

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAROLINE ARRUDA DE MELO

**ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS POR MEIO DA
FLUORESCÊNCIA DA FICOCIANINA NO RESERVATÓRIO PIRAQUARA II,
PARANÁ**

CURITIBA

2018

CAROLINE ARRUDA DE MELO

ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS POR MEIO DA
FLUORESCÊNCIA DA FICOCIANINA NO RESERVATÓRIO PIRAQUARA II,
PARANÁ

Trabalho de Conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia
Ambiental da Universidade Federal
do Paraná, apresentado como
requisito parcial para a obtenção de
Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Michael Mannich

CURITIBA

2018



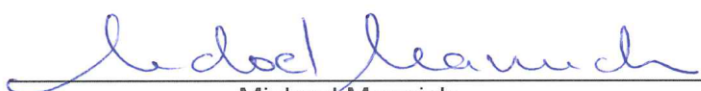
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL

CAROLINE ARRUDA DE MELO

ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS POR MEIO DA FLUORESCÊNCIA DA FICOCIANINA NO RESERVATÓRIO DE PIRAQUARA II

Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota 5,5, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a): 
Michael Mannich
Departamento de Engenharia Ambiental / UFPR

Membro(a) 1: 
Cynara de Lourdes da Nobrega Cunha
Departamento de Engenharia Ambiental / UFPR

Membro(a) 2: 
Tobias Bernward Bleninger
Departamento de Engenharia Ambiental / UFPR

Curitiba, 2 de julho de 2018

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por todo apoio incondicional, por sempre acreditarem em mim e sempre depositarem doses diárias de amor e de incentivo para que tudo fosse concluído.

Ao meu professor orientador Michael Mannich, por estar sempre disponível para sanar dúvidas, ouvir desabaços e me guiar no caminho certo.

Aos meus amigos, por estarem presentes em todos os momentos, compartilhando alegrias e tristezas, graças a Deus os momentos felizes prevaleceram nesse nosso caminho.

Ao meu coorientador Maurício Bergamini Scheer, que sempre se mostrou muito motivado com a área da pesquisa e sempre esteve disponível na medida do possível para me ajudar em diversos pontos.

A todos meus professores, que de alguma forma conseguiram contribuir com um pouco de seu conhecimento para que uma base fosse formada.

RESUMO

Por receber todo o material proveniente de uma bacia hidrográfica, os reservatórios apresentam alguns problemas relacionados à qualidade. A super nutrição da água com nutrientes como o fósforo e o nitrogênio acelera o processo de eutrofização nos reservatório e causa alguns problemas com relação ao abastecimento de água devido à liberação de toxinas por algas e cianobactérias. As sondas multi paramétricas permitem a quantificação de diversos parâmetros de qualidade de água de maneira simultânea. Se estimou uma correlação entre a concentração de ficocianina estimada pela sonda multiparamétrica TriLux e as contagens de células de cianobactérias estimadas em laboratório. O coeficiente de determinação obtido da relação entre a concentração de ficocianina e de células de cianobactérias foi de $R^2 = 0,3402$, que foi relativamente baixo, indicando que ainda não é possível obter uma correlação que se apresente satisfatória para esses dois parâmetros analisados. Foram coletadas com o auxílio da sonda, a concentração de turbidez, ficocianina e clorofila a ao longo de todo o reservatório e feita uma estimativa da concentração de células de cianobactérias ao longo dos pontos coletados. O método de interpolação utilizado para a estimativa de concentrações que apresentou melhor comportamento foi o *kriging*. Foi possível observar maiores concentrações de células de cianobactérias nas proximidades das barragens e consequentemente maiores concentrações de nutrientes próximos nessa região, com a hipótese de que o fluxo de todo o reservatório seguir no sentido da mesma, e consequentemente apresenta maiores florações nessas regiões. A turbidez se mostrou alta em regiões onde a presença de cianobactérias era baixa, o que pode ser explicado por problemas de leitura pela sonda. As bacias que apresentaram maiores contribuições de fósforo como Vossoroca e Capinaíba, podem estar relacionadas com as regiões que possuem focos pontuais de altas concentrações de cianobactérias.

