



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA**

**Os reservatórios eutrofizados da região tropical semiárida
atuam como emissores ou como sequestradores de
dióxido de carbono?**

JURANDIR RODRIGUES DE MENDONÇA JÚNIOR

**NATAL - RN
2014**

JURANDIR RODRIGUES DE MENDONÇA JÚNIOR

**Os reservatórios eutrofizados da região tropical semiárida
atuam como emissores ou como sequestradores de
dióxido de carbono?**

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-graduação em Engenharia
Sanitária, da Universidade Federal do
Rio Grande do Norte, como requisito
parcial a obtenção do título de Mestre em
Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dra. Vanessa Becker
UFRN

Co-Orientador: Prof. Dr. André Megali Amado
UFRN

NATAL - RN
2014

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede.

Catálogo da Publicação na Fonte.

Mendonça Junior, Jurandir Rodrigues de.

Os reservatórios eutrofizados da região tropical semiárida atuam como emissores ou como sequestradores de dióxido de carbono? / Jurandir Rodrigues de Mendonça Junior. – Natal, RN, 2014.

33 f.; il.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Vanessa Becker.

Co-orientador: Prof. Dr. André Megali Amado

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária.

1. Sumidouro de carbono – Dissertação. 2. Emissão de carbono - Dissertação. 3. Pressão parcial de dióxido de carbono - Dissertação. 4. Manancial de abastecimento – Dissertação. I. Becker, Vanessa. II. Amado, André Megali III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 628

JURANDIR RODRIGUES DE MENDONÇA JÚNIOR

**Os reservatórios eutrofizados da região tropical semiárida
atuam como emissores ou como sequestradores de
dióxido de carbono?**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial a obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

BANCA EXAMNADORA

Prof. Dra. Luciana Vidal

Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF

Prof. Dr. Hugo Sarmento

Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR

Prof. Dr. Ronaldo Angelini

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Prof. Dra. Vanessa Becker – Orientadora

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Prof. Dr. André Megalli Amado – Co-Orientador

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

NATAL, 31 de março de 2014

A minha mãe Yonês que sempre me ensinou a batalhar pelos meus sonhos e a nunca desistir deles e que sempre me trouxe palavras de sabedoria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sua fidelidade, pela sua presença que me traz paz e confiança e pelas bênçãos diárias. A Ele toda glória e louvor.

A Capes pela bolsa de mestrado

A FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento da pesquisa através do projeto MEVEMUC (Monitoramento da Evaporação e Mudanças Climáticas no Rio Grande do Norte).

A minha orientadora, Prof. Dra. Vanessa Becker pela orientação, amizade, reciprocidade, pelo exemplo de profissional, pela confiança, pela força e motivação, pelos momentos de descontração, por ser uma pessoa maravilhosa, pelos ensinamentos que levarei para o resto da vida.

Ao meu co-orientador André Megalli pela reciprocidade, pela co-orientação, por ser um cara profissional e muito amigo.

Ao professor Arthur Mattos pela idealização do projeto MEVEMUC, através do qual pude desenvolver o meu trabalho de pesquisa.

Ao LARHISA/UFRN – Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte, pelo espaço concedido e essencial para realização desta pesquisa.

A SEMARH pelas planilhas de dados dos reservatórios estudados.

A EMPARN pelos dados meteorológicos da região do semiárido.

Aos professores Hélio Rodrigues, Adelena Maia, Ronaldo Angelini que foram fundamentais na minha formação no curso de mestrado em Engenharia Sanitária. Agradeço pela reciprocidade, pela amizade e por serem pessoas cativantes.

A professora convidada Odete Rocha pela amizade, dedicação, pelo exemplo de ser humano, e pela motivação e força.

Aos meus colegas da turma de mestrado, pela amizade de Leonardo Rosa, Andrievisk, Cristiane Souza, Ângela, Francimar, Kaline, Vera e a todas as amigas que fiz durante o curso.

A minha namorada, companheira e amiga Conceição. Me dá força e me faz rir sempre. Amurlindo!!! <3

Aos meus colegas de trabalho do projeto MEVEMUC e aos amigos da Ecologia Aquática Neuciano, Conceição, Larissa, Eduardo, Maricota, Kátia, Érika, Thársia,

Ângela, Herisson, Gustavo, Aline, Radmila, Rudah, Laíssa, Luciana, ao coleguinha (Seu Assis).

A minha família, em especial minha mãe que sempre esteve ao meu lado me dando força e trazendo palavras de conforto e sabedoria.

Ao meu amigo Igor Felipe que sempre me acompanhou nas minhas lutas e sempre me deu apoio.

A todos aqueles que contribuíram para a minha força e que me deram suporte para que eu conseguisse alcançar este objetivo, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
APRESENTAÇÃO	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	3
2.1 Área de Estudo	3
2.2 Amostragem	6
2.3 Análise das Amostras	7
2.4 Análise dos Dados	7
3. RESULTADOS	8
4. DISCUSSÃO	14
5. CONCLUSÃO	18
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS	18

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Porção da sub-bacia do rio Seridó da região semiárida do estado Rio Grande do Norte e os reservatórios estudados.....	4
Figura 2:	Variação temporal do volume acumulado (%) ao longo do período de estudo (2010-2013) dos reservatórios estudados (Boqueirão, Cruzeta, Dourado, Gargalheiras e Passagem das Traíras).....	8
Figura 3:	Variação concentrações de fósforo total (PT) (a) e clorofila-a (Chl-a) (b) dos reservatórios do semiárido durante o período de 2010-2013: Boqueirão (BOQ), Cruzeta (CRU), Passagem das Traíras (TRA), Dourado (DOU) e Gargalheiras (GAR) do semiárido do Rio Grande do Norte.....	10
Figura 4:	Dados da variabilidade do $p\text{CO}_2$ nos reservatórios do semiárido durante o período de 2010-2013: Boqueirão (BOQ), Cruzeta (CRU), Passagem das Traíras (TRA), Dourado (DOU) e Gargalheiras (GAR).....	12
Figura 5:	Regressão log linear entre a pressão parcial do dióxido de carbono ($p\text{CO}_2$) e clorofila-a (Chl-a) dos reservatórios estudados na região semiárida tropical durante o período de 2010-2013.....	13
Figura 6:	Relação log linear entre pressão parcial de dióxido de carbono ($p\text{CO}_2$) e clorofila-a (Chl-a) dos reservatórios estudados da região semiárida tropical, durante o período de 2010-2013.....	14

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Características morfométricas e hidrológicas dos cinco reservatórios estudados durante o período 2010 – 2013.....	5
Tabela 2:	Valores médios e intervalos das variáveis limnológicas do epilímnio de cada reservatório do semiárido estudado durante o período de 2010-2013.	11

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, sob a orientação da prof. Dra. Vanessa Becker e co-orientação do prof. Dr. André Megalli Amado.

A pesquisa foi parte integrante do projeto “Monitoramento da Evaporação e Mudanças Climáticas no Rio Grande do Norte”, financiado pela FINEP/CNPq (processo nº 52009).

O papel dos reservatórios eutrofizados como emissores ou sequestrados de carbono no semárido tropical é o tema do presente trabalho. A dissertação possui o formato de um artigo científico, contendo resumo, *abstract*, introdução, material e métodos, resultados, discussão, conclusões e referências bibliográficas.

Os reservatórios eutrofizados da região tropical semiárida atuam como emissores ou como sequestradores de dióxido de carbono?

RESUMO

Os ecossistemas aquáticos podem atuar como emissores ou sequestradores de carbono em função da predominância do metabolismo heterotrófico ou autotrófico. A produção primária pode afetar fortemente o balanço de carbono (CO_2) através do consumo de dióxido de carbono na fotossíntese, especialmente em ambiente eutróficos, atuando como sumidouros. O presente estudo testou a hipótese de que reservatórios eutrofizados da região tropical semiárida são sequestradores de CO_2 em função da alta produtividade evidenciada nesses sistemas. Cinco reservatórios da região semiárida do nordeste do Brasil foram monitorados mensalmente durante o período de 2010 à 2013, com um evento de seca prolongada identificado durante o estudo. Os resultados mostraram um crescente nível de eutrofização ao longo do período de seca prolongada com predominância de autotrofia. Foram observadas correlações negativas significativas entre a pressão parcial de CO_2 ($p\text{CO}_2$) ($p < 0,001$) e clorofila-a nos reservatórios Boqueirão, Passagem das Traíras, Dourado e Gargalheiras, evidenciando um padrão de sequestro de CO_2 desses sistemas. Porém, este padrão não foi encontrado no reservatório Cruzeta. Em síntese, na região semiárida tropical, as variáveis hidrológicas e morfométricas podem direcionar diferentes comportamentos dos reservatórios de abastecimento no metabolismo do carbono. Os reservatórios eutrofizados avaliados apresentaram uma relação negativa entre $p\text{CO}_2$ e Chl-a o que sugere que estes corpos hídricos evidenciam um metabolismo autotrófico e se comportam como sequestradores de CO_2 .

