



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - UFPI
CAMPUS SENADOR HELVIDEO NUNES DE BARROS



THAMIRES DA ROCHA

**BETA DIVERSIDADE DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA EM
AMBIENTE LÓTICO NA REGIÃO URBANO-RURAL DO MUNICÍPIO
DE ITAINOPÓLIS, PIAUÍ**

PICOS
2019

THAMIRES DA ROCHA

**BETA DIVERSIDADE DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA EM
AMBIENTE LÓTICO NA REGIÃO URBANO-RURAL DO MUNICÍPIO
DE ITAINOPÓLIS, PIAUÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Federal do Piauí, *Campus* Senador Helvídio Nunes de Barros, como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Lima Sales.

PICOS

2019

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Campus Senador Helvídeo Nunes de Barros
Biblioteca Setorial José Albano de Macêdo
Serviço de Processamento Técnico

R672b Rocha, Thamires da.

Beta diversidade da comunidade fitoplancônica em ambiente lótico na região urbano-rural do município de Itainópolis, Piauí. / Thamires da Rocha. -- Picos,PI, 2019.

40 f.

CD-ROM: 4 ¾ pol.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas). – Universidade Federal do Piauí, Picos, 2020.

“Orientador(A): Prof. Me. Dr. Paulo César Lima Sales.”

1. Fitoplâncton. 2. Algas. 3. Bioindicador. I. Título.

CDD 581.8

THAMIRES DA ROCHA

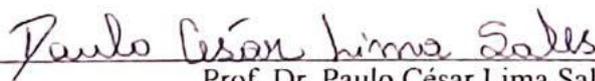
**BETA DIVERSIDADE DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA EM
AMBIENTE LÓTICO NA REGIÃO URBANO-RURAL DO MUNICÍPIO
DE ITAINOPÓLIS, PIAUÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da
Universidade Federal do Piauí, *Campus* Senador
Helvídio Nunes de Barros, como requisito parcial
para obtenção do grau de Licenciado em Ciências
Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Lima Sales.

Aprovado em 17/06/2019

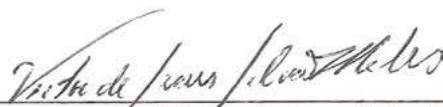
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Paulo César Lima Sales.
Universidade Federal do Piauí – UFPI/CSHNB



Profª. Dra. Waldim Alves da Rocha.
Universidade Federal do Piauí – UFPI/CSHNB



Prof. Dr. Victor de Jesus Silva Meireles.
Universidade Federal do Piauí – UFPI/CSHNB

Dedico todo esforço a graça de Deus concedida a mim para suportar e caminhar sem olhar para os lados, e sim para o foco. E ao esforço e ajuda da minha família nessa caminhada, ajudando com meu filho enquanto eu estava na sala de aula, e a todos que estiveram nessa empreitada.

AGRADECIMENTOS

Depois de uma longa jornada, de tantos anos em busca de mais oportunidade em meio a tantas controvérsias da vida, é preciso agradecer pelo fôlego de vida, pelas coisas simples da vida, pela família que deixamos em casa (especialmente minha mãe, meu pai, meus irmão e meu filho), pelos professores em especial meu orientador Paulo César, pelos amigos (em especial Esdras que me auxiliou no trabalho) encontrados e compartilhados tantos momentos, tantas alegrias, tristezas, lamúrias, mas que sem esses ingredientes não estaríamos aqui contemplando uma conquista, e essa conquista nos foi concedida pelo Senhor que fez os céus e a terra, DEUS, e a cada um de nós que sempre buscamos fazer a nossa parte e correr atrás de nossos sonhos.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

Muito Obrigada!

“Bem ou mal, coisa e tal, sobrevivi
Como Fênix renasci
Sou guerreiro de fé e por Deus abençoado
Lutei bravamente, fui coroado
Bem aventurado é aquele que crê
Na força divina, no seu poder
A fé na vitória tem que ser inabalável
E a fé do mano aqui é incontestável
Quantas vezes em meses chorei
Lágrimas de solidão derramei
Pensei em desistir, não prosseguir, e parar
Mas não, Deus me deu força pra continuar
O sofrimento também é uma escola
Glória ao pai pela vitória.”

(Dexter)

RESUMO

Algas fitoplanctônicas respondem rapidamente a mudanças ambientais e podem ser usadas como um indicador valioso da qualidade da água com gestão eficaz dos recursos hídricos e controle da poluição da água. Tendo em vista a importância da utilização de organismos bioindicadores na avaliação de qualidade ambiental o presente estudo tem como objetivos descrever a estrutura da comunidade em termos de composição e diversidade, bem como (b) testar o efeito das variáveis ambientais sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica. Amostras foram realizadas em 09 pontos de coletas no rio, onde foram mensurados *in situ* a temperatura da água, oxigênio saturado e dissolvido, pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos. Foi realizada uma RDA para identificar a influência das variáveis ambientais sobre os padrões de composição e densidade das espécies. Para verificar a relação táxon e ambiente, foi executado um escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS), sobre matriz de dissimilaridade de Bray-Cutis, para posicionar táxon e ambientes em um espaço de ordenação. Para verificar os padrões de diversidade beta, foi utilizada a abordagem SDR-simplex de Podani e Schmera (2011) para dados de presença e ausência (binários). Para o cálculo das estimativas de riqueza foram utilizados os estimadores Chao 2, Jackknife 1, Jackknife 2 e Bootstrap. Um teste de homogeneidade de dispersão multivariada (com 1000 permutações) foi utilizado para verificar a significância da diferença entre os ambientes. Para verificar como as amostras se relacionam segundo as variáveis utilizadas foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA). Os setores do rio apresentam características físicas e químicas semelhantes, mas apesar disso um *pool* de populações de algas tem certas preferências a determinados ambientes. No que se refere à composição algal registrada, *Oscillatoria annae*, *Spirogyra sp*, *Lepocinclis sp1* e *Pandorina sp* são os táxon melhores distribuídos ao longo do rio. O rio Itain possui alta diversidade beta para assembleias de algas, sendo que a substituição de espécies apresenta maior contribuição para a determinação dessa diversidade. Não foi encontrada evidência estatística significativa para apoiar a afirmativa de que a estrutura da comunidade de algas fitoplanctônicas está relacionada às condições físicas e químicas dos ambientes analisados ($P=0,134$).

Palavras-chave: Algas; Fitoplâncton; Rio Itain; Bioindicador

ABSTRACT

Phytoplanktonic algae respond quickly to environmental changes and can be used as a valuable indicator of water quality with effective management of water resources and control of water pollution. Considering the importance of the use of bioindicators in the evaluation of environmental quality, the present study aims to describe the community structure in terms of composition and diversity, as well as (b) to test the effect of environmental variables on the structure of the phytoplankton community. Sampling was carried out at 9 collection points in the river, where the water temperature, saturated and dissolved oxygen, pH, conductivity and total dissolved solids were measured in situ. A RDA was performed to identify the influence of environmental variables on species composition and density patterns. To verify the relationship between taxa and environment, a multidimensional non-metric (NMDS) scaling was performed on Bray-Cutis dissimilarity matrix to position taxa and environments in a spatial ordering space. To verify beta diversity patterns, the SDR-simplex approach of Podani and Schmera (2011) was used for presence and absence data (binary). In order to calculate the wealth estimates, the Chao 2, Jackknife 1, Jackknife 2 and Bootstrap estimators were used. A multivariate dispersion homogeneity test (with 1000 permutations) was used to verify the significance of the difference between the environments. To verify how the samples are related according to the variables used, a Principal Component Analysis (PCA) was performed. The river sectors have similar physical and chemical characteristics, yet a pool of algae populations has certain preferences for particular environments. As regards the registered algal composition, *Oscillatoria annae*, *Spirogyra* sp, *Lepocinclis* sp1 and *Pandorina* sp are the best taxa distributed along the river. The Itain river has high beta diversity for algae assemblages, and the substitution of species has a greater contribution to the determination of this diversity. No significant statistical evidence was found to support the assertion that the community structure of phytoplankton algae is related to the physical and chemical conditions of the analyzed environments ($P = 0.134$).

Keywords: Algae; Phytoplankton; Rio Itain; Bioindicator

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 12 |
| 2.1 | Algas | 12 |
| 2.2 | Fitoplâncton | 13 |
| 2.3 | Estrutura da comunidade fitoplanctônica e seu potencial bioindicador | 14 |
| 3 | METODOLOGIA E ESTRATEGIAS DE AÇÃO | 19 |
| 3.1 | Área de Estudo | 19 |
| 3.2 | Coleta de dados | 20 |
| 3.3 | Análise das amostras | 20 |
| 3.4 | Análise dos dados | 20 |
| 4 | RESULTADOS | 22 |
| 5 | DISCUSSÃO | 28 |
| 6 | CONCLUSÃO | 31 |
| | REFERÊNCIAS | 32 |
| | APÊNDICE | 36 |

1 INTRODUÇÃO

Ambientes aquáticos continentais são de suma importância para a sociedade humana, com relevantes papéis botânicos, zoológicos, ecológicos e econômicos (TUNDISI; TUNDISI, 2008). Atualmente, esses ecossistemas vêm sofrendo mudanças cada vez mais rápidas e com consequências danosas para a humanidade. Diante disso, organismos bioindicadores desempenham um papel importante na saúde dos ecossistemas aquáticos pela sua capacidade de indicação da qualidade da água (KADIM; PASISINGI; KASIM, 2018). Assim a utilização da comunidade fitoplanctônica de ambientes lóticos como indicadores ambientais vem crescendo a cada ano, devido à sua rápida resposta a alterações ambientais (BARINOVA et al., 2018; TUNDISI; TUNDISI, 2008).

A comunidade fitoplanctônica é o componente autotrófico do plâncton, sendo composto por pequenas algas. Ele pode estar presente tanto em ambientes lênticos, água parada, como em ambientes lóticos, água corrente (ESTEVES; SUZUKI, 2011). Já bioindicadores são fontes bióticas ou abióticas que reagem a mudanças ecológicas (PARMAR; RAWTANI; AGRAWAL, 2016). Em seu sentido mais comum, são organismos ou comunidades de organismos que fornecem informações sobre a qualidade do meio ambiente. As informações podem ser obtidas por seu conteúdo químico, estrutura morfológica, histológica, celular, processos metabólico-bioquímicos, comportamento ou estrutura da comunidade, incluindo as mudanças nesses parâmetros (MARKERT, 2010).