Palavras-chave: Sondas multiparamétricas, Reservatório do Piraquara II, cianobactérias.

Sumário

ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE CIANOACTÉRIAS POR MEIO DA FLUORESCÊNCIA DA FICOCIANINA NO RESERVATÓRIO PIRAQUARA II, PARANÁ.....	1
1 INTRODUÇÃO.....	7
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo geral.....	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 Qualidade da água.....	12
3.2 Eutrofização dos corpos hídricos	14
3.3 Cianobactérias.....	15
3.4 Temperatura e estratificação térmica	17
3.5 Parâmetros e qualidade da água	18
3.6 Mapeamento da ficocianina.....	20
4 MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1 Caracterização da área de estudo	25
4.1.1 Caracterização do reservatório do Piraquara II	26
4.1.2 Características da Bacia Hidrográfica	26
4.1.2.1 Uso e ocupação do solo.....	27
4.1.2.2 Climatologia.....	29
4.1.2.3 Cobertura vegetal	29
4.1.2.4 Subdivisão das bacias	30
4.2 Estratégias de amostragem.....	30
4.2.1 Calibração da sonda	33
4.2.2 Amostragem e contagem de cianobactérias	35
4.2.3 Georreferenciamento dos dados obtidos.....	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
6 CONCLUSÃO	48
7 REFERENCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

Por apresentarem uma transição entre o sistema lótico e o lêntico, os reservatórios possuem características diferenciadas com relação a processos químicos, físicos e biológicos. Esses corpos hídricos recebem todo o material proveniente das interações entre os rios e as bacias hidrográficas, e acabam apresentando alguns problemas relacionados com a qualidade da água.

A qualidade e a quantidade de água disponível para o uso humano é um dos fatores que mais limita o crescimento das cidades, com isso se torna necessário a manutenção, proteção, planejamento e utilização sustentável desse recurso. Um tratamento especial deve ser dado às bacias utilizadas como mananciais de abastecimento, pois a água bruta depende de como os demais compartimentos do sistema são manejados (SANEPAR, 1999).

De forma natural, o intemperismo de rochas e a erosão dos solos são as maiores formas de contribuição para a nutrição dos reservatórios. As atividades industriais, o lançamento de efluentes domésticos e água lixiviada de áreas agrícolas são um dos principais fatores que aumentam a concentração de nutrientes nos reservatórios de forma antrópica. Todas essas atividades degradam a qualidade da água nos reservatórios, pois aumentam a quantidade de nutrientes necessários que o ambiente necessita naturalmente. Um grande aporte de fósforo e de nitrogênio pode propiciar o crescimento acelerado de diversos organismos na água, como algas e cianobactérias, e levar à eutrofização do corpo d'água. Na maioria das águas continentais, o fósforo é o principal fator limitante de sua produtividade e é apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial destes ecossistemas (ESTEVES, 1988).

Com a chegada dos meses mais quentes, o número de algas e em especial, as cianobactérias aumentam em um número considerável nos reservatórios. A incidência solar, o aumento da temperatura e o excesso de nutrientes são os fatores que mais propiciam o crescimento desses organismos. O aumento de cianobactérias na água gera uma série de problemas, entre eles a formação toxinas que são nocivas para a saúde humana e o aumento no custo do tratamento final da água na Estação de

tratamento de água (ETA). A ficocianina é um pigmento produzido por cianobactérias e apresentam coloração azul. Esse pigmento serve como um indicador em vários estudos para monitoramento e controle da floração de cianobactérias (VILELA, 2015). O crescimento desses organismos em determinadas épocas do ano pode tornar a água bruta da bacia hidrográfica imprópria para o abastecimento humano de acordo com a resolução nº 357 do CONAMA, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

A água destinada ao consumo humano deve preencher as condições mínimas para que possa ser ingerida ou utilizada para fins higiênicos, o que é alcançado por meio das estações de tratamento quando a água do manancial oferece riscos à saúde pública (DI BERNARDO, 2010). O tratamento das águas contaminadas com toxinas de cianobactérias geralmente é feito com carvão ativado e deve estar de acordo com a portaria nº 2.914 do Ministério da saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. A quantidade de carvão utilizada no tratamento da água varia de acordo com a quantidade de toxinas presentes na água, o que acaba encarecendo o processo em alguns casos.

