Brazilian Journal of Development

Variabilidade espacial-temporal da comunidade fitoplanctônica no reservatório da usina hidrelétrica de Curuá-Una

Spatio-temporal variability of the phytoplankton community in the reservoir of the Curuá-Una hydroelectric power station

DOI:10.34117/bjdv6n7-035

Recebimento dos originais: 08/05/2020
Aceitação para publicação: 02/07/2020

Paulo Roberto Brasil Santos
Doutorado em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Oeste do Pará
Instituição: Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Monte Alegre
Endereço: Tv. Major Francisco Mariano, S/N, Bairro Cidade Alta - CEP: 68220-000, Monte Alegre - PA, Brasil
E-mail: paulo.rbs@ufopa.edu.br

Jael Saray Coelho de Sousa
Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Oeste do Pará
Instituição: Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas
Endereço: Rua Vera Paz, s/n (Unidade Tapajós), Bairro Salé - CEP 68035-110, Santarém - PA, Brasil
E-mail: jaelsaray_biologia@outlook.com

Keid Nolan Silva Sousa
Doutorado em Biologia de Água Doce e Pesca Interior pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil.
Instituição: Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas
Endereço: Rua Vera Paz, S/N, (Unidade Tapajós), Bairro Salé - CEP 68035-110, Santarém - PA, Brasil
E-mail: keid.ufopa@gmail.com

Sérgio de Melo
Doutorado em Ecologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
Instituição: Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas
Endereço: Rua Vera Paz, S/N, (Unidade Tapajós), Bairro Salé - CEP 68035-110, Santarém - PA, Brasil
E-mail: melo.joaopedro@gmail.com

Andreia Cavalcante Pereira
Doutorado em Botânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
Instituição: Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas
E-mail: diatomaceas@gmail.com

Brazilian Journal of Development

RESUMO
A Amazônia ainda é o centro da expansão da construção de inúmeras represas para geração de energia elétrica. Esses empreendimentos grandes impactos que podem alterar os padrões de distribuição espaço-temporal de parâmetros limnológicos assim como da comunidade fitoplanctônica. Objetivo desse estudo foi identificar os padrões de distribuição espaço-temporal da comunidade fitoplanctônica e suas relações com as variáveis limnologicas do reservatório de Curuá-Una. As amostragens foram realizadas entre maio de 2016 a fevereiro de 2017. As variáveis limnológicos coletadas foram: Transparência da água, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido, pH, DBO, nitrato, sílica, fósforo total, clorofila-a. As amostras do fitoplâncton foram quantificadas a densidade expresso em individuos.mL^{-1}. Para analisar a variação espaço-temporal, foi efetuada uma ANOVA *two-way*, e uma Análise de Correspondência Canônica (CCA) para avaliar quais as variáveis limnológicas estão fortemente associadas com densidade de algas no reservatório. A comunidade estudada esteve composta por 214 espécies distribuídas em oito grupos taxonômicos, sendo 98 Chlorophyta, 70 Bacillariophyta, dois Cryptophyta, quatro Dinophyta, cinco Cyanophyta, 22 Euglenophyta, 11 Crysophyta e 3 Heterokontophyta. Na análises ANOVA e CCA, ficou bem claro que padrão de distribuição sazonal é fortemente significativo, pois altos valores de densidade na estação seca, coincidem com maiores valores de clorofila-a, fósforo total.

Palavras-chave: Amazônia; Reservatório; Comunidade fitoplanctônica; Variação sazonal

ABSTRACT
The Amazon is still the center of expansion of the construction of numerous dams for electricity power generation. These enterprises generate major impacts that may alter the spatiotemporal distribution patterns of limnological parameters, as in the phytoplankton community. The objective of this study was to identify the spatiotemporal distribution patterns of the phytoplankton community and their relationship with the limnological variables of the Curuá-Una reservoir. We collected the samples from May 2016 to February 2017. The limnological variables collected were: water transparency, conductivity, turbidity, dissolved oxygen, pH, BOD, nitrate, silica, total phosphorus, chlorophyll a. The samples of phytoplankton were quantified at density expressed in individuals.mL-1. To analyze the spatiotemporal variation, a two-way ANOVA and a Canonical Correspondence Analysis (CCA) were performed to evaluate which limnological variables are strongly associated with algal density in the reservoir. The studied community consisted of 214 species were distributed in eight taxonomic groups: 98 Chlorophyta, 70 Bacillariophyta, two Cryptophyta, four Dinophyta, five Cyanophyta, 22 Euglenophyta, 11 Crysophyta and 3 Heterokontophyta. In the ANOVA and CCA analysis, it was very clear that the seasonal distribution pattern is strongly significant, because high dry season density values coincide with higher chlorophyll a and total phosphorus values.

Keywords: Amazon; Reservoir; Phytoplankton Community; Seasonal Variation

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda de energia elétrica impulsionou a construção de inúmeras represas no Brasil durante o século passado, hoje existem 217 empreendimentos hidroelétricos (pequenas, médias e grandes usinas hidrelétricas), representando 60,56% (102.998.876 kW) da potência total instalada para geração de energia elétrica (ANEEL 2020). Segundo o relatório

do Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro – SIPOT, que registrou para o ano de 2018, o potencial total hidrelétrico brasileiro como 246.240,73 MW, dos quais 107.420,87 MW estão em operação, e 1.365,08 MW em construção. Segundo este mesmo relatório, o estado com maior potencial hidrelétrico brasileiro foi o Pará com 51.024,07 MW (ELETROBRAS 2018).

A construção de reservatórios artificiais atingiu seu máximo desenvolvimento nas décadas de 1960 a 1990 e, atualmente, faz parte das metas para a expansão econômica do país. Como estratégia de desenvolvimento adotada pelo Governo nessas décadas, foram construídas cinco usinas de hidroeletricidade na Amazônia brasileira (Faria 2006). A região Amazônica é o centro de expansão das usinas hidrelétricas (UHE) do país, e concentra 23 novas UHE que serão ou já estão em construção no Rio Madeira, Jirau e Santo Antônio (Rondônia), e Belo Monte (Pará) e entre outras localidades onde poderão ser afetados milhares de pescadores (Fearnside 2015; Santos et al. 2017).

