determinada área, regiões de transição vão se formando e os limites desses fragmentos se confundem, aumentando ainda mais a riqueza de espécies nessas regiões. Essa tendência ao aumento de variedade e densidade em zonas de contato entre comunidades é também conhecida como “efeito de borda” (ODUM, 1988). Esse efeito tem sido pouco relatado na literatura, e a maioria das considerações são relacionadas a ambientes terrestres (FORMAN & GODRON, 1986; LOMOLINO, 2006) e pouco se sabe sobre esse efeito em sistemas aquáticos. O índice de desenvolvimento de margem a medida em que é capaz de categorizar as irregularidades das margens, pode, de certa forma, ser utilizado como estimador desse efeito de borda e ser um indicador ligado à diversidade estrutural das populações nessas regiões. Lagos com mais reentrâncias apresentariam um maior valor de L_d e, portanto, uma maior área de transição entre o ambientes aquático e terrestre.

5.4 COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA E ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO DE MARGEM

Sob uma concepção teórica, um lago pode ser imaginado como um cubo. Cada face desse cubo, uma interação com o meio, com entradas e saídas de energia e matéria. Lagos são partes de um ecossistema maior, mas também são sistemas em si mesmos em uma escala reduzida. Sendo o lago um ecossistema em escala menor, ele é regido por forçantes ou interações próprias. As interações podem ser diretas e/ou indiretas e em várias escalas espaciais e temporais (WETZEL, 2001, ROLAND et. al., 2005). Estas interações podem ser desde características primordiais do sistema, como as origens geológicas, a características em mudança, como o clima e a biota.

A biota, como parte do sistema, seria então regida por suas características intrínsecas e por outras forçantes. De maneira que, a sua distribuição no ambiente é resultado de propriedades próprias das comunidades, como padrões genéticos e adaptativos, mas também das demais características do ambiente (PRIMACK & RODRIGUES, 2001). Neste sentido, ao relacionarmos a distribuição de espécies dentro de um sistema, devemos considerar também um conjunto de outros fatores ambientais, dentre eles a forma.

Os resultados deste estudo demonstram que há uma relação significativa entre a riqueza de espécies fitoplanctônicas e o índice de desenvolvimento de margem (L_d). A relação apresentada foi ajustada a uma curva linear. No entanto, sob um ponto de vista teórico essa relação poderá se apresentar sob distribuições de diferentes padrões (FORMAN & GODRON, 1986). Principalmente, levando-se em consideração que diferentes comunidades biológicas apresentam características distintas em relação ao espaço, e que não se espera que todos os ambientes se adéquem perfeitamente a um modelo.

Dependendo da maneira como representamos estas relações poderemos compreender melhor quais os fatores que influenciam a variação observada. Há que se considerar também, que, características morfométricas diferentes podem selecionar espécies ou grupos diferentes, que por conseguinte poderão apresentar repostas distintas dependendo do sistema. Somente com mais trabalhos é que se poderá evidenciar com clareza a relação entre morfologia de lagos e a comunidade fitoplanctônica. É importante ressaltar que, tão breve essa relação seja melhor elucidada e aplicada em diferentes sistemas, o uso dos parâmetros morfométricos poderá servir como ferramenta para predizer eventos e dar suporte à tomada de decisões.

6 CONCLUSÕES

1. A comunidade fitoplanctônica, bem como os descritores morfométricos e as condições químicas e físicas dos 26 lagos amazônicos e do rio Trombetas, avaliados neste estudo em dois períodos distintos (águas baixas e águas altas), apresentaram variações entre os lagos e entre os períodos. Essas mudanças foram associadas principalmente ao pulso de inundação que promove alterações significativas nesses ambientes.

2. A morfometria dos sistemas lacustres é um fator importante na distribuição de espécies fitoplanctônicas em diferentes níveis de observação: local – lagos amazônicos de águas claras; regional – diferentes lagos brasileiros naturais e artificiais; e global – diferentes lagos mundiais naturais e artificiais.

3. Lagos também estão inseridos em um contexto biogeográfico e podem ser campo para a aplicação das teorias de biogeografia de ilhas e efeito de borda. Resultados que suportam esta aplicabilidade foram encontrados neste estudo, que apresentou relação positiva significativa entre parâmetros morfométricos como: área, perímetro, volume, índice de desenvolvimento de margem e índice de desenvolvimento de volume, e a diversidade fitoplanctônica.

4. O índice de desenvolvimento de margem foi o melhor descritor da relação entre morfometria e diversidade fitoplanctônica. E foi mais expressivo nos níveis regional e global de observação.

REFERÊNCIAS

AHO, J. **Freshwater Snail Populations and Equilibrium-Theory of Island Biogeography .1. Case-Study in Southern Finland.** *Annales Zoologici Fennici*, v. 15, n. 2, pp. 146-154, 1978.

AKIN-ORIOLO, G. A. **On the phytoplankton of Awba reservoir, Ibadan, Nigeria.** *Rev. Biol. Trop.*, v. 51(1), n. pp. 99-106, 2003.

ALBERT, D. A., WILCOX, D. A., INGRAM, J. W. and THOMPSON, T. A. **Hydrogeomorphic classification for Great Lakes coastal wetlands.** *Journal of Great Lakes Research*, v. 31, n. pp. 129-146, 2005.

