

UFF – UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

THAIRINY FONSECA PEREIRA

Relação entre as Concentrações de Nutrientes e as Emissões de Dióxido de Carbono dos Lagos à Atmosfera: Uma Abordagem no Gradiente Latitudinal

Campos dos Goytacazes

2014

UFF – UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

THAIRINY FONSECA PEREIRA

Relação entre as Concentrações de Nutrientes e as Emissões de Dióxido de Carbono dos Lagos à Atmosfera: Uma Abordagem no Gradiente Latitudinal

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do grau Bacharel em Geografia.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Humberto Marotta Ribeiro

Campos dos Goytacazes

2014

THAIRINY FONSECA PEREIRA

RELAÇÃO ENTRE AS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES E AS EMISSÕES DE
DIÓXIDO DE CARBONO DOS LAGOS À ATMOSFERA: UMA ABORDAGEM NO
GRADIENTE LATITUDINAL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
Fluminense como requisito parcial para
a obtenção do grau Bacharel em
Geografia.

Aprovada em.....dede.....

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Humberto Marotta Ribeiro (orientador)

UFF – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Eduardo Bulhões

UFF – Universidade Federal Fluminense

Dr. Vinicius Peruzzi

UFRJ – Universidade Federal Rio de Janeiro

Dedico este trabalho aos meus pais e ao meu irmão, que em todos os momentos estiveram ao meu lado. Dando-me suporte e amor para passar por cada momento até chegar aqui!

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Deus, que esteve comigo por todos os momentos me sustentando em fé e sabedoria, permitindo que eu realizasse os sonhos Dele para a minha vida.

Aos meus pais: Francisco e Fátima e ao meu irmão Matheus, pelo amor, carinho e sustento. Se fosse escrever toda a minha gratidão faltaria espaço e palavras. Obrigada por acreditarem em mim, por deixarem claro que mesmo morando longe, perto de vocês sempre será o meu lar. Amo muito vocês.

Ao meu querido orientador Humberto, que desde 2011 tem dividido comigo sua sabedoria. Obrigada pelos ensinamentos, esclarecimentos, correções, pelas conversas, pela amizade construída e até pelas risadas. Guardarei todos esses momentos com muito carinho, obrigada por acreditar que mesmo com alguns km de distância seria possível continuar com a orientação! Sim, nós conseguimos! Agradeço por sempre ter permanecido ao meu lado e me mostrar que por mais difícil que seja o desafio ele não é impossível. Você é um exemplo pra mim!

A banca examinadora Dr. Eduardo Bulhões e Dr. Vinicius Peruzzi que gentilmente aceitaram o convite. Muito obrigada.

Ao meu amor Wallace que esteve comigo em todos os momentos da graduação. Sem exceção. Obrigada por primeiramente ser meu amigo, pela confiança que me passava quando achava que não daria mais. Você conhece a caminhada até aqui. Poderei passar outra graduação inteira ao seu lado, trabalhar com você que nunca me cansarei da sua presença, Deus ainda tem grandes planos para nossas vidas. Amo você.

Ao meu dindo Neir e a minha Dinda Regina, que mesmo eu não tendo nascida deles, sou querida como filha. Amo de uma maneira inexplicável. Obrigada pelo carinho, por se fazerem presente em tudo na minha vida.

A todos os meus amigos, em especial: Annelize, Jaênio, Gilciane, Priscila e Nicole que em Campos tornaram-se minha família. Obrigada pelos momentos que vivemos. Com vocês tudo ficou mais leve. A minha amiga de anos Soraya, minha “maleta” do coração, que sempre foi sábia em suas palavras. “Criatura”, você não imagina como me ajudou durante todos esses anos! Aos meus queridos de todos os momentos, Larissa, Laís, Loly, Diego e Lipe que me fizeram ter a certeza que nossa amizade é para a vida inteira, mesmo que fronteiras nos separem. À Thalita, Thainan, Bianca e Jaqueline pelas orações que sempre fizeram por mim. Vocês são mais que amigas, são irmãs!

A PROPPI e a FAPERJ pelo investimento durante os três anos de Iniciação Científica. Assim como a todos que sempre me ajudaram no desenvolvimento dessas. Aos outros orientandos do Humberto, aos funcionários do laboratório da UFRJ e UFF, a maioria só conheci por e-mail, mas sempre serei muito grata a vocês.

Ao corpo docente e funcionários da UFF Campos. Obrigada pela contribuição na minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

Ao Centro de Informações e Dados de Campos (CIDAC), pela oportunidade de estágio, pelos ensinamentos, pelas amizades construídas, em especial ao “setor” de Geoprocessamento. Obrigada a todos pelo carinho!

“Ora, a fé é a certeza daquilo que esperamos e a prova das coisas que não vemos.

Pela fé entendemos que o universo foi formado pela palavra de Deus, de modo que o que se vê não foi feito do que é visível”.

Hebreus 11:1;3 (Nova Versão Internacional).

RESUMO

Os lagos são importantes fontes de emissões globais de dióxido de carbono (CO_2) à atmosfera, as quais podem ser intensamente determinadas, em magnitude e variação, por fatores autóctones e alóctones na bacia de drenagem. O objetivo aqui foi avaliar a relação entre a pressão parcial de CO_2 ($p\text{CO}_2$) e as concentrações de nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT) nas águas superficiais de lagos situados em regiões tropicais e não tropicais. Os lagos tropicais apresentaram baixos valores de $p\text{CO}_2$ em classes com NT e PT. Os lagos não tropicais apresentaram diferenças significativas para $p\text{CO}_2$ entre a menor e a maior classe de PT, e diferenças não significativas para as concentrações de NT. Isso contrastou parcialmente a tendência geral relatados em muitos estudos anteriores de $p\text{CO}_2$ inferiores em águas enriquecidas com mais nutrientes. Em conclusão, nossos resultados sugerem que a eutrofização pode não estar diretamente relacionada a queda de $p\text{CO}_2$, especialmente em altas latitudes. A maior disponibilidade de luz solar associada as mais altas a temperaturas nas regiões tropicais, poderiam favorecer a produção primária e os subseqüente sequestro de dióxido de carbono nessas águas eutróficas.

Palavras-chave: Efeito Estufa, Carbono, Lagos.

ABSTRACT

Lakes are important global CO₂ sources to atmosphere, which are determined, in magnitude and range by autochthonous and allochthonous controls in the watershed. The aim here was to assess the relationship between the partial pressure of CO₂ ($p\text{CO}_2$) and concentrations of total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) in surface waters of tropical and non-tropical lakes. Only tropical lakes showed lower $p\text{CO}_2$ in classes with lower NT and PT. Non-tropical lakes showed significant differences for $p\text{CO}_2$ between low-and-high PT classes, and non-significant differences for the NT concentrations. This contrasted partially the general trend reported in many previous studies of lower $p\text{CO}_2$ in more nutrient-enriched waters. In conclusion, our results suggest that. The eutrophication may not be directly related to $p\text{CO}_2$ decreases, especially at high latitudes. Tropical regions may show increased availability of sunlight coupled to higher temperatures favoring primary production and the subsequent sequestration of carbon dioxide in eutrophic waters.

Keywords: Greenhouse gases, Carbon, Lakes

LISTA DE SIGLAS

C – Carbono

CFCs – Clorofluorcarbonos

CH₄ – Metano

CO₂ – Dióxido de Carbono

COD – Carbono Orgânico Dissolvido

N – Nitrogênio

NT – Nitrogênio Total

N₂O – Óxido Nitroso

O₃ – Ozônio

OD – Oxigênio Dissolvido

$p\text{CO}_2$ – Pressão Parcial de CO₂

P – Fósforo

PPM – Parte Por Milhão

PT – Fósforo Total

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 A questão da posição latitudinal dos lagos | 13 |
| 1.2 Eutrofização | 16 |
| 1.3 Mudanças no uso e ocupação do solo | 19 |
| 2. INTRODUÇÃO ESPECÍFICA | 20 |
| 3. OBJETIVO..... | 22 |
| 4. HIPÓTESE | 22 |
| 5. MATERIAL E MÉTODOS | 22 |
| 5.1 Delineamento e Área de Estudo | 22 |
| 5.2 Métodos Analíticos..... | 24 |
| 5.3 Tratamento Estatístico | 24 |
| 6. RESULTADOS | 25 |
| 7. DISCUSSÃO | 31 |
| 8. CONCLUSÕES | 33 |
| REFERÊNCIAS..... | 35 |

1. INTRODUÇÃO

Por toda sua história o clima terrestre sempre variou entre períodos mais quentes e frios (TEIXEIRA *et al.*, 2009). No entanto, desde a década de 1950 o aquecimento do sistema climático tem provocado algumas mudanças (IPCC, 2013). O aumento da liberação de gases que apresentam a propriedade de reter calor na atmosfera tem sido relacionado ao aquecimento do clima da Terra, processo denominado efeito estufa (ROYER *et al.*, 2007).