Palavras-chave: sumidouro de carbono, emissão de carbono, pressão parcial de dióxido de carbono ($p\text{CO}_2$), manancial de abastecimento.

Eutrophic semiarid reservoirs: carbon dioxide-sink or carbon dioxide-source systems?

ABSTRACT

The aquatic ecosystems can play a role as carbon-dioxide-source or carbon-dioxide-sink systems due to the high predominance of heterotrophic or autotrophic metabolism. The primary production can strongly affect the carbon balance (CO_2) through the consumption of carbon dioxide in the photosynthesis, especially in eutrophic environment, acting as a carbon sink. The present study tested the hypothesis that the eutrophic reservoirs in tropical semi-arid region are carbon dioxide-sink systems due to the high primary productivity presented in these systems. Five Brazilian reservoirs from the semi-arid in the northeast region were monitored monthly during four years (2010 to 2013) with a prolonged drought event identified during the study. The results showed an increasing level of eutrophication over the period of prolonged drought, with the predominance of autotrophy. Significant negative correlations were observed between the partial pressure of CO_2 ($p\text{CO}_2$) ($p < 0,001$) and chlorophyll-a in the Boqueirão, Passagem das Traíras, Dourado and Gargalheiras reservoirs, showing a pattern of the carbon dioxide-sink systems. However, this pattern was not found in Cruzeta reservoir. In summary, in the tropical semi-arid region, hydrological and morphometric variables can lead to different behaviors of the water-supply reservoirs on the carbon metabolism. The eutrophic reservoirs evaluated showed a negative relationship between $p\text{CO}_2$ and Chl-a, which suggests that these water bodies show an autotrophic metabolism and behave as carbon dioxide- sink systems.

Key-words: carbon sink, carbon emission, carbon dioxide partial pressure ($p\text{CO}_2$), water supply system.

1. INTRODUÇÃO

Sistemas aquáticos continentais têm importância global para a ciclagem de carbono, porém, por perfazerem uma pequena fração da superfície dos continentes, estes ambientes frequentemente foram ignorados no passado para o balanço global deste elemento (COLE *et al.*, 1994; DOWNING *et al.*, 2006). Tais sistemas foram reconhecidos como chave nos ciclos biogeoquímicos atuando como via de transporte, processamento, estocagem e mineralização de carbono, sobretudo de origem terrestre (COLE *et al.*, 2007). A contribuição destes ecossistemas para o fluxo de carbono global é substancial comparado com os ecossistemas terrestres e marinhos (BATTIN *et al.*, 2009). Devido à mineralização da matéria orgânica originada da vegetação e do solo, por exemplo, estima-se que os ecossistemas aquáticos continentais são considerados fontes de dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄) para a atmosfera emitindo cerca de 2 Pg C/ano para a atmosfera, ao mesmo tempo que depositam cerca de 0,6 Pg C/ano no sedimento (RAYMOND *et al.*, 2013).

Além disso, nestes ecossistemas a produção primária pode afetar fortemente o balanço de carbono através do consumo de CO₂ na fotossíntese, especialmente em ambientes eutróficos, atuando como sumidouros (BALMER & DOWNING, 2011; ALIN & JOHNSON, 2007). Com base no equilíbrio entre a respiração e a produção primária, esses ambientes têm sido caracterizados como heterotróficos, ao liberarem CO₂, ou autotróficos quando há o sequestro a partir da fixação de carbono pela fotossíntese (DODDS & COLE, 2007). Lagos tropicais podem manter grandes desequilíbrios de CO₂ para a atmosfera exercendo um papel desproporcional e variável no fluxo de carbono, sendo assim, considerados como emissores (MAROTTA *et al.*, 2009).

Dentro da parcela dos sistemas aquáticos continentais, os reservatórios artificiais têm função chave no ciclo de carbono (LOUIS *et al.*, 2000; FRIEDL & WÜEST, 2002; HUMBORG *et al.*, 2002; BARROS *et al.*, 2011; MENDONÇA *et al.*, 2014). São ambientes que causam significantes mudanças na paisagem terrestre (FELS & KELLER, 1973) e que tem por objetivo o abastecimento público, a produção energética, recreação, navegação e irrigação (ICOLD, 1998; OKI & KANAE, 2006).

A construção de um reservatório pode trazer mudanças significativas nas características físico-químicas do sistema aquático em especial mudanças nos fluxos de CO₂ e CH₄. Aproximadamente 70% e 90% dos fluxos globais de CO₂ e CH₄ em reservatórios, ocorrem respectivamente em reservatórios tropicais (LOUIS *et al.*, 2000). Nestes sistemas parte do carbono alóctone advindo do ecossistema terrestre, através dos fluxos hidrológicos, é depositado em reservatórios podendo ser mineralizado e transformado em CO₂ (LOUIS *et al.*, 2000). Grande parte do carbono mineralizado em águas continentais é transformada em dióxido de carbono, especialmente em reservatórios que podem liberar metano (BATTIN, *et al.*, 2009), devido ao metabolismo anóxico (FRIEDL & WÜEST, 2002). A produtividade primária nos reservatórios pode reduzir as concentrações de CO₂ através do processo fotossintético, contudo parte do carbono fixado pode ser decomposto e retornar para a atmosfera (LOUIS *et al.*, 2000).

Nas regiões semiáridas os reservatórios de abastecimento vêm sofrendo dramaticamente com o aumento do processo de eutrofização. Estas regiões são definidas como zonas de transição entre regiões áridas e úmidas, com precipitação menor que a evapotranspiração e altas temperaturas durante os meses quentes (BARBOSA *et al.*, 2012). O semiárido nordestino é uma região caracterizada por condições climáticas e hidrológicas peculiares, apresentando longos períodos de estiagem, poucas e curtas chuvas, velocidade do vento relativamente baixa a moderada, elevada evaporação e conseqüentemente, tempo de retenção hidráulica longo (CHELLAPPA *et al.*, 2009; BARBOSA *et al.*, 2012). Além disso, nos períodos de secas prolongadas, típicos na região, há significantes perdas de água por evaporação, tornando a qualidade e a disponibilidade hídrica um fator crítico para o desenvolvimento econômico da região (FREIRE *et al.*, 2011). A eutrofização evidenciada nestes sistemas artificiais poderá intensificar a sedimentação da matéria orgânica e a produção primária nestes ambientes (TRANVIK *et al.*, 2009). Alguns estudos também mostram que em sistemas aquáticos eutrofizados o sequestro de carbono é ainda mais pronunciado devido à alta produtividade do fitoplâncton (FINLAY *et al.*, 2009; LAZZARINO *et al.*, 2009). Devido ao problema do processo de eutrofização em vários reservatórios de abastecimento ser evidenciado na região semiárida tropical, é importante entender o papel desses corpos hídricos para o ciclo do carbono, uma vez que são reservatórios caracterizados por apresentarem elevados valores de biomassa fitoplanctônica em função da eutrofização.

A hipótese deste estudo é de que os reservatórios eutrofizados do semiárido tropical atuam como sequestradores de dióxido de carbono. O objetivo foi avaliar a pressão parcial do dióxido de carbono ($p\text{CO}_2$) e determinar padrões dos reservatórios eutrofizados durante um período de quatro anos com evento de seca prolongada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo utilizou cinco reservatórios da bacia hidrográfica do Rio Seridó, sub-bacia do Rio Piranhas-Açu, localizada na região semiárida tropical do nordeste brasileiro (Figura 1).