ARIYADEJ, C., TANSAKUL, R., TANSAKUL, P. and ANGSUPANICH, S. **Phytoplankton diversity and its relationships to the physico-chemical environment in the Banglang Reservoir, Yala Province.** *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, v. 26(5), n. pp. 595-607, 2004.

ASSIREU, A. T., LORENZZETTI, J. A., NOVO, E. M. L. D., STECH, J. L., BRAGA, C. Z. F. and LIMA, I. B. T. **Aplicação do Operador de Fragmentação Assimétrica (FA) na Caracterização de Controles Geomorfológicos em Reservatórios Hidroelétricos.** *Revista Brasileira de Geociências*, v. 34(4), n. pp. 501-508, 2004.

ASSIREU, A. T., ROSA, R. R., LORENZZETTI, J. A., VIJAYKUMAR, N. L., REMPEL, E. L., RAMOS, F. M., SÁ, L. D. A., BOLZAN, M. J. A. and ZANANDREA, A. **Gradient pattern analysis of short nonstationary time series: an application to Lagrangian data from satellite tracked drifters.** *Physica D*, v. 168-169, n. pp. 397-403, 2002.

BAAS BECKING, L. G. M. **Geobiologie of inleiding Tot de Milieukunde (Van Stockum & Zoon).** The Hague, v., n. pp, 1934.

BADYLAK, S. and PHILIPS, E. J. **Spatial and temporal patterns of phytoplankton composition in subtropical coastal lagoon, the Indian River Lagoon, Florida, USA.** *Journal of Plankton Research*, v. 26, n. 10, pp. 1229-1247, 2004.

BARBIERO, R. P. and TUCHMAN, M. L. **Results from the US EPA's biological open water surveillance program of the Laurentian Great Lakes: I. Introduction and phytoplankton results.** *Journal of Great Lakes Research*, v. 27(2), n. pp. 134-154, 2001.

BARBOSA, J. E. D. L. **Dinâmica do fitoplâncton e condicionantes limnológicos nas escalas de tempo (nictemeral/sazonal) e de espaço (horizontal/vertical) no açude Taperoá II: trópico semi-árido nordestino.** Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

- BARBOUR, C. D. and BROWN, J. H. **Fish Species-Diversity in Lakes**. American Naturalist, v. 108, n. 962, pp. 473-489, 1974.
- BARROS, N. O. **Implicações limno-ecológicas derivadas da infecção viral no plâncton**. Mestrado, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.
- BEISNER, B. E., DENT, C. L. and CARPENTER, S. R. **Variability of lakes on the landscape: Roles of phosphorus, food webs, and dissolved organic carbon**. Ecology, v. 84, n. 6, pp. 1563-1575, 2003.
- BEISNER, B. E., PERES, P. R., LINDSTROM, E. S., BARNETT, A. and LONGHI, M. L. **The role of environmental and spatial processes in structuring lake communities from bacteria to fish**. Ecology, v. 87, n. 12, pp. 2985-2991, 2006.
- BERGSTROM, A. K., BIGLER, C., STENSDOTTER, U. and LINDSTROM, E. S. **Composition and dispersal of riverine and lake phytoplankton communities in connected systems with different water retention times**. Freshwater Biology, v. 53, n. 12, pp. 2520-2529, 2008.
- BEZERRA-NETO, J. F. and PINTO-COELHO, R. M. **A morfometria e o estado trófico de um reservatório urbano: lagoa do Nado, Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais**. Acta Scientiarum, v. 24(2), n. pp. 285-290, 2002.
- BEZERRA-NETO, J. F. and PINTO-COELHO, R. M. **Morphometric study of Lake Dom Helvécio, Parque Estadual do Rio Doce (PERD), Minas Gerais, Brazil: a re-evaluation**. Acta Limnol. Bras., v. 20(2), n. pp. 161-167, 2008.
- BICUDO, C. E. D. M. and BICUDO, D. D. C. **Amostragem em Limnologia**. São Carlos, RiMa. 2004.
- BINI, L. M., THOMAZ, S. M. and SOUZA, D. C. **Species richness and b-diversity of aquatic macrophytes in the Upper Paraná River floodplain**. Archiv Fur Hydrobiologie, v. 151, n. pp. 511-525, 2001.
- BINI, L. M., VELHO, L. F. M. and LANSAC-TOHA, F. A. **The effect of connectivity on the relationship between local and regional species richness of testate amoebae (protozoa, rhizopoda) in floodplain lagoons of the Upper Parana River, Brazil**. Acta Oecologica-International Journal of Ecology, v. 24, n. pp. S145-S151, 2003.
- BLAIS, J. M. and KALFF, J. **The Influence of Lake Morphometry on Sediment Focusing**. Limnology and Oceanography, v. 40, n. 3, pp. 582-588, 1995.
- BOZELLI, R. L., ESTEVES, F. A. and ROLAND, F. **Lago Batata: Impacto e Recuperação de um Ecossistema Amazônico**. Rio de Janeiro, IB-UFRJ/SBL, 2000.