Dentre os gases estufa o dióxido de carbono (CO₂) é um dos mais importantes, ou seja, tem a propriedade de reter radiação infravermelha na atmosfera e contribuir para o aquecimento da biosfera. Além das fontes naturais, as emissões de CO₂ têm sido significativamente intensificadas pelo homem, constituindo um potencial direcionador do aquecimento global (VITOUSEK *et al.*, 1997; IPCC, 2007). Este aumento de temperatura intensifica inúmeros problemas no planeta, que vão desde a alteração do regime de chuvas e redução do potencial agrícola ao aumento do nível do mar e da mortalidade humana (IPCC, 2007).

A entrada do Carbono (C) na atmosfera ocorre principalmente como dióxido de carbono (CO₂) pela respiração dos organismos e por outros processos de oxidação da matéria orgânica, e nas últimas décadas pela queima dos combustíveis fósseis. Alguns processos retiram esse gás da atmosfera, entre eles, o intemperismo químico das rochas, a dissolução nas águas e a fotossíntese (TEIXEIRA *et al.*, 2009).

A presença do CO₂ por toda a atmosfera atua como uma estufa para a superfície do planeta. Dessa maneira é evitada a liberação da radiação infravermelha emitida pela Terra e permitida passagem da radiação solar. Resulta se então a ação do efeito estufa natural que mantém a Terra mais aquecida (BNDES, 1999) e possibilita a existência da vida na Terra que é baseada no carbono (VITOUSEK *et al.*, 1997).

As mudanças que estão ocorrendo desde as últimas décadas tem resultado em uma nova dinâmica dos ecossistemas da Terra entre essas, no aumento das emissões à atmosfera de gases que contribuem para o aquecimento global (KUMP, 2002; IPCC, 2007) por efeito estufa. Entre os principais gases estão o CO₂, os Clorofluorcarbonos (CFCs)¹, o metano (CH₄), o ozônio (O₃) e o óxido nitroso (N₂O) (VITTE *et al.*, 2011). O CO₂ tem se destacado, pois tem a propriedade de absorver calor, e assim aumentar a temperatura da Terra (MAROTTA, 2006).

Devido à atividade humana as concentrações do CO₂ na atmosfera aumentaram vertiginosamente (IPCC, 2013). Em 1750, a concentração de CO₂ atmosférico correspondia a aproximadamente 280 ppm (parte por milhão) (WATSON *et al.*, 1990). Em 2011 sua concentração estava em torno de 391 ppm, superando os níveis pré industriais (IPCC, 2013) (Fig. 1).

¹Os CFCs são utilizados em larga escala nos produtos manufaturados e como solventes na indústria eletrônica. Além de estarem presentes nos sistemas de refrigeração (VITTE *et al.*, p. 55, 2011).

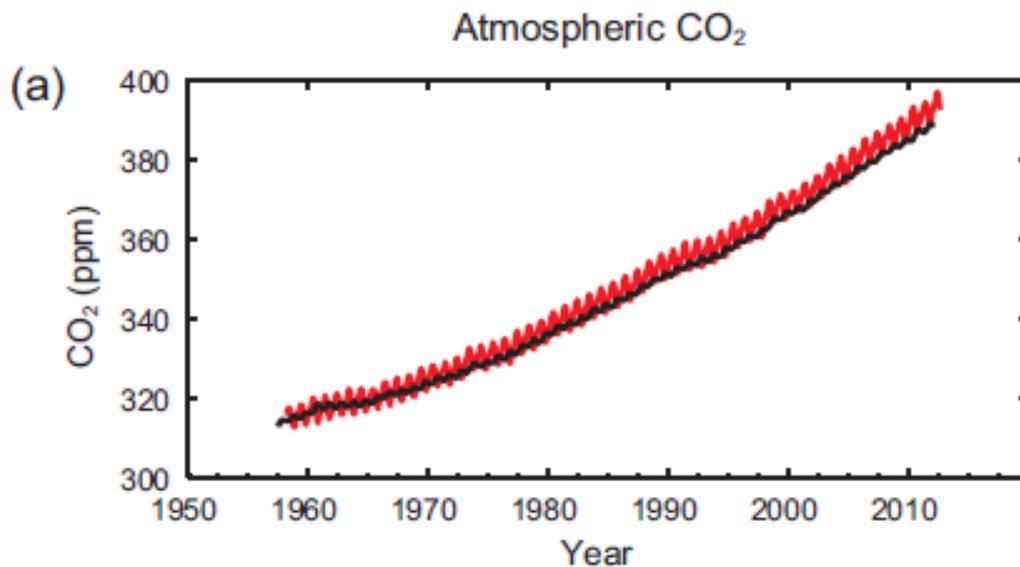


Figura 1: Observação de indicadores múltiplos na mudança no ciclo global do carbono: (a) as concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂) a partir de Mauna Loa (19 ° 32'N, 155 ° 34'W - vermelho) e Pólo Sul (89 ° 59'S, 24 ° 48'W - preto), desde 1958. (IPCC, 2013. p.12)

O CO₂ presente na atmosfera leva cerca de 50 000 (cinquenta mil) anos para responder às mudanças. Dessa maneira o CO₂ emitido na atmosfera atualmente irá influenciar nas concentrações atmosférica dos próximos séculos (WATSON *et al.*, 1990).

1.1 A questão da posição latitudinal dos lagos

Os ecossistemas apresentam um importante papel no ciclo do C global a partir do balanço entre a fixação de CO₂ pela produção primária e liberação desse gás pela respiração, seja no meio terrestre ou aquático (DUARTE *et al.*, 1998). Nesse sentido os lagos são numerosos e espalhados pelas mais diferentes latitudes da superfície terrestre (DOWNING *et al.*, 2006; TRINDADE, 1996).

O papel dos lagos no ciclo do C atmosférico pode ser alterado à medida que este tem um aumento de carga dos nutrientes (PACHECO *et al.*, 2013) que podem vir de distintas fontes a partir da alteração do uso do solo. As áreas geográficas que têm um desenvolvimento agrícola e urbano podem favorecer que os ecossistemas lacustres ao redor tornem se cada vez mais eutróficos (PACHECO *et al.*, 2013), visto que essas são as principais fontes de nitrogênio e fósforo para os ecossistemas aquáticos (CARPENTER *et al.*, 1998).

Apesar da reduzida área em comparação a outros ecossistemas florestais ou oceânicos, sua frequente localização nas porções de mais baixa cota os torna relevantes destinos ao aporte de C de vastas áreas na bacia de drenagem (LENNON, 2004; SOBEK *et al.*, 2005; DUARTE *et al.*, 2005). À medida que contribuem para a heterotrofia, os substratos terrestres contribuem para tornar os lagos importantes fontes globais de CO₂ à atmosfera (COLE *et al.*, 1994; COLE *et al.* 2007; MAROTTA *et al.*, 2009; TRANVIK *et al.*, 2009).

Os lagos tropicais apresentam uma grande importância em escala global (DOWNING *et al.*, 2006). Por sua posição geográfica, durante todo o ano estes recebem elevadas taxas de radiação solar e altas temperaturas (MAROTTA, 2006; MAROTTA *et al.*, 2009) o que intensifica o processo de decomposição de matéria orgânica na escala global. Uma vez que as elevadas temperaturas tendem a favorecer o metabolismo das bactérias (TRANVIK *et al.* 2009).

Já na região boreal, a intensa produção primária pode diminuir o CO₂ dos lagos, sendo que esta pode ser considerada fator determinante para os níveis da pressão parcial de CO₂ ($p\text{CO}_2$) (BALMER *et al.*, 2011). De maneira geral, não se

encontra relação para a $p\text{CO}_2$ de águas lacustres com a latitude ou a temperatura da água (MAROTTA *et al.*, 2009).

As principais origens do CO_2 nos sistemas aquáticos entre outros são atmosfera, chuva, decomposição e respiração de organismos (ESTEVES, 1998). Sob a forma de material orgânico dissolvido, o carbono terrestre pode contribuir para as bactérias que influenciarão os ecossistemas lacustres como fontes ou sumidouros de CO_2 atmosférico (LENNON, 2004). Nesse sentido, os lagos tropicais podem apresentar maior persistência de supersaturação de CO_2 ao longo das estações do ano (MAROTTA *et al.*, 2009). Na maioria das vezes, os lagos e rios apresentam supersaturação em CO_2 , sendo exportadores de C inorgânico e não consumidores. Quando a pressão parcial de CO_2 ($p\text{CO}_2$) na água é maior do que na atmosfera, o lago é uma fonte de CO_2 para esta (COLE *et al.*, 2000).

Em escala global há uma associação significativa entre o carbono orgânico dissolvido (COD) e $p\text{CO}_2$ presente nos lagos (SOBEK *et al.*, 2005) que varia entre esses (MAROTTA *et al.*, 2009) e ao longo do tempo (MAROTTA *et al.*, 2010b). A $p\text{CO}_2$ dos lagos é regulamentada pelo balanço entre a absorção e liberação de CO_2 (COLE *et al.*, 2000). A formação do COD tem origem da decomposição de plantas, animais e a partir de produtos da excreção destes (ESTEVES, 1998). Sua concentração tem relação direta com o estado trófico do lago, assim com o tipo de influência que sua bacia sofre (OHLE, 1972 *apud* ESTEVES, 1998, p.56). A dinâmica dos sistemas lacustres é influenciada pela presença do COD, pois este serve de fonte de energia para algas e bactérias e interfere na fotossíntese dos organismos aquáticos (ESTEVES, 1998).