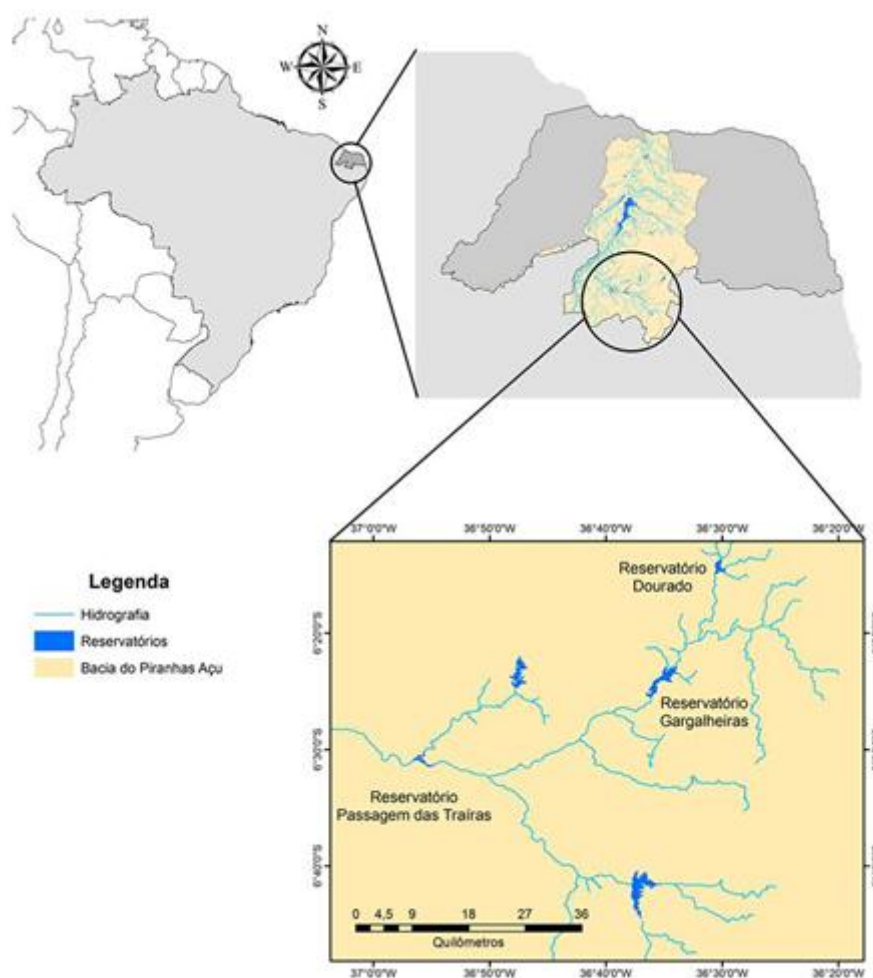


Figura 1: Porção da sub-bacia do rio Seridó da região semiárida do estado Rio Grande do Norte e os reservatórios estudados.

Os reservatórios estudados foram: Dourado no município de Currais Novos, Gargalheiras no município de Acari, Cruzeta no município de Cruzeta, Ministro João Alves Boqueirão de Parelhas no município de Parelhas e o reservatório Passagem das Traíras no município de São José do Seridó. As características morfométricas e hidrológicas estão descritas na tabela 1.

Tabela 1: Características morfométricas e hidrológicas dos cinco reservatórios estudados durante o período 2010 – 2013.

Variáveis de estudo	Boqueirão	Cruzeta	Passagem das Traíras	Dourado	Gargalheiras
BH (Km ²)	1.519,00	1.400,00	7.600,00	501,84	2.400,00
VT (10 ⁶ m ³)	85,01	35,00	48,86	10,321	40,00
AT (10 ⁶ m ²)	13,27	12,54	10,05	3,16	7,80
V (10 ⁶ m ³)*	35,44	7,31	8,16	4,352	31,347
A (10 ⁶ m ²)*	8,96	7,83	3,04	1,652	6,486
Q (10 ⁶ m ³ ano ⁻¹)*	0,13	0,09	0,17	0,03	0,122
Ano de construção	1988	1929	1994	1982	1959

BH= Área da bacia hidrográfica, VT= capacidade máxima de acumulação de água, AT = área da bacia hidráulica dos seis reservatórios estudados. V* = Volume médio de água durante o período de estudo (2010-2013); A* = área média da bacia hidráulica durante o período de estudo (2010-2013); Q* = vazão média anual liberada durante o período de estudo (2010-2013) ; ρ* = descarga média anual durante o período de estudo (2010-2013). **Fonte:** SEMARH.

O clima regional é semiárido tropical do tipo BSw'h' na classificação de Köppen (KOTTEK *et al.*, 2006) com temperaturas em média superiores a 25° C, evapotranspiração potencial (1500–2000 mm.ano⁻¹) mais elevada que a evapotranspiração real e acentuada variação temporal-espacial do regime pluviométrico (300–1000 mm.ano⁻¹). O período de chuvas concentra-se durante um curto período de 3 a 5 meses no ano, configura-se assim numa região com balanço hídrico negativo (SAMPAIO, 1995). As precipitações máximas ocorrem nos meses de março e abril (IDEMA, 2012). Os solos são predominantemente litólicos sendo rasos pedregosos e erodidos e com uma fração do tipo bruno-cálcico (IDEMA, 2012).

O cenário meteorológico para a região durante o período de estudo (2010-2013) evidenciou um período de seca prolongada com chuvas abaixo da média (Anexo 1).

2.2 Amostragem

As amostragens foram realizadas mensalmente no período de outubro de 2010 a novembro de 2013, em 3 a 4 pontos em cada reservatório: Dourado (maio/2011 a novembro/2013), Gargalheiras (dezembro/2010 a novembro/2013), Cruzeta (outubro/2010 a novembro/2013), Boqueirão (setembro/2011 a novembro/2013) e Passagem das Traíras (setembro/2011 a novembro/2013). Os horários de coleta em cada reservatório ao longo do período de estudo foram diurnos e obedeceram em média à seguinte ordem: Dourado e Boqueirão (9h-11h), Gargalheiras (12h-13h30), Passagem das Traíras (13h30-15h) e Cruzeta (16h-17h30).

Foram realizadas medidas *in situ* das variáveis temperatura, pH e oxigênio dissolvido através da sonda multiparamétrica HIDROLAB DS5. A transparência da água foi determinada por meio da profundidade do disco de Secchi e a profundidade do ponto de coleta foi medida por meio de um profundímetro SM-5.

Amostras de água foram coletadas nos pontos amostrais na camada do epilânio com o auxílio da garrafa de Van Dorn e armazenadas em garrafas de polietileno, previamente lavadas com HCl 10% e água deionizada e mantidas em caixas térmicas com gelo durante o transporte até o laboratório.

2.3 Análise das amostras

Foram realizadas análises de turbidez através do método colorimétrico através do turbidímetro TB-1000. A alcalinidade foi analisada através de método titulométrico (GOLTERMAN *et al.*, 1974) e posteriormente calculada através do programa Alcagram (CAMOURZE, 1995). As concentrações de fósforo total foram determinadas pelo método colorimétrico por espectrofotômetro (VALDERRAMA, 1981). Análise de clorofila-a as amostras foram previamente filtradas em membranas de fibra de vidro e as concentrações determinadas por espectrofotometria após extração com etanol 95% (JESPERSEN & CHRISTOFFERSEN, 1988). Os valores de alcalinidade, pH e temperatura foram utilizados para calcular os valores de pressão parcial do dióxido de carbono ($p\text{CO}_2$) de acordo com STUMM & MORGAN, 1996; WEISS (1974).

2.4 Análise de dados

Os dados morfométricos e hidrológicos foram obtidos através do monitoramento mensal dos reservatórios, fornecido pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SEMARH) e os dados de precipitações mensais e da média histórica foram fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do estado do Rio Grande do Norte (EMPARN).

O nível trófico dos reservatórios foi avaliado por meio das concentrações de fósforo total (PT) e de clorofila-a (Chl-a) tomando-se como referência os valores de $60,0 \mu\text{g L}^{-1}$ e de $15,0 \mu\text{g L}^{-1}$ para fósforo e clorofila a respectivamente, como propostos por THORTON & RAST (1993) para reservatórios de regiões tropicais semiáridas.

Foram realizadas análises de estatística descritiva para as variáveis limnológicas total e clorofila a para entender o comportamento e a variabilidade dessas variáveis ao longo do tempo de estudo. Análises de regressão linear foram realizadas para o estudo das relações entre o $p\text{CO}_2$ e clorofila-a para cada reservatório. Além disso, foi investigada a relação entre todos os dados de clorofila-a e $p\text{CO}_2$ de todos reservatórios estudados conjuntamente. Os dados foram analisados utilizando o programa e *SigmaPlot* 11.

3. RESULTADOS

Durante o período amostrado todos os reservatórios estudados sofreram uma flutuação do volume de água armazenado, registrando 100% da sua capacidade (Figura 2) no período de chuvas acima da média (abril a julho de 2011; Figura anexo). Após este período foi evidenciado um evento de seca prolongado, quando os reservatórios atingiram níveis críticos de acumulação registrando volumes abaixo de 30% da sua capacidade (Figura 2).