- BRANCO, C. W. C. and SENNA, P. A. C. **Relations among heterotrophic bacteria, chlorophyll-a, total phytoplankton, total zooplankton and physical and chemical features in the Paranoa reservoir, Brasilia, Brazil.** *Hydrobiologia*, v. 337, n. 1-3, pp. 171-181, 1996.
- BRETTUM, P. and HALVORSEN, G. **The phytoplankton of Lake Atnsjoen, Norway - a long-term investigation.** *Hydrobiologia*, v. 521, n. 1-3, pp. 141-147, 2004.
- BRÖNMARK, C. and HANSSON, L.-A. **The Biology of Lakes and Ponds.** 2. Oxford, 2006.
- BROWNE, R. A. **Lakes as Islands - Biogeographic Distribution, Turnover Rates, and Species Composition in the Lakes of Central New-York.** *Journal of Biogeography*, v. 8, n. 1, pp. 75-83, 1981.
- BRYLINSK.M and MANN, K. H. **Analysis of Factors Governing Productivity in Lakes and Reservoirs.** *Limnology and Oceanography*, v. 18, n. 1, pp. 1-14, 1973.
- CARDOSO, S. J., LOVERDE-OLIVEIRA, S. M., ROLAND, F. and HUSZAR, V. L. M. **Phytoplankton diversity in a floodplain system (Pantanal, Brazil).** v., n. pp, em preparação.
- CARLSON, R. E. **Trophic State Index for Lakes.** *Limnology and Oceanography*, v. 22, n. 2, pp. 361-369, 1977.
- CHELLAPPA, N. T., BORBA, J. M. and ROCHA, O. **Phytoplankton community and physical-chemical characteristics of water in the public reservoir of Cruzeta, RN, Brazil.** *Brazilian Journal of Biology*, v. 68, n. 3, pp. 477-494, 2008.
- COLE, G., 1994, **Textbook of limnology.** Illinois, Waveland Press
- CORRÊA, M. C. and BERGESCH, M. **Ocorrência De Cianobactérias Na Lagoa Dos Patos E Na Zona Costeira Adjacente, Rs.** *Cadernos de Ecologia Aquática*, v. 3 (1), n. pp. 42-57, 2008.
- COSTA, L. S., HUSZAR, V. L. M., NABOUT, C. J., KRUK, C., MAZZEO, N., BINI, L. M., SCHEFFER, M. **Phytoplankton in a latitudinal scale: toward geographical patterns and driving factors.** Em preparação
- DAGA, V. S., GOGOLA, T. M., SANCHES, P. V., BAUMGARTNER, G., BAUMGARTNER, D., PIANA, P. A., GUBIANI, E. A. and DELARIVA, R. L. **Fish larvae assemblages in two floodplain lakes with different degrees of connection to the Parana River, Brazil.** *Neotropical Ichthyology*, v. 7, n. 3, pp. 429-438, 2009.

ELSER, M. M., ELSER, J. J. and CARPENTER, S. R. **Paul and Peter Lakes - a Liming Experiment Revisited**. *American Midland Naturalist*, v. 116, n. 2, pp. 282-295, 1986.

ESTEVEZ, F. D. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. Rio de Janeiro, Interciência **Relation between Lake Morphometry and Primary Productivity and Its Use in Interpreting Whole-Lake Eutrophication Experiments**, 1998.

FANTIN-CRUZ, I., LOVERDE-OLIVEIRA, S., GIRARD, P. **Caracterização morfológica e suas implicações na limnologia de lagoas do Pantanal Norte**. *ActaSciBiolSci* v. 30, n 2, pp. 133-140, 2008.

FEE, E. J. *Limnology and Oceanography*, v. 24, n. 3, pp. 401-416, 1979.

FIGUEREDO, C. C. and GIANI, A. **Seasonal variation in the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir**. *Hydrobiologia*, v. 445, n. 1-3, pp. 165-174, 2001.

FORMAN, R. T. T. & GODRON, M., **Landscape Ecology**. Estados Unidos, John Wiley & Sons, 1986.

FORSSTRÖM, L. **Phytoplankton ecology of subarctic lakes in Finnish Lapland** Doutorado, University of Helsinki, Helsinki, 2006.

GARCIA-RODRIGUEZ, J. and TAVERA, R. **Phytoplankton composition and biomass in a shallow monomictic tropical lake**. *Hydrobiologia*, v. 467, n. 1-3, pp. 91-98, 2002.

GENKAI-KATO, M. and CARPENTER, S. R. **Eutrophication due to phosphorus recycling in relation to lake morphometry, temperature, and macrophytes**. *Ecology*, v. 86, n. 1, pp. 210-219, , 2005.

GOLTERMAN, H. L., CLYMO, R. S. and OHNSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1978.

HAKANSON, L. **Lake Form, Lake Volume and Lake Hypsographic Survey**. *Geografiska Annaler Series a-Physical Geography*, v. 59, n. 1-2, pp. 1-29, 1977.

HAKANSON, L. **A Manual of Lake Morphometry**. New York, Springer Verlag, 1981a.

HAKANSON, L. **Determination of Characteristic Values for Physical and Chemical Lake Sediment Parameters**. *Water Resources Research*, v. 17, n. 6, pp. 1625-1640, 1981b.