Para que todas as portarias possam ser seguidas, um conjunto de atividades de monitoramento devem ser exercidas de forma contínua pelos responsáveis pelo abastecimento de água com o objetivo de verificar qual a qualidade da água fornecida a população, assegurando a manutenção de padrões de potabilidade. Com isso, análises mensais devem ser feitas nos reservatórios com objetivo de identificar os diferentes gêneros de cianobactérias que se proliferam no manancial e quantificá-los. A alteração da frequência de monitoramento deve ser feita de acordo com os resultados da última amostragem que irá indicar se a densidade de cianobactérias excede 20.000 cél/ml. Quando esse valor é excedido, ocorre o monitoramento semanal no ponto de captação (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2015).

Para a quantificação de cianobactérias, é realizada uma contagem laboratorial que identifica os gêneros e a quantidade de células de cianobactérias que são encontradas por mililitros de água. A contagem requer

uma equipe técnica especializada na identificação das cianobactérias e a empresa responsável pelo abastecimento deve possuir toda uma instrução técnica padrão de como esse procedimento deve ser feito. Dependendo da qualidade da água do reservatório, é um processo que pode demorar certo tempo e ser custoso (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2015).

Como o monitoramento costuma ser trabalhoso dispendendo tempo, do deslocamento e do custo elevado das análises laboratoriais, o mercado internacional e nacional disponibiliza na atualidade diversos tipos e marcas de sondas que facilitam o monitoramento. Estas possuem diversos tipos de sensores e a possibilidade de análise *in situ* de diversos tipos de parâmetros de qualidade da água, que vão desde a simples temperatura da água até parâmetros mais sofisticados, evitando deslocamento e análises laboratoriais, bem como permitindo a obtenção de dados em tempo real (SALES, L. et al., 2014).

A ficocianina é um pigmento presente nas cianobactérias que apresenta capacidade de emissão de fluorescência, podendo ser facilmente quantificada através de técnicas fluorimétricas (MACÁRIO, 2012). As sondas multi paramétricas operam sob o princípio da absorção de luz na forma de energia pelos pigmentos presentes nas cianobactérias, que absorvem a energia emitida pela sonda e reemitem a sua fluorescência de acordo com a frequência da emissão de energia de cada pigmento (AG SOLVE, 2014).

Tendo em vista uma possível facilitação da quantificação de cianobactérias com o auxílio de sondas, acredita-se que mais áreas possam ser monitoradas e com uma frequência e intensidade amostral significativamente maior, melhorando o atendimento com relação a qualidade de água. Com o presente trabalho, busca-se criar uma relação entre as contagens laboratoriais e as estimadas pela sonda, para que possamos estimar concentrações de cianobactérias em cél/ml.

Considerando o aumento da demanda de água para o abastecimento público na cidade de Curitiba e RMC, o aumento de fontes de poluição pontual e difusa, as alterações climáticas, a perda da qualidade da água e a preocupação com a saúde humana, se busca fazer uma estimativa da

concentração de ficocianina ao longo do reservatório Piraquara II e relacionar com as possíveis causas da floração.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Medir a concentração de ficocianina, clorofila a e turbidez ao longo do reservatório Piraquara II, e a partir desses dados, elaborar mapas bidimensionais que representem as variações espaciais da concentração desses parâmetros, buscando relações com os possíveis fatores que auxiliam na floração dessas cianobactérias. A partir de coletas e contagens laboratoriais, estimar a relação da concentração de ficocianina em células/ml com a concentração em $\mu\text{g/l}$ obtidas com o auxílio da sonda multi paramétrica.