Dentre as inúmeras hidroelétricas construídas na Amazônia, encontra-se a primeira usina construída na Amazônica central brasileira (Junk et al. 1981), nomeadamente a UHE Curuá-Una, instalada em 1977 e que está localizada aproximadamente 72 km da cidade de Santarém, no estado do Pará como parte do sistema interligado de Tucuruí. Na região oeste da represa estão localizados os dois principais afluentes do rio Curuá-Una: rio Moju e Mojuí, definidos por Junk et al. (1981) como sendo rios de água clara. A região por sua maior parte está contida na área sedimentar da Formação Barreiras, do Cretáceo-Terciário, apresentando solo ácido com baixo conteúdo de nutrientes (Vieira e Darwich 1999).

O trecho do rio Curuá-Una represado pela construção da barragem, gerou novas condições ambientais que ocasionaram intensas modificações na concentração de oxigênio, incidência de luz, nutrientes, quanto em relação às comunidades bióticas presentes no local anos depois de sua implantação. Estudos realizados por Vieira e Darwich (1999) no reservatório da UHE de Curuá-Una, demonstraram que a construção da barragem alterou parâmetros físico-químicos como transparência, temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido gerando impactos para a biota aquática.

Existem hoje diversos métodos e índices para avaliar a qualidade de ambientes lóticos ou lênticos com base na dinâmica e estrutura da comunidade fitoplânctônica, que permitem relacionar a produção primária ou as associações de algas com as condições ambientais, nomeadamente o nível de degradação do lago ou de um reservatório (Reynolds et al. 2002).

Brazilian Journal of Development

Quando surgem condições ambientais estimuladas a partir das alterações impostas pelo ambiente ou pela ação antrópica, tais modificações como na concentração de oxigênio, incidência de luz na água, temperatura e nutrientes, a comunidade fitoplanctônica possui uma extrema sensibilidade e respostas dinâmicas às mudanças no ambiente circundante (Padisák et al. 2006). Essas alterações na escala espacial e temporal alteram composição, abundância e dominância dessa comunidade tornando-os eficientes indicadores das alterações naturais e antrópicas nos ecossistemas (Dubelaar et al. 2004). Consequentemente, essas alterações podem causar efeitos na abundância, na composição e na distribuição da comunidade fitoplanctônica (Edwards et al. 2011). A composição físico-química do meio, para o fitoplâncton, é um fator de grande influência sobre sua distribuição, reprodução e crescimento, pode promover indesejáveis florações ou limitar certas espécies (Huszar e Reynolds 1997).

Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo é identificar os padrões de distribuição espaciais e temporais da comunidade fitoplanctônica e quais as suas relações que possam explicar tais padrões no reservatório de Curuá-Una.

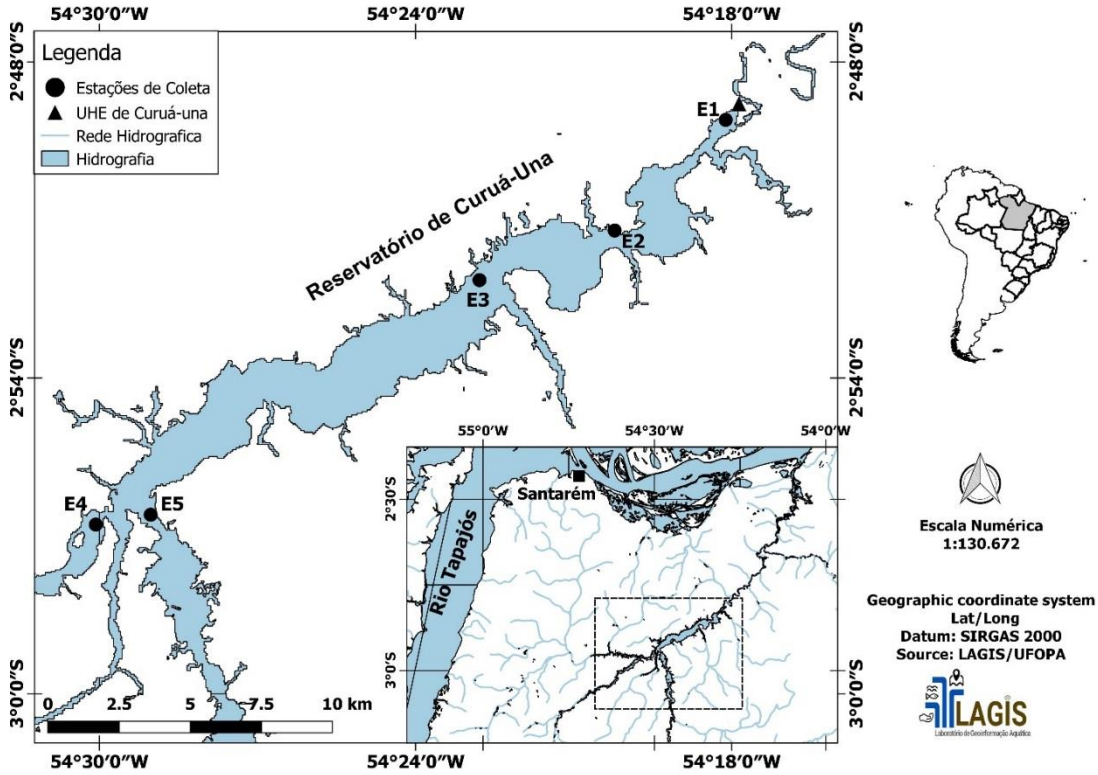
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 COLETA DOS DADOS

O estudo foi realizado no reservatório da UHE de Curuá-Una e as coletas foram realizadas mensalmente, no período de maio de 2016 a maio de 2017, em cinco estações de coleta, totalizando 60 amostras (Figura 1).

Brazilian Journal of Development

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo (Reservatório da UHE de Curuá-Una), destacando as cinco estações de coleta.



As variáveis ambientais foram medidas *in situ*, tais como profundidade (m) medida com auxílio de uma eco sonda – GAMIM ECHO 150, transparência da água (m) com auxílio de um disco de Secchi, pH, DO - Oxigênio Dissolvido ($mg.L^{-1}$) e Condutividade ($\mu S.cm^{-1}$) foram mesurados com auxílio da sonda multiparâmetro AKSO modelo AK88.