HAKANSON, L. **Models to Predict Organic Content of Lake-Sediments**. *Ecological Modelling*, v. 82, n. 3, pp. 233-245, 1995.

HAKANSON, L. **Lakes: Form and Function**. Uppsala, The Blackburn Press, 2004.

HAKANSON, L. **The importance of lake morphometry and catchment characteristics in limnology - ranking based on statistical analyses**. *Hydrobiologia*, v. 541, n. pp. 117-137, 2005.

HARRISON, S., DAVIES, K. F., SAFFORD, H. D. and VIERS, J. H. **Beta diversity and the scale-dependence of the productivity-diversity relationship: a test in the Californian serpentine flora**. *Journal of Ecology*, v. 94, n. 1, pp. 110-117, 2006a.

HARRISON, S., SAFFORD, H. D., GRACE, J. B., VIERS, J. H. and DAVIES, K. F. **Regional and local species richness in an insular environment: Serpentine plants in California**. *Ecological Monographs*, v. 76, n. 1, pp. 41-56, 2006.

HOEK, C. V. D., MANN, D. G. and JAHNS, H. M. **Algae: An introduction to phycology**. New York, Cambridge University Press, 1995.

HUBBLE, D. S. and HARPER, D. **Phytoplankton community structure and succession in the water column of Lake Naivasha, Kenya: a shallow tropical lake**. *Hydrobiologia*, v. 488, n. pp. 89-98, 2002.

HUSZAR, V. L. D. M. and GIANI, A. **Amostragem da Comunidade Fitoplanctônica em Águas Continentais: Reconhecimento de Padrões Espaciais e Temporais**. In: BICUDO, C. E. D. M. and BICUDO, D. D. C. (ed.), *Amostragem em Limnologia*, 2ª edição, São Carlos, RiMa, 2004.

HUSZAR, V. L. M. **Fitoplâncton de um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita (Lago Batata, Pará, Brasil): estrutura da comunidade, flutuações espaciais e temporais**. Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1994.

HUSZAR, V. L. M. **Planktonic algae, other than desmids, of three Amazonian systems (Lake Batata, Lake Mussurá and Trombetas River), Pará, Brazil**. *Amazoniana*, v. XIV (1/2), n. pp. 37-73, 1996.

HUTCHINSON, E. G. **A Treatise on Limnology**. 1. Nova Iorque, John Wiley & Sons INC, 1957.

INPE: Base de dados. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. 2009. Acessado em Outubro de 2009.

JUNK, W. J. **The Central Amazon Floodplain. Ecology of a Pulsing System**. Belin Springer-Verlag, 1997.

KALFF, J. **Limnology**. Prentice-Hall, 2002.

- KAMENIR, Y., WINDER, M., DUBINSKY, Z., ZOHARY, T. and SCHLADOW, G. **Lake Tahoe vs. Lake Kinneret phytoplankton: comparison of long-term taxonomic size structure consistency.** *Aquatic Sciences*, v. 70, n. 2, pp. 195-203, 2008.
- KOMÁREK, J. and ANAGNOSTIDIS, K. **Cyanoprokaryota I. Teil Chroococcales.** In: Ettl, H., Gärtner, G., Heynig, H. and Mollenhauer, D. (ed.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Stuttgart, Gustav Fisher, Jena, 1999.
- KOMÁREK, J. and ANAGNOSTIDIS, K. **Cyanoprokaryota 2. Teil Oscillatoriales.** In: Büdel, B., Krienitz, L., Gärtner, G. and Schagerl, M. (ed.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Stuttgart, Gustav Fisher, Jena, 2005.
- LANDSAT.ORG. Disponível em: <http://glovis.usgs.gov/data/landsat/>. 2009. Acesso em Outubro 2009.
- LASSEN, H. H. **Diversity of Freshwater Snails in View of Equilibrium Theory of Island Biogeography.** *Oecologia*, v. 19, n. 1, pp. 1-8, 1975.
- LEWINSOHN, T. and PRADO, P. I. **Biodiversidade Brasileira: Síntese do Estado Atual do Conhecimento.** São Paulo, Contexto, 2002.
- LIN, D. S. C. **Hábitat, pulso de inundação e assoreamento por rejeito de bauxita como fatores estruturadores da comunidade de peixes de um lago amazônico (Lago Batata, PA).** Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- LOMOLINO, M. V., RIDDLE, B. R. & BROMN, J. H. **Biogeography.** Sunderland, USA, 2006,
- LOPEZ-ARCHILLA, A. I., MOREIRA, D., LOPEZ-GARCIA, P. and GUERRERO, C. **Phytoplankton diversity and cyanobacterial dominance in a hypereutrophic shallow lake with biologically produced alkaline pH.** *Extremophiles*, v. 8, n. 2, pp. 109-115, 2004.
- LOVERDE-OLIVEIRA, S. M. **Implicações da Complexidade Hidrológica Sobre Padrões Limnológicos na Lagoa do Coqueiro, Pantanal de Mato Grosso: Alternância de Estados Estáveis.** Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- LUND, J. W. H., KIPLING, C. and LECREN, E. D. **The inverted microscope method of estimating algal number and statistical basis of estimating by counting.** *Hydrobiologia*, v. 11, n. pp. 143–170, 1958.
- LUNDHOLM, N. and MOESTRUP, O. **The Biogeography of Harmful Algae.** In: GRANÉLI, E. and TURNER, J. T. (ed.), *Ecology of Harmful Algae*, Berlin, Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- MACARTHUR, R. H. and WILSON, E. O. **The Theory of Island Biogeography.** Princeton, Princeton University Press, 1967.