2.2 Objetivos específicos

1. Realizar contagens laboratoriais e estimar a quantidade de cianobactérias encontradas em amostras, identificando a nível de gênero as cianobactérias presentes no reservatório do Piraquara II.
2. Determinar a concentração de ficocianina ao longo de todo o reservatório a partir dos dados coletados, com o auxílio de um software de informação geográfica que permita a estimativa da concentração em toda a área do reservatório.
3. Relacionar as concentrações de cianobactérias obtidas com o auxílio da sonda com as cargas de fósforos coletadas por SANEPAR (2016) no mesmo reservatório.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Qualidade da água

A qualidade da água pode ser definida como um conjunto de características de natureza física, química e biológica que estão associadas a uma série de processos que ocorrem no corpo hídrico, sendo que os padrões para o consumo devem estar dentro dos limites previstos (Ministério da Saúde, 2006, p.37). Esses critérios podem especificar as concentrações que interferem na conservação do meio aquático e na proteção da saúde humana. Para o consumo humano, os valores deverão obedecer à portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde e se o curso da água for utilizado para recreação de contato primário deverá obedecer à portaria nº 274/2000 do Conselho Nacional de Meio Ambiente.

A disponibilidade de água é um dos principais fatores limitantes do desenvolvimento das cidades. O crescimento urbano desordenado e a poluição sobre os rios utilizados para o abastecimento público apresentam graves reflexos na qualidade das águas. Para a manutenção sustentável desse recurso, é necessário o desenvolvimento de instrumentos gerenciais de proteção, planejamento e utilização, adequando o planejamento urbano de acordo com a vocação natural do sistema hídrico (SANEPAR, 1999).

De acordo com o Monitoramento de Qualidade das águas realizado pelo Instituto das águas do Paraná, as causas da carência de água estão comumente associadas à poluição dos recursos hídricos e a falta de estratégia com relação a atividades onde sua disponibilidade natural é limitada. Mesmo que a disponibilidade quantitativa no Brasil seja impressionante, a maior parte das regiões brasileiras vivencia hoje conflitos pelo uso da água.

Os mananciais para abastecimento no Brasil apresentam progressiva deterioração. O consumo de água tem aumentado significativamente, e a disponibilidade hídrica não tem crescido na mesma proporção. O crescimento desordenado e a significativa deterioração da qualidade da água levam a uma grande redução do potencial hídrico (ANDREOLI, C. e CARNEIRO, C. 2005).

A construção de reservatórios é vista como uma das melhores medidas para se combater as consequências negativas das diversas condições ambientais existentes. Entretanto, a construção e operação de um reservatório

envolve quase sempre uma série de impactos negativos sobre o ambiente e comunidades situadas em áreas próximas. Os impactos negativos podem ocorrer nos meios físico, biótico e antrópico (PRO-ÁGUA, 2005).

O objetivo de construção dessas barragens é regularizar as vazões dos rios, armazenando as águas dos períodos mais chuvosos para que sejam aproveitadas nas épocas de estiagem. Contudo, pelas características geomorfológicas da Região do Piraquara II, como baixa profundidade média e grande período de residência de água, torna esse corpo hídrico com uma maior suscetibilidade ao processo de eutrofização. Esse fator é agravado pela pressão ambiental sobre estes mananciais, que transportam para os reservatórios nutrientes que facilitam o crescimento de algas (ÁVILA, 2006).

Quando o ambiente muda de lótico para lântico, que ocorre no represamento das águas, se tem a diminuição da transferência do oxigênio atmosférico para água, assim como a redução do oxigênio disponível para os microrganismos estabilizarem a matéria orgânica biodegradável (ÁVILA, 2006). A escala de tempo e espaço dos fenômenos que ocorrem nesses corpos de água é bastante distinta das escalas de rios e estuários. Como consequência, os processos físicos, químicos e biológicos apresentam características, intensidades e importâncias também bastante diferenciadas (SERAFIM, M.J. 2011 apud PORTO et al., 1991).

Os reservatórios normalmente se localizam em áreas que vem sendo pressionadas pela crescente expansão urbana, falta de infraestrutura básica e alta degradação do solo na bacia hidrográfica. Estes fatores associados às características desses ambientes têm acarretado problemas crescentes na qualidade da água destinada ao abastecimento público, com o acúmulo de poluentes e desenvolvimento de organismos produtores de toxinas (ANDREOLI, e CARNEIRO, 2005).