As variáveis DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio ($mg.L^{-1}$), Fósforo Total ($\mu g.L^{-1}$) e Clorofila-a ($\mu g.L^{-1}$) foram determinados a partir de métodos analíticos preconizados no manual internacional Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA 2012). A turbidez (NTU) foi determinada através de um turbidímetro de bancada da marca Policontrol serie AP 2000. Todas as análises acima foram realizadas no Laboratório de Biologia ambiental do Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas – ICTA/UFOPA.

As amostras quantitativas do fitoplâncton foram coletadas na sub-superfície, as quais foram acondicionadas em frascos plásticos com capacidade de 250 ml fixadas com lugol acético 1% e estocadas em geladeira. A quantificação dos indivíduos foi realizada em microscópio invertido Zeiss Oberkochen, modelo Axiovert 10, a um aumento de 400 vezes pelo método de Utermöhl (1958), utilizando câmaras de sedimentação com volume de 25 mL.

Em cada amostra, todos os indivíduos (células, colônias e filamentos) foram quantificados mediante o método de campos aleatórios.

Para a determinação do número adequado de campos a serem contados foi utilizado o critério de alcançar 100 indivíduos da espécie mais abundantes que Segundo Lund et al. (1958), é a forma de contagem que permite trabalhar com intervalos de confiança de +/-20 % da média, a um nível de significância de 95%, o que é considerado como satisfatório para estudos desta natureza. Os resultados de densidade de algas foram expressos em ind.mL^{-1}.

2.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para analisar as diferenças significativas da densidade da composição de algas espaço-temporal, foi efetuada uma ANOVA *two-way*, considerando como Fator 1 as variáveis do tempo (variação climatológica: Seco, Chuvoso) e o Fator 2 as variáveis do espaço (Estações de coleta: Reservatório, Fluvial), além de avaliar a interação significativa entre os fatores (tempo x espaço) e *a posteriore* o teste de Tukey ao nível de significância de $\alpha \leq 0,05$.

Para o Fator 1, o período seco determinou-se aos meses de julho a novembro e o período chuvoso os meses de dezembro a abril (Vieira e Darwich 1999; Vale et al. 2016). Para o fator 2 foi dividido em duas áreas que compreendem: Reservatório é composta pelas estações E1, E2 e E3; Fluvial é composta por E4 e E5.

Realizou-se uma Análise de Correspondência Canônica (CCA) para discriminar e selecionar quais as variáveis ambientais limnológicas que mais contribuem significativamente para variabilidade da densidade de algas no reservatório através do método *forward selection* (teste de Monte Carlo: 9999 permutações). Os dados de densidade passaram por uma transformação do tipo [y = ln (x+1)] e os dados ambientais limnológicos passaram por padronização do tipo *Ranging* para efetuação da ordenação canônica (Legendre e Legendre 2012). As análises estatísticas foram realizadas no ambiente computacional R versão 3.4 e CANOCO versão 4.5 (Ter Braak e Smilauer 2002).

3 RESULTADOS

3.1 DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS

As variáveis ambientais limnológicas mensuradas no reservatório estão descritos na Tabela 1. A menor profundidade média registrada foi de 4,37 metros (m) na estação de coleta 5 (E5) no período seco e a maior profundidade média de 10,68 m na estação E3 no período

chuvoso. A transparência apresentou menor valore médio de 0,72 na estação E5 no período chuvoso, enquanto o maior valor médio foi de 1,98 m na estação E3 no período seco.

Para a condutividade elétrica, o menor valor médio observado foi de aproximadamente 18,95 $\mu S.cm^{-1}$ na estação E2 no período seco e o maior valor médio foi 73 $\mu S.cm^{-1}$ na estação E2 no período chuvoso. Os resultados de oxigênio dissolvido apresentou maior valor de 7,09 $mg.L^{-1}$ na estação E3 no periodo seco e o menor de 5,09 $mg.L^{-1}$ na estação E5 no período chuvoso. Os valores médio de pH não paresentou ocilações, no entando seu valor médio máximo (pH = 6,74) foi observado na estação E3 no período seco e o menor valor médio (pH = 5,36) na estação E4 no período chuvoso.

Os maiores valores médios de turdidez (12 a 16,9 NTU) foram observados nas estações dos principais tributários do reservatério (E4 e E5), enquanto que os menores valores médios concentram-se nas proximidades da represa (E1 e E2). O maior valor médio de BDO foi de 4,35 $mg.L^{-1}$ observado na estação E3 no período chuvoso, enquanto que o menor valor médio de DBO observado foi de 0,4 $mg.L^{-1}$ na estação E5 no periodo seco. O Maior valor médio de fósforo total é de 2,61 $\mu g.L^{-1}$ na estação E5 no perioso seco, enquanto que o menor valor médio foi de 0,3 $\mu g.L^{-1}$ observados nas estações E1 e E4 no período chuvoso. O maior valor médio de Clorofila-a foi de 5,23 $\mu g.L^{-1}$ na estação E3 no periodo seco, enquanto que seu menor valor médio de 0,47 $\mu g.L^{-1}$ observado na estação E4 no periodo seco.

Tabela 1 - Valores médios e desvio padrão entre as estações de coleta e climatológica das variáveis ambientais limnológicas do reservatório de Curuá-Una entre os meses de maio de 2016 a maio de 2017.

Estações	Períodos	Profundidade	Transparência	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	pH	Turbidez	DBO	Fósforo Total	Clorofila-a
E1	Chuvoso	10,33±1,05	1,19±0,16	44,2±2,46	6,72±0,82	6,45±0,29	6,46±0,53	3,41±0,17	0,36±0,05	1,29±2,53
	Seco	8,98±1,22	1,27±0,16	47,42±17,58	5,57±0,77	6,73±0,31	6,12±1,91	3,24±1,07	0,3±0,09	2,21±1,19
E2	Chuvoso	9,25±0,92	1,26±0,17	73,27±36,90	5,63±0,81	6,31±0,17	6,54±1,52	4,03±1,21	0,45±0,18	0,94±0,50
	Seco	4,42±0,69	1,82±0,20	18,95±1,87	6,62±1,13	6,52±0,27	2,62±0,34	0,84±0,29	0,42±0,13	4,03±1,84
E3	Chuvoso	10,68±0,84	1,17±0,15	44,97±17,70	6,02±0,90	6,36±0,39	7,78±1,95	4,35±1,42	0,38±0,09	1,29±1,024
	Seco	5,73±0,49	1,98±0,13	21,46±2,29	7,09±1,20	6,74±0,28	2,66±0,28	0,43±0,17	0,72±0,62	5,23±3,2
E4	Chuvoso	10,2±0,64	0,93±0,078	25,23±10,4	6,04±1,07	5,36±0,33	12,05±1,07	2,90±0,95	0,3±0,09	1,20±0,40
	Seco	6,73±0,37	1,50±0,06	19,16±3,85	6,64±1,21	6,15±0,43	5,97±0,59	0,36±0,08	0,45±0,26	0,47±0,15
E5	Chuvoso	7,48±1,15	0,72±0,09	47,17±14,47	5,09±0,90	6,13±0,31	16,91±3,65	4,01±1,32	0,53±0,16	1,45±0,65
	Seco	4,37±0,66	1,51±0,16	19,97±3,46	5,99±0,84	6,06±0,11	3,50±0,61	0,40±0,21	2,61±2,42	1,59±0,69