- MACKERETH, F. J. H., HERON, J. and TALLING, J. F. **Water analysis: some revised methods for limnologists**, 1978.
- MAGURRAN, A. E. **Measuring Biological Diversity**. Wiley-Blackwell, 2003.
- MARGALEF, R. **Limnologia**. Barcelona, Omega, 1983.
- MARKENSTEN, H. **Climate effects on early phytoplankton biomass over three decades modified by the morphometry in connected lake basins**. *Hydrobiologia*, v. 559, n. pp. 319-329, 2006.
- MARTINS, F. C. O. and FERNANDES, V. D. O. **Phytoplankton at the lagoon of the campus of the Universidade Federal do Espírito Santo (Vitória, ES, Brazil): community structure and ecological considerations**. *Neotropical Biology and Conservation*, v. 1 (2), n. pp. 101-109, 2006.
- MELACK, J. M. **Amazon floodplain lakes: Shape, fetch, and stratification**. *Verh. Internationat. Verein. Limnol.*, v. 22, n. pp. 1278-1282, 1984.
- MORAIS, R. P. D., OLIVEIRA, L. G., LATRUBESSE, E. M. and PINHEIRO, R. C. D. **Morfometria de sistemas lacustres da planície aluvial do médio rio Araguaia**. *Acta Sci. Biol. Sci.*, v. 27(3), n. pp. 203-213, 2005.
- MORALES, E. A., FERNÁNDEZ, E., FERNANDEZ, C. E., LIZARRO, D. and ALCOREZA, P. **Algal Studies in Bolivia: A Compilation and Preliminary Analysis of Existing Phycological Literature**. *Gayana Bot.*, v. 65(1), n. pp. 93-109, 2008.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3ª edição. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007.
- MOSS, B. **Shallow lakes, the water framework directive and life. What should it all be about?**. *Hydrobiologia*, v. 584, n. pp. 381-394, 2007.
- MOUSTAKA-GOUNI, M., VARDAKA, E. and TRYFON, E. **Phytoplankton species succession in a shallow Mediterranean lake (L. Kastoria, Greece): steady-state dominance of *Limnothrix redekei*, *Microcystis aeruginosa* and *Cylindrospermopsis raciborskii***. *Hydrobiologia*, v. 575, n. pp. 129-140, 2007.
- NABOUT, J. C., NOGUEIRA, I. D. S., DE OLIVEIRA, L. G. and MORAIS, R. R. **Phytoplankton diversity (alpha, beta, and gamma) from the Araguaia River tropical floodplain lakes (central Brazil)**. *Hydrobiologia*, v. 575, n. pp. 455-461, 2007.
- NASELLI-FLORES, L. and BARONE, R., 1998, **Phytoplankton dynamics in two reservoirs with different trophic state (Lake Rosamarina and Lake Arancio, Sicily, Italy)**. *Hydrobiologia*, v. 370, n. pp. 163-178, 1998.

NUSCHE, E. A. and PALME, V. **Biologische Methoden für die Praxis der Gewässeruntersuchung**. GWF-Wasser/Abwasser, v., n. pp. 562-565, 1975.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan S.A., 1988.

O'MALLEY, M. A. **The nineteenth century roots of 'everything is everywhere'**. Nature Reviews Microbiology, v. 5, n. 8, pp. 647-651, 2007.

PAIRA, A. R. and DRAGO, E. C. **Origin, Evolution and Types of Floodplain Water Bodies**. In: IRIONDO, M. H., PAGGI, J. C. and PARMA, M. J. (ed.), The Middle Paraná River - Limnology of a Subtropical Wetland, Berlin, Springer, 2007.

PANOSSO, R. F., ATTAYDE, J. L. and MUEHE, D. **Morfometria de quatro lagoas costeiras brasileiras: implicações para seu funcionamento e manejo**. In: ESTEVES, F. A. (ed.), Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ), Macaé, NUPEM/UFRJ, 1998.

PANOSSO, R. F., MUEHE, D. and ESTEVES, F. A. **Morphological characteristics of an Amazon floodplain lake (Lake Batata, Pará State, Brazil)**. Amazoniana, v. XIII (3/4), n. pp. 245-258, 1995.

PONGSWAT, S., THAMMATHAWORN, S., PEERAPORNPISAL, Y., THANEEA, N. and SOMSIRIC, C. **Diversity of Phytoplankton in the Rama IX Lake, A Man-Made Lake, Pathumthani Province, Thailand**. ScienceAsia, v. 30, n. pp. 261-267, 2004.

PRIMACK, R. B. and RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação. Londrina, Richard B. Primack e Efraim Rodrigues**, 2001.

RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais: Santarém.. In: (ed.), Projeto Radambrasil**, Rio de Janeiro, Ministério de Minas e Energia, 1976.

RASMUSSEN, J. B., GODBOUT, L. and SCHALLENBERG, M. **The Humic Content of Lake Water and Its Relationship to Watershed and Lake Morphometry**. Limnology and Oceanography, v. 34, n. 7, pp. 1336-1343, 1989.

REYNOLDS, C. S. **Modelling phytoplankton dynamics and its application to lake management**. Hydrobiologia, v. 396, n. pp. 123-131, 1999.

REYNOLDS, C. S. **The Ecology of Phytoplankton**. 1. New York, Cambridge University Press, 2006.

RICHARDSON, J. L. **Morphometry and lacustrine productivity**. Limnology and Oceanography, v. 20 (4), n. pp. 661-663, 1975.

RICKLEFS, R. E. **A Economia da Natureza**. 5ª edição. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan S.A., 2003.

ROLAND, F., CESAR, D. and MARINHO, M. **Lições de Limnologia**. São Carlos, RiMa, 2005.

ROSA, R. R., SHARMA, A. S. and VALDIVIA, J. A. **Characterization of localized turbulence in plasma extended systems**. *Physica A*, v. 257, n. pp. 509-514, 1998.

ROSA, R. R., SHARMA, A. S. and VALDIVIA, J. A. **Characterization of asymmetric fragmentation patterns in spatially extended systems**. *Intern. J. Modern Physics*, v. C10 (1), n. pp. 147-163, 1999.

SANTOS, J. B. O. D. **Diferentes Abordagens da Diversidade Fitoplanctônica em Oito Reservatórios de Hidrelétricas Brasileiras**. Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro - Museu Nacional, Rio de Janeiro, 2009.

SCHEFFER, M., VAN GEEST, G. J., ZIMMER, K., JEPPESEN, E., SONDERGAARD, M., BUTLER, M. G., HANSON, M. A., DECLERCK, S. and DE MEESTER, L. **Small habitat size and isolation can promote species richness: second-order effects on biodiversity in shallow lakes and ponds**. *Oikos*, v. 112, n. 1, pp. 227-231, 2006.

SEPKOSKI, J. J. and REX, M. A. **Distribution of Freshwater Mussels - Coastal Rivers as Biogeographic Islands**. *Systematic Zoology*, v. 23, n. 2, pp. 165-188, 1974.

SHANNON, C. E. and WEAVER, W. **The Mathematical Theory of Communication**. Urbana, Illinois University Press, 1963.

SIOLI, H. **The Amazon: limnology and landscape ecology**. Dordrecht, Junk Publishers, 1984.

SMITH, V. H., FOSTER, B. L., GROVER, J. P., HOLT, R. D., LEIBOLD, M. A. & DENOYELLES, F. **Phytoplankton species richness scales consistently from laboratory microcosms to the world's oceans**. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 102, n. 12, pp. 4393-4396. ., 2005,

SOARES, M. C. S., VIDAL, L. O., ROLAND, F. and HUSZAR, V. L. M. **Cyanobacterial equilibrium phases in a small tropical impoundment**. *Journal of Plankton Research*, v. 31, n. 11, pp. 1331-1338., 2009.

SOPHIA, M. D. G. and HUSZAR, V. L. D. M., **Planktonic desmids of three Amazonian systems (Lake Batata, Lake Mussurá and Trombetas River), Pará, Brazil**. *Amazoniana*, v. XIV (1/2), n. pp. 75-90, 1996.

STRASKRABA, M. **The effects of physical variables on freshwater production: analysis based models.** . In: LECREN, E. D. and LOWE-MCCONNELL, R. H. (ed.), *The functioning of freshwater ecosystems*, Cambridge, Cambridge University Press, 1980.

THIENEMANN, A. **Physikalische und chemische Untersuchungen in den Maaern de Eifel.** Verh. Nat. Hist. Ver. preuss. Rheine - West, v. 70, n. pp. 249-303, 1913.

THIENEMANN, A. **Der Bau des Seebeckens in seiner Bedeutung fur das Leben in See.** Verh. Zool.-Bot. Ges. Wien, v. 77, n. pp. 87-91, 1927.

THIENEMANN, A. **Vebreitungsgeschichte der Susswasserierwett Europas. Die Binnengewasser,** v. 18, n. pp. 1-819, 1950.

TOWNSEND, C. R., BEGON, M. and HARPER, J. L. **Fundamentos em Ecologia.** 2ª edição. Porto Alegre, artmed, 2006.

UNDIZI, J. G. and TUNDISI, T. M. **Limnologia.** São Paulo, Oficina de Textos, 2008.

UHELINGHER, V. **Étude statistique dès méthodes de dénobrement planctonique.** Archive Science, v. 77 (2), n. pp. 121-123, 1964.

UTERMÖHL, H. **Zur Nervolkommung der quantitativen Phytoplankton Methodiik.** Mitt. Int. Ver. Limnol., v. 9, n. pp. 1-38, 1958.

WHITTAKER, R. J. and FERNÁNDEZ-PALACIOS, J. M. **Island Biogeography: Ecology, Evolution, and Conservation.** Oxford, Oxford University Press., 2007

VOLLENWIDER, R. A. **A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments.** London, Blackwell Scientific Publication, 1974.