1.2 Eutrofização

O processo de enriquecimento de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio (CARPENTER *et al.*, 1998; ESTEVES, 1998) que pode ser de fontes pontuais ou difusas (CARPENTER *et al.*, 1998) e o aumento da produção primária (BERGSTROM *et al.*, 2005) chama-se de eutrofização (Fig. 2).



Figura 2: Eutrofização Cultural. (BIOLUGAR, 2012).

Dessa maneira, o aporte dos nutrientes nas águas naturais (SCHINDLER, 2006) têm se convertido em alguns dos mais sérios problemas intensificados pelas atividades humanas no planeta (VITOUSEK *et al.*, 1997). Na escala da bacia de drenagem a eutrofização artificial nos ecossistemas aquáticos é uma dinâmica comum causada pelo enriquecimento de nutrientes, especialmente Nitrogênio (N) e Fósforo (P) (SCHINDLER, 2006). Contudo sabe-se que esse acréscimo de

nutrientes antropogênicos (por ex: descargas de esgotos não tratados nas zonas urbanas e da lixiviação de fertilizantes de áreas agrícolas ou de pecuária) pode alcançar as águas lacustres diretamente ou via escoamento e infiltração do meio terrestre (VITOUSEK *et al.*, 1997; SCHINDLER, 2006). Porém o controle de fontes pontuais pode mitigar a relação desta em ecossistemas lacustres (SCHINDLER, 2006).

Os insumos químicos, na maioria das vezes ligados a atividade agrícola são classificados como fontes difusas, assim a entrada desses é mais difícil de ser controladas. Já as fontes pontuais, por exemplo, águas residuais de efluentes são mais fáceis de serem medidas e controladas por meio do tratamento da fonte (CARPENTER *et al.*, 1998).

Dessa maneira o ecossistema aquático passa da condição de oligotrófico e mesotrófico para eutrófico (ESTEVES, 1998), que poderia ter o significado de mal nutrido ou pobre em nutrientes, semi nutrido e bem rico ou rico em nutrientes (ROCHA *et al.*, 1986) (Tab. 1). A caracterização do estado trófico é quantificada através de variáveis como a clorofila “a” e as concentrações de nutrientes (PNMA, 2011).

Tabela 1: Caracterização do estado trófico em ecossistemas aquáticos.

| Parâmetros | Oligotróficas – I | Mesotróficas – II | Eutróficas – III |
|---------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| N – Total (µg N/L) | < 160 (Valor médio anual) | 160 – 800 (Valor médio anual) | > 800 (Valor médio anual) |
| P – Total (µg P/L) | < 50 (Valor médio anual) | 50 – 125 (Valor médio anual) | > 125 (Valor médio anual) |

Fonte: SILVA (2000) *apud* PNMA, 2011. Adaptado pela autora.

O nitrogênio atua no metabolismo dos ecossistemas aquáticos, desta maneira quando sua concentração é baixa a produção primária é limitada (ESTEVES, 1998).

Nos lagos esse elemento pode ter origem tanto de fonte artificial quanto natural, podendo ser da chuva, material orgânico (ESTEVEES, 1998; LOSS *et al.*, 2010) e outras formas.

O fósforo é considerado o principal elemento de fator limitante da maioria dos sistemas aquáticos. Assim como o nitrogênio sua origem pode ser natural ou artificial (ESTEVEES, 1998). As rochas da bacia de drenagem representam a fonte básica para os ecossistemas aquáticos, já as fontes artificiais são o esgoto doméstico e industrial (ESTEVEES, 1998; MARINS, *et al.*, 2007).

A eutrofização pode ser natural, um processo lento e contínuo em que os nutrientes são levados pelas chuvas; porém quando é artificial, denominada antrópica, é um processo rápido a qual ocorrem modificações nas condições físicas e químicas do meio aquático (ESTEVEES, 1998). Esse processo pode ocasionar relações negativas nos ecossistemas aquáticos como o aumento do crescimento de algas e plantas que compromete o uso da água para distintos fins: beber, irrigação, uso nas indústrias, recreação ou pesca (CARPENTER *et al.*, 1998). Outra consequência da eutrofização esta relacionada à diminuição do nível do oxigênio dissolvido (OD), que causa a morte de algas que se depositam ao fundo e assim viram matéria orgânica que servem para a respiração microbiana (DIAZ *et al.*, 2008).

Nos ecossistemas lacustres, esse aumento de nutrientes pode favorecer o metabolismo tanto autotrófico que apreende CO₂ quanto heterotrófico que libera este gás, embora no balanço haja uma tendência geral da autotrofia líquida ser favorecida em águas mais eutróficas (DUARTE *et al.*, 1998; SCHINDLER *et al.*, 1997; PEIXOTO *et al.*, 2013). O diverso uso do solo, seja urbano, agrícola e/ou

natural, pode comprometer a bacia de drenagem como um todo. O que pode vir a influenciar a $p\text{CO}_2$ dos ecossistemas lacustres (URABE *et al.*, 2011).

1.3 Mudanças no uso e ocupação do solo

As mudanças no uso do solo causaram o envio de grandes quantidades de nitrogênio lançado a partir da vegetação e do solo (VITOUSEK *et al.*, 1997), que chegam até os sistemas lacustres via lixiviação. Esses valores são mais altos em torno das bacias hidrográficas que têm uma elevada densidade populacional, (HOWARTH *et al.*, 1996). Com o crescimento da população, também cresceu a demanda por alimentos, o que intensificou a agricultura e uso de fertilizantes (PACHECO *et al.*, 2013).

Dessa maneira as mudanças que ocorrem na utilização e cobertura do solo ocasionam alterações nos aportes alóctones que regulam os processos metabólicos de apreensão e liberação de CO_2 dos lagos à atmosfera (URABE *et al.*, 2011; STAEHR *et al.*, 2011). A urbanização e a agropecuária podem contribuir para a eutrofização (SCHINDLER *et al.*, 2006).

Os aportes de nutrientes que advêm das áreas entorno dos ecossistemas lacustres podem favorecer tanto os processos de síntese como de degradação da matéria orgânica (BIDDANDA *et al.*, 2001, DUARTE *et al.*, 1998). Assim naqueles lagos situados na faixa tropical, a eutrofização pode reduzir ou aumentar os efeitos sobre a $p\text{CO}_2$ (MAROTTA *et al.*, 2010a; MAROTTA *et al.*, 2012).

2. INTRODUÇÃO ESPECÍFICA

O balanço entre a emissão e a apreensão de gases de C pelos ecossistemas marinhos (DUARTE *et al.*, 1998), dulcícolas (RAYMOND *et al.*, 2013) ou terrestres (BONAN, 2008) apresenta potenciais implicações ao clima da Terra, consequência da propriedade desses compostos de reter calor na atmosfera e contribuir para o aquecimento global (HOUGHTON *et al.*, 2001, ROYER *et al.*, 2007; IPCC, 2013). Dentre esses gases se destaca o CO₂, pois sua apreensão pela fotossíntese e liberação pela respiração constituem os principais caminhos metabólicos pelos quais a matéria orgânica é, respectivamente, produzida e decomposta no planeta (COLE *et al.*, 2000).

Apesar de serem pequenos em área, os lagos são bem distribuídos na superfície terrestre (DOWNING *et al.*, 2006) e frequentemente situados em baixa cota (COLE *et al.*, 1994; LENNON, 2004), um destino preferencial aos aportes naturais e antropogênicos de materiais advindos desde vastas áreas na bacia de drenagem (SCHINDLER, 2006). Consistentes estudos têm evidenciado o papel dos lagos como importantes fontes globais de liberação de gases de C à atmosfera, a qual é subsidiada pelo aporte de substratos orgânicos terrestres à heterotrofia aquática (COLE *et al.*, 1994; COLE *et al.*, 1997; DUARTE *et al.*, 2005; MAROTTA *et al.*, 2009; TRANVIK *et al.*, 2009; AUFDENKAMPE *et al.*, 2011, RAYMOND *et al.*, 2013). Além disso, os ecossistemas lacustres também representam relevantes estoques de C, uma vez que parte não mineralizada da matéria orgânica advinda desses aportes alóctones e da produção primária autóctone acumula nos seus

sedimentos de fundo e pode, até mesmo, exceder o sequestro de C orgânico depositado nos oceanos (TRANVIK *et al.*, 2009).