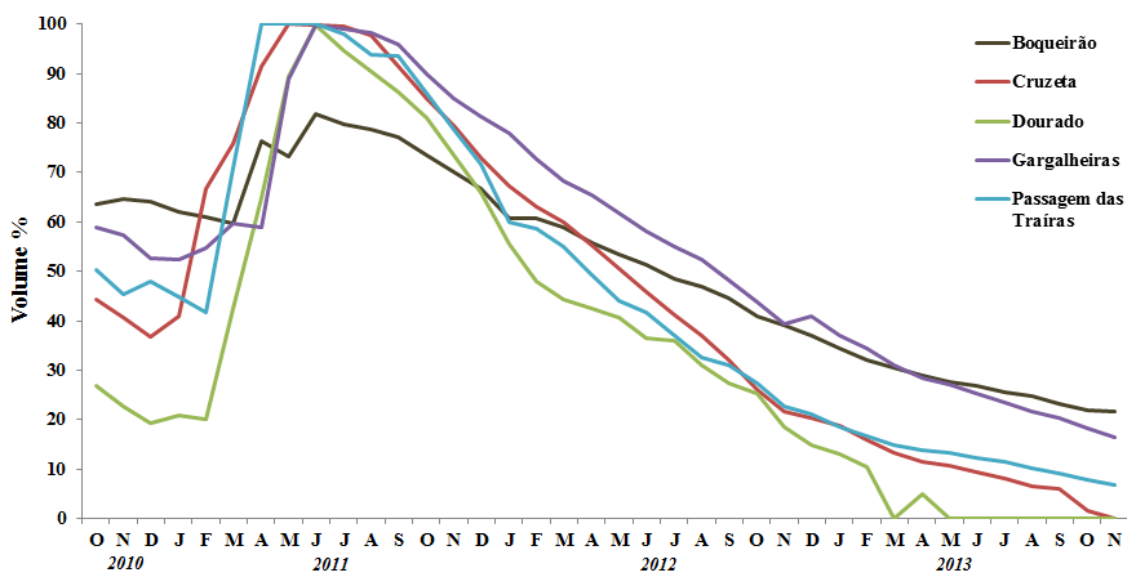


Figura 2: Variação temporal do volume acumulado (%) ao longo do período de estudo (2010-2013) dos reservatórios estudados (Boqueirão, Cruzeta, Dourado, Gargalheiras e Passagem das Traíras).

O reservatório Boqueirão apresentou maior transparência Secchi com valor de mediana de 1,67m chegando ao valor máximo de 4,25m. Os reservatórios Cruzeta, Passagem das Traíras, Dourado e Gargalheiras apresentaram a transparência do disco de Secchi abaixo de 1 m (Tabela 2).

O reservatório Boqueirão apresentou menores valores de turbidez, com valor da mediana de 3,0 NTU e o valor máximo de 12,9 NTU. Os maiores valores de turbidez foram registrados no reservatório Cruzeta, com o pico de 507 NTU (Tabela 2).

A temperatura ao longo do período de estudo, independente dos horários de coleta, foi constante em todos os reservatórios com uma variação em média de 26 a

30 °C (Tabela 2). O pH teve variação relativamente pequena, mostrando que os reservatórios são alcalinos apresentando uma faixa média de pH entre 8,0 a 9,5 (Tabela 2). Com relação ao oxigênio dissolvido todos os reservatórios apresentaram valores médios na faixa de 8 a 10 mg.L⁻¹ (Tabela 2).

Os reservatórios Boqueirão e Cruzeta apresentaram os menores valores de concentrações de fósforo total (PT) com valor da mediana de 33,40 µg.L⁻¹ e 19,7 µg.L⁻¹, respectivamente. Os reservatórios Passagem das Traíras, Dourado e Gargalheiras apresentaram estado de eutrofização avançado diante dos valores acima do limite de 60 µg.L⁻¹ de fósforo total (Figura 3). O valor de mediana de Chl-a registrado em boqueirão foi 9,4 µg.L⁻¹ enquanto que os outros reservatórios apresentaram valores de mediana acima de 60 µg.L⁻¹ (Tabela 2). Com exceção do reservatório Boqueirão, os reservatórios encontram-se no estado eutrófico durante o ano de 2012, de acordo com os valores de PT e Chl-a (Figura 3).

Apesar da variabilidade dos valores de pressão parcial do CO₂ (pCO₂) encontrada durante o período de estudo, os reservatórios Boqueirão, Passagem das Traíras, Gargalheiras apresentaram a mediana de pCO₂ abaixo do limite de equilíbrio com a atmosfera indicando sub-saturação de dióxido de carbono (Tabela 2; Figura 4).

Comportamento inverso foi verificado nos reservatórios Cruzeta e Dourado que apresentaram altos valores de mediana de pCO₂, 1138 µatm e 757 µatm respectivamente (Tabela 2; Figura 4).

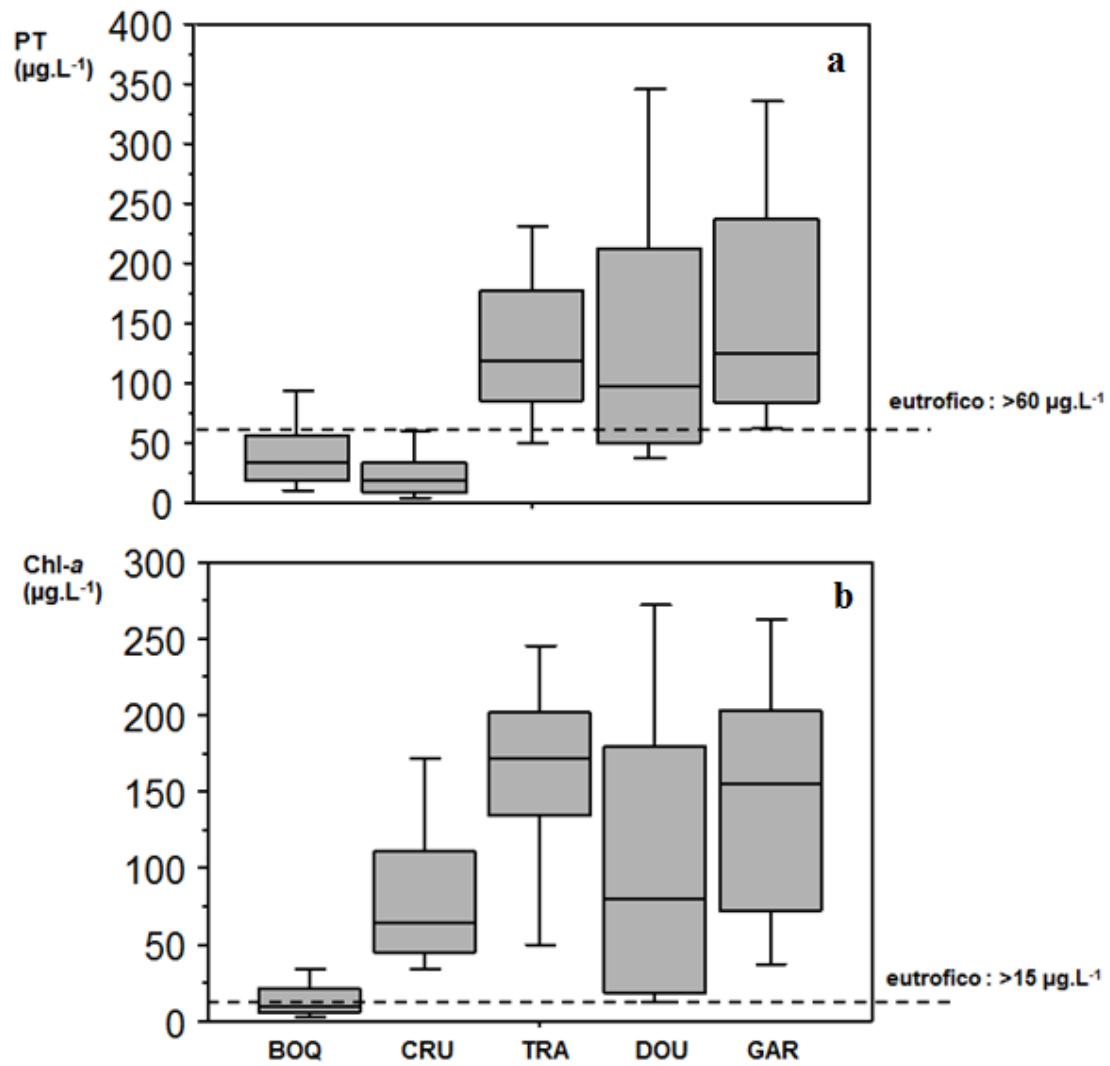


Figura 3: Variação concentrações de fósforo total (PT) (a) e clorofila-a (Chl-a) (b) dos reservatórios do semiárido durante o período de 2010-2013: Boqueirão (BOQ), Cruzeta (CRU), Passagem das Traíras (TRA), Dourado (DOU) e Gargalheiras (GAR) do semiárido do Rio Grande do Norte. A linha tracejada mostra o limite do estado eutrófico conforme THORTON & RAST (1993).