VON-SPERLING, E. **Morfometria de Lagos e Represas.** Belo Horizonte, DESA/UFGM/SEGRAC, 1999.

WELCH, P. S. **Limnological Methods.** Philadelphia, Blakiston, 1948.

WETZEL, R. G. **Limnology Lake and River Ecosystems.** 3. San Diego, Elsevier, 2001.

WILSEY, B. J., CHALCRAFT, D. R., BOWLES, C. M. and WILLIG, M. R. **Relationships among indices suggest that richness is an incomplete surrogate for grassland biodiversity.** Ecology, v. 86, n. 5, pp. 1178-1184, 2005.

WIT, R. and BOUVIER, T. 'Everything is everywhere, but the environment selects'; what did Baas Becking and Beijerinck really say?. *Environment Microbiol*, v. 8, n. pp. 755-758, 2006

ANEXOS

Anexo 1: Quadro comparativo dos principais tipos de lagos classificados de acordo com suas gêneses (Hutchinson, 1957; Esteves, 1998).

Gênese	Descrição	Exemplos
Tectonismo	formação de vales devido a movimentos diferenciais da crosta terrestre	Mar Cáspio, Mar Aral e lago Baical
Atividade Vulcânica	formação por acúmulo de lava, represamento de vales ou formação de crateras	Lagos Big Soda (Nevada - EUA). Lago da Cratera (Oregon - EUA)
Deslizamento de terra	formação de lagos por deslizamento de terras como terremotos, por exemplo	Lagos do sul da China
Glaciações	Formação devido ao congelamento e descongelamento da água e em decorrência de erosões glaciais	Lagos Constance (Alemanha-Suíça) e os lagos Finger (Nova York-EUA)
Ação da água	Formação pela dissolução de rochas - erosão	Lagos da região dos Alpes Suíços
Atividade de rios	Formação devido a deposição de sedimento ao longo das margens criando barramentos e formando lagoas a partir de meandros perdidos de rios	Lagos de inundação formados às margens do rio Cuiabá, Pantanal (MT- Brasil)
Ação do vento	Formação por deposição de sedimento e areia nas margens dos rios trazidos pelo vento	Lagoa do Abeté (BA-Brasil) e lagos do sul de Santa Catarina (Brasil)
Recuo do mar	Formação pelo isolamento de Enseada Marinha ou Braços do Mar	Lagoas Costeiras: Lagoa dos Patos e Lagoa Mirim (RS- Brasil) e Saquarema e Rodrigo de Freitas (RJ - Brasil)
Impacto de meteoritos	Formação por crateras originadas de impactos de meteoritos na superfície terrestre	lago Clearwater (Québec - Canadá)
Ação de animais	Formação pela atividade de castores. Estes animais criam represas naturais de solo e restos vegetais aprisionando a água	Lagos Beaver e Echo (EUA)
Atividades humanas	Criação de açude, tanques pesqueiros e reservatórios para a produção de energia elétrica e abastecimento público	Reservatórios Petit Saut (Guiana Francesa) e diversos reservatórios brasileiros como a APM de Manso (MT-Brasil)

Táxons / Estações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
Zygnematophyceae																												
<i>Actinotaenium perminutum</i>							X					X	X				X			X								
<i>Closterium gracile</i>	X			X		X	X				X	X	X		X					X			X			X		
<i>Closterium</i> sp.												X																
<i>Cosmarium</i> cf. <i>ornatum</i>												X																
<i>Cosmarium contractum</i>											X																	
<i>Cosmarium pusillum</i>												X																
<i>Cosmarium</i> sp. 1				X																								
<i>Cosmarium</i> sp. 3				X								X																
<i>Cosmarium</i> sp. 3																				X								
<i>Cosmarium</i> sp.4					X	X					X	X					X											
<i>Cosmarium</i> sp.5	X	X			X		X	X	X			X			X		X		X				X					
<i>Cosmarium sphagnicolum</i> var. <i>apertum</i>								X	X			X			X	X	X		X					X				X
<i>Cosmarium tinctum</i> var. <i>subretusum</i>		X			X				X																			
<i>Desmidia</i> sp.												X																
<i>Desmidium</i> sp.													X					X	X									
<i>Euastrum ornans</i>									X										X		X							
<i>Eusatrum</i> sp.1									X																			
<i>Gonatozygon</i> sp.																	X											
<i>Mesotaenium</i> sp.1																				X								
<i>Mesotaenium chlamydosporum</i>																				X								
<i>Mesotaenium chlamydosporum</i> var. <i>violascens</i>									X		X									X								
<i>Mesotaenium</i> sp. 2											X																	
<i>Micrasterias furchata</i> var. <i>dichotoma</i>																				X								
<i>Mougeotia</i> aff. <i>delicata</i>	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X		X	X	X			X	
<i>Mougeotia</i> cf. <i>viridis</i>							X	X				X		X	X	X	X	X	X	X		X		X			X	