No gradiente latitudinal, os lagos tropicais quentes podem apresentar mais elevadas e variáveis emissões de CO₂ à atmosfera em relação aqueles frios das mais altas latitudes (MAROTTA *et al.*, 2009). Todas as vias metabólicas envolvidos na ciclagem do C podem ser virtualmente influenciadas pela condição de temperatura (BROWN *et al.*, 2004; LOPEZ-URRUTIA *et al.*, 2006; WOHLERS *et al.*, 2009). Além disso, outro fator limitante aos processos biológicos é a disponibilidade de nutrientes, especialmente nitrogênio (N) e fósforo (P), a qual tem sido comumente incrementada nos ecossistemas aquáticos pelas atividades humanas na bacia de drenagem (VITOUSEK *et al.*, 1997; SCHINDLER, 2006). O enriquecimento de nutrientes (eutrofização) apresenta fortes implicações no balanço de C nos lagos, uma vez que pode favorecer tanto a apreensão de CO₂ pela produtividade primária (SCHINDLER, 1978), quanto a liberação desse gás pela decomposição orgânica (AZAM, 1998). Mesmo que ambas as produções fitoplanctônica e heterotrófica aumentem na condição de maior disponibilidade de nutrientes, a eutrofização tende a favorecer mais a autotrofia líquida nas águas lacustres (DUARTE *et al.*, 1998; BIDDANDA *et al.*, 2001; PEIXOTO *et al.*, 2013). No entanto, estudos em lagos com elevada disponibilidade de substratos orgânicos terrestres também têm revelado a persistência de alta supersaturação e subsequente emissão de CO₂ das águas à atmosfera (LENNON, 2004; COLE *et al.*, 2000; MAROTTA *et al.*, 2010a; MAROTTA *et al.*, 2012). Nesse sentido, as concentrações de N e P nas águas lacustres muito associada ao uso/cobertura do solo na bacia de drenagem podem apresentar

grandes implicações ainda pouco compreendidas sobre o balanço de C em lagos no gradiente latitudinal.

3. OBJETIVO

O principal objetivo foi avaliar a relação entre a pressão parcial de CO₂ ($p\text{CO}_2$) e as concentrações de nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT) nas águas superficiais entre lagos não tropicais e tropicais.

4. HIPÓTESE

A hipótese testada foi de uma relação negativa entre concentrações de NT e PT e a $p\text{CO}_2$ nas águas superficiais dos lagos não tropicais e tropicais.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Delineamento e Área de Estudo

A compilação de dados na literatura para $p\text{CO}_2$ e concentrações de N e P totais coletados simultaneamente nas águas lacustres superficiais foi realizada em dissertações/teses (disponíveis no banco de teses CAPES ou sítios oficiais de universidades) e artigos publicados em bases internacionais (*Scielo*, *Scopus* e *Web of Science*). Essa busca foi realizada entre abril/2011 e agosto/2013 com as

seguintes palavras chaves: *tropical lake*², *temperate lake*³, *alkalinity*⁴, CO₂, pH, *total nitrogen*⁵, *total phosphorus*⁶, lagos, água, nitrogênio total e fósforo total.

O conjunto de dados resultante abrangeu lagos (Fig.3) situados em diferentes continentes entre América do Norte (n=46), América do Sul (n=220), África (n=6), Ásia (n=2), Europa (n=189) e Oceania (n=2). Foi incluído lagos no gradiente de latitude entre 70° Norte e 35° Sul, sendo 290 tropicais (<24°) e 175 não tropicais (>24°), os quais apresentaram diferentes áreas (de 0,13 a 72,51 km²), profundidades médias (de 0,43 a 325 m) e classes predominantes de uso/cobertura do solo (matas nativas, urbano ou atividades agropecuárias).

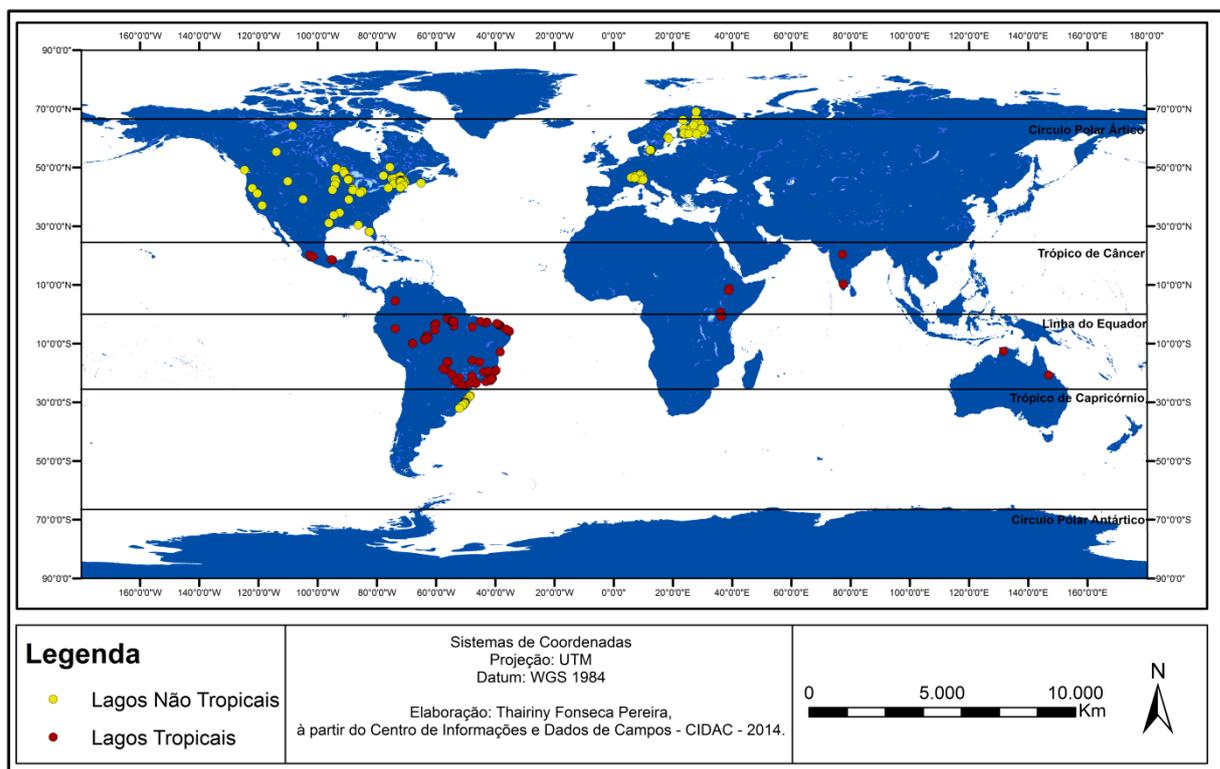


Figura 3: Mapa de localização da área de estudo.

² Lago tropical

³ Lago Temperado

⁴ Alcalinidade

⁵ Nitrogênio Total

⁶ Fósforo Total

5.2 Métodos Analíticos

A $p\text{CO}_2$ foi compilada diretamente da literatura ou calculada a partir da lei de Henry, considerando a razão entre as concentrações de CO_2 e a constante de Henry para este gás em cada condição de temperatura e salinidade (WEISS, 1974). As concentrações de CO_2 , por sua vez, foram estimadas pelo método do pH-alcalinidade (STUMM *et al.*, 1996) com as correções apropriadas para temperatura, altitude e força iônica (COLE *et al.*, 1994).

5.3 Tratamento Estatístico

Os dados de cada variável estudada foram avaliados quanto à parametricidade após transformação com diferença não significativa (teste de Bartlett, $p > 0,05$) para ver se houve ou não significância e distribuição normal significativa (teste de Kolmogorov-Smirnov, $p < 0,05$). A comparação dessas variáveis entre lagos nos gradientes latitudinais ou dos valores de $p\text{CO}_2$ entre diferentes classes de concentrações de nutrientes foi determinada por teste t ou de Mann-Whitney, caso os dados sejam paramétricos ou não paramétricos respectivamente (significativo $p < 0,05$). A realização desses testes permitiu comparar duas categorias: lagos tropicais e não tropicais. Os testes estatísticos foram realizados utilizando o *software* GraphPad Prism 5.0. Para a realização dos testes foram escolhidas seis classes que melhor representassem os índices de $p\text{CO}_2$. Contudo testou-se os mesmos valores em outras classes para confirmar que os resultados não seriam alterados de acordo com a divisão das classes.

6. RESULTADOS

Os lagos não tropicais apresentaram valores de $p\text{CO}_2$ significativamente mais elevados nas águas com mais baixas concentrações de PT ($p < 0,05$, teste de Mann-Whitney; Fig. 4). A diferença de $p\text{CO}_2$ entre as classes de menor e maior PT variou, em mediana, entre 60%, de 1078 a 672 μatm comparando respectivamente as classes acima e abaixo da mediana de PT (0,61 $\mu\text{mol/L}$), e 92%, de 905 a 1741 comparando as classes $<$ e >3 $\mu\text{mol/L}$ de PT (Fig. 4). Na comparação entre classes de NT, por sua vez, somente diferenças não significativas de $p\text{CO}_2$ foram observadas ($p > 0,05$ teste de Mann-Whitney; Fig. 5). Todas as classes NT apresentaram $p\text{CO}_2$ em torno de 1000 μatm (Fig. 5).