Tabela 2: Valores da mediana e intervalos das variáveis limnológicas do epilímnio de cada reservatório do semiárido estudado durante o período de 2010-2013

Variáveis de estudo	Boqueirão	Cruzeta	Passagem das Traíras	Dourado	Gargalheiras
T (°C)	26,4 (21,20-28,70)	27,8 (24,90-33,91)	28,5 (27,70-33,88)	26,4 (23,56-30,21)	26,9 (24,10-33,69)
OD (mg.L ⁻¹)	8,0 (4,13-10,37)	7,9 (3,17-17,5)	10,1 (2,30-19,38)	7,5 (3,00-15,00)	8,8 (2,56-21,65)
Zmax (m)	8,3 (1,40-15,00)	4,1 (0,46-8,70)	7,2 (0,60-12,8)	3,0 (0,30 -9,70)	8,3 (1,08-20,20)
Secchi	1,67 (0,54-4,25)	0,53 (0,10-3,60)	0,30 (0,15-1,35)	0,35 (0,10-1,70)	0,35 (0,10-2,50)
Turbidez (NTU)	3,0 (1,26-12,90)	18,0 (4,30-507,00)	28,5 (10,60-118,00)	23 (7,70-80,00)	27,5 (5,40-118,00)
pH	8,73 (7,02-9,75)	8,16 (6,41-9,59)	8,79 (6,00-9,64)	8,28 (6,29-9,40)	8,66 (6,67-9,94)
PT (µg.L ⁻¹)	33,4 (1,00-135,00)	19,7 (16,20-627,00)	117,8 (33,50-379,50)	97,4 (7,40-794,50)	125,3 (39,54-769,50)
pCO ₂ (µatm)	331,0 (31,00-9.234)	1138,0 (21,00-14.221,00)	282,5 (49,00-10.286,00)	757,0 (64,00-51.496,00)	366,5 (15,00-7.932,00)
Chl-a (µg.L ⁻¹)	9,4 (0,24-116,82)	63,5 (1,03-115,11)	172,4 (40,56-438,88)	79,8 (5,66-373,14)	154,4 (3,43-362,11)

T = temperatura, OD = oxigênio dissolvido, Zmax = profundidade máxima, PT = fósforo total, pCO₂ = pressão parcial do CO₂, Chl-a = clorofila-a.

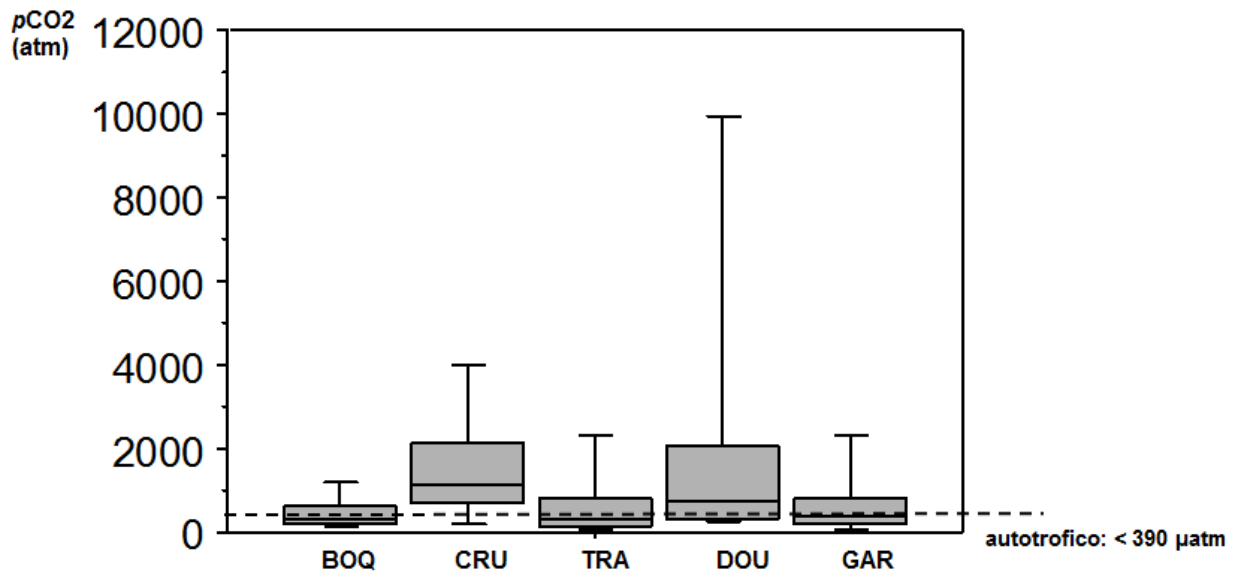


Figura 4: Dados da variabilidade do $p\text{CO}_2$ nos reservatórios do semiárido durante o período de 2010-2013: Boqueirão (BOQ), Cruzeta (CRU), Passagem das Traíras (TRA), Dourado (DOU) e Gargalheiras (GAR). A linha tracejada mostra o limite de saturação para predominância de metabolismo autotrófico.

As variáveis $p\text{CO}_2$ e Chl-a foram plotadas em uma relação log linear para cada reservatório (Figura 5). Os reservatórios Dourado ($r=-0,72$) Gargalheiras ($r=-0,44$) e Passagem das Traíras ($r=-0,66$) e que apresentaram altos valores de clorofila, mostraram uma relação inversa significativa ($p<0,001$) (Figura 5). Boqueirão ($r=-0,32$) também apresentou relação inversa significativa ($p<0,001$) (Figura 5). Para o reservatório Cruzeta não houve significância entre a relação $p\text{CO}_2$ x Chl-a ($r=0,01$) (Figura 5).

Avaliando todos os pontos de todos os reservatórios estudados o padrão foi o mesmo, regressão linear inversa significativa entre $p\text{CO}_2$ e Chl-a ($r=-0,3$ $p<0,001$), apresentando um comportamento heterotrófico, apesar da tendência a autotrofia para os reservatórios mais eutrofizados (Figura 6).

Os valores altos de $p\text{CO}_2$ foram acompanhados por valores menores de clorofila-a assim como também os valores baixos de $p\text{CO}_2$ acompanharam os valores altos de clorofila-a.

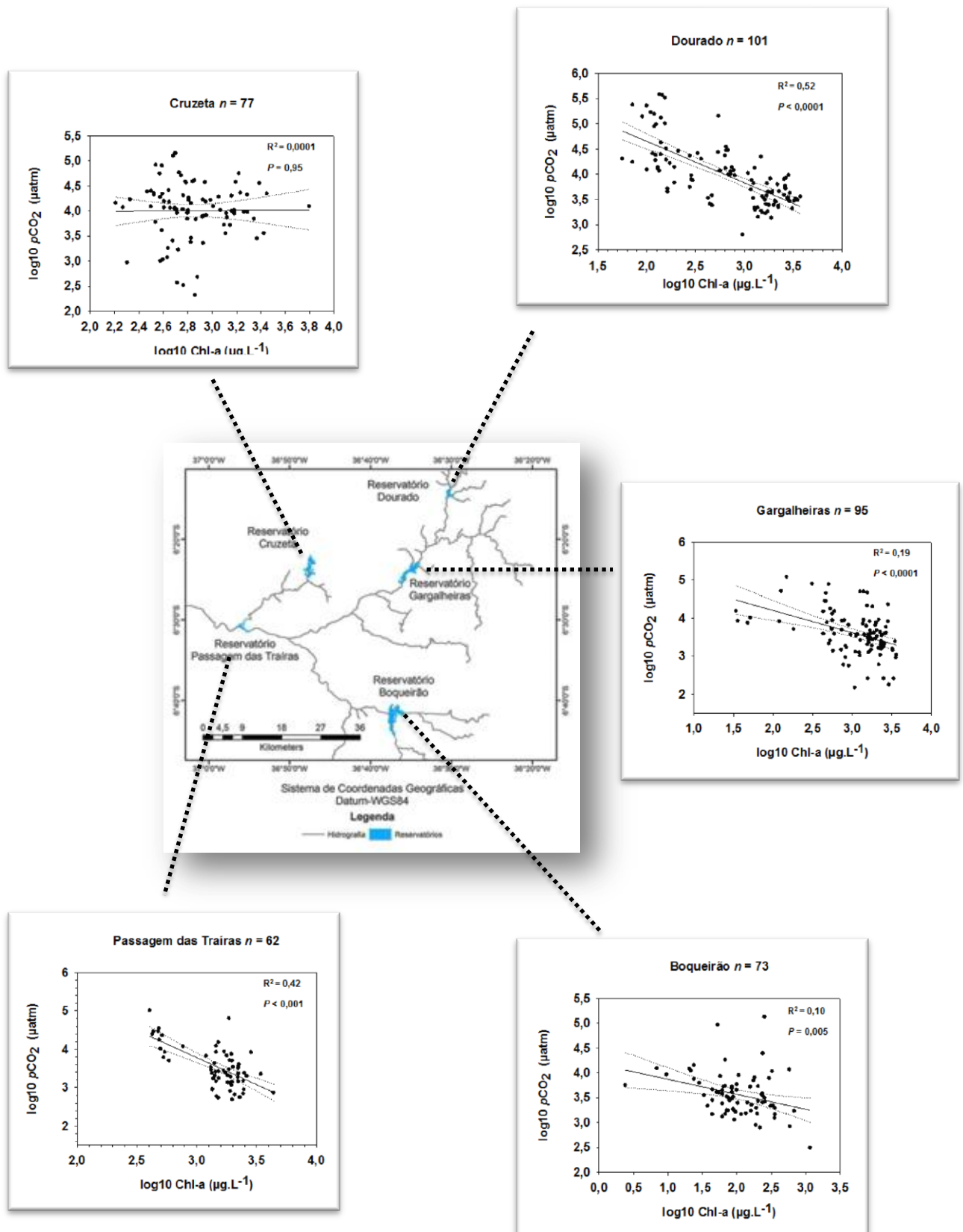


Figura 5: Regressão log linear entre a pressão parcial do dióxido de carbono ($p\text{CO}_2$) e clorofila-a (Chl-a) dos reservatórios estudados na região semiárida tropical durante o período de 2010-2013.