Vários estudos têm demonstrado o potencial bioindicador do fitoplâncton frente às mudanças naturais e antrópicas no ambiente. Barinova e Krupa, (2018) estudando fitoplâncton em lagos verificou que as variáveis ambientais interferem significativamente na estrutura da comunidade fitoplanctônica. Sakharova e Korneva (2018) pesquisando o fitoplâncton em diferentes ambientes lóticos e lênticos constataram que a estrutura da comunidade fitoplanctônica em grau de taxonomia está relacionada à profundidade e a temperatura das águas. Barinova e Chekryzheva (2014) estudando o potencial bioindicador do fitoplâncton observou que estes são altamente capazes de atuarem como bioindicadores, já que sua estrutura está ligada a qualidade da água, em termos de nutrientes e poluição.

Pesquisas com o fitoplâncton e seu potencial bioindicador têm sido realizadas em vários ambientes, desde corpos d'água lóticos a lênticos, e em várias regiões climáticas do planeta. No Brasil essas pesquisas têm sido realizadas principalmente na região Sul e Sudeste (ADLOFF et al., 2018; BASTOS et al., 2006), mas também com certo destaque para região Nordeste (SANTOS, 2008; VIEIRA, 2013). Contudo, para o Piauí, pesquisas com a

comunidade fitoplânctônica têm sido realizadas principalmente na região Centro-Norte do Estado (RODRIGUES; LEAL; OLIVEIRA, 2016), não havendo publicações para ambientes aquáticos no semiárido piauiense.

Tendo em vista a importância da utilização de organismos bioindicadores na avaliação de qualidade ambiental e seu conhecimento para o manejo de ambientes ameaçados, bem como o desconhecimento da dinâmica dessa comunidade em ambiente semiárido no estado do Piauí, o presente estudo tem como problema de pesquisa responder qual o efeito das variáveis ambientais na estruturação da comunidade fitoplanctônica do rio Itain em zona rural e urbana no município de Itainópolis, Piauí. Partiu-se da hipótese de que a estrutura da comunidade fitoplanctônica difere entre setores urbanos e não urbanos como respostas à diferença nos fatores físicos e químicos.

Dessa forma, a presente pesquisa tem como objetivos (a) descrever da estrutura da comunidade em termos de composição e diversidade, bem como (b) testar o efeito das variáveis ambientais sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica.

O presente trabalho está estruturado em quatro partes. A primeira consiste na revisão de literatura sobre os assuntos abordados na pesquisa. A segunda parte traz uma descrição detalhada da metodologia utilizada. A terceira parte é composta pelos resultados e discussões sobre as alterações da comunidade fitoplanctônica no Rio Itain frente às variáveis ambientais. A quarta e última parte consiste na conclusão do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Algas

O termo “alga” foi proposto oficialmente como uma categoria taxonômica em 1753, por Lineu, no clássico *Species plantarum*. Apresentado no plural, Algae, o termo nomeia uma das quatro ordens de criptógamos e incluía inicialmente catorze gêneros e duzentas e catorze espécies, porém apenas cinco gêneros e quarenta e oito espécies constituem o que hoje entendemos por algas. Os demais são representantes de líquens e de algumas hepáticas (BICUDO; MENEZES, 2006).

As algas constituem um grupo de organismos com ampla diversidade de formas, funções e estratégias de sobrevivência. Elas não possuem origem monofilética, conforme demonstrado, em especial, pela teoria da endossimbiose dos cloroplastos e das mitocôndrias e por estudos bioquímicos e de biologia molecular. Pode-se, então, conceituar algas como organismos fotossintéticos, que variam de uni a pluricelulares e cujos órgãos de reprodução (gametângios ou esporângios uni ou pluricelulares) não são envolvidos por camadas de células estéreis (BICUDO; MENEZES, 2010).

As algas desempenham um papel de suma importância na manutenção da saúde dos ecossistemas aquáticos, tanto de água doce como de ambientes marinhos. Elas são organismos fotossintéticos que retiram carbono do meio ambiente, além de ser uma importante fonte de alimento e contribuem para o ciclo de nutrientes existentes no meio aquático. A comunidade algal é bastante diversificada e são capazes de habitar uma grande variedade de ambientes aquáticos. Cada espécie possui requisitos fisiológicos específicos variando em sua resposta a parâmetros físicos e químicos da água, fazendo com que elas atuem como bioindicadores de mudanças ambientais (CASCADES; LAWLOR; LAWLOR, 2019).

As algas, eucariotas e cianobactérias, habitam quase todos os tipos de ecossistemas aquáticos, desde ambientes marinhos até continentais de água doce, tanto lóticos como lênticos. Elas também estão presentes em habitats terrestres úmidos, como solos e superfícies rochosas e possuem grande importância como produtores primários de matéria orgânica (WU et al., 2017). As algas podem se reproduzir vegetativamente ou desenvolver células reprodutoras especiais. Sua parede celular é constituída de sílica, proteínas, lipídios, celulose e outros polissacarídeos, os quais, combinados, produzem paredes celulares características e diversificadas (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

As algas planctônicas apresentam grande variedade de tamanho (desde microalgas à

macroalgas) e forma (TUNDISI; TUNDISI, 2008). Elas possuem morfologia simples, podendo variar de formas unicelulares isoladas, agregados de células, colônias, filamentos simples ou ramificados, pseudoparênquimas, cenócitos (estruturas multinucleadas) até parênquimas. Algumas formas unicelulares e coloniais podem ser móveis pela presença de flagelos, e nesse caso, frequentemente são confundidas com protozoários (BICUDO; MENEZES, 2010).

2.2 Fitoplâncton

O fitoplâncton é composto por organismos fotoautótrofos que vivem maior parte de seu ciclo de vida nas zonas pelágicas dos oceanos, rios, lagos e reservatórios. As algas fitoplanctônicas são em sua grande maioria unicelulares, apesar de muitas delas serem coloniais ou filamentosas, principalmente em água doce (PETRUK et al., 2015). Ele é um importantíssimo produtor primário, apresentando um papel crucial na estruturação das redes alimentares dessas zonas, devido à produção do carbono orgânico que suprema a mesma, sendo considerado à base de toda a cadeia alimentar em ambientes aquáticos abertos além de interagirem dinamicamente com indivíduos em níveis tróficos superiores no ecossistema. (ACEVEDO-TREJOS et al., 2015; FONGE B. A., 2012; REN et al., 2017; TUNDISI; TUNDISI, 2008).

O fitoplâncton é um grupo taxonômico funcionalmente importante, frequentemente utilizado na avaliação de lagos (ZHAO; DRAKARE; JOHNSON, 2019). A comunidade fitoplanctônica foi descoberta no final do século XIX pelo fisiologista alemão Johannes Müller, após ele filtrar água do mar com uma rede de malha fina. Com o passar dos anos, os métodos utilizados pelos pesquisadores foram sendo aperfeiçoados e, no início do século XX, ao invés de filtrarem, passaram a centrifugá-la. Em decorrência disso, foi descoberta a existência de organismos fitoplanctônicos até então desconhecidos, tais como o nanoplâncton e o picoplâncton. Para facilitar os estudos sobre o fitoplâncton, foi criada uma classificação levando em consideração o tamanho das células, porém os limites de tamanho destas podem variar de autor para autor. O fitoplâncton é classificado em: macroplâncton, mesoplâncton, microplâncton, nanoplâncton e picoplâncton ou ultraplâncton (ESTEVEZ; SUZUKI, 2011)

A comunidade fitoplanctônica não representa um grupo taxonômico formal de organismos, mas constitui uma coleção heterogênea de grupos formados por organismos em sua maioria fotoautotróficos que vivem suspensos todo seu ciclo e fase vegetativa na coluna d'água, com representantes em praticamente todos os grupos algais. Os grupos

distinguem-se uns dos outros com base numa combinação de características, incluindo pigmentos fotossintéticos, produtos de reserva, cobertura celular e outros aspectos da organização celular. A predominância de um ou de outro grupo em determinado ecossistema está diretamente ligado às características predominantes do meio no qual se encontram. Os principais grupos algais com representantes no fitoplâncton de água doce são: Cyanophyta, Chlorophyta, Charophyta, Euglenophyta, Heterokontas (incluindo diatomáceas, crisofíceas e xantofíceas), Chryptophyta e dinoflagelados (BICUDO; MENEZES, 2006; ESTEVES; SUZUKI, 2011; SHEATH; WEHR, 2003).

O fitoplâncton possui um papel vital nos ecossistemas aquáticos, já que eles são os produtores base das cadeias alimentares aquáticas, além de que as mudanças na comunidade fitoplanctônica são um bom indicador do estado trófico e da qualidade ambiental de onde são expostos. Mas para entender corretamente o ciclo de vida dessas algas e como elas respondem às mudanças ecológicas, é necessário ter conhecimento da distribuição deste, tanto temporal como espacialmente, em diferentes corpos de água e épocas do ano. Devido a sua alta riqueza de espécies, grande taxa de reprodução e ciclo de vida extremamente curto, as alterações na composição de espécies fitoplanctônicas são capazes de apontar um ambiente em mudança e indicam o status trófico da água permitindo o monitoramento desses ecossistemas a curto e também a longo prazo (LUU, 2017).

2.3 Estrutura da comunidade fitoplanctônica e seu potencial bioindicador

Devido ao seu curto tempo de vida a comunidade fitoplanctônica é a primeira a ser afetadas por pressões de eutrofização e excesso de nutrientes na água (OVASKAINEN et al., 2019). Com base nisso diversos estudos foram realizados com a finalidade de desenvolver organismos indicadores baseados no fitoplâncton. Um bioindicador é um organismo ou um conjunto de organismos, com um índice de integridade biótica multimétrica, isto é, indivíduos capazes de apontar características de diferentes elementos do ecossistema, como informações ecológicas relevantes em uma expressão geral da condição ambiental (REN et al., 2017).