Com os problemas decorrentes da redução da qualidade da água para o abastecimento, muitas instituições a nível estadual passaram a dar um enfoque maior para essa situação. A limnologia pode colaborar com a melhoria da água utilizada pela população, através da identificação das fontes poluidoras, indicando soluções para a melhoria do ecossistema (ESTEVES, 1988).

3.2 Eutrofização dos corpos hídricos

Um dos mais importantes fenômenos que se desenvolve nos reservatórios, e que é determinante na sua qualidade de água é a eutrofização. Sua formação é decorrente de um processo natural que ocorre em todos lagos e reservatórios, ou através da presença de uma intervenção humana, aumentando o fluxo de nutrientes para o corpo hídrico, acelerando, assim, este processo. Sua característica principal é o crescimento exagerado de organismos aquáticos autotróficos, particularmente algas planctônicas e ervas aquáticas (ARAÚJO, SALES, SOUZA, 2013).

A falta de planejamento nos reservatórios pode refletir na eutrofização seguida de uma rápida resposta da comunidade de fitoplâncton que passa a apresentar uma quantidade significativa de biomassa, e em sua maioria dominada por cianobactérias que apresentam consequências negativas sobre a eficiência e custo no tratamento final da água. Em Curitiba, este é um problema frequente dos reservatórios (ANDREOLI, C. e CARNEIRO, C., 2005).

As atividades desenvolvidas pelo ser humano (com vista a atender às demandas industriais, agrícolas e o crescimento populacional nas áreas urbanas pode causar grandes impactos nos recursos hídricos em reservatórios), como remoção de florestas, aporte de nitrogênio e fósforo nas águas e de outros compostos químicos causa uma consequente deterioração da qualidade da água. Essa deterioração pode favorecer a eutrofização do corpo hídrico a ponto de dificultar seu uso para outros fins, o que leva o problema de eutrofização ser um dos maiores problemas em nível mundial (DI BERNARDO, 2010).

Para que se possa caracterizar a eutrofização, é necessário um sistema classificatório de níveis de trofia, que normalmente é baseado nas concentrações de fósforo total e clorofila. De acordo com a classificação geral, os ambientes oligotróficos apresentam baixas concentrações de nutrientes e uma baixa produtividade primária; ambientes mesotróficos apresentam produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, em níveis aceitáveis; e ambientes eutróficos apresentam alto nível de produtividade e são ricos em matéria orgânica e nutrientes (BARROS, et. al 2010).

Os critérios utilizados para classificar o grau de eutrofização são baseados no tipo e quantidade de espécies presentes, no teor de proteína da água, no teor de clorofila *a*, na produção de carbono, no teor de nitrogênio e com mais frequência, o teor de fósforo. O fósforo possui significativa relevância por ser considerado principal fator limitante ao desenvolvimento de algas em lagos subtropicais e de fácil mensuração (ANDREOLI, C. e CARNEIRO, C. 2005).

3.3 Cianobactérias

O plâncton consiste na comunidade que vive na água e é caracterizado por organismos de pequeno tamanho, possuem desde alguns micrômetros até poucos milímetros e apresentam pouca capacidade de locomoção. Eles podem ser representados por algas, bactérias, protozoários, micro-crustáceos e algumas larvas. Esses organismos constituem a base da produção de matéria orgânica dos ecossistemas aquáticos e em presença de nutrientes apropriados podem ter um crescimento acelerado (DI BERNARDO et al., 2010).

Uma grande parte da energia luminosa usada por um organismo fotossintético é captada por uma diversidade de pigmentos acessórios, uma vez que a clorofila *a* absorve energia luminosa somente em uma região luminosa do espectro solar. A energia de excitação é posteriormente transferida para os centros de reação localizados nas membranas fotossintéticas, provocando o processo fotossintético (MORAES et. al, 2007).