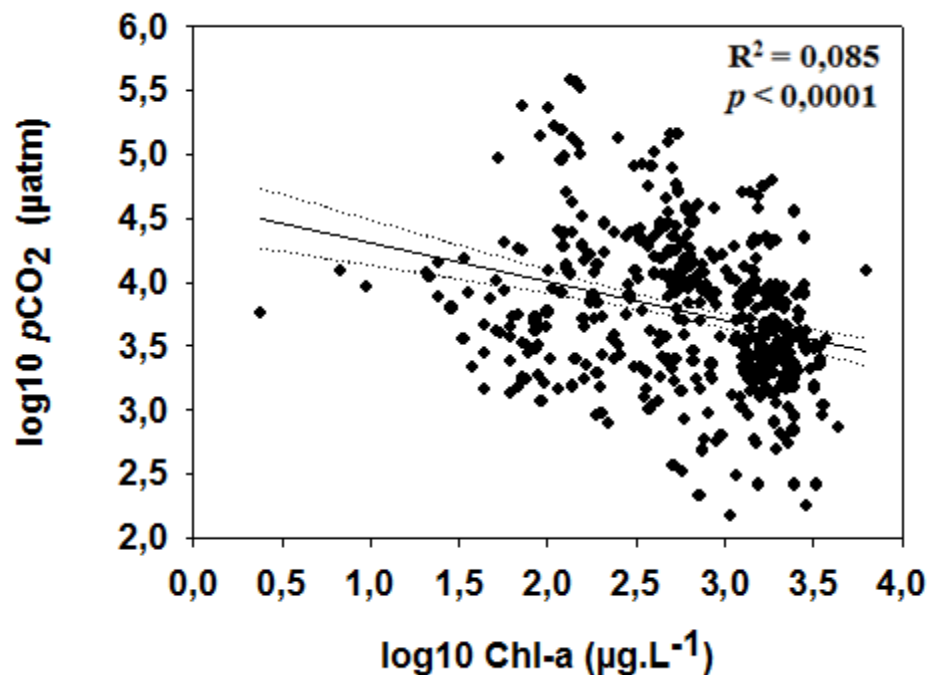


Figura 6: Regressão log linear (n=408) entre pressão parcial de dióxido de carbono ($p\text{CO}_2$) e clorofila-a (Chl-a) dos reservatórios estudados da região semiárida tropical, durante o período de 2010-2013.

4. DISCUSSÃO

No presente estudo registramos que 3 reservatórios eutrofizados da região tropical semiárida estudados possuem a tendência de serem sequestradores de dióxido de carbono devido à alta biomassa algal, apresentando um padrão de autotrofia, corroborando assim com a hipótese do estudo, mesmo apresentando saturação de CO_2 em alguns momentos durante o período de estudo.

O metabolismo global ecossistêmico é baseado na produção primária ecossistêmica líquida (soma da produção de biomassa por todos os produtores primários) e na respiração ecossistêmica líquida (soma da respiração por todos os organismos- autotróficos e heterotróficos) sendo que, a primeira é baseada na disponibilidade de nutrientes (fósforo) e a segunda na disponibilidade de matéria orgânica (DODDS & COLE, 2007). Portanto, a interação entre esses componentes afetam diretamente o balanço de carbono nos ecossistemas e, conseqüentemente, nas concentrações de CO_2 na água.

A região estudada, além de ser considerada como semiárida (baixas taxas de precipitação anual) experimentou um período de seca prolongada, com pouco aporte

de matéria orgânica de origem terrestre, devido à ausência de fluxo dos rios, o que refletiu em uma redução de volume da água dos reservatórios, concentrando nutrientes, o que favoreceu o aumento da biomassa algal. Com isso, foi evidenciada uma tendência a um comportamento autotrófico diante do nível trófico avançado (YANG *et al.*, 2008; BALMER & DOWNING, 2011), caracterizado pelos reservatórios Dourado, Gargalheiras e Passagem das Traíras.

A clorofila-a é uma importante variável que pode explicar a variação da pressão parcial do dióxido de carbono quando relacionada com a atividade fotossintética que, quando elevada pode levar a diminuição de CO₂ através da absorção do fitoplâncton, interferindo assim nas concentrações de CO₂ nos horários diurnos. Isso reforça a ideia de que, em ambientes eutrofizados, a produção primária é um fator biológico importante que interfere na variabilidade dos níveis de pCO₂ (BALMER & DOWNING, 2011) que foi observado neste estudo principalmente nos reservatórios Passagem das Traíras e Gargalheiras com níveis de eutrofização elevados.

Apesar da tendência à autotrofia, Dourado apresentou supersaturação, padrão similar registrado para vários sistemas lênticos no mundo que, consequentemente emitem CO₂ para a atmosfera (SOBEK *et al.*, 2005; COLE *et al.* 1994, DUARTE & PRAIRIE, 2005; MAROTTA *et al.*, 2009; KOSTEN *et al.*, 2010). Esta relação é comumente explicada pela intensa mineralização do carbono orgânico presente frequentemente em ambientes aquáticos (DUARTE & PRAIRIE, 2005). Em muitos destes ambientes o processo de respiração excede a produtividade primária, o que pode ser consequência da grande quantidade de matéria orgânica de origem terrestre que aporta ao sistema, contribuindo assim, para o metabolismo heterotrófico (COLE & CARACO, 2001), resultando na supersaturação do CO₂ (SOBEK *et al.*, 2005).

A produtividade primária mostrou um equilíbrio aparente nas concentrações de dióxido de carbono através da correlação significativa entre a pressão parcial do CO₂ (pCO₂) e clorofila-a (Chl-a) principalmente no reservatório Dourado, que apresenta uma menor bacia de drenagem e menor área, características de ambientes que tendem a ter altos valores de pCO₂ devido ao menor potencial de sequestro de dióxido de carbono, o que permite um equilíbrio mais lento com a atmosfera (BALMER & DOWNING, 2011), sugerindo um padrão de supersaturação de CO₂ mesmo em estado eutrófico. Neste reservatório foram encontrados valores

significativos de clorofila-a evidenciando o nível crescente de eutrofização. As regressões reforçam mais a ideia de que em Dourado o fitoplâncton provavelmente está regulando os níveis de CO_2 mesmo este reservatório apresentando maiores valores de $p\text{CO}_2$.

Além disso, os horários de coleta poderiam ter influenciado os resultados obtidos principalmente em Cruzeta, o que pode reforçar a ideia da heterotrofia neste reservatório. A atividade fotossintética nesses horários é baixa o que pode ter favorecido baixos valores de pH e o processo de respiração, que por consequência aumenta a saturação de CO_2 . Além disso, no reservatório Cruzeta a cor da água devido à alta turbidez, e possíveis substâncias coloidais advindas da ressuspensão do sedimento pela constante circulação de vento, limitou a biomassa fitoplanctônica pela luz (FREITAS *et al.*, 2011; MEDEIROS *et al.*, *in press*). A baixa produtividade pode não ter sido suficiente ao ponto de regular as concentrações de CO_2 . O reservatório Boqueirão por ser um reservatório mesotrófico e com alta transparência, possivelmente a biomassa fitoplanctônica não tenha sido suficiente para regular as concentrações de CO_2 . Porém, fatores físicos ambientais como ventos e a própria área do reservatório podem estar regulando a pressão parcial de CO_2 . Ambientes aquáticos com área superficiais extensas como o reservatório Boqueirão e maior *fetch*, devido à ação dos ventos fortes, embora não medido no presente estudo, podem ter maior capacidade de sequestro do CO_2 (MACINTYRE *et al.*, 2002; BALMER & DOWNING, 2011).

A literatura sugere que o padrão de supersaturação em CO_2 nos sistemas aquáticos continentais responde a relação comumente explicada pela mineralização (COLE *et al.* 1994, DUARTE & PRAIRIE, 2005; MAROTTA *et al.*, 2009; KOSTEN *et al.*, 2010). Porém, a região do presente estudo, além de ser considerada como semiárida (baixas taxas de precipitação anual) experimentou um período de secas prolongadas o que, ocasionou redução do volume de água e, muito pouco aporte de matéria orgânica de origem terrestre, favorecendo assim o processo de equilíbrio do CO_2 , tornando a hipótese do estudo plausível.