Os bioindicadores respondem a diversos tipos de pressões, desde impactos de fontes pontuais locais a efeitos regionais de grande escala, mostrando as condições ambientais a que estão submetidos. Contudo para uma resposta mais precisa da saúde do ambiente aquático estudado através de bioindicadores, é preciso à integração de diversos táxons, com diferentes estratégias de história de vida em escalas de tempo variadas (OVASKAINEN et al., 2019). O fitoplâncton é um indicador biológico útil para determinação do grau de trófia e da qualidade

da água em ambientes lóticos e lênticos, fornecendo valores integrados por períodos de até vários meses ou até mesmo anos (STANISZEWSKI et al., 2018).

O crescimento do fitoplâncton está diretamente ligado tanto ao estado nutricional do ambiente no qual esta inserido, como a outros fatores ecológicos, por exemplo, a luminosidade que penetra nas águas e a temperatura da mesma, onde o declínio do status nutricional ou alterações no estado físico da água, invariavelmente afeta a taxa de crescimento da comunidade fitoplanctônica, concluindo assim que os organismos que compõe o fitoplâncton podem ser utilizados como indicadores de estresse ou desequilíbrio nutricional de ecossistemas aquáticos (KRUSKOPF; FLYNN, 2006). O fitoplâncton tem sido utilizado como bioindicador das condições de qualidade da água há mais de um século, usado mais especificamente para detectar insumos de poluição de nutrientes orgânicos em sistemas ribeirinhos levando como referencia as mudanças na composição das algas devido a poluição das águas e conseqüentemente o aumento nutrientes. (CASCADES; LAWLOR; LAWLOR, 2019).

As comunidades fitoplanctônicas são bastante diversificadas, sendo difícil prever onde haverá ocorrência da maioria das espécies que a compõe (KRUK et al., 2010). No entanto diversas abordagens têm sido utilizadas para prever assembleias fitoplanctônicas. Mais habitualmente, modelos calibrados com variáveis ambientais são utilizados para prever a composição da assembleia ou a biomassa total das assembleias fitoplanctônicas (ZHAO; DRAKARE; JOHNSON, 2019). Contudo podemos descrever a estrutura da comunidade fitoplanctônica em termos de riqueza específica, composição, frequência de ocorrência, densidade total e/ou relativa de classes, dominância, abundância, diversidade específica e funcional (ESTEVES; SUZUKI, 2011; FRANCESCHINI et al., 2009). Ela está associada à qualidade da água, em resposta aos níveis de salinidade, pH, cátions, nutrientes, poluição, transparência, assim coma a sua profundidade, onde essas condições devem favorecer grupos de espécies que possuem características adaptativas parecidas, no entanto essas espécies não são obrigatoriamente relacionadas quanto sua taxonomia (KRUK et al., 2010; ONYEMA, 2013; POURAFRASYABI; RAMEZANPOUR, 2014).

Segundo Masithah et al. (2019) o fitoplâncton é um excelente controlador da cor e da clareza das águas, também é capaz de aumentar o oxigênio dissolvido (OD), controlar o crescimento de macrofitas no fundo de lagos e rios, além de absorver a abundância de compostos orgânicos na água, como amônia, nitrogênio e nitrato.

Belokda et al. (2019) ao pesquisar o fitoplâncton observou que ele age mutuamente com o ambiente aquático onde vive, onde seus componentes estão diretamente relacionados

com as concentrações de diversos parâmetros físico-químicos da água, bem como com os principais nutrientes solúveis nela, sendo, portanto afetado por diversos fatores bióticos e abióticos presentes nesse ambiente. Sabendo disso, o estudo dos grupos funcionais do fitoplâncton tem sido utilizado na análise de alterações das comunidades relacionadas a distúrbios ambientais, a fim de que as informações possam ser aplicadas em futuras tomadas de decisão nas questões ambientais, já que ele é altamente sensível a mudanças nutricionais (FONGE B. A., 2012; FRANCESCHINI et al., 2009; REYNOLDS et al., 2002).

Devido ao seu curto ciclo de vida, algas fitoplanctônicas respondem rapidamente a mudanças ambientais e são, portanto, um indicador valioso da qualidade da água como gestão eficaz dos recursos hídricos e controle da poluição da água (WU; SCHMALZ; FOHRER, 2014). Qu, Wu, Guse e Fohrer (2018) estudando o fitoplâncton em rios de terras baixas constatou que as comunidades fitoplanctônicas ribeirinhas são valiosas bioindicadoras para avaliar qualidade da água nos sistemas aquáticos, uma vez que reagem a múltiplos estressores ecológicos. Singh e Sharma (2018) pesquisando o fitoplâncton em lagos verificou que as comunidades fitoplanctônicas não respondem apenas às mudanças naturais, mas também pode apresentar variações como consequência de intervenções humanas que afetam a água.

Duarte et al. (2017) estudando a comunidade fitoplanctônica constatou que devido ao seu curto tempo de vida, frequente distribuição e grande número de espécies predispostas ou tolerantes a mudanças ambientais, tanto naturais como antropogênicas, o fitoplâncton é um excelente bioindicador, pois este retrata mudanças em atributos estruturais como composição, riqueza e densidade assim como mudanças fisiológicas (concentração de pigmentos e teor de nutrientes). Já V e SUGANDHA (2019), procurando organismos capazes de indicar ambientes contaminados, tanto terrestres como aquáticos, verificou que o fitoplâncton era um ótimo Bio-Acumulador de cobre e zinco, apresentando uma alta concentração desses metais pesados que entram nos ecossistemas aquáticos em sua estrutura.

Segundo WU et al. (2017) as algas bêmicas e pelágicas são cada vez mais utilizadas como fontes indicadoras confiáveis para estudos ecológicos em córregos e rios em todo o planeta, já que respondem fortemente às mudanças ambientais devido apresentarem alta sensibilidade a mudanças ambientais, serem facilmente amostradas. Ovaskainen et al. (2019) observando os resultados do particionamento de variância da pesquisa por ele realizada concluiu que a eficiência dos bioindicadores pode variar entre escalas espaciais, e com isso sugeriu que bioindicadores pelágicos como, por exemplo, o fitoplâncton apresenta uma alta variância em sua estrutura quando submetidos a determinadas mudanças ambientais, variância

esta que pode ser explicada no nível do ponto de observação, portanto eles são os melhores em indicar as condições locais no qual estão expostos. No entanto, apesar do fitoplâncton ser considerado o melhor organismo para indicação de ambientes aquáticos o seu uso como uma ferramenta de biomonitoramento tem sido bastante negligenciado em todo o mundo, devido à carga financeira e dificuldade de identificação dos taxons, onde os seus resultados dependem de taxonomistas (CASCADES; LAWLOR; LAWLOR, 2019).

Petruk et al. (2015) estudando o fitoplâncton observou que as partículas que ficavam suspensas na água, mesmo que de diferentes espécies, eram bioindicadoras da poluição da água, concluindo que a correlação entre a concentração volumétrica dessas partículas com os parâmetros físicos e químicos da água era um critério de avaliação eficaz dos ambientes aquáticos, incluindo índices de biodiversidade, equilíbrio ecológico e bioindicadores integrados de impacto humano e industrial. Valeem e Leghari (2013) procurando um organismo indicador no grupo dos fitoplânctos que fosse capaz prever a qualidade da água com base na abundância desses organismos constatou que grande parte das espécies de diatomáceas é indicadora de locais perturbados, a que elas aumentam em abundância de acordo com o aumento de nutrientes, matéria orgânica e poluição geral dos ecossistemas aquáticos.

Ajayan e Ajit Kumar (2017) realizando estudos de correspondência canônica entre as variáveis ambientais e os bioindicadores do grupo das algas fitoplanctônicas, demonstrou que há uma grande influência dos parâmetros físicos e químicos na abundância e distribuição da comunidade fitoplanctônica, pois essas comunidades biológicas interagem com os efeitos ambientais da química da água. Eles ainda afirmam que o biomonitoramento compõe uma ferramenta importante na avaliação da saúde aquática, e que as algas fitoplanctônicas apresentam condições para se qualificarem como indicadores desses ambientes por serem organismos simples, capazes de demonstrar quantitativamente mudanças na qualidade da água, além de serem aplicáveis tanto em pequenas como em grandes áreas geográficas.

As algas fitoplanctônicas são organismos biomonitorais valiosos, possuindo uma elevada importância ecológica como base de cadeias alimentares tanto marinhas quanto continentais, e como bioindicadores de estresse tanto em condições naturais, como em eventos extremos de contaminação da água. A comunidade fitoplanctônica é a primeira a ser afetadas por agentes poluentes, devido seus componentes serem pequenas (0,2–200µm) células formadoras de cadeia simples suspensas na água, fazendo com que sua relação superfície-volume seja extremamente alta, respondendo assim quase que de imediato à substâncias tóxicas presentes no ambiente em particular, portanto, fornecem biomarcadores

sensíveis e eficazes de perturbações ambientais (DUARTE et al., 2019).