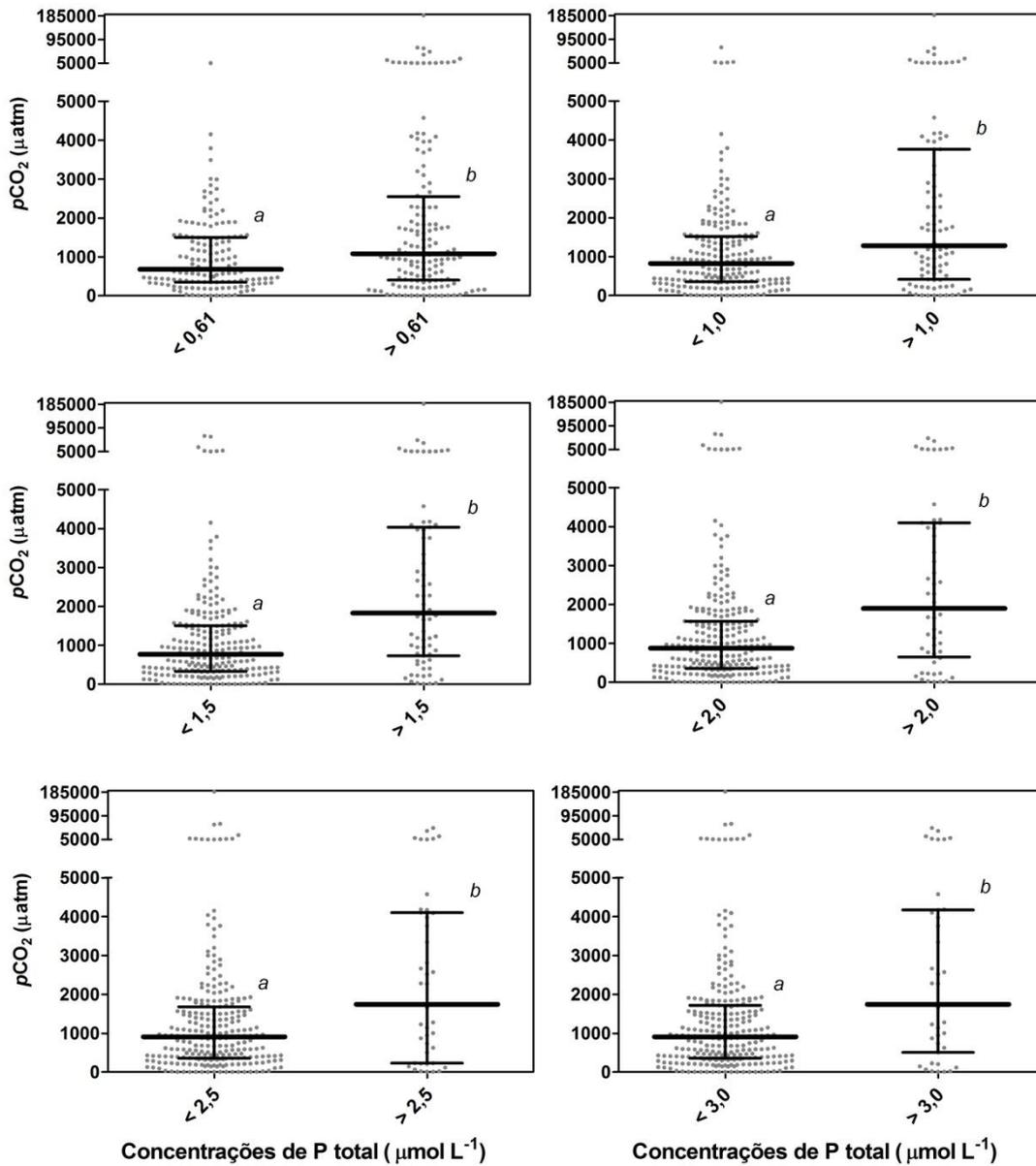


Figura 4: Lagos Não Tropicais. Valores de $p\text{CO}_2$ entre lagos com mais baixas e elevadas concentrações de Fósforo (P) total nas águas superficiais. Barras horizontais ao centro indicam a mediana, enquanto barras horizontais nas extremidades inferior e superior os intervalos de interquartil de 25 e 75% respectivamente. Letras iguais em cada painel representam diferenças estatísticas não significativas ($p > 0,05$, Teste de Mann Whitney).

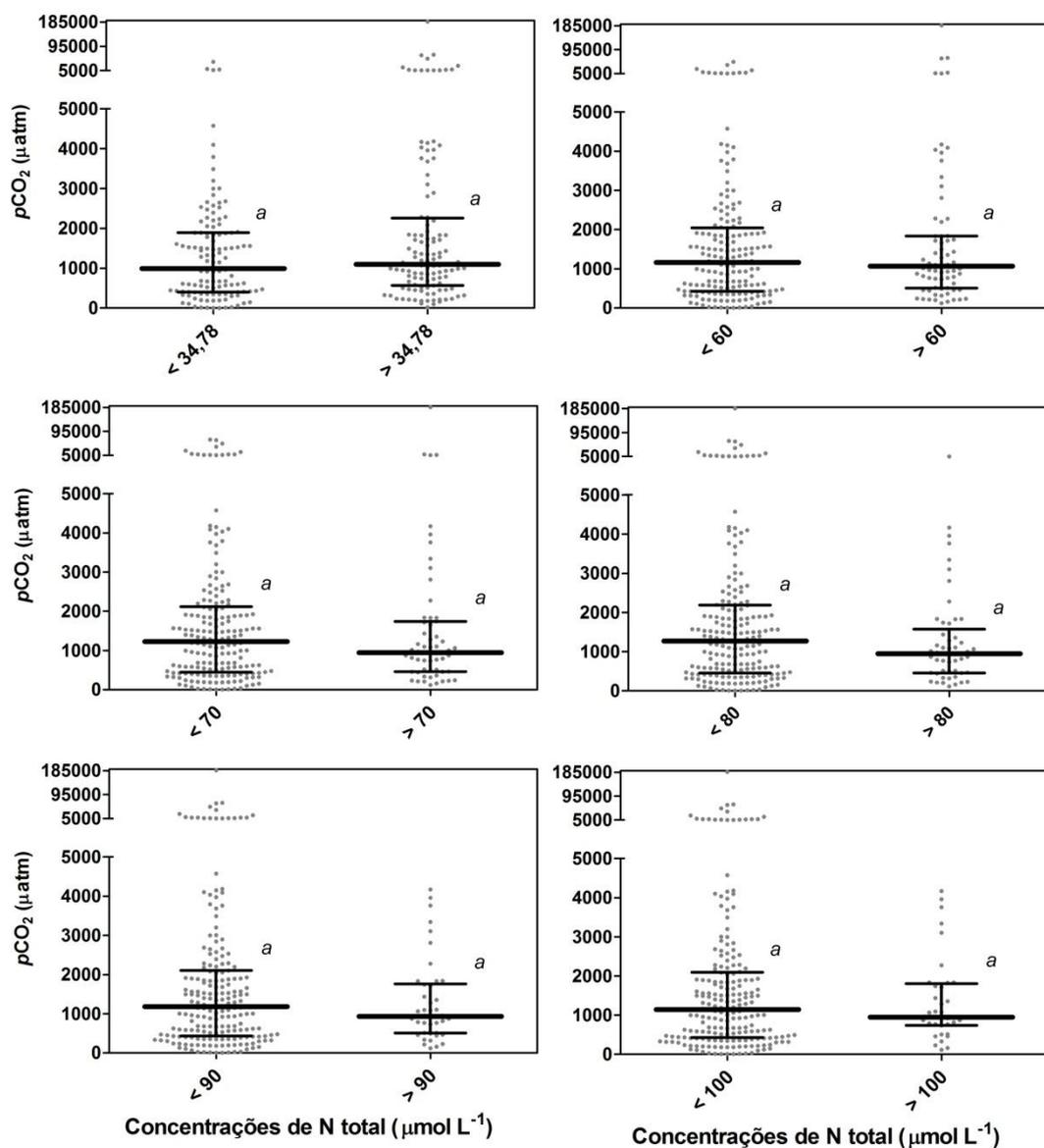


Figura 5: Lagos Não Tropicais. Valores de $p\text{CO}_2$ entre lagos com mais baixas e elevadas concentrações de Nitrogênio (N) total nas águas superficiais. Barras e letras representam como descrito na Figura 4.

Em relação às águas lacustres tropicais, diferenças não significativas foram detectadas para $p\text{CO}_2$ entre as diferentes classes de PT, mostrando valores em torno de 2200 μatm ($p > 0,05$ teste de Mann-Whitney; Fig. 6). A comparação das medianas de $p\text{CO}_2$ nessas águas entre as diferentes classes de concentrações de

NT revelou, por sua vez, tanto diferenças significativas quanto não significativas (Mann-Whitney, significativo $p < 0,05$, Fig. 7). Valores de $p\text{CO}_2$ significativamente mais baixos foram observados, em mediana cerca de 80%, nas águas mais enriquecidas de nitrogênio nas comparações $< e > 80$, $< e > 90$, bem como $< e > 100$ $\mu\text{mol/L}$ de NT (Fig. 7). Diferenças de $p\text{CO}_2$ não significativas foram observadas na comparação entre as classes $< e >$ que a mediana 46,7, $< e > 60$, bem como $< e > 70$ $\mu\text{mol/L}$ de NT (Fig. 7).