A seca prolongada nos ecossistemas estudados reduziu os volumes dos reservatórios tornando-os ainda mais rasos. Essa característica pode favorecer processos heterotróficos por três vias: (1) liberação de CO_2 diretamente do sedimento, (2) ressuspensão de sedimentos orgânicos por ação dos ventos, evento típico de lagos rasos, alimentando o metabolismo heterotrófica na coluna d'água e,

(3) aumento da proximidade do sedimento com a camada de mistura da coluna d'água o que favorece a oxigenação das regiões mais fundas resultando na oxidação do metano (CH_4) a CO_2 (BASTVIKEN *et al.*, 2008).

Dados da literatura chamam atenção para o papel dos ambientes aquáticos eutrofizados como sequestradores de carbono (ALI & JOHNSON, 2007; YANG *et al.*, 2008; BALMER & DOWNING, 2011). Os resultados do presente estudo mostram que reservatórios com altas concentrações de nutrientes ou clorofila elevada podem atuar como sequestradores de carbono.

Dados da literatura (YANG *et al.*, 2008; BALMER & DOWNING, 2011) apontam que reservatórios com altas concentrações de nutrientes podem atuar como sequestradores de carbono. Apesar da supersaturação de dióxido de carbono (CO_2) observada em alguns momentos ao longo do período de estudo, foi possível também evidenciar uma tendência a um comportamento autotrófico diante do nível trófico avançado dos reservatórios eutrofizados.

O estudo mostra que os reservatórios eutrofizados tem papel fundamental no ciclo do carbono e podem ser considerados como sistemas com importância em escala regional para a absorção do CO_2 atmosférico.

5. CONCLUSÃO

- Nos reservatórios eutróficos do semiárido, com alta biomassa algal, apresentam uma tendência ao metabolismo predominante autotrófico, agindo sequestradores de carbono;
- O regime hidrológico da região semiárida tropical, aliado às características morfométricas dos reservatórios, podem direcionar diferentes comportamentos dos reservatórios de abastecimento na região, atuando como fatores direcionadores no metabolismo do carbono;
- A limitação por luz, evidenciada no reservatório Cruzeta, pode atuar como uma forçante no colapso da biomassa algal, contribuindo para um metabolismo predominantemente heterotrófico;

- A subsaturação evidenciada no reservatório Boqueirão, apesar da baixa biomassa algal, pode ser relacionada pela extensa área superficial, bem como a ação de ventos fortes e grande *fetch*, apesar de não termos medido esta variável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIN S R, JOHNSON T C. 2007. Carbon cycling in large lakes of the world: A synthesis of production, burial, and lake-atmosphere exchange estimates. *Glob Biogeochem Cy.* 21(3):GB3002.

BALMER M. B. & DOWNING J. A. 2011. Carbon dioxide concentrations in eutrophic lakes: undersaturation implies atmospheric uptake. *Inland Waters* 1, pp. 125-132.

BARBOSA, C. C. F., E. M. L. MORAES NOVO, J. M. MELACK, M. GASTIL-BUHL, AND W. P. FILHO 2010. Geospatial analysis of spatiotemporal patterns of pH, total suspended sediment and chlorophyll-a on the Amazon floodplain, *Limnology*, 11, 155-166.

BARBOSA, J. E. D. L., MEDEIROS, E. S. F., BRASIL, J., CORDEIRO, R. D. S., CRISPIM, M. C. B., & SILVA, G. H. G. D. 2012. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 24(1), 103-118.

BARROS, N., COLE, J. J., TRANVIK, L. J., PRAIRIE, Y. T., BASTVIKEN, D., HUSZAR, V. L., ... & ROLAND, F. 2011. Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude. *Nature Geoscience*, 4(9), 593-596.

BASTVIKEN D, TRANVIK LJ, DOWNING JA, CRILL PM, ENRICH-PRAST A. 2011. Freshwater methane emissions offset the continental carbon sink. *Science*. 331:50

BATTIN T. J. et al., 2009. The boundless carbon cycle. *Nature Geoscience*. Vol 2, 598:600.

CAFFREY JM. 2004. Factors controlling net ecosystem metabolism in U.S. Estuaries. *Estuaries* 27:90–101.

CARMOUZE, J. P. O metabolismo dos ecossistemas aquáticos - Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas: Editora FAPESP. 1994. 253 p.

CHANUDET, V. et al. 2011. Gross CO₂ and CH₄ emissions from the Nam Ngum and Nam Leuk sub-tropical reservoirs in Lao PDR *Science of the Total Environment*. 5382-5391

CHELLAPPA, N.T., CHELLAPPA, T., CÂMARA, F.R.A, ROCHA, O., CHELLAPPA, S. 2009. Impact of stress and disturbance factors on the phytoplankton communities in Northeastern Brazil reservoir. *Limnologica*, 39: 273-282.

COLE, J. J., et al., 1994. Carbon dioxide supersaturation in the surface waters of lakes. *Science*, 265, 1568 – 1570, doi:10.1126/science.265. 5178.1568

COLE, J. J. & CARACO N. F., 2001. Carbon in catchments: connecting terrestrial carbon losses with aquatic metabolism. *Mar. Freshwater Res.*, 52, 101-10

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

DEL GIORGIO P. A., COLE J. J. & CIMBLERIS A. 1997. Respiration rates in bacteria exceed plankton production in unproductive aquatic systems. *Nature* 385:148–51.

DODDS, W. K., & COLE, J. J. (2007). Expanding the concept of trophic state in aquatic ecosystems: it's not just the autotrophs. *Aquatic Sciences*, 69(4), 427-439.

DOWNING J.A., PRAIRIE Y. T., COLE J. J., DUARTE C. M., TRANVIK L. J., STRIEGL R.G., MCDOWELL W. H., KORTELAJINEN P., CARACO N. F., MELACK J. M., MIDDELBURG J. J. (2006) The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. *Limnol Oceanogr* 51:2388–2397

DUARTE C. M. & PRAIRIE Y. T., 2005. Prevalence of heterotrophy and atmospheric CO₂ emissions from aquatic ecosystems. *Ecosystems* 8: 862-870

DUARTE C. M., PRAIRIE Y. T., MONTES T., COLE J. J., STRIEGL R., MELACK J., DOWNING J. A. 2008. CO₂ emissions from saline lakes: A global estimate of surprisingly large flux. *J Geophys Res.* 113:G04041.

FELS, E., & KELLER, R. 1973. World register on man-made lakes. *Geophysical Monograph Series*, 17, 43-49.

FINLAY K., LEVITT B., WISSEL B., PRAIRIE Y. T. 2009. Regulation of spatial and temporal variability of carbon flux in six hard-water lakes of the northern great plains. *Limnol Oceanogr.* 53(6):2553-2564

FREITAS, FRS., RIGHETTO, AM. AND ATTAYDE, JL. 2011. Cargas de fósforo total e material em suspensão em um reservatório do semi-árido brasileiro. *Oecologia Australis*, vol. 15, n. 3, p. 655-665.

FRIEDL, G., & WÜEST, A. 2002. Disrupting biogeochemical cycles-consequences of damming. *Aquatic Sciences*, 64(1), 55-65.

GOLTERMAM, H. L.; CLIMO, R. S. & OHNSTAD, M. A. M.; 1978; Methods for physical and chemical analysis of freshwaters; I.BP.; Handbooks n.8; Blackwell Scientific Publications, Oxford; 213pp

GRACE J. & MAHLI Y., 2002. Carbon dioxide goes with the flow. *Nature* vol 416, 594:595

HEATHCOTE A. J. & DOWNING J. A., 2011. Impacts of eutrophication on carbon burial in freshwater lakes in an intensively agricultural landscape. *Ecosystems*, vol 15: 60–70

HUMBORG, C., BLOMQVIST, S., AVSAN, E., BERGENSUND, Y., SMEDBERG, E., BRINK, J., & MÖRTH, C. M. (2002). Hydrological alterations with river damming in northern Sweden: Implications for weathering and river biogeochemistry. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(3), 12-1.

[ICOLD] International Commission on Large Dams. 1988. World Register of Dams 1988. Paris: International Committee on Large Dams

IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio ambiente do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte. (2012). Perfil do seu município. Disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br//>.

JESPERSEN A. M. & CHRISTOFFERSEN K. (1988). Measurements of chlorophyll-a from phytoplankton using ethanol as extraction solvent. *Arch. Hydrobiol.* 109: 445-454.

KORTERLAINEN P. RANTAKARI M, HUTTUNEN JT, MATTSSON T, ALM J, JUUTINEN S, LARMOLA T, SILVOLA J, MARTIKAINEN PJ. 2006. Sediment respiration and lake trophic state are important predictors of large CO₂ evasion from small boreal lakes. *Glob Change Biol.* 12(8):1554-1567.

KOTTEK M., GRIESER J., BECK C., RUDOLF B. & RUBEL F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 15, No. 3, 259-263

LAZZARINO J. K., BACHMANN R. W., HOYER M.V., CANFIELD D. E. 2009. Carbon dioxide supersaturation in Florida lakes. *Hydrobiologia.* 627(1):169-180.