As populações fitoplanctônicas de regiões temperadas têm o seu crescimento sazonal controlado por vários fatores ambientais, dentre os quais destacam-se: radiação solar, temperatura, nutrientes dissolvidos, predação por organismos herbívoros, parasitismo e competição. De todos estes fatores ambientais, a radiação e a temperatura são os principais, na maioria dos lagos (ESTEVES, 1988).

Este crescimento exagerado de populações de algas pode trazer prejuízos aos usos que se possam fazer dessas águas, prejudicando seriamente o abastecimento público ou causando poluição por morte de

organismos ali presentes e sua decomposição. O controle da eutrofização, através da redução do aporte de nitrogênio, é comprometido pela multiplicidade de fontes, algumas muito difíceis de serem controladas como a fixação do nitrogênio atmosférico, por parte de alguns gêneros de algas. Por isso, deve-se investir preferencialmente no controle das fontes de fósforo (PIVELI, e KATO, 2006). A presença de cianobactérias na água está associada a uma série de problemas como: sabor e odor, corrosão no sistema de abastecimento, formação de espécies tóxicas que podem afetar a saúde do homem (MARRARA, e SIVIERO, 2015).

Um dos principais impactos da floração de algas e cianobactérias, é a excreção de toxinas por fitoplânctons, infestações de plantas aquáticas, maior incidência de doenças transmitidas por via hídrica, águas turvas, odores fétidos, depleção de oxigênio dissolvido e mortandade de peixes (DI BERNARDO et al., 2010).

Novos grupos de pesquisa foram sendo formados com o objetivo de identificar as espécies toxigênicas, caracterizar e desenvolver técnicas analíticas para quantificação de cianotoxinas, quais os efeitos farmacológicos em vertebrados, além de estudos direcionados à compreensão de como os fatores ambientais regulavam a formação de florações e a produção de toxinas. Mais recentemente, a biologia molecular vem se mostrando uma importante ferramenta na identificação de espécies produtoras de toxinas, além de possibilitar, a partir da identificação dos genes responsáveis pela síntese das cianotoxinas, um melhor entendimento de como os fatores ambientais influenciam na expressão desses genes (SILVA; MOLICA; AZEVEDO, 2009).

As cianotoxinas mais comumente encontradas são as microcistinas hepatotóxicas, que se podem acumular em organismos aquáticos e são transmitidas para níveis tróficos superiores. As microcistinas (MIC) são toxinas naturais produzidas por cianobactérias. Estão associadas às algas e constituem um perigo para os animais domésticos e selvagens, assim para os humanos que contactam com água contaminada. Há um número elevado dessas toxinas, algumas são extremamente estáveis e resistentes à temperatura, hidrólise química e oxidação (MARTINS; VASCONCELOS, 2009).

As MIC são conhecidas por induzir hepatotoxicidade nos organismos através da inibição de proteínas. Dependendo da dose e do tempo de exposição, podem provocar aumento ou redução na atividade de enzimas antioxidantes (KIRST, 2012).

3.4 Temperatura e estratificação térmica

A temperatura influencia diretamente tanto a respiração dos organismos, como processos oxidativos. A ação da temperatura sobre os organismos aquáticos se baseia na regra de Van T'Hoff, que apresenta que a elevação da temperatura das soluções em 10° C pode duplicar ou triplicar a velocidade das reações. Quando lagos ou reservatórios apresentam temperaturas muito baixas no hipolímio, o processo de decomposição da matéria orgânica é muito lento e maior parte desta não é decomposta, resultando em um acúmulo de sedimentos (ESTEVES, 1988).

O aumento da temperatura pode intensificar a formação de florações em razão do aumento da temperatura da água em ecossistemas aquáticos, tendo um grande aumento em países que possuem clima temperado, promovendo também a estratificação térmica do corpo hídrico por períodos mais longos, que propicia o crescimento de cianobactérias (SILVA, MOLICA, AZEVEDO, 2009).

A estratificação térmica de águas represadas ocorre em função das condições climáticas, da relação da área de superfície exposta a radiação solar e a exposição aos ventos, do período de renovação das águas e da profundidade média do reservatório. O estabelecimento gradual dela induz à formação de três camadas distintas ao longo da coluna d'água: epilímio, metalímio e o hipolímio. Estas camadas permanecem distintas por causa da diferença de densidade criada entre elas (PARO, 1981).