Brazilian Journal of Development

3.2 DESCRIÇÃO DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA

A comunidade fitoplanctônica da UHE de Curuá-Una nas estações estudadas esteve composta por 214 espécies distribuídas em oito grupos taxonômicos, sendo 98 Chlorophyta, 70 Bacillariophyta, dois Cryptophyta, quatro Dinophyta, cinco Cyanophyta, 22 Euglenophyta, 11 Crysophyta e 3 Heterokontophyta. Deste total, 25% dos táxons foram identificados a nível específico e os valores máximo e mínimo da densidade total da comunidade foram de 6.763 ind.mL^{-1} e 42 ind.mL^{-1} respectivamente.

O grupo Chlorophyceae foi a melhor representada com 98 táxons, que correspondeu 39% da densidade total da comunidade e sua densidade média registrada neste estudado foi de 510 indivíduos.mL^{-1}. Observa-se na Tabela 2 e na Figura 2, que neste grupo apresenta uma variabilidade espaço-temporal significativa e as maiores densidades ocorrem nas estações 2 e 3 (reservatório) no período seco.

O grupo Cryptophyta foi responsável por 23% da densidade total da comunidade, distribuída em dois gêneros e densidade média para este grupo é aproximadamente 280 indivíduos.mL^{-1}. As maiores densidades ocorreram no período chuvoso (Figura 2B), essa observação é comprovada pela ANOVA (Tabela 2) que só ocorre diferença significativa entre a variação climatológica, enquanto a distribuição espacial é homogênea ao logo da área de estudo.

O grupo Bacillariophyta corresponderam 23% da densidade total, as quais estão distribuídos em uma classe, 18 gêneros e 18 espécies e a densidade média registrada foi de 533 indivíduos.mL^{-1}. Este grupo apresenta uma alta variabilidade espaço-temporal significativa (Tabela 2) e suas maiores densidades ocorrem na estação 3 (Figura 2F) no período chuvoso.

O grupo Chrysophyta representou 7% da densidade total, com 11 táxons, dois gêneros e três espécies. Não ocorre variação espaço-temporal significativa para este grupo (Tabela 2). Porém suas maiores densidades ocorreram na estação 5 no período seco e na estação 4 no período chuvoso (Figura 2G) e sua densidade média registrada neste foi 112 indivíduos.mL^{-1}.

O grupo das Cyanophyta apresentou uma divisão, uma ordem, uma família e um gênero, contribuído com apenas 4% da densidade total da comunidade e sua densidade média foi de 83 indivíduos.mL^{-1}. Esse grupo apresenta uma variação espacial com significância marginal (Tabela 2), e as maiores densidades observadas na estação 3 no período chuvoso (Figura 2D).

Euglenophyta corresponde a 2% da densidade total com 21 táxons pertencente a uma divisão, duas classes, três gêneros e duas espécies e sua densidade é muito baixa ao longo do período estudado, em média 28 indivíduos.mL^{-1}(Figura 2E). Entretanto, este grupo apresenta uma variação temporal significativa (Tabela 2) e suas maiores densidades ocorrem no período chuvoso.

O grupo das Dinophyta, contribui 2% da densidade total e apresentou quatro táxons sendo todos eles do mesmo gênero não podendo ser identificado a nível específico. Este grupo não apresentou diferenças significativas na distribuição espaço-temporal (Tabela 2) e suas maiores densidades ocorreram na estação 4 no período chuvoso (Figura 2C), sendo sua densidade média 30 indivíduos.mL^{-1}.

O grupo das Heterokonphyta foi a que apresentou menor contribuição com a densidade total, correspondendo a menos de 1%. Porém, apresenta uma distribuição espaço-temporal significativa (Tabela 2), suas maiores densidades ocorrem na estação 1 no período da seca (Figura 2F) e sua densidade média foi de 2 indivíduos.mL^{-1}.

Brazilian Journal of Development

Figura 2 - Distribuição espaço-temporal da composição fitoplanctônica por grupos taxonômicos no reservatório da UHE de Curuá-Una. A) Chlorophyta; B) Cryptophyta; C) Dinophyta; D) Cyanophyta; E) Euglenophyta; F) Bacillariophyta; G) Chrysophyta e H) Heterokontophyta.