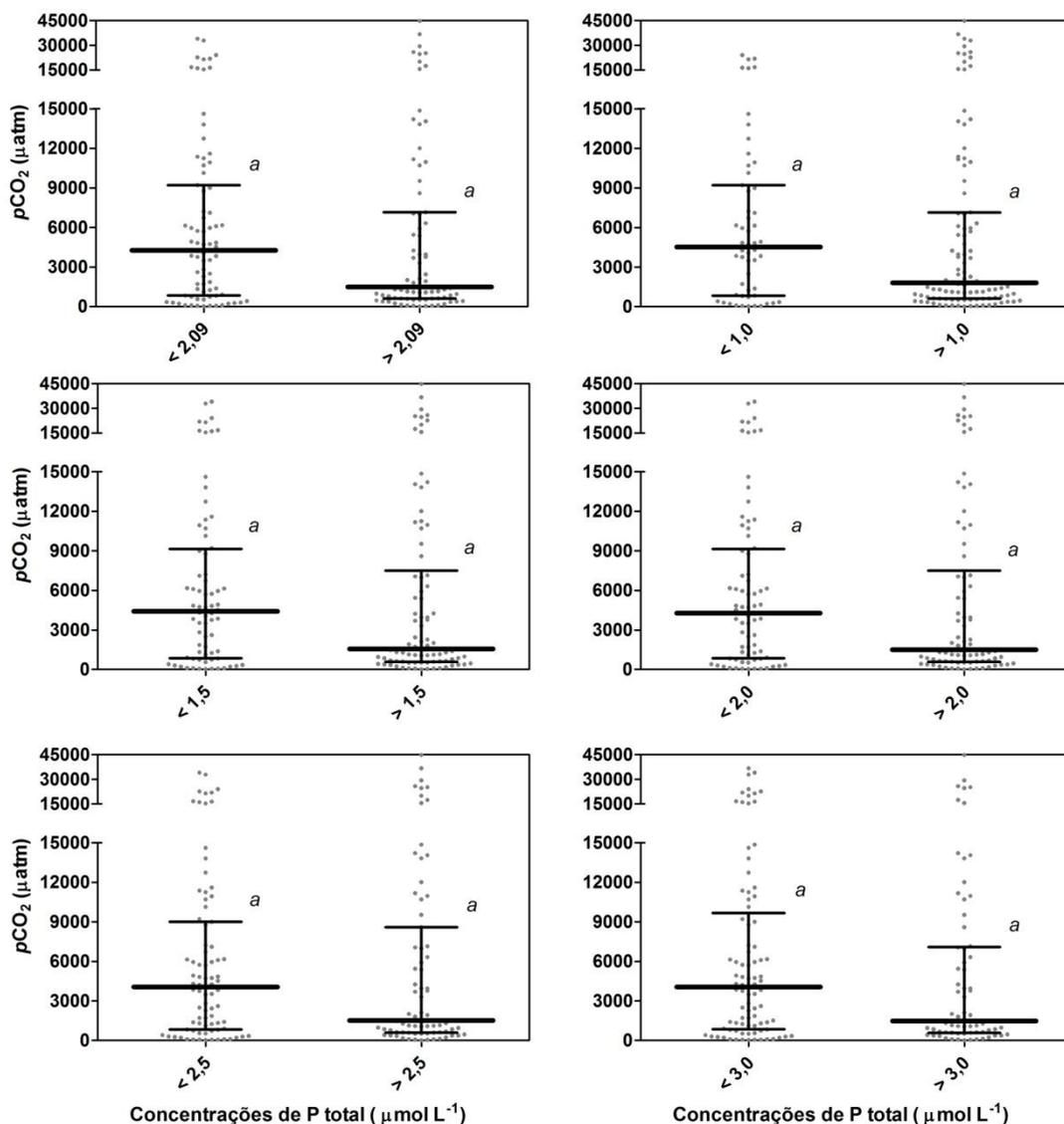


Figura 6: Lagos Tropicais. Valores de $p\text{CO}_2$ entre lagos com mais baixas e elevadas concentrações de Fósforo (P) total nas águas superficiais. Barras e letras representam como descrito na Figura 4.

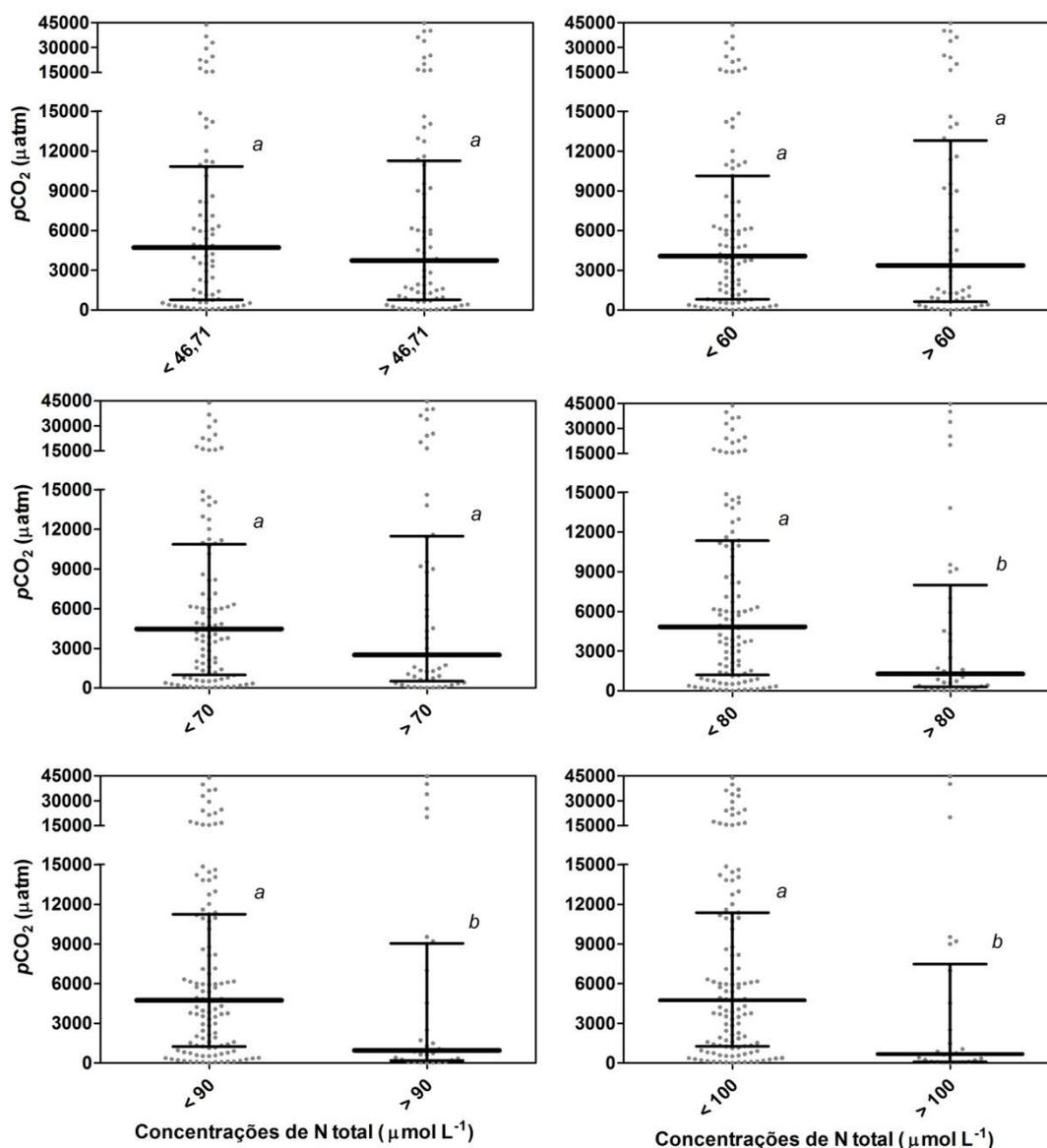


Figura 7: Lagos Tropicais. Valores de $p\text{CO}_2$ entre lagos com mais baixas e elevadas concentrações t de Nitrogênio (N) total nas águas superficiais. Barras e letras representam como descrito na Figura 4.

Na comparação entre as águas lacustres de altas e baixas latitudes, as tropicais apresentaram concentrações de PT significativamente mais elevadas, em mediana cerca de 71 %, do que as não tropicais (Mann-Whitney, $p < 0,05$), enquanto diferenças não significativas foram observadas para as concentrações de NT (Mann-Whitney, $p > 0,05$, Fig. 8). Lagos tropicais também apresentaram uma maior

frequência relativa de uso urbano e menor de uso relacionado a agropecuária no entorno (Tab. 2).