LOUIS, V. L. S., KELLY, C. A., DUCHEMIN, É., RUDD, J. W., & ROSENBERG, D. M. (2000). Reservoir Surfaces as Sources of Greenhouse Gases to the Atmosphere: A Global Estimate. *BioScience*, 50(9), 766-775.

MABERLY S. C., BARKER P. A., STOTT A. W., DE VILLE M. M. 2012. Catchment productivity controls CO₂ emissions from lakes. *Nature Climate Change* 3:391-394

MACINTYRE, S., EUGSTER, W., & KLING, G. W. 2002. The critical importance of buoyancy flux for gas flux across the air-water interface. *Geophysical monograph series*, 127, 135-139.

MAROTTA, H., DUARTE, C. M., SOBEK, S., & ENRICH-PRAST, A. 2009. Large CO₂ disequilibria in tropical lakes. *Global biogeochemical cycles*, 23(4).

MENDONÇA, R., KOSTEN, S., SOBEK, S., COLE, J. J., BASTOS, A. C., ALBUQUERQUE, A. L., ... & ROLAND, F. 2013. Carbon Sequestration in a Large Hydroelectric Reservoir: An Integrative Seismic Approach. *Ecosystems*, 1-12.

MOSCHE G. 2008. Lake Management Perspectives in Arid, Semi-Arid, Sub-tropical and Tropical Dry climate. Proceedings of Taal 2007: The 12th World Lake Conference: 1338-1348

OKI, T. & KANAE S. 2006. Global Hydrological Cycles and World Water Resources. *Science* VOL 313, 1068:1072

PAVEL A. et al., 2011. Sources and emission of greenhouse gases in Danube Delta lakes. *Environ Sci Pollut Res*, vol 16 (Suppl 1):S86–S91

PRAIRIE BIRD D. F & COLE J. J. 2002. The summer metabolic balance in the epilimnion of southeastern Quebec lakes.. *Limnol Oceanogr* 47:316–21.

RAYMOND P. A., COLE J. J. 2003. Increase in the export of alkalinity from North America's largest river. *Science* 301:88–91.

RAYMOND P. A., HARTMANN J., LAUERWALD R., SOBEK S., MCDONALD C., HOOVER M., BUTMAN D., STRIEGL R., MAYORGA E., HUMBORG C., KORTELAINE P., DÜRR H., MEYBECK M., CIAIS P., & GUTH P. 2013. Global carbon dioxide emissions from inland waters. *Nature* 503:355-359

RICHEY J. E., MELACK J. M., AUFDENKAMPE A. K., BALLESTER V. M., HESS L. L. 2002. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO₂. *Nature* 416:617–20.

SAMPAIO, E. V. S. B. 1995. Overview of the Brazilian Caatinga, p. 35-63. In:

SHINDLER D. E., 2009. Influence of food web structure on carbon exchange between lakes and the atmosphere. *Science*, vol 277, 249-251.

STUMM, W., & MORGAN J. J. (1996), *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*, Wiley-Interscience, Hoboken, N. J.

THORNTON J. A. & W. RAST 1993. A test of hypotheses relating to the comparative limnology and assessment of eutrophication in semi-arid man-made lakes. In: M.

TRANVIK, LJ., DOWNING, JA., COTNER, JB., LOISELLE, SA., STRIEGL, RG., BALLATORE, TJ., DILLON, P., FINLAY, K., FORTINO, K., KNOLL, LB., KORTELAINE, PL., KUTSER, T., LARSEN, S., LAURION, I., LEECH, DM., McCALLISTER, SL., McKNIGHT, DM., MELACK, JM., OVERHOLT, E., PORTER, JA., PRAIRIE, Y., RENWICK, WH., ROLAND, F., SHERMAN, BS., SCHINDLER, DW., SOBEK, S., TREMBLAY, A., VANNI, MJ., VERSCHOOR, AM., VON WACHENFELDT, E. and WEYHENMEYER, GA., 2009. Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate. *Limnology and Oceanography*, vol. 54, no. 6, p. 2298-2314. http://dx.doi.org/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2298

VALDERRAMA J. C. 1981. The simultaneous analysis of total and phosphorus in natural waters. *Mar. Chem.*, 10: 109-122

WEISS, R. F. (1974), Carbon dioxide in water and seawater: The solubility of a non-ideal gas, *Mar. Chem.*, 2, 203 – 215.

WILLIAMSON, C. E., et al., 2009. Sentinels of change. *Science*, 323, 887–888

YANG H., XING Y., XIE P., NI L., RONG K. 2008. Carbon source/sink function of a subtropical, eutrophic lake determined from an overall mass balance and a gas exchange and carbon burial balance. *Environmental Pollution*. 151 559 e 568.

ANEXO

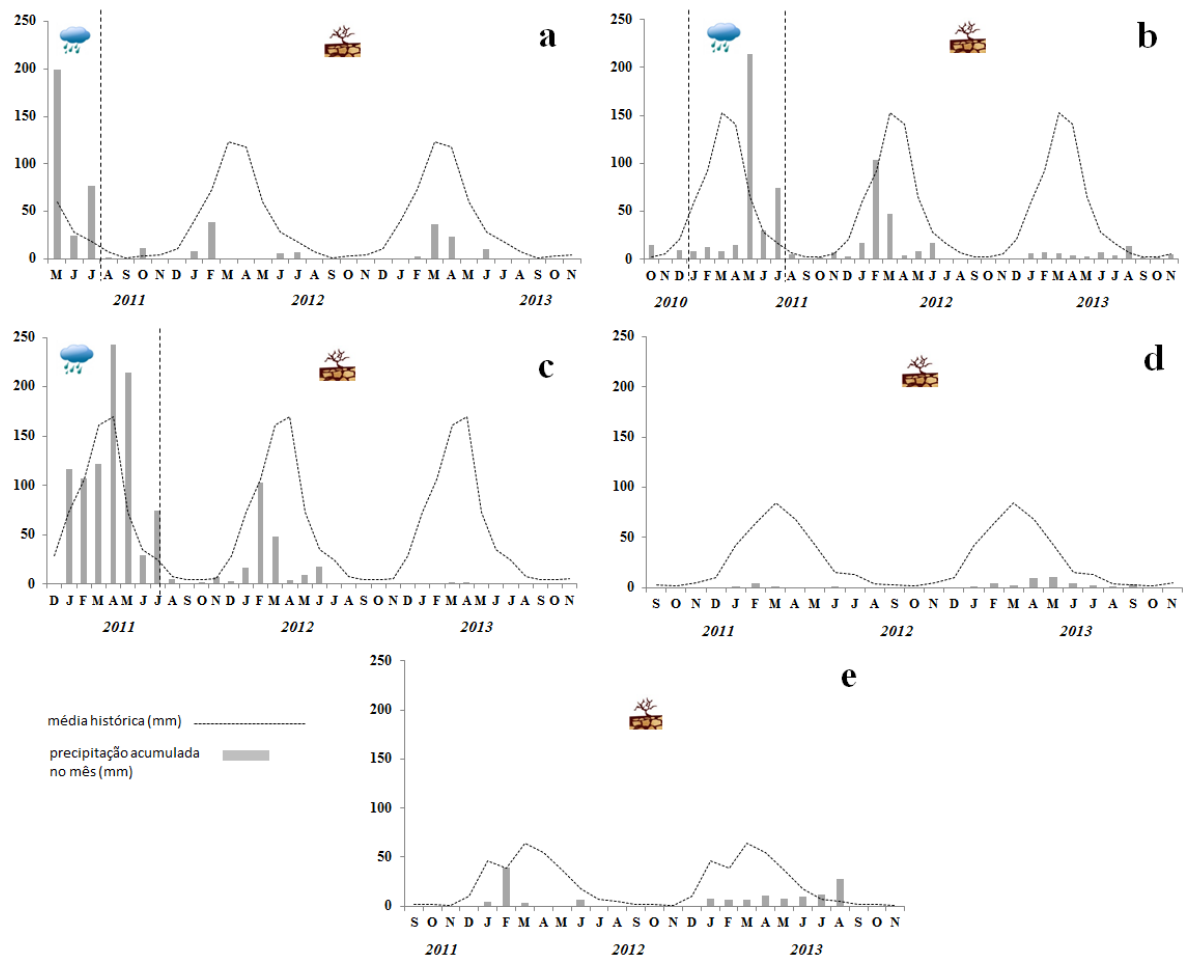


Figura: Média histórica (1921-2012) e precipitação acumulada para os reservatórios: **a)** Dourado (maio/2011 a novembro/2013; **b)** Cruzeta (outubro/2010 a novembro/2013); **c)** Gargalheiras (dezembro/2010 a novembro/2013); **d)** Boqueirão (setembro/2011 a novembro/2013); **e)** Passagem das Traíras (setembro/2011 a novembro/2013) (Fonte: EMPARN).