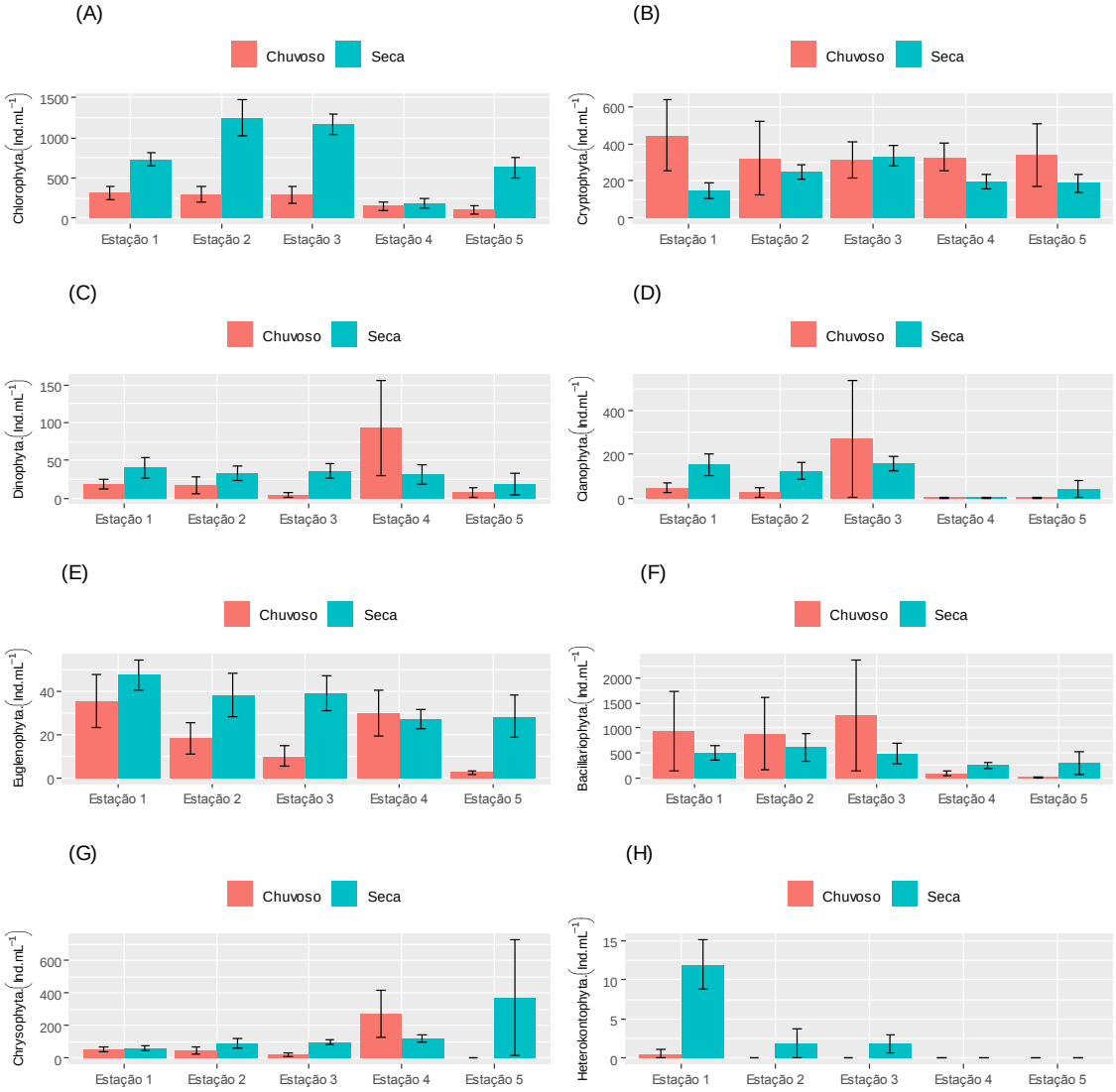


Tabela 2 - Resultado da análise de ANOVA *two-way* e teste de Tukey para comparação de médias, considerando como Fator 1 as variáveis do tempo (Variação climatológica) e o Fator 2 as variáveis do espaço (Estação de coleta). Efeitos significativos ($p < 0,05$) estão destacados em negrito.

Grupos	Tempo		Espaço		Interação		Comparações de média	
	F	p	F	p	F	p	Tempo	Espaço
Chlorophyta	**18,78**	**0,004**	**9,35**	**0,02**	3,13	0,12	Se>Ch	Re>Flu
Cryptophyta	**8,27**	**0,03**	0,8046	0,41	0,06	0,81	Ch>Se	-
Dinophyta	0,05	0,82	0,5824	0,47	2,21	0,19	-	-
Cianophyta	0,26	0,63	5,22	0,06	0,009	0,93	-	Re>Flu
Euglenophyta	**5,57**	**0,05**	1,668	0,24	0,36	0,57	Se>Ch	-
Bacillariophyta	**7,17**	**0,04**	**63,22**	**0,0001**	**21,65**	**0,003**	Ch>Se	Re>Flu
Chrysophyta	1,01	0,35	3,518	0,11	0,23	0,64	-	-
Heterokontophyta	9,11	0,013	15.49	0,0002	1,33	0,29	Se>Ch	Re>Flu

Nota: Ch = período chuvoso; Se = período seco; Re = reservatório; Flu = fluvial.

Brazilian Journal of Development

A análise de correspondência canônica (CCA) mostrou que a composição específica do fitoplâncton é fortemente influenciada pelas variáveis ambientais (CCA, F=5,9 p=0.002) e que o total de explicação (R^2 ajustado) das variáveis explicativas é de 88,2%. As variáveis ambientais consideradas significativas pelo teste Monte Carlo foram profundidade, turbidez, DBO, oxigênio dissolvido, fósforo total e clorofila-a (Tabela 3). O primeiro eixo é um gradiente de profundidade, turbidez e clorofila-a, esse gradiente explica 49,66% e enquanto o segundo eixo explica 35,6% formando um gradiente de turbidez, oxigênio dissolvido e DBO.

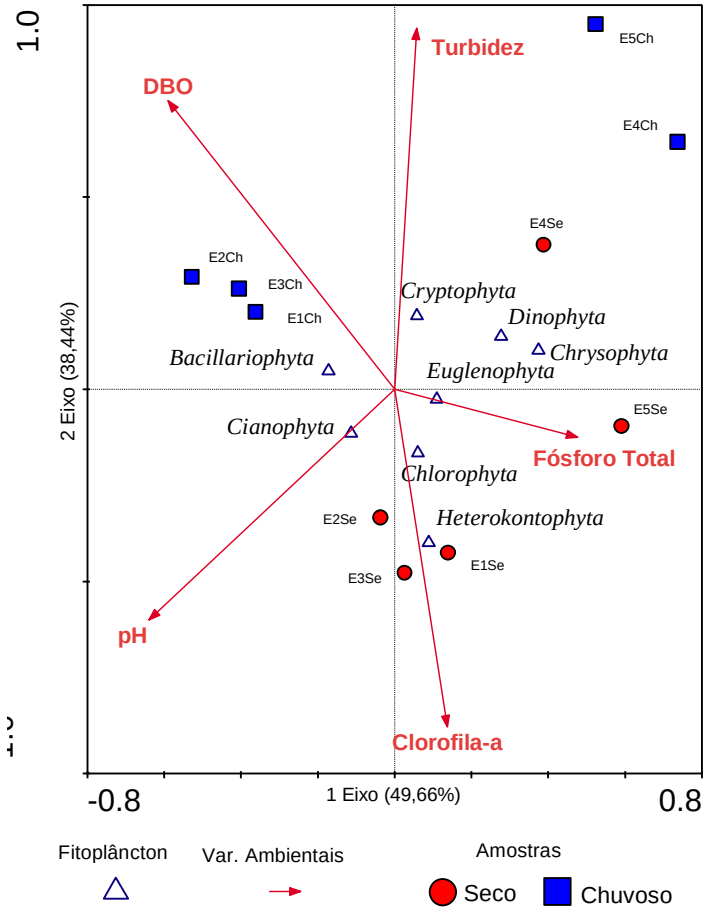
Na Figura 3, as densidades dos grupos taxonômicos de Euglenophyta, Dinophyta e Chrysophyta apresentam uma alta similaridade na estação seca, ambas estão fortemente associadas aos maiores valores de fósforo total na estação de coleta E4 e E8. As densidades de Cryptophyta está fortemente aos ambientes com altos valores de turbidez que ocorrem na estação chuvosa no reservatório. Quanto as densidades de Chlorophyta, Cianophyta e Heterokontophyta está fortemente associada as variáveis pH e clorofila-a na estação seca, observa-se também que as densidades dessas classes taxonômicas têm seu maior valor nas estações próximo a represa. O grupo Bacillariophyta, está fortemente associada com maiores valores de DBO e seus maiores densidade foram na estação chuvosa próximo a represa que caracteriza um ambiente lêntico.