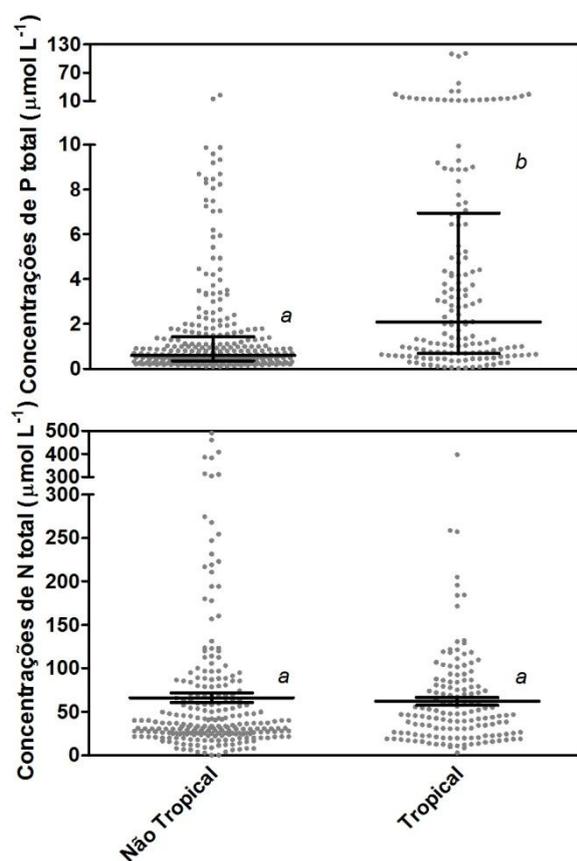


Figura 8: Concentrações de NT e PT nas águas superficiais de lagos não tropicais e tropicais. Barras e letras representam como descrito na Figura 4.

Tabela 2: Classificação da área entorno dos lagos tropicais e não tropicais.

| Classes | Lagos Não Tropicais | | Lagos Tropicais | |
|-----------------------|---------------------|------------|-----------------|------------|
| | Número | % | Número | % |
| Urbana | 16 | 8,46 | 14 | 16,28 |
| Agropecuária | 70 | 37,04 | 14 | 16,28 |
| Floresta/Campo | 103 | 54,5 | 58 | 67,44 |
| Classificados | 189 | 65,17* | 86 | 49,14* |
| Total de Lagos | 290 | 100 | 175 | 100 |

*do total de lagos

7. DISCUSSÃO

No geral, a variação de $p\text{CO}_2$ entre águas superficiais mais e menos eutróficas foi contrastante comparando lagos tropicais e não tropicais, evidenciando potenciais diferenças latitudinais da relação entre nutrientes e esse gás estufa nos ecossistemas lacustres. Relações significativas de $p\text{CO}_2$ foram observadas somente entre classes de maiores e menores concentrações de PT para os não tropicais (Fig. 4) e de NT para os tropicais (Fig. 7), o que pode indicar diferentes disponibilidades de nutrientes aos processos metabólicos envolvidos no ciclo do C (DOWNING, 1997; ELSER *et al.*, 2009). A maior frequência relativa de uso urbano no entorno pode ter contribuído para as mais elevadas concentrações de PT observadas nos lagos tropicais em comparação aos não tropicais, isto porque os efluentes domésticos tipicamente advindos da urbanização apresentam menor razão N:P do que as águas advindas de áreas agrícolas (DOWNING *et al.*, 1992).

Nesse sentido, lagos não tropicais apresentaram concentrações mais baixas de PT do que os tropicais e uma relação significativa desse nutriente com a $p\text{CO}_2$, confirmando resultados prévios de que tal nutriente poderia ser mais limitante nos lagos predominantemente de águas doces (SCHINDLER *et al.*, 2008). Já as águas lacustres tropicais, por sua vez, apresentaram diferenças significativas de $p\text{CO}_2$ somente na comparação entre as mais elevadas concentrações de NT e suas respectivas classes menos enriquecidas.

Além dessas diferentes relações significativas de $p\text{CO}_2$ com relação às concentrações de NT e PT, potencialmente atribuídas a diferenças no uso/cobertura do solo, as águas lacustres tropicais e não tropicais também apresentaram

contrastantes variações de $p\text{CO}_2$ entre condições mais ou menos enriquecidas desses nutrientes. Nosso conjunto de dados nas latitudes tropicais confirmam evidências prévias de que a eutrofização poderia favorecer a autotrofia líquida e a subsequente redução da emissão de CO_2 das águas lacustres à atmosfera (DUARTE *et al.*, 1998; BIDDANDA *et al.*, 2002; PEIXOTO *et al.*, 2013; LENNON *et al.*, 2004). O enriquecimento de nutrientes poderia estimular tanto os seres autotróficos quanto heterotróficos, embora fatores como a disponibilidade de luz e o maior tamanho das algas em relação às bactérias decompositoras, pudesse favorecer no balanço o incremento mais acentuado da produção primária (BIDDANDA *et al.*, 2002). Por outro lado, a mesma análise entre lagos mais oligotróficos e eutróficos revelou um efeito positivo da eutrofização sobre a $p\text{CO}_2$ nas águas lacustres.

Estudos prévios têm descrito largamente a elevada disponibilidade de substratos orgânicos alóctone à heterotrofia aquática nos lagos (COLE *et al.*, 1994, COLE *et al.*, 2007, Duarte *et al.*, 2005, TRANVIK *et al.*, 2009), a qual poderia favorecer a intensificação da heterotrofia líquida nas condições mais eutróficas (COLE *et al.*, 2000, MAROTTA *et al.*, 2010a, MAROTTA *et al.*, 2012). Esse resultado contrastante baseado no aumento e na redução da $p\text{CO}_2$ nos lagos mais enriquecidos de nutrientes, respectivamente não tropicais e tropicais, sugere o potencial papel do gradiente latitudinal. Tanto a típica disponibilidade de radiação solar anual mais elevada quanto as maiores concentrações de P (FEE *et al.*, 1979, SCHINDLER *et al.*, 2008, CONLEY *et al.*, 2009) aqui observadas poderiam favorecer a apreensão de CO_2 pela produção primária aquática nos lagos tropicais mais eutróficos.

Estimativas do fluxo de CO₂ na interface água-ar, derivadas de um modelo baseado no vento mais ajustado para lagos (COLE *et al.*, 1998) e assumindo uma pCO₂ em equilíbrio com a atmosfera de 395 µatm (NOAA, 2014) e velocidade média do vento 10 m acima do solo de 3,28 m s⁻¹ (ARCHER *et al.*, 2005), confirmaram o papel amplamente descrito dos lagos como emissores de C à atmosfera (RAYMOND *et al.*, 2013). As emissões de CO₂ foram, em mediana, 60% mais elevadas nos lagos mais eutróficos não tropicais (> 0.6 µmol L⁻¹ de PT) e 80% mais baixas naqueles tropicais (> 80 µmol L⁻¹ de NT). Essas emissões por área poderiam variar de 1,08 a 5,74 mmol m⁻² h⁻¹ comparando as águas lacustres não tropicais com concentrações < e > 0.6 µmol L⁻¹ de PT, bem como de 1,19 a 0,49 mmol m⁻² h⁻¹ nas tropicais com < e > 80 µmol L⁻¹ de NT.

8. CONCLUSÕES

A resposta da pCO₂ dos lagos ao enriquecimento de nutrientes pode ser diferenciada no gradiente latitudinal. Os resultados nas águas eutróficas sugerem que a maior disponibilidade a luz solar associada as mais altas temperaturas anuais poderiam favorecer mais a produção primária e o subsequente sequestro de CO₂ nos lagos tropicais do que naqueles não tropicais. E ainda que o uso e cobertura do solo entorno da área do lago poderá implicar nas concentrações de nutrientes e pCO₂ lacustre. Nesse sentido, os efeitos da eutrofização sobre as emissões de CO₂ nas águas lacustres podem apresentar uma significativa heterogeneidade ao longo do gradiente latitudinal.

Apesar dessa relevância e grande influência antrópica na bacia de drenagem, ainda são necessários mais estudos que abordem de forma integradora a complexa relação entre os nutrientes e o CO₂ das águas lacustres.

REFERÊNCIAS

ARCHER, C. L., JACOBSON, M. Z. **Evaluation of global wind power.** Journal of Geophysical Research, vol. 110, 2005.

AUFDENKAMPE, A. K.; et al. **Riverine coupling of biogeochemical cycles between land, oceans, and atmosphere.** Frontiers in Ecology and the Environment, p. 53-60, 2011.

AZAM, F. **Microbial control of oceanic carbon flux: The plot thickens.** Science 280, p.694- 696, 1998.

BALMER, M. B. DOWNING, J. A. **Carbon dioxide concentrations in eutrophic lakes: undersaturation implies atmospheric uptake.** Inland Waters. p. 124-132. 2011.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES), Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). **Efeito Estufa e a Convenção sobre Mudança do Clima.** Brasília: Coordenação de Pesquisa em Mudança do Clima, 1999.

BERGSTROM, A., JANSSON, M. **Atmospheric nitrogen deposition has caused nitrogen enrichment and eutrophication of lakes in the northern hemisphere.** Global Change Biology, vol. 12, p. 635-643, 2006.

BIDDANDA, B. A., COTNER, J. B. **Dominance of bacterial metabolism in oligotrophic relative to eutrophic waters.** Limnol. Oceanogr. American Society of Limnology and Oceanography, Inc. 2001.

BIDDANDA, B. A.; CORTNER, J. **Love Handles in Aquatic Ecosystems: The Role of Dissolved Organic Carbon Drawdown, Resuspended Sediments, and Terrigenous Inputs in the Carbon Balance of Lake Michigan.** *Ecosystems* p. 431–445, 2002.

BIOLUGAR. 2012. **Eutrofização Cultural.** Disponível em < <http://7fbiolugar.blogspot.com.br/2012/06/fontes-de-poluicao-aquatica.html> > Acesso em 13 jan 2015.