Quando as diferenças de temperatura na água geram camadas com diferentes densidades, formando uma barreira física que não permite que o calor se distribua uniformemente, podemos dizer que o ambiente aquático está estratificado termicamente. A água fria é mais pesada e mais densa, o que a desloca para profundidades mais baixas (ESTEVES, 1988).

Durante os períodos de estratificação, os nutrientes em sua maior parte ficam aprisionados no hipolímio e sofrem um processo de deposição no fundo da represa por gravidade. As outras camadas ficam com poucos nutrientes, o que pode levar a um decréscimo de alguns micro-organismos nessas regiões. Em períodos onde o reservatório não está dividido em estratos, todas as camadas são homogenizadas e recebem quantidades de nutrientes suficientes para o suprimento dos micro-organismos (ESTEVES, 1988).

3.5 Parâmetros e qualidade da água

O monitoramento da qualidade da água é uma importante ferramenta de gestão dos recursos hídricos, pois auxilia na caracterização e avaliação de um corpo hídrico. De posse dessas informações, o gestor poder direcionar as medidas de controle ou mitigação dos possíveis impactos que estejam alterando as características físicas, químicas ou biológicas das águas da bacia hidrográfica em que se encontra inserido o corpo d'água. Nesse sentido, as tecnologias de medição de variáveis limnológicas vêm sofrendo significativo avanço visto especialmente na utilização de novos equipamentos de medição, como as sondas paramétricas ou multiparâmetros (MACIEL, 2010).

A turbidez é a medida da dificuldade de um feixe de luz atravessar uma quantidade de água. A medição é feita fazendo uma comparação do espalhamento de um feixe de luz na amostra, com o de um feixe atravessando uma amostra padrão. Quanto maior o espalhamento, maior será a turbidez (COUTO, 1989). Do ponto de vista ótico, a transparência da água pode ser considerada o oposto da turbidez (ESTEVES, 1988).

A ficocianina é um pigmento que se localiza nos tilacóides das cianobactérias. Ela é produzida por microalgas, como as pertencentes ao género *Spirulina*, e é o principal pigmento destas algas, podendo mesmo chegar a representar cerca de 20% do seu peso seco. Estes pigmentos têm a capacidade de reagir com as espécies reativas de oxigénio produzidas durante o processo de respiração aeróbica. Estas substâncias são tóxicas para as células e são responsáveis por mutações no ADN, caso essas mutações não sejam reparadas pela maquinaria celular pode causar algumas doenças para o

ser humano (VILELA, 2015). A ficocianina confere à alga coloração azul-esverdeada, e está presente em cianobactérias ou algas azuis (ESTEVES, 1988).

Um dos gases mais importantes na dinâmica dos ecossistemas aquáticos é o oxigênio dissolvido. As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese. A sua perda se dá pelo consumo, através da decomposição da matéria orgânica, trocas com a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos (ESTEVES, 1988).

Os esgotos constituem em geral a principal fonte de nutrientes, lançando nas águas nitrogênio orgânico devido à hidrólise sofrida pela uréia na água. Algumas indústrias, como químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes também apresentam grandes contribuições de nitrogênio de forma antrópica no meio aquático. A fixação biológica desempenhada por alguns organismos aquáticos, leva a incorporação de nitrogênio atmosférico, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico nas águas. A fixação química, depende da presença de luz e ocorre para as presenças de amônio e nitratos nas águas. Em áreas agrícolas, o escoamento de águas pluviais sobre os solos fertilizados, aumenta as concentrações de nitrogênio nos corpos hídricos. Em áreas urbanas também é possível a contribuição de cargas de nitrogênio que está associado às deficiências do sistema de limpeza pública (PIVELI, e KATO, 2006).

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Esta importância deve-se principalmente à sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. Quando presente em baixas concentrações, pode atuar como fator limitante na produção primária de ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 1988).

Assim como o nitrogênio, o