Tabela 3 - Resumo estatístico dos resultados da análise de correspondência canônica CCA das variáveis ambientais e da comunidade fitoplanctônica.

	Eixo 1	Eixo 2
pH	-0,6395	-0,6006
Turbidez	0,0570	0,9393
DBO	-0,5902	0,7509
Fósforo total	-0,4769	-0,1247
Clorofila-a	0,1369	-0,8783
Autovalores	0,159	0,120
Correlação Espécies-Ambiente	0,95	0,97
Percentagem cumulativa da variância	49,66	88,10
R^2 ajustado	0,882	

Brazilian Journal of Development

Figura 3 - Diagrama de ordenação da análise de correspondência canônica (CCA) com as variáveis ambientais, comunidade fitoplanctônica e ordenação das estações amostrais



4 DISCUSSÕES

4.1 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Os resultados da variável transparência foram semelhantes aos trabalhos de Junk et al. (1981), Vieira e Darwich (1999) que verificaram uma variação de transparência da água entre 0,6 metros no rio Curuá-Una (montante), mantendo na própria represa valores médios entre 1,6 a 2,3 m, portanto não apresentando grande flutuação entre os anos estudados.

Os valores de condutividade elétrica no período de seca foram semelhantes aos dados de Junk et al. (1981) (11 a 28,4 $\mu S.cm^{-1}$), Vieira e Darwich (1999) (10,9 a 25,7 $\mu S.cm^{-1}$) e Gunkel et al. (2003) observou valores médios de 25 a 29,5 $\mu S.cm^{-1}$. No entanto, o valor médio de 73,27 $\mu S.cm^{-1}$ observado no presente estudo, ocorre no período chuvoso e podem estar associados ao aumento da ocupação humana no entorno do reservatório, que por consequência resulta em um maior aporte de sedimento na estação chuvosa.

Os dados de OD observados no presente estudo apresentaram padrões similares aos registrados por Junk et al. (1981) e Vieira e Darwich (1999) que observaram valores de OD

de 0,5 a 6 mg.L^{-1}. Enquanto Gunkel et al. (2003), observou um alto teor de oxigênio no epilimínio (0 a 3 m) de 5,5 mg.L^{-1}, bem como condições anóxicas no hipolimínio > 8 m de profundidade.

Com relação a variação de pH, os valores permaneceram semelhantes aos valores médios observados por Junk et al. (1981) (pH 4,1 a 5,4), Vieira e Darwich (1999) (pH 4,6 a 6,5) e Gunkel et al. (2003) (pH 5,2 a 6,8).

A variável turbidez pode estar refletindo as características regionais da nascente do rio Curuá-Una. Vieira e Darwich (1999) observam que o efeito diluidor das chuvas no rio Curuá-Una (E5) é atenuado pela lixiviacão e intemperismo dos solos mais ricos em minerais da cabeceira. Junk et al. (1981) apontam que o rio Curuá-Una no seu curso superior, atravessa as faixas carboniferas que são geoquimicamente mais ricas, enquanto que a bacia de captacão dos rios Moju e Mojuí (E4), situa-se, predorninantemente, em terrenos do Terciário, que são mais acidos e pobres em sais minerais.

O maior valor de DBO observado no E3 pode ter uma relação com a contribuição dos principais tributários do reservatório. Essa quantidade elevada de DBO no período chuvoso observado no presente estudo pode estar relacionada ao intensivo assentamento rural com áreas de pastagens e agricultura devido à crescente densidade populacional na região dos tributários rios Mojuí dos Campos e rio Moju registrados desde a década de 90 (GunkeL et al. 2003). Pois as microbacias hidrográficas da região vem sofrendo alterações com a expansão agropecuária, com a ocupação do uso do solo nas três últimas décadas, isto pode estar contribuindo para o assoreamento e o aporte de nutrientes para essas microbacias (Aguiar et al. 2014; Silva e Conceição 2017).

O maior valor de fósforo total no E5, é provável que esteja associada ao solo mais rico do rio Curuá-Una no seu curso superior. Junk et al. (1981), registraram valores que oscilaram entre 32 a 43,4 µg L^{-1}. Gunkel et al. (2003) registraram valores médios de fósforo total no epilímnio 0,021 mg.L^{-1} e no hipolímnio 0,033 mg.L^{-1}.

Os maiores picos de clorofila-a observados nesse estudo, ocorreram nos pontos centrais em direção a barragem, e como nessa area sofre influência da mesma, sua vazão controlada torna o ambiente lêntico na estação seca, e isso contribuiu para aumento dos valores de clorofila-a. E, aliado a menor perda de material químico e biológico pelas turbinas e vertedouros a montante do reservatório, pode ter estimulado a taxa de crescimento fitoplanctônico, o que explica as maiores concentrações de clorofila encontradas neste período e nessa área.