BONAN, G. B. **Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests.** *Science*, vol 320, 2008.

BROWN, J. H., et al. **Toward a metabolic theory of ecology.** *Ecology*, vol. 85, p. 1771-1789, 2004.

CARPENTER, S. R., et al., **Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen.** *Ecol. Appl.*8: p. 559-568. 1998.

COLE, et al., **Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture.** *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 49, p. 221-228. 1997.

COLE, J. J. et al. **Plumbing the global carbon cycle: Integrating inland waters into the terrestrial carbon budget.** *Ecosystems* 10:171-184. 2007.

COLE, J. J., CARACO, N. F. **Atmospheric exchange of carbon dioxide in a low-**

wind oligotrophic lake measured by the addition of SF₆. Limnology and Oceanography vol. 43, p. 647- 656, 1998.

COLE, J. J., et al. **Carbon Dioxide Supersaturation in the Surface Waters of Lakes.** Science 265:1568-1570. 1994.

COLE, J.J., et al. **Persistence of net heterotrophy in lakes during nutrient addition and food web manipulations** .Limnology and Oceanography 45, 1718-1730, 2000.

CONLEY, D. J. et al. **Controlling Eutrophication: Nitrogen and Phosphorus.** Science, vol. 323, p. 1014 – 1015, 2009.

DIAZ, R. J., ROSENBERG, R. **Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems.** Science, p.926-929, 2008.

DOWNING, J. A. **Marine nitrogen: Phosphorus stoichiometry and the global N:P cycle.** Biogeochemistry, p. 237 – 252, 1997.

DOWNING, J. A., MCCAULEY, E. **The nitrogen: phosphorus relationship in lakes.** Limnol. Oceanogr., p. 936 – 945, 1992.

DOWNING, J.A.; et al. **The global abundance e size distribution of lakes, ponds, e impoundments.** Limnology e Oceanography, p. 2388-2397, 2006.

DUARTE, C. M.; AGUSTI, S. The CO₂ balance of unproductive aquatic ecosystems. Science 281, p. 234-236, 1998.

DUARTE, C.; M., PRAIRE, Y. T. Prevalence of heterotrophy and atmospheric CO₂ emissions from aquatic ecosystems. Ecosystems, p. 862-870, 2005.

DUARTE, C.M., et al., Return to Neverland: Shifting Baselines Affect Eutrophication Restoration Targets. Estuaries and Coasts 32, p. 29-36, 2009.

ELSER, J. J., et al. Shifts in Lake N:P Stoichiometry and Nutrient Limitation Driven by Atmospheric Nitrogen Deposition. Science, vol. 326 , p. 835-837, 2009.

ESTEVEZ, F. A. Fundamentos de Limnologia. 2^{ed}. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FEE, E. J. Relation between Lake Morphometry and Primary Productivity and Its Use in Interpreting Whole-Lake Eutrophication Experiments. Limnology and Oceanography , vol. 24, p. 401-416, 1979.

HOUGHTON, J. T. et. al. Climate Change 2001: The Scientific Basis is the most comprehensive and up-to-date scientific assessment of past, present and future climate change. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 2001.

HOWARTH, R. W., et. al. Regional nitrogen budgets and riverine N & P fluxes for the drainages to North Atlantic Ocean: Natural and human influences, 1996.

IPCC. **Climate change 2007: The physical science basis.** Paris, p. 18, 2007.

IPCC. **Summary for Policymakers.** In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis, 2013.

KUMP, L. R. **Reducing uncertainty about carbon dioxide as a climate driver.** Nature 419:p.188-190, 2002.

LENNON, J. T., **Experimental evidence that terrestrial carbon subsidies increase CO₂ flux from lake ecosystems.** Oecologia 138, p 584-591. 2004.

LÓPEZ-URRUTIA, A. et al. **Scaling the metabolic balance of the oceans.** PNAS. Vol. 103, nº 23, p 8739 – 8744. 2006.

LOSS, A. ROSSI, C. Q. FRANCELINO, M. R. **A origem da salinidade no continente antártico.** Revista de Ciências Agrárias, vol.33, p.106-117, 2010.

MARINS, R. V., FILHO, F. J. P., ROCHA, C. A. S. **Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do rio Jaguaribe - costa nordeste oriental brasileira.** Química Nova, vol. 30, p. 1208-1214, 2007.

MAROTTA, H. DUARTE, C. M. PINHO, L. ENRICH-PRAST, A. **Rainfall leads to increased pCO₂ in Brazilian coastal lakes.** Biogeosciences, 7, 1607–1614, 2010b.

MAROTTA, H. et al. **Long-term variability of CO₂ in two shallow tropical lakes experiencing episodic eutrophication and acidification events.** Ecosystems, 2010a.

MAROTTA, H. et al. **Synergistic control of CO₂ emissions by fish and nutrients in a humic tropical lake**. Oecologia, 2012.

MAROTTA, H. **Os fatores reguladores do metabolismo aquático e sua influência sobre o fluxo de dióxido de carbono entre os lagos e a atmosfera**. Oecol. Bras., p. 177 – 185, 2006.

MAROTTA, H.et. al. **Large CO₂ disequilibria in tropical lakes**. Global Biogeochemical Cycles, 2009.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (**NOOA**). Disponível em < <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html#global> > Acesso em 08 dez 2014.

NOGUEIRA, L. A. **Relação entre a pCO₂ das águas lacustres superficiais e o uso e cobertura do solo na costa do estado do Rio de Janeiro** (Graduação) - Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2014.

PACHECO, F. S., ROLAND, F., DOWINING, J. A., **Eutrophication reverses whole-lake carbon budgets**. International Society of Limnology, p. 41 – 48, 2013.

PEIXOTO, R. B.; MAROTTA, H.; ENRICH-PRAST, A. **Experimental evidence of nitrogen control on pCO₂ in phosphorus-enriched humic and clear coastal lagoon waters**.Frontiers in Microbiology Aquatic Microbiology. 2013.

PROGRAMA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (PNMA) II - índices e indicadores. **Índice e Indicadores de qualidade da água – Revisão da Literatura**. Pernambuco, vol. I, 2011.

RAYMOND, P. A. et al. **Global carbon dioxide emissions from inland waters.** Nature 503, p 355 – 359, 2013.

ROCHA, A. A., BRANCO, A. M. **A eutrofização e suas implicações na ciclagem de nutrientes.** Acta Liminol. Brasil. Vol I. p. 201 – 242, 1986.

ROYER, D. L.; BERNER, R. A.; PARK, J..**Climate sensitivity constrained by CO₂ concentrations over the past 420 million years.** Nature 446, 2007.

SCHINDLER, D. W. et al. **Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment.** Proc. Natl. Acad. Sci., vol. 105. P. 11254 – 11258, 2008.

SCHINDLER, D. W. **Factors Regulating Phytoplankton Production and Standing Crop in Worlds Freshwaters.**Limnology and Oceanography vol. 23, p. 478-486, 1978.

SCHINDLER, D.W., **Recent advances in the understanding and management of eutrophication.** Limnology and Oceanography vol. 51, p. 356-363, 2006.

SOBEK, S, TRANVIK, L. J., COLE, J. J. **Temperature independence of Carbon dioxide supersaturation in global lakes.** Global Biogeochemical Cycles, vol. 19, 2005.

STAEHR, P. A. et al. **Lake metabolism scales with lake morphometry and catchment conditions.** Aquatic Sciences, 2011.

STUMM, W., MORGAN, J.J., **Aquatic chemistry: chemical equilibria e rates in natural waters**. In: Wiley-Interscience, New York. 1996.

TEIXEIRA, W. et al. (Org.) **Decifrando a Terra**. 2ªed. São Paulo. 624 p. 2009.

TRANVIK, L.J., et al. **Lakes e reservoirs as regulators of carbon cycling e climate**. *Limnology e Oceanography* vol. 54, p. 2298-2314, 2009.

TRINDADE, M. **Lagos: Origem, classificação e distribuição geográfica**. São Carlos: UFSCAR. p. 274; 4ª Ed. 1996.

URABE, J., et al. **Within-lake and watershed determinants of carbon dioxide in surface water: A comparative analysis of a variety of lakes in the Japanese Islands**. *Limnol.Oceanogr.*, 56, by the American Society of Limnology and Oceanography, Inc, 2011.

VITOUSEK, P.M., et al. **Human domination of Earth's ecosystems**. *Science*, vol. 277, p. 494-499, 1997.

VITTE, A. C., GUERRA, A. J. T., (Org.). **Reflexões sobre a Geografia física no Brasil**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

WATSON, R. T., et al. **Greenhouse gases and aerosols**. In HOUGHTON, J. T., JENKINS, G. J. e EPHRAUMS, J. J. (Eds). *Climate Change. The IPCC scientific assessment*. Cambridge University Press, p. 1-40, 1990.

WEISS, R.F., **Carbon dioxide in water and seawater: the solubility of a non-ideal gas**. *Marine Chemistry* 2, p. 203-215, 1974.

WOHLERS, J. et al. **Changes in biogenic carbon flow in response to sea surface warming.** PNAS.Vol. 106, n° 17, p. 7067 – 7072, 2009.