Táxons / Estações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
Chrysophyceae																												
<i>Bitrichia amazonica</i> .					X	X								X					X									
<i>Chromulina cf. gyrans</i>													X													X		
<i>Chromulina</i> sp.	X							X	X																	X	X	
<i>Chrysophyceae</i> sp. 1					X																					X		
<i>Chrysophyceae</i> sp. 6	X		X	X	X																					X		
<i>Dinobryon bavaricum</i>												X																
<i>Dinobryon divergens</i>								X		X		X							X	X								
<i>Dinobryon petiolatum</i>						X																						
<i>Dinobryon sertularia</i>	X																											
<i>Mallomonas aff tonsurata</i>		X																										
<i>Mallomonas</i> sp.1		X																										
<i>Mallomonas</i> sp.4		X			X																							
<i>Mallomonas</i> sp.6 (aff. caudata)	X		X	X		X																						
<i>Mallomonas</i> sp.7																											X	
<i>Synura cf. uvella</i>					X																	X				X	X	
Chryptophyceae																												
<i>Cryptomonas aff. marsonii</i> var.1	X									X	X			X					X				X		X	X	X	
<i>Cryptomonas aff. marsonii</i> var.2								X	X		X	X		X									X		X	X	X	
<i>Cryptomonas cf. pyrenoidifera</i>										X												X						
<i>Cryptomonas</i> sp.1																					X							
Dinophyceae																												
<i>Glenodinium</i> sp. 1	X				X																							
<i>Peridinium</i> sp. 1										X																		
<i>Peridinium</i> sp. 2								X	X	X	X															X		
<i>Peridinium umbonatum</i> var. 1	X							X	X	X		X		X	X				X				X		X			
<i>Peridinium umbonatum</i> var. 3													X					X							X	X		

Anexo 3: Lista de espécies fitoplanctônicas inventariadas nos 26 lagos amazônicos de águas claras nos períodos de águas baixas e águas baixas. Estações: 1 -Tapagem Pequena; 2- Curuçá Grande; 3 - Sapucúá; 4 - Mussurá; 5 - Laguinho; 6 - Bacabal; 7 - Carimum; 8 - Farias; 9 - Curuçá Mirim; 10 - Tapagem Grande; 11 - Jacaré; 12 - Mãe Quer; 13 - Juquiri; 14 - Macaco; 15 - Batata; 16 - Palhau; 17 - Flexal; 18 - Jibóia; 19 - Ajudante; 20 - Moura; 21 - Trombetas; 22 - Abuí; 23 - Erepecu; 24 - Aracuã do meio; 25 - Acari; 26 - Matheus; 27 - Juqueri Mirim.

Táxons / Estações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27			
Cyanobacteria																														
<i>Anabaena</i> sp. 2																													X	
<i>Aphancapsa elachista</i>			X																										X	
<i>Chroococcus minor</i>	X	X																												
<i>Chroococcus</i> sp.																		X					X	X						
<i>Cianobactéria</i> sp.																													X	
<i>Eucapsis alpina</i> var. <i>minor</i>												X							X				X							
<i>Gloeocapsa</i> sp.							X	X	X	X						X	X	X	X					X	X	X	X			
<i>Jaaginema geminata</i>		X		X						X	X				X								X	X						
<i>Planktolyngbya contorta</i>																							X							
<i>Planktolyngbya limnetica</i>							X					X											X	X						
<i>Merismopedia tenuissima</i>																							X							
<i>Microcystis aeruginosa</i> f. <i>flos-aquae</i>																														
<i>Microcystis aeruginosa</i> f. <i>protocystis</i>																							X							
<i>Microcystis</i> cf. <i>wesenbergii</i>				X																										
<i>Microcystis</i> sp.																							X			X				
<i>Raphidiopsis</i> sp.																							X							
<i>Romeria elegans</i>	X																						X			X				

Continuação

Táxons / Estações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
Zygnematophyceae																												
<i>Actinotaenium perminutum</i>											X		X									X	X					
<i>Closterium gracile</i>													X										X					
<i>Cosmarium</i> sp. 1																							X					
<i>Cosmarium</i> sp. 2																												
<i>Cosmarium</i> sp. 4					X																							
<i>Cosmarium</i> sp. 5													X															
<i>Cosmarium sphagnicolum</i> var. <i>apertum</i>														X			X					X			X			
<i>Desmidia</i> sp.						X																						
<i>Mougeotia</i> aff. <i>delicata</i>			X	X									X	X								X					X	
<i>Mougeotia</i> cf. <i>viridis</i>																												
<i>Pleurotaenium tenuissimum</i>																												
<i>Staurastrum pseudotetracerum</i>																							X					
<i>Staurastrum rotula</i>																							X					
<i>Staurastrum</i> sp. 3													X															
<i>Staurastrum subamericanum</i>																												
<i>Stauroidesmus glaber</i> var. <i>hirundinella</i>													X															
<i>Stauroidesmus lobatus</i> var. <i>ellipticus</i> f. <i>minor</i>																							X					
<i>Stauroidesmus phimus</i> var. <i>robustus</i>							X										X					X						
<i>Stauroidesmus pseudoarthodesmus</i>																							X					
<i>Stauroidesmus</i> sp. 5													X															
<i>Stauroidesmus triangularis</i>											X							X				X						