Estudos mais recentes apontam que o reservatório enquadra-se entre ultraoligotrófico a mesotrófico, mostrando-se uma tendência de aumento no seu estado trófico na estação seca com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos (Santos et al. 2018).

4.2 VARIABILIDADE FITOPLANCTÔNICA

A comunidade fitoplânctônica no ciclo anual foi caracterizada pela alta diversidade de táxons (214) no período seco, e sua densidade foi decrescendo e atingindo valores mínimos no período chuvoso. Os grupos taxonômicos com maior contribuição percentual, são representadas por Chlorophyta, Cryptophyta e Bacillariophyta juntas contribui aproximadamente 84% da densidade total. Para a região amazônica, essas três classes são as mais comuns e podemos citar alguns trabalhos onde essas classes foram registradas: Huszar e Reynolds, (1997); Melo e Huszar (2000); Raupp et al., (2009); Almeida e Melo, (2011) e Pereira et al. (2017).

O grupo Chlorophyta teve maiores densidade total relativas na estação seca. Essa classe é comum em ambientes aquáticos tropicais, sobretudo em ambientes lacustres e em muitos casos é um grupo dominante (Huszar e Reynolds 1997; Nabout et al. 2006). Os altos valores de fósforo total e clorofila-a contribuiu significativamente para o incremento da densidade de Chlorophyceae (Figura 6), pois essa forte associação no período de seca, ocasionou a maior dominância dessa classe diante das outras dentro desses reservatórios.

O grupo Cryptophytas tem apresentam uma maior contribuição em percentual para densidade total na estação chuvosa, e nessa estação de coleta ocorre os maiores valores de turbidez. A dominância desse grupo está associada a tolerância as baixas intensidades de luz, sendo encontradas, principalmente, em ambientes enriquecidos por nutrientes e com valores de transparência relativamente baixos (Figura 6), são também oportunistas no sentido que ocupam nichos recém-abertos em função de perturbações (Reynolds et al. 2002).

As densidades observadas para Bacillariophyta mostraram-se sempre presentes no período seco, nos trabalhos de Raupp et al., (2009) e Pereira et al., (2017) demostram que esse grupo apresenta maiores valores de riqueza e abundância de organismos ocorreram em período de águas baixas em lagos e em planícies de inundação amazônicos. Entretanto, foi observado a ocorrência de maior densidade de Bacillariophyta no mês de dezembro no início do período chuvoso, nesse período o reservatório ainda apresenta profundidades relativamente baixas onde há estabilidade fluvial, ou seja, essas maiores densidade pode estar associados a

estabilidade fluvial e menor profundidade. No trabalho de Pereira et al., (2017), demostraram que a variação da riqueza de *pinnularia* (Bacillariophyta) no lago tupé, pode estar associado com o efeito da circulação vertical sobre coluna d'água período de águas baixas, causando a suspensão do material de fundo. Esse efeito, pode estar associado as maiores densidade dessa classe quando ocorre maiores valores de BDO no reservatório (Figura 3), isso pode ter tornado as condições competitivamente favoráveis para essa classe que permitiu a sua proliferação nesse período e nas estações amostrais.

As Cianophyta apresentaram maior densidade em direção a represa, essa maior densidade coincide com os picos de clorfila-a nos pontos de E1, E2 e E3 no período seco, e apresenta uma forte associação com maiores valores de pH (Figura 6), nesse mesmo período de estabilidade hidráulica do reservatório. Segundo Mischke (2003), ambientes lacustres rasos são os habitats mais apropriados para o crescimento das cianobactérias, sendo que a maioria se encontra em águas neutroalcalinas, ou seja, valores de pH que variam entre 6,0 a 9,0. Este grupo ocorreram em baixas densidades neste estudo e abaixo do limite máximo de densidade estabelecido pela resolução do CONAMA 357 para classe 2 (água doce) é de até 50000 ind.mL^{-1} ou 5 mm^{3}.L^{-1}.

Na análises ANOVA e CCA, ficou bem claro que padrão de distribuição sazonal no reservatório de Curuá-Una é fortemente significativo, pois altos valores de densidade total na estação seca, coincidem com maiores valores de clorofila-a, fósforo total e também menores turbidez e profundidade. Nessa estação, há maior estabilidade hidrodinâmica assim reduz o choque com as partículas suspensas na coluna d´água que causa um estresse sobre as células fitoplanctônicas que contribuem para a diminuição da diversidade no período de cheia (Melo e Huszar 2000).

O padrão observado entre as classes Euglenophyta, Dinophyta e Chrysophyta, na estação amostral E4 (Figura 3), reflete as alterações antrópicas na região da suas microbacias hidrográficas, com a expansão agropecuária nas três últimas décadas (Aguiar et al. 2014; Silva e Conceição 2017).

Esses resultados aqui obtidos parecem demostrar que, os fatores regionais ligados a qualidade da água influenciam diretamente na composição e na densidade de espécies fitoplanctônicas. Pois a influência dos rios formadores de reservatórios pode contribuir para uma grande quantidade de aporte de nutrientes que é de fundamental importância para produtividade primária (Thornton et al. 1990).

Brazilian Journal of Development

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos sugerem que significativo o efeito da sazonalidade hidrológica, e que a variabilidade espacial apresentou uma distribuição longitudinal homogênea para comunidade fitoplanctônica. Tais mudanças no tempo são suficientes para alterar os processos biológicos, gerando um padrão de redundância funcional durante o período chuvoso, quando as condições ambientais são mais turbulentas.

Os grupos taxonômicos que apresentaram maior contribuição em percentual para comunidade fitoplanctonica foram as chlorophytas, Bacillariophytas e cryptophytas. As densidades totais da comunidade fitoplanctônica, apresentaram maiores estimativas na estação seca para todas estações amostrais no período estudado. As variáveis ambientais que contribui significativas que foram pH, turbidez, DBO, fósforo total e clorofila-a.

É importante salientar que é necessário um monitoramento maior que um ciclo anual, principalmente para maior entendimento sobre a diminuição da concentração de nutriente em comparação a trabalhos anteriores, que observaram uma condição eutrofica moderada após 23 anos do represamento. Logo, é de grande importância a continuidade do monitoramento para observar possíveis alterações pelo aumento da ação antrópica no reservatório.