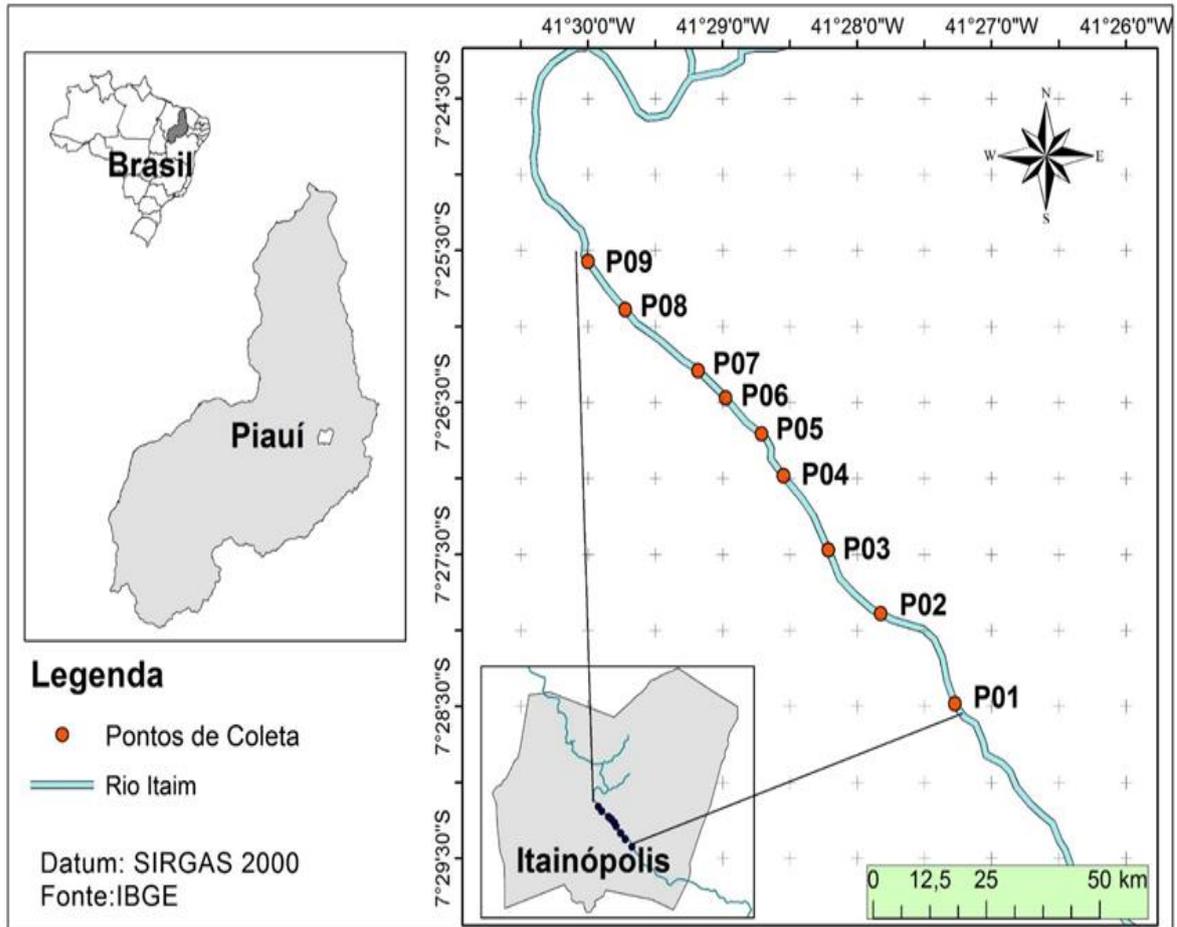
Sun et al. (2018) estudando o fitoplâncton verificou que a estrutura das algas está relacionada com as condições do ambiente aquático onde estão inseridas, onde os fatores físico-químicos, especialmente o hidrológico e trófico, interferem diretamente na dinâmica fitoplanctônica da comunidade em rios, concluindo assim que o fitoplâncton é um bom bioindicador da saúde da água, em relação á eutrofização e perturbações por metais pesados.

3 METODOLOGIA E ESTRATEGIAS DE AÇÃO

3.1 Área de Estudo

O estudo será realizado no rio Itaim, no perímetro urbano e rural da cidade de Itainópolis - PI, situada na sub-região Meio-Norte do nordeste brasileiro (figura 01). O município possui uma população de 11.343 habitantes e extensão territorial de 827,621 km² (BRASIL, 2018). O Rio Itaim é afluente do Canindé, que nasce a 700 m de altitude, no município de Curral Novo do Piauí (CEPRO, 2015).

Figura 01. Mapa da área de estudo, mostrando o local de coleta das amostras no rio Itaim, Itainópolis, Piauí.



Fonte: Google Earth. Adaptação: João Paulo

3.2 Coleta de dados

A coleta foi realizada em outubro de 2018. São nove pontos distribuídos de forma equidistante em três setores do rio: antes da zona urbana (Prézu), zona urbana (Zur) e após a zona urbana (Pószu) (tabela 01 apêndices).

Para a coleta do fitoplâncton, foi utilizada uma rede de plâncton de 28 μm . O material amostrado por rede foi fixado em solução Transeaux na proporção 1:1. Alíquotas de 100 mL de água foram amostradas e fixadas em solução lugol e posteriormente foram observadas em microscópio para verificar presença e ausência de algas.

Durante a amostragem, foram mensurados *in situ*: temperatura da água, oxigênio saturado e dissolvido, pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos e transparência da água por disco de Secchi. Alíquotas de 1 litro de água em duplicatas foram coletadas na subsuperfície da coluna de água para determinação da clorofila.

3.3 Análise das amostras

Para determinação da clorofila, filtros contendo o material retido foram macerados em almofariz com solvente acetona 90% e, em seguida, centrifugados a 3.000 rpm por 40 minutos. O sobrenadante foi lido em espectrofotômetro nos comprimentos de onda 750 nm e 663 nm de absorbância, acidificados com solução HCl 0,1 N, e em seguida feito uma nova leitura a 750 nm e 663 nm de absorbância. Os táxons foram identificados utilizando as bibliográficas de Bicudo e Menezes (2006) e Wehr e Sheath (2003).

3.4 Análise dos dados

Para o cálculo das estimativas de riqueza foram utilizados os estimadores Chao 2, Jackknife 1, Jackknife 2 e Bootstrap. Um teste de homogeneidade de dispersão multivariada (com 1000 permutações) foi utilizado para verificar a significância da diferença entre os ambientes. Para verificar como as amostras se relacionam, ou seja, o quão semelhantes são segundo as variáveis utilizadas foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA).

Para verificar a relação táxons e ambiente, foi executado um escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS), sobre matriz de dissimilaridade de Bray-Cutis, para posicionar táxons e ambientes em um espaço de ordenação. Foi realizada uma Análise de Redundância (RDA) para identificar a influência das variáveis ambientais sobre os padrões de composição e densidade das espécies e sobre esta foi realizada um teste de permutação (999

permutações) para verificar a significância das relações entre os componentes da diversidade beta e as variáveis ambientais.

Para verificar os padrões de diversidade beta, foi utilizada a abordagem SDR-simplex de Podani e Schmera (2011) para dados de presença e ausência (binários). A SDR-simplex decompõe os coeficientes de similaridade em índices de substituição (R), diferença de riqueza ou densidade (D) e similaridade (S), bem como seus complementares: diversidade beta (β), concordância (A) e aninhamento (N). Os componentes foram extraídos das matrizes de similaridade de Jaccard e Ruzicka, executados no software SDRsimplex.exe.

4 RESULTADOS

O estudo realizado com algas fitoplanctônicas no rio Itain demonstrou uma clara separação entre três setores distintos do rio: (Prézu) antes da zona urbana, (Zur) zona urbana e (Pószu) após a zona urbana.

A presente pesquisa realizada para verificar a riqueza de espécies no rio Itain permitiu a identificação de 29 táxons (Tabela 02), dos quais 26 ocorreram no setor Prézu, 11 na Zur e 14 na Pószu (Figura 02). O setor Prézu apresentou a maior especificidade de espécies, com 11 ocorrendo apenas nesse setor, com a menor especificidade registrada no setor Pószu (três espécies). O setor Zur não apresenta nenhuma especificidade para ele. Oito não apresentaram especificidade, sendo registras em todos os setores.

Tabela 02: Lista de táxons encontrados no rio Itain. (Prézu) antes da zona urbana, (Zur) zona urbana e (Pószu) após a zona urbana.

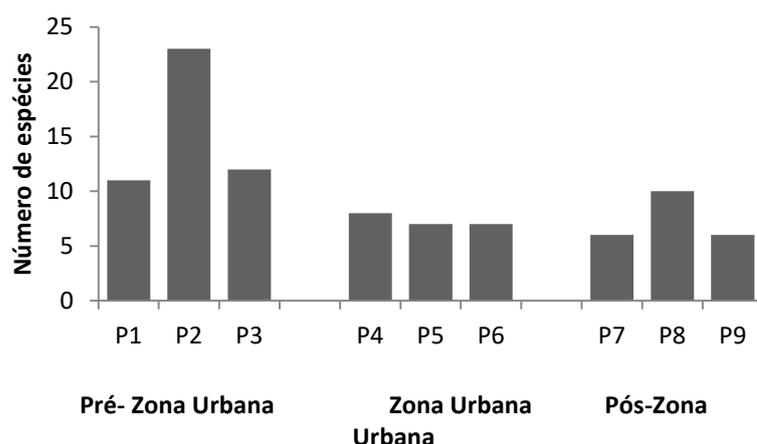
| Classe / espécie | Prézu | Zur | Pószu |
|---|-------|-----|-------|
| OEDOGONIOPHYCEAE | | | |
| <i>Oedogonio</i> Link ex Hirn <i>Sp1</i> | + | - | + |
| <i>Oedogonium</i> Link ex Hirn <i>sp2</i> | + | - | - |
| BACILLARIOPHYCEAE | | | |
| <i>Eunotia</i> Ehrenberg <i>sp1</i> | + | - | + |
| <i>Eunotia</i> Ehrenberg <i>sp2</i> | + | - | - |
| <i>Gonphonema</i> Ehrenberg <i>sp</i> | + | - | + |
| <i>Cocconeis</i> Ehrenberg <i>sp</i> | - | - | + |
| <i>Epithemia</i> Kützing <i>sp</i> | + | - | - |
| CYANOPHYCEAE | | | |
| <i>Calothrix</i> C. Agardh ex Bornet & Flahault <i>sp</i> | + | - | - |
| <i>Oscillatoria annae</i> Goor | + | + | + |
| <i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg | + | + | - |
| <i>Anabaena</i> Bory ex Bornet & Flahault <i>sp</i> | + | + | - |
| <i>Heteroleibleinia pusilla</i> (Hansgirg) Compère, nom. illeg. | + | - | - |
| <i>Oscillatoria</i> Vaucher ex Gomont <i>sp1</i> | + | - | - |
| Cyanophyceae Schaffner <i>sp</i> | - | - | + |
| EUGLENOPHYCEAE | | | |
| <i>Euglena</i> Ehrenberg <i>sp1</i> | + | - | - |
| <i>Phacus</i> Dujardin <i>sp</i> | + | - | - |
| Euglenophyceae Schoenichen <i>sp</i> | + | - | - |
| <i>Euglena acus</i> (O.F.Müller) Ehrenberg | + | - | - |
| <i>Lepocinclis</i> Perty <i>sp1</i> | + | + | + |
| <i>Trachelomonas</i> Ehrenberg <i>sp1</i> | + | + | + |
| <i>Lepocinclis</i> Perty <i>sp2</i> | + | + | + |
| <i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) F.Stein | + | + | - |
| <i>Lepocinclis</i> Perty <i>Sp3</i> | + | + | + |
| ZYGNEMAPHYCEAE | | | |
| <i>Cosmarium Corda ex Ralfs sp</i> | + | - | + |

| | | | |
|----------------------------------|---|---|---|
| <i>Spirogyra</i> Link <i>sp</i> | + | + | + |
| CHLAMYDOPHYCEAE | | | |
| <i>Volvox</i> Linnaeus <i>sp</i> | + | + | - |
| <i>Pandorina</i> Bory <i>sp</i> | + | + | + |
| DINOPHYCEAE | | | |
| Dinophyceae | + | + | + |
| CLOROPHYCEAE | | | |
| Clorophyceae | - | - | + |

Fonte: dados da pesquisa

A maior riqueza de espécies foi registrada no ponto P2 com 23 táxons e a menor foi registrada nos pontos P7 e P9, ambos com seis táxons, com variação de espécies. Quando analisado à riqueza de espécies entre os setores (Prézu – P1, P2 e P3; Zur – P4, P5 e P6; Pószu – P7, P8 e P9), o setor Prézu apresentou uma maior riqueza de espécies em comparação com Zur e Pószu (figura 02).

Figura 02. Gráfico de barras comparando de acordo com a riqueza de espécies os setores amostrados no rio Itain durante o período de estudo.



Fonte: dados da pesquisa.

Os estimadores de riqueza seguiram o mesmo padrão de variação da riqueza registrada anteriormente e apresentaram maiores valores, em geral, do que aqueles observados (tabela 03).

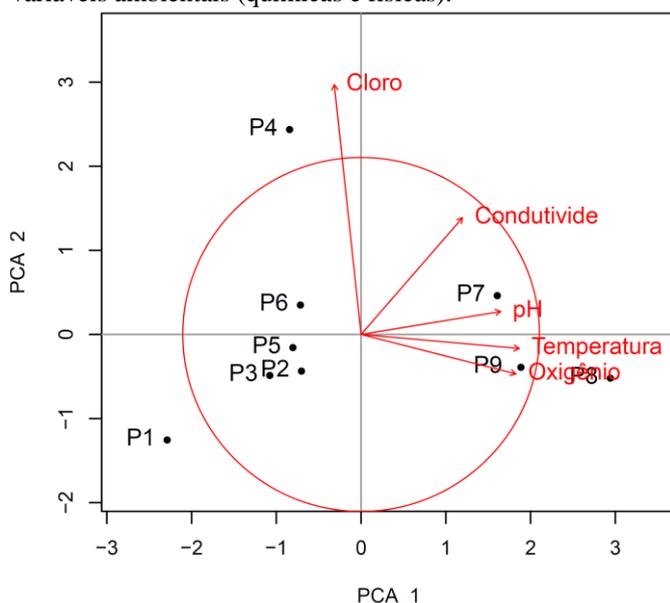
Tabela 03. Estimadores de riqueza para dados de presença/ausência de táxons de algas no rio Itain. Erro-padrão (\pm) mostrados para Chao2, Jackknife 1, Jackknife 2 e Bootstrap.

| Ambiente | Riqueza | CHAO 2 | Jackknife 1 | Jackknife2 | Bootstrap |
|----------|---------|------------|-------------|------------|------------|
| Prézu | 26 | 28 \pm 2 | 32 \pm 5 | 34 | 29 \pm 4 |
| Zur | 12 | 14 \pm 2 | 15 \pm 3 | 16 | 13 \pm 1 |
| Pószu | 14 | 19 \pm 5 | 19 \pm 4 | 21 | 16 \pm 2 |

Fonte: Dados da Pesquisa.

A Análise de componentes principais (PCA) realizada para representar graficamente como os ambientes (figura 03) estão ordenados de acordo com as variáveis ambientais (químicas e físicas) nos mostrou um gradiente de concentração da esquerda para a direita, começando com o setor (Prézu) formado pelos pontos P1, P2 e P3 que exibem os menores valores de condutividade e pH, sendo o ponto P1 o menos relacionado com essas variáveis. O segundo setor (Zur) composto pelos pontos P4, P5 e P6, possui os maiores valores no teor de clorofila, e os mais baixos na concentração de oxigênio. O terceiro setor (Pószu) formado pelos pontos P7, P8 e P9, mostram maior relação entre as variáveis condutividade, pH, temperatura e oxigênio, sendo o ponto P8 o menor relacionado com essas variáveis. A clorofila mostra o seu valor máximo em torno do ponto P4, depois esse valor vai diminuindo, e o pH, temperatura e oxigênio apresentam seus maiores valores em torno dos pontos P7 e P9.

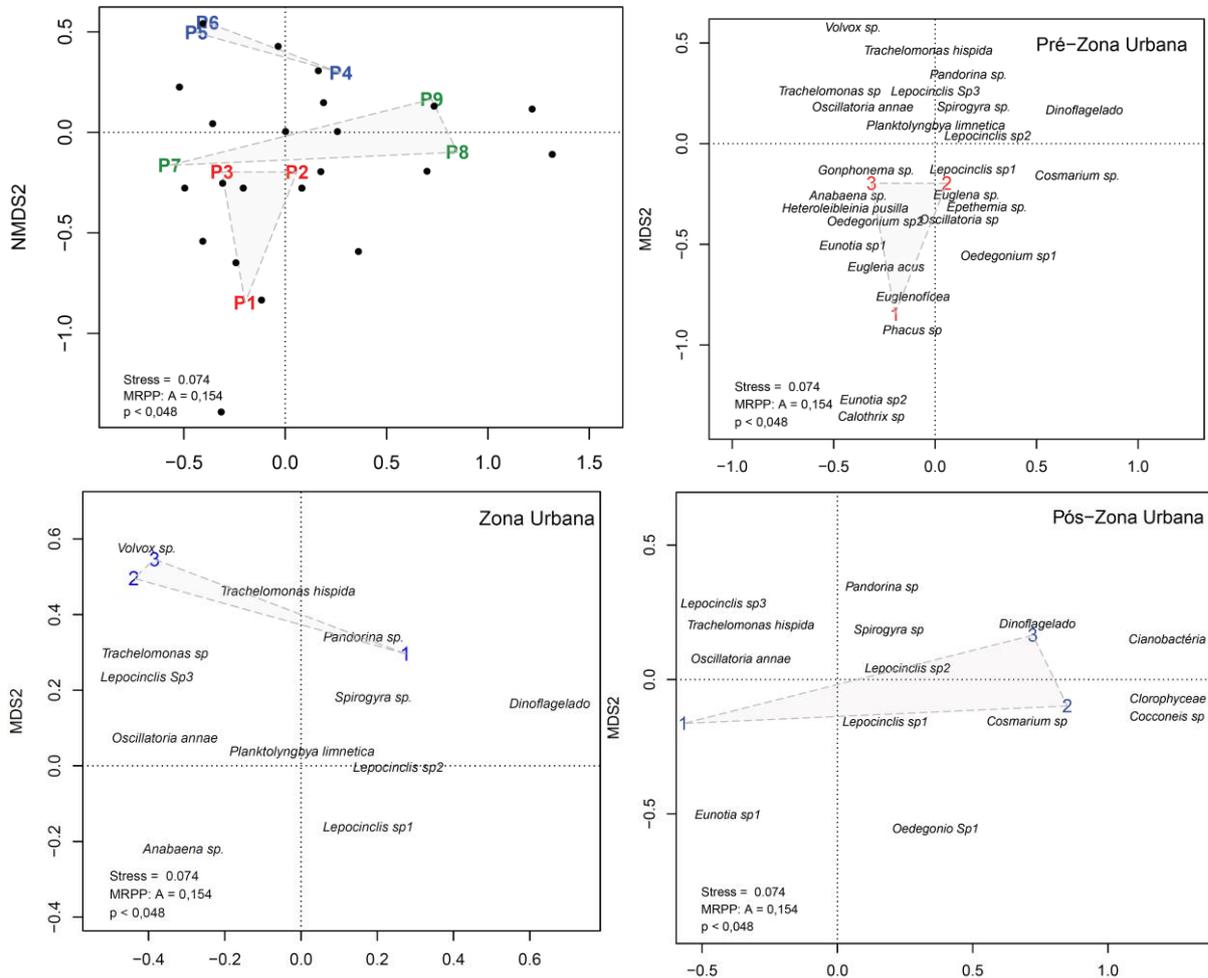
Figura 03: Análise de Componentes Principais representando como os pontos estão ordenados de acordo com as variáveis ambientais (químicas e físicas).



Fonte: Dados da pesquisa.

O escalonamento dimensional não-métrico (NMDS) (Gráfico 01), mostra os três setores (Prézu, Zur e Pószu) representados por polígonos. Prézu apresenta a menor dispersão entre os pontos (vermelho), representando uma maior variação na composição da assembleia. Pószu e Zur apresentam uma maior dispersão entre os pontos (verde e azul, respectivamente), indicando uma menor variação na composição. Segundo o STRESS observado no escalonamento (Stress = 0,074) pode-se afirmar que obtivemos uma boa ordenação dos táxons em relação ao ambiente.

Gráfico 01. Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) sobre de dissimilaridade de Bray-Cutis, para posicionar táxons de algas fitoplanctônicas em três ambientes: (Prézu) antes da zona urbana, (Zur) zona urbana e (Pószu) após a zona urbana. Cada polígono representa um ambiente identificado pela cor dos seus vértices: vermelho (Prézu), azul (Zur) e verde (Pószu).

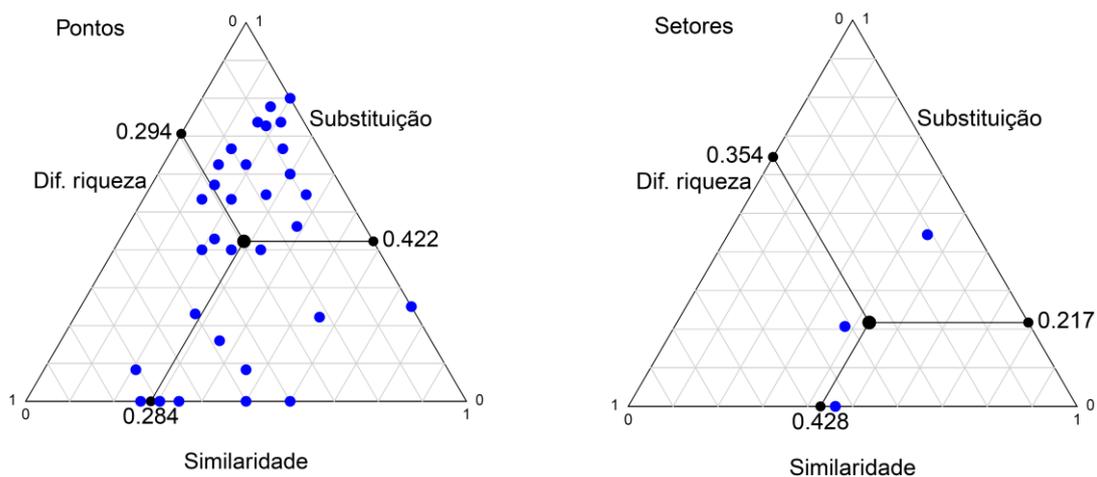


Fonte: dados da pesquisa.

A análise de redundância (RDA) realizada para verificar a influência das variáveis ambientais sobre os padrões de composição das espécies demonstrou que a correlação entre elas é muito fraca (R^2_{aj} : 0,167), indicando não haver uma relação significativa entre a composição das espécies e as variáveis físicas e químicas no presente estudo. *A posteriori* foi aplicado o teste Global de Permutação (999 permutações) para conferir a significância das relações entre composição de espécies e variáveis ambientais, mas este também não apresentou resultados significativos ($F = 1,3212$; $P = 0,134$).

A análise espacial da diversidade beta para todos os ambientes pesquisados revelou alto valor para a substituição no rio Itain (42,2%), considerando-se os índices de Jaccard (Gráfico 02).

Gráfico 02. SDR-simplex da comparação entre ambientes e entres setores amostrados no rio Itain durante o período de estudo, mostrando os valores para a similaridade e para os componentes da diversidade beta. O Ponto preto maior no centro do gráfico representa o centroide dos pontos. Os demais pontos representam distribuição dos táxons, cuja posição é determinada pelos valores da similaridade, substituição e diferença de riqueza. Os pontos pretos nas arestas representam o percentual de cada componente (Similaridade, Substituição e Diferença na riqueza). Valores de Similaridade, Substituição e Diferença na riqueza são baseados na matriz de dissimilaridade de Jaccard para dados de presença/ausência.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Essa taxa de substituição, juntamente com as taxas de diferença de riqueza, contribuiu para o alto valor da diversidade beta do rio Itain ($\beta_J = 72\%$), (Tabela 04).

Tabela 04. Partição da diversidade gama (γ) em seus componentes aditivos para o rio Itain durante o período de estudo. Valores obtidos a partir da matriz de dissimilaridade de Jaccard para dados binários. Similaridade (Sim), Substituição (Sub), Diferença de Riqueza (DifR), Beta (Diversidade beta).

| | Sim | Sub | DifR | Beta (DifR+Sub) | Aninhamento (Sim+DifR) | Concordância (Sim+Sub) |
|---------|------------|------------|-------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Pontos | 28,4 | 42,2 | 29,4 | 71,6 | 57,8 | 70,6 |
| Setores | 42,8 | 21,7 | 35,4 | 57,1 | 78,2 | 65,5 |

Fonte: Dados da pesquisa.

A SDR-simplex revelou baixa taxa de similaridade no período considerado, com valor de 28,4% (Gráfico 02). Por outro lado, o seu componente complementar (a diversidade beta) apresentou alto valor de 71,6% durante o período (tabela 04).

A substituição apresentou alta taxa, quando comparada com a similaridade e diferença de riqueza, com um valor de 42,2%. Dessa forma, a substituição obteve maior contribuição do que a diferença de riqueza para a diversidade beta, levando-se em consideração que ambos

são componentes da diversidade beta. A substituição apresentou, ainda, valor um pouco menor do que o aninhamento, que é o seu componente complementar (tabela 04). Assim, pode-se dizer que a assembleia do fitoplâncton apresentara taxa balanceada de substituição e aninhamento. Nota-se ainda que a concordância de riqueza entre os setores é alta (70,6%), por sua vez, o seu componente complementar (diferença de riqueza), apresenta uma baixa taxa, com valor de 29,4% (tabela 04).

A SDR-simplex realizada para comparar a diversidade beta entre os setores (gráfico 02) demonstrou uma alta similaridade entre eles (42,8%), acompanhado de uma diferença de riqueza de 35,4%. A substituição entre os setores se demonstrou baixa (21,7%), em contrapartida a taxa de aninhamento entre os setores é elevada, apresentando um percentual de 78,2% (tabela 04). O teste de homogeneidade de dispersões multivariadas realizado não mostrou diferença significativa nos padrões de diversidade beta entre os setores ao longo do rio Itain.

5 DISCUSSÃO

No presente estudo realizado no rio Itain foi observado uma riqueza total de 29 táxons. Os estimadores de riqueza, nos dá à vantagem de extrapolar a riqueza observada tentando assim estimar a riqueza total com base em uma amostra incompleta de uma comunidade biológica, indicando números maiores de riqueza do que os registrados durante a pesquisa (PROVETE; SILVA; SOUZA, 2011). Isto pode estar relacionado ao esforço amostral que não foi grande o suficiente para registrar maior número de espécies (MAGURRAN, 2004). No geral, levando em consideração todos os pontos estudados, a composição de espécies apresentou poucos táxons comuns aos dois ambientes, o que mostra baixa similaridade biótica entre eles.

Em relação à PCA, o biplot mostra que as variáveis são organizadas em grupos. O menor composto apenas por uma única variável, localizado na parte esquerda da biplot mostra que a concentração de clorofila é muito alta, apresentando maior índice de concentração no ponto P4 seguido do ponto P6, Esse fato pode esta relacionada com o fato da água se encontrar com uma correnteza muito fraca, quase parada, no local. A parte direita do diagrama mostra que as variáveis condutividade, pH, temperatura e oxigênio estão melhor associadas ao setor Pószu, mostrando-se bem destríbuida entres eles. Nota-se ainda que o pH exibe uma seta mais curta, mostrando sua menor importância para a ordenação do setores no plano de ordenação.

Com relação ao escalonamento dimensional não-métrico (NMDS), observa-se que o setor pós zona urbana (Prézu) apresenta uma menor dispersão entre os pontos, representando uma maior variação na estrutura da assembleia, em termos de composição e riqueza de espécies. Pószu e Zur apresentam uma maior dispersão entre os pontos, indicando uma menor variação na estrutura da assembleia. Assim, quando a dispersão é baixa há um o aumento da diferença de riqueza de espécies entre os pontos de cada setor. Em contra partida, se a dispersão é elevada a diferença de riqueza entre os pontos do setor tende a sofrer reduções (CARVALHO; CARDOSO; GOMES, 2012). Notamos ainda uma certa associação entre os polígonos, apontando que os três ambientes compartilham algumas características estruturais entre suas assembleias, tanto para composição, quanto para riqueza de espécies, isso deve esta relacionado com a semelhança das variáveis químicas e físicas compartilhada entre os ambientes.

Na Análise de redundância (RDA) realizada não foi achado para esse estudo uma relação significativa entre às variáveis ambientais e a resposta da composição das espécies (F

= 1,380; $P = 0,134$), onde a mesma demonstrou uma fraca correlação entre as variáveis físicas e químicas e a composição do ambiente. Nossos resultados não estão de acordo com outros estudos realizados na área, Heino, Melo e Bini, (2015), por exemplo, afirma que as variáveis ambientais funcionam como um filtro, selecionando as espécies que melhor se adapta às condições ambientais de cada ambiente, onde a composição das espécies é totalmente controlada pela variação ambiental.

Alguns fatores podem ter interferido na significância dos nossos dados, como por exemplo, a não inclusão de dados de nutrientes e falta de dados de abundância das espécies. Segundo Kruskopf e Flynn (2006) o crescimento do fitoplâncton está diretamente ligado tanto as variáveis físicas e químicas, como ao estado nutricional do ambiente no qual está inserido, principalmente do fósforo e do nitrogênio. A não inclusão dos dados de nutrientes ocorreu devido à falta de reagentes para a realização das análises e a ausência de dados de abundância decorreu da falta de um microscópio invertido para a realização da contagem dos indivíduos.

Segundo Heino, Melo e Bini, (2015) as variáveis ambientais funcionam como um filtro, selecionando as espécies que melhor se adapta às condições ambientais de cada ambiente, onde a composição das espécies é controlada pela variação ambiental.

Os resultados obtidos na presente pesquisa demonstram que a diversidade β pode ser facilmente acessada pela abordagem SDR-simplex de Podani et al. (PODANI; RICOTTA; SCHMERA, 2013; PODANI; SCHMERA, 2011). Em assembleias de algas do rio Itain, constatou-se que a substituição de espécies apresenta maior contribuição para a determinação da diversidade beta espacial quando comparada com a diferença de riqueza. O número de substituições de espécies entre os ambientes (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9) foram maiores do que o número de perdas ou ganhos (diferença de riqueza). A substituição de espécies também apresentou maior contribuição para a diversidade beta em outros estudos, tanto em comunidades de algas (ISSA et al., 2014) como em outras comunidades, cladóceros e plantas aquáticas (VIANA et al., 2016), peixes (PELÁEZ; AZEVEDO; PAVANELLI, 2017) e insetos (BISHOP et al., 2015).

Porém, quando analisado os padrões de diversidade beta e de seus componentes direcionado aos setores (Prézu, Zur e Pószu), observamos que, diferente de quando analisamos por ambientes, a similaridade assim como a diferença de riqueza entre eles é alta, e a substituição mostra-se baixa, o que nos permite concluir que a taxa de aninhamento entre os setores é elevada, e que a maior contribuição para a diversidade beta vem da diferença de riqueza quando comparada com a substituição. As diferenças de riqueza são resultados de perdas ou ganhos de espécies entre ambientes pré-determinados, advindos de mecanismos

como extinção seletiva, colonização, da limitação de dispersão e etc. Assim, quando a dispersão é limitada a diferença de riqueza de espécies entre os ambientes aumenta. Por outro lado, se a dispersão é alta a diferença de riqueza tende a reduzir (CARVALHO; CARDOSO; GOMES, 2012).

Por meio do teste de homogeneidade de dispersões multivariadas, a pesquisa testou se houve diferenças nos padrões de diversidade beta entre os setores ao longo do rio Itain. Foi verificado que apesar de visualizarmos uma maior contribuição para determinação da diversidade beta espacial, a diferença no padrão de diferença de riqueza e substituição entre os setores do rio não é significativa ($F = 0,134$; $P = 0,844 > 0,05$ e $F = 0,295$; $P = 0,954 > 0,05$ respectivamente).

6 CONCLUSÃO

A presente pesquisa voltada para o estudo da estruturas de algas fitoplanctônicas no rio Itain localizado na cidade de Itainópolis, Piauí mostrou que:

- a) Os setores do rio apresentam características físicas e químicas semelhantes, mas apesar disso um *pool* de populações de algas tem certas preferências a determinados ambientes.
- b) Táxons como *Euglena acus*, *Epithemia sp*, *Eunothia sp2*, *Heteroleibleinia pusilla* e *Calothrix sp* estão presente unicamente no setor pré zona urbana (Prézu). Também se notou que *Cocconeis sp* e duas espécies não identificadas sendo uma pertencente ao grupo das Clorofíceas e outra das cianobactérias tem preferencia pelo setor pós zona urbana (Pószu).
- c) No que se refere à composição algal registrada, *Oscillatoria annae*, *Spirogyra sp*, *Lepocinclis sp1* e *Pandorina sp* são os táxons melhores distribuídos ao longo do rio.
- d) O rio Itain possui alta diversidade beta para assembleias de algas, sendo que a substituição de espécies apresenta maior contribuição para a determinação dessa diversidade.
- e) As variáveis ambientais não exercem influência sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica no rio Itain. Não foi encontrada evidência significativa para apoiar a afirmativa de que a estrutura da comunidade de algas fitoplanctônicas está relacionada às condições físicas e químicas dos ambientes analisados.

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO-TREJOS, E. et al. Mechanisms shaping size structure and functional diversity of phytoplankton communities in the ocean. **Scientific Reports**, v. 5, n. 1, p. 8918, 9 ago. 2015.
- ADLOFF, C. T. et al. Analysis of the phytoplankton community emphasizing cyanobacteria in four cascade reservoirs system of the Iguazu River, Paraná, Brazil. **RBRH**, v. 23, n. 23, 1 fev. 2018.
- AJAYAN, A. P.; AJIT KUMAR, K. G. Phytoplankton as biomonitors: A study of Museum Lake in Government Botanical Garden and Museum, Thiruvananthapuram, Kerala India. **Lakes and Reservoirs: Research and Management**, v. 22, n. 4, p. 403–415, 2017.
- BARINOVA, S. et al. THE APPLICATION OF PHYTOPLANKTON IN ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE BALKHASH LAKE (KAZAKHSTAN). **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 16, n. 3, p. 2089–2111, 2018.
- BARINOVA, S.; CHEKRYZHEVA, T. Phytoplankton dynamic and bioindication in the Kondopoga Bay, Lake Onego (Northern Russia). **Journal of Limnology**, v. 73, n. 2, 3 mar. 2014.
- BASTOS, I. C. DE O. et al. Utilização de Bioindicadores em Diferentes Hidrossistemas de uma Indústria de Papeis Reciclados em Governador Valadares - MG. **Engenharia sanitária ambiental**, v. 2, n. 3, p. 203–211, 2006.
- BELOKDA, W. et al. First assessment of phytoplankton diversity in a Moroccan shallow reservoir (Sidi Abderrahmane). **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 3, p. 431–438, mar. 2019.
- BICUDO, C. E. D. M.; MENEZES, M. O que são algas? In: **Genêros de algas de águas continentais do Brasil**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2006. p. 1–2.
- BICUDO, C. E. D. M.; MENEZES, M. As algas do Brasil. In: FORZZA, R. C. (Ed.). **Catálogo de plantas e fungos do Brasil [online]**. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio: Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2010. v. 1p. 49–60.
- BISHOP, T. R. et al. Contrasting species and functional beta diversity in montane ant assemblages. **Journal of Biogeography**, v. 42, n. 9, p. 1776–1786, set. 2015.
- BRASIL. **IBGE Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 2 set. 2018.
- CARVALHO, J. C.; CARDOSO, P.; GOMES, P. Determining the relative roles of species replacement and species richness differences in generating beta-diversity patterns. **Global Ecology and Biogeography**, v. 21, n. 7, p. 760–771, 2012.
- CASCADES, N.; LAWLOR, M. P.; LAWLOR, M. A Multivariate Analysis of the Relationship Between the Water Quality Conditions and Algal Species Composition of Six Mountain Lakes in the By. 2019.

DUARTE, B. et al. Ecotoxicity of the lipid-lowering drug bezafibrate on the bioenergetics and lipid metabolism of the diatom *Phaeodactylum tricornutum*. **Science of The Total Environment**, v. 650, p. 2085–2094, fev. 2019.

DUARTE, I. D. et al. Water quality of a coastal lagoon (ES, Brazil): abiotic aspects, cytogenetic damage, and phytoplankton dynamics. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 11, p. 10855–10868, 14 abr. 2017.

ESTEVEZ, F. A.; SUZUKI, M. S. Comunidade fitoplanctônica. In: ESTEVES, F. A. (Ed.). **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciencia/FINEP, 2011. p. 375–446.

FONGE B. A. Phytoplankton diversity and abundance in Ndop wetland plain, Cameroon. **African Journal of Environmental Science and Technology**, v. 6, n. 6, p. 247–257, jun. 2012.

FRANCESCHINI, I. M. et al. **Algas**: uma abordagem filogenética, taxonômica e ecológica. [s.l.] Artmed Editora, 2009.

HEINO, J.; MELO, A. S.; BINI, L. M. Reconceptualising the beta diversity-environmental heterogeneity relationship in running water systems. **Freshwater Biology**, v. 60, n. 2, p. 223–235, 2015.

ISSA, A. A. et al. Spatio temporal and environmental factors influencing macroalgal β diversity in the Red Sea, Egypt. **Botanica Marina**, v. 57, n. 2, 1 jan. 2014.

KADIM, M. K.; PASISINGI, N.; KASIM, F. Spatial and Temporal Distribution of Phytoplankton in Biscayne Bay , Florida. **AAFL Bioflux**, v. 11, n. 3, p. 833–845, 2018.

KRUK, C. et al. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. **Freshwater Biology**, v. 55, n. 3, p. 614–627, mar. 2010.

KRUSKOPF, M.; FLYNN, K. J. Chlorophyll content and fluorescence responses cannot be used to gauge reliably phytoplankton biomass, nutrient status or growth rate. **New Phytologist**, v. 169, n. 3, p. 525–536, fev. 2006.

LUU, P. T. **The seasonal and spatial variations of phytoplankton communities in correlations with environmental factors in the dong nai river**, Vietnam. P. 149–161, 2017.

MAGURRAN, A. Measuring biological diversity Blackwell Science. **Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment**. Oxford, v. 105, 2004.

MARKERT, B. Bioindication and Biomonitoring as Innovative Biotechniques for Controlling Trace Metal Influence to the Environment. **Trace Elements as Contaminants and Nutrients: Consequences in Ecosystems and Human Health**, p. 44–48, 2010.

MASITHAH, E. D. et al. Dynamic ratio correlation of N:P toward phytoplankton explosions in intensive systems of white shrimp pond. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 236, p. 012019, 1 mar. 2019.

ONYEMA, I. C. Phytoplankton bioindicators of water quality situations in the Iyagbe lagoon, South-western Nigeria. **Acta SATECH**, v. 4, n. 2, p. 93–107, 2013.

OVASKAINEN, O. et al. Long-term shifts in water quality show scale-dependent bioindicator responses across Russia – Insights from 40 year-long bioindicator monitoring program. **Ecological Indicators**, v. 98, n. August 2018, p. 476–482, mar. 2019.

PARMAR, T. K.; RAWTANI, D.; AGRAWAL, Y. K. Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. **Frontiers in Life Science**, v. 9, n. 2, p. 110–118, 2 abr. 2016.

PELÁEZ, O. E.; AZEVEDO, F. M.; PAVANELLI, C. S. Environmental heterogeneity explains species turnover but not nestedness in fish assemblages of a Neotropical basin. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 29, 11 dez. 2017.

PETRUK, V. et al. **The method of multispectral image processing of phytoplankton processing for environmental control of water pollution**. (R. S. Romaniuk, W. Wojcik, A. Smolarz, Eds.) Optical Fibers and Their Applications 2015. Disponível em: <<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.2229202>>

PODANI, J.; RICOTTA, C.; SCHMERA, D. A general framework for analyzing beta diversity, nestedness and related community-level phenomena based on abundance data. **Ecological Complexity**, v. 15, p. 52–61, 2013.

PODANI, J.; SCHMERA, D. A new conceptual and methodological framework for exploring and explaining pattern in presence-absence data. **Oikos**, v. 120, n. 11, p. 1625–1638, 2011.

POURAFRASYABI, M.; RAMEZANPOUR, Z. Phytoplankton as bio-indicator of water quality in Sefid Rud River, Iran (South of Caspian Sea). **Caspian Journal of Environmental Sciences**, v. 12, n. 1, p. 31–40, 2014.

PROVETE, D. B.; SILVA, F. R.; SOUZA, T. G. **Estatística aplicada à ecologia usando o R**. São José do Rio Preto - SP: Universidade Estadual Paulista, 2011.

QU, Y. et al. Riverine phytoplankton shifting along a lentic-lotic continuum under hydrological, physiochemical conditions and species dispersal. **Science of the Total Environment**, v. 619, p. 1628–1636, 2018.

REN, L. et al. Phytoplankton Index of Biotic Integrity and Reference Communities for Barnegat Bay–Little Egg Harbor, New Jersey: A Pilot Study. **Journal of Coastal Research**, v. 78, p. 89–105, out. 2017.

REYNOLDS, C. S. et al. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **Journal of plankton research**, v. 24, n. 5, p. 417–428, 2002.

RODRIGUES, E. I.; LEAL, C. B.; OLIVEIRA, M. DA C. P. DE. Interação entre fatores ambientais e fitoplâncton como ferramenta de Educação ambiental no curso de licenciatura em Ciências Biológicas Ufpi / Ead. **Revista da SBEnBio**, n. 9, p. 1917–1924, 2016.

SAKHAROVA, E. G.; KORNEVA, L. G. Phytoplankton in the Littoral and Pelagial Zones of the Rybinsk Reservoir in Years with Different Temperature and Water-Level Regimes.

Inland Water Biology, v. 11, n. 1, p. 6–12, 12 jan. 2018.

SANTOS, M. L. M. N. **Estrutura e Dinâmica do fitoplâncton e bacterioplâncton em cultivos de camarão no Rio Grande do Norte-Brasil: Impacto sobre o ambiente**. [s.l.: s.n.].

SHEATH, R. G.; WEHR, J. D. Introduction to the Freshwater Algae. In: KOMÁREK, J.; KLING, H.; KOMÁRKOVÁ, J. (Eds.). . **Freshwater Algae of North America**. [s.l.] Elsevier, 2003. p. 1–11.

STANISZEWSKI, R. et al. Temporal and Spatial Variations of Trophic Status of a Small Lowland River. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 28, n. 1, p. 329–336, 20 nov. 2018.

SUN, L. et al. Distribution of phytoplankton community and its influence factors in an urban river network, East China. **Frontiers of Environmental Science & Engineering**, v. 12, n. 6, p. 13, 19 dez. 2018.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. A Ecologia dinâmica das populações e comunidades vegetais aquáticas. In: **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 167–208.

V, C. S.; SUGANDHA, S. Determination of Bioconcentration factor (BCF) for copper and zinc in Pongamia pinnata plant and Blumea malcolmii plant signifying their role as bioindicators of soil contamination. v. 23, n. 4, p. 31–35, 2019.

VALEEM, E. E.; LEGHARI, M. K. **INDICATIVE ALGAE OF ISLAMABAD, PAKISTAN**. v. 9, n. 25, p. 21–28, 2013.

VIANA, D. S. et al. Assembly mechanisms determining high species turnover in aquatic communities over regional and continental scales. **Ecography**, v. 39, n. 3, p. 281–288, mar. 2016.

VIEIRA, C. P. S. **Comunidade fitoplanctônica como discriminador ambiental em açude eutrófico tropical semiárido (Barragem Armando Ribeiro Gonçalves, RN) e divulgação científica para reflexão social**. Natal: [s.n.].

WU, N. et al. Using river microalgae as indicators for freshwater biomonitoring: Review of published research and future directions. **Ecological Indicators**, v. 81, n. June, p. 124–131, out. 2017.

WU, N.; SCHMALZ, B.; FOHRER, N. Study progress in riverine phytoplankton and its use as bio-indicator--a review. **Austin J. Hydrol**, v. 1, n. 1, p. 1–9, 2014.

ZHAO, X.; DRAKARE, S.; JOHNSON, R. K. Use of taxon-specific models of phytoplankton assemblage composition and biomass for detecting impact. **Ecological Indicators**, v. 97, n. May 2018, p. 447–456, 2019.

APÉNDICE

Tabela 01- Coordenadas de cada ponto de coleta.

| PONTOS | LATITUDE | LONGITUDE |
|---------------|-----------------|------------------|
| P1 | 7°28'30.2"S | 41°27'16.2"W |
| P2 | 7°27'53.3"S | 41°27'47.7"W |
| P3 | 7°27'28.4"S | 41°28'12.1"W |
| P4 | 7°27'00.1"S | 41°28'33.1"W |
| P5 | 7°26'43.2"S | 41°28'41.0"W |
| P6 | 7°26'26.9"S | 41°28'57.3"W |
| P7 | 7°26'16.2"S | 41°29'11.1"W |
| P8 | 7°25'50.0"S | 41°29'38.9"W |
| P9 | 7°25'31.4"S | 41°29'56.2"W |

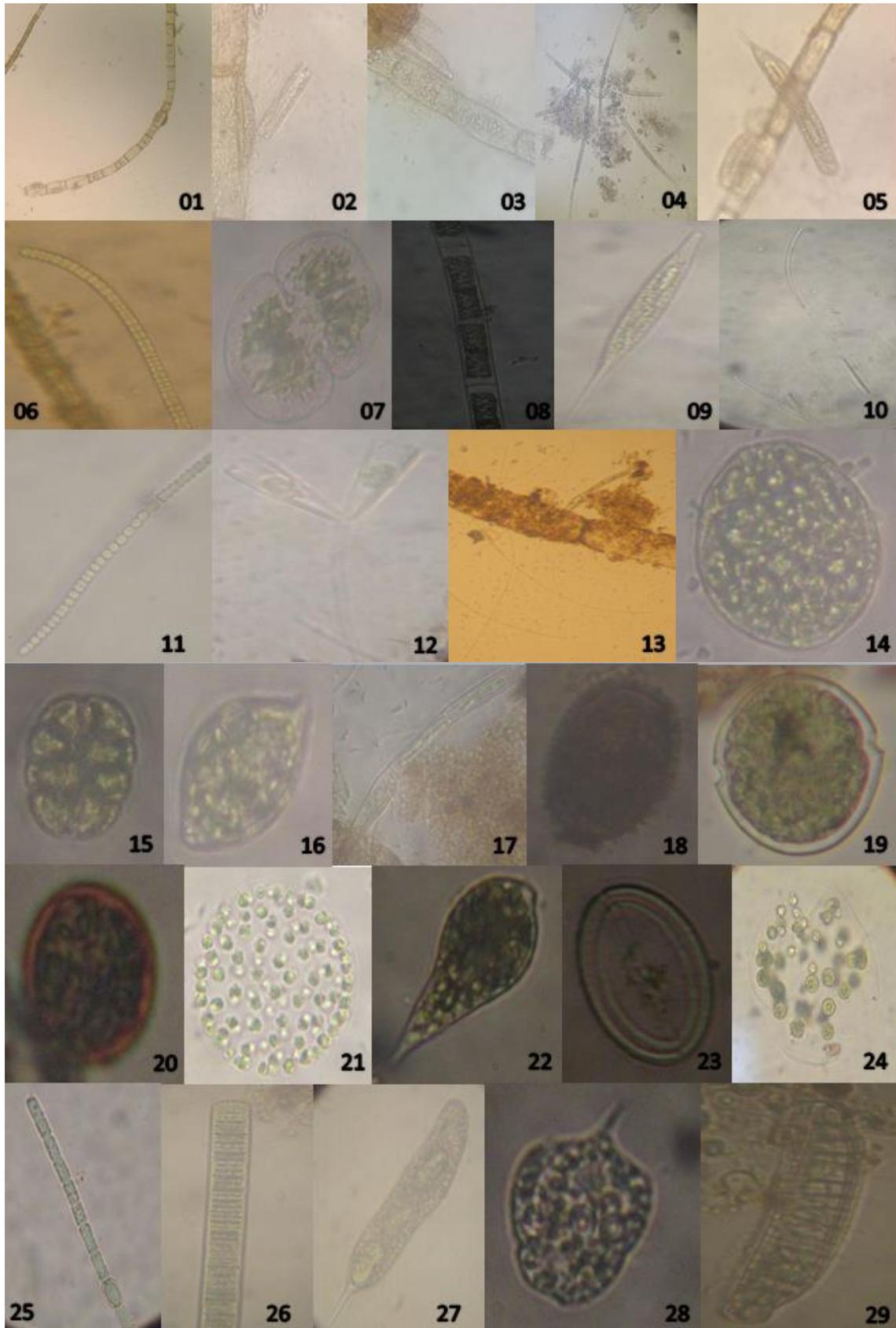
Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 2: Lista de táxons identificados.

| Nº | Acrônimo | Classe/Gênero/Espécie |
|----|----------|---------------------------------|
| 01 | OEDsp1 | <i>Oedegonium sp1</i> |
| 02 | EUNsp1 | <i>Eunotia sp1</i> |
| 03 | EUNsp2 | <i>Eunotia sp2</i> |
| 04 | CALsp1 | <i>Calothrix sp</i> |
| 05 | EUGLEN | Euglenophyceae |
| 06 | OSCan | <i>Oscillatoria annae</i> |
| 07 | COSsp1 | <i>Cosmarium sp</i> |
| 08 | SPIsp1 | <i>Spirogyra sp</i> |
| 09 | EUGacu | <i>Euglena acus</i> |
| 10 | PLAlim | <i>Planktolyngbya limnetica</i> |
| 11 | ANAsp1 | <i>Anabaena sp</i> |
| 12 | GONsp1 | <i>Gonphonema sp</i> |
| 13 | HETpus | <i>Heteroleibleinia pusilla</i> |
| 14 | LEPsp1 | <i>Lepocinclis sp1</i> |
| 15 | PANsp1 | <i>Pandorina sp</i> |
| 16 | LEPsp2 | <i>Lepocinclis sp2</i> |
| 17 | OEDsp2 | <i>oedegonium sp2</i> |
| 18 | TRAhis | <i>Trachelomonas hispida</i> |
| 19 | DINOFL | Dinoflagelado |
| 20 | TRAsp1 | <i>Trachelomonas sp1</i> |
| 21 | VOLsp1 | <i>Volvox sp</i> |
| 22 | LEPsp3 | <i>Lepocinclis Sp3</i> |
| 23 | COCsp1 | <i>Cocconeis sp</i> |
| 24 | CLOROP | Clorophyceae |
| 25 | CIANOB | Cianobactéria |
| 26 | OSCsp1 | <i>Oscillatoria sp1</i> |
| 27 | EUGsp1 | <i>Euglena sp1</i> |
| 28 | PHAsp1 | <i>Phacus sp</i> |
| 29 | EPEsp1 | <i>Epethemia sp</i> |

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 4: Imagens dos táxons identificados de acordo com a tabela 2.



Fonte: Dados da pesquisa



**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DIGITAL NA BIBLIOTECA
"JOSÉ ALBANO DE MACEDO"**

Identificação do Tipo de Documento

- () Tese
() Dissertação
() Monografia
() Artigo

Eu, Thamires da Rocha,
autorizo com base na Lei Federal nº 9.610 de 19 de Fevereiro de 1998 e na Lei nº 10.973 de 02 de dezembro de 2004, a biblioteca da Universidade Federal do Piauí a divulgar, gratuitamente, sem ressarcimento de direitos autorais, o texto integral da publicação Bita diversidade da comunidade fitoplânctônica em ambiente lótico na Região urbano-rural do município de Picos-PI. de minha autoria, em formato PDF, para fins de leitura e/ou impressão, pela internet a título de divulgação da produção científica gerada pela Universidade.

Picos-PI 12 de Fevereiro de 2021.

Thamires da Rocha
Assinatura

Assinatura