AGRADECIMENTOS

Ao programa PRO-AMAZÔNIA através do Processo Nº 23038.009453/2013-01, às Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A (ELETRONORTE) da UHE de Curuá-Una pelo apoio logístico e ao Programa de Pós-Graduação de doutorado em Sociedade Natureza e Desenvolvimento da Universidade Federal do Oeste do Pará.

REFERÊNCIAS

Aguiar, CPO, Peleja JRP, Sousa, KNS. 2014. Qualidade da água em microbacias hidrográficas com agricultura nos municípios de Santarém e Belterra, Pará. **Revista Árvore**, 38(6):983-992. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000600003.

Almeida FF, Melo S. 2011. Phytoplankton community structure in an Amazon floodplain lake (Lago Catalão, Amazonas, Brazil). **Neotropical Biology and Conservation** 6(2): 112-123.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). 2020. Banco de Informações de Geração. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm (Acesso: 08 Janeiro 2020).

American Public Health Association (APHA). 2012. **Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater**. 22 ed. Washington.

Dubelaar GBJ, Geerders PJF, Jonker RR. 2004. High frequency monitoring reveals phytoplankton dynamics. **J. Environ. Monit.,** 6:946-952.

Edwards KF, Klausmeier CA, Litchman E. 2011. Evidence for a three-way tradeoff between nitrogen and phosphorus competitive abilities and cell size in phytoplankton. **Ecology,** 92(11):2085–2095.

ELETROBRAS. 2018. **Potencial Hidrelétrico Brasileiro,** Institucional. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Potencial-Hidreletrico-Brasileiro.aspx>. Acesso em: 12 jul. 2018.

Faria AMM. 2006. Hidroelétricas Amazônicas: Fontes energéticas apropriadas para o desenvolvimento regional? **Paper do NAEA,** 190:1-37.

Fearnside PM. 2015. Hidrelétricas e hidrovías na Amazônia: Os planos do governo brasileiro para a bacia do Tapajós. pp. 85-98. In: Fearnside, P. M. (Ed.). **Hidrelétricas na Amazônia: Impactos Ambientais e Sociais na Tomada de Decisões sobre Grandes Obras.** Vol. 2. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. 297pp.

Gunkel G, Lange U, Walde D, Rosa JWC. 2003. The environmental and operational impacts of Curuá-Una, a reservoir in the Amazon region of Pará, Brazil. **Lakes & Reservoirs: Research and Management.** 8:201–216.

Huszar VLM, Reynolds CS. 1997. Phytoplankton periodicity and sequences of dominance in an Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Pará, Brasil): Response to gradual environment change. **Hydrobiologia** 346:169-181.

Junk WJ, Robertson BA, Darwich AJ, Vieira I. 1981. Investigações limnológicas e ictiológicas em Curuá-Una, a primeira represa hidroelétrica da Amazônia Central. **Acta Amazonica**, 11(4):689-716.

Legendre P, Legendre L. 2012. **Numerical Ecology**, 3nd English edition. Elsevier, 853p.

Lund JWG, Kipling C, Le Cren D. 1958. The inverted microscope method of estimating algal numbers and statistical basis of estimating by counting. **Hydrobiologia** 11:143-170.

Melo S, Huszar VLM. 2000. Phytoplankton in an Amazonian floodplain lake (Lago Batata, Brasil): Diel variation and species strategies. **Journal of Plankton Research,** 22:63–76.

Mischke, U. 2003. Cyanobacteria associations in shallow polytrophic lakes: influence of environmental factors. **Acta Oecologica,** 24:511-523.

Nabout, J C, Nogueira IS, Oliveira LG. 2006. Phytoplankton community of floodplain lakes of the Araguaia River, Brazilian the rainy and dry seasons. **Journal Plankton Research**. 28(2):181–193.

Padisák J, Borics G, Grigorszky I, Soróczki-Pintér E. 2006. Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive: the assemblage index. ***Hydrobiologia,*** 553:1-14.

Pereira, AC, Torgan, LC, MELO S. 2017. Variação da riqueza de Pinnularia (Bacillariophyta) no lago Tupé (Bacia Amazônica) e sua relação com o ciclo hidrológico. **Biota Amazônia**, 7:15-18.

Raupp SV, Torgan L, MELO S. 2009. Planktonic diatom composition and abundance in the Amazonian floodplain Cutiuau Lake are driven by the flood pulse. **Acta Limnologica Brasiliensis,** 21(2):227-234.

Reynolds CS, Huszar VLM, Kruk C, Flores-Naselli L, MELO, S. Towards a funtional classification of the freshwater phytoplankton. **Journal of plankton research,** 24(5): 417-428. 2002.

Santos ES, Cunha AC, Cunha HFA. 2017. Usina Hidrelétrica na Amazônia e impactos socioeconômicos sobre os pescadores do município de Ferreira Gomes-Amapá. **Ambiente & Sociedade**. 20(4):197-214.

Santos, PRB. Zarzar, CA. Sousa, NSS. 2018. Avaliação do estado trófico atual do reservatório da Usina Hidrelétrica de Curuá-Una, a mais antiga represa construída na Amazônia central. **Biota Amazônia**. 8(4), p.45-48. http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v8n4p45-48.

Silva RGC, Conceição FS. 2017. Agronegócio e campesinato na Amazônia brasileira: transformações geográficas em duas regiões nos estados de Rondônia e Pará. **GEOgraphia**, 19(41): 54-72. https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2017.v19i41.a13819.

Ter Brak CJF, Smilauer P. 2002. **CANOCO reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide, Software for Canonical Community Ordination** (version 4.5), Biometris, Wageningen and Česke Budějovice, Netherlands, 500 p.

Thornton KW, Kimmel BL, Payne FE. 1990. **Reservoir Limnology: Ecological perspectives**. John Wiley & Sons Inc. 246 p.

Utermöhl H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton. Methodik. **Mitt int Ver theor angew Limnol,** 9:1-38.

Vale RS, Gomes ACS, Santana RAS, Tóta J, Miller SD, Sousa RAF. 2016. Hydroclimatic variables associated with El Nino and La Nina events at the Curuá-Una hydroelectric reservoir, Central Amazonia. **Acta Amazonica,** 46(3):303-308. http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201600083.

Vieira I, Darwich AJ. 1999. Sinecologia da ictiofauna de Curuá-Una, Amazônia: Características hidroquímicas, Climáticas, vegetação e peixes. **Acta Limnologica Brasiliensia,** 11(2):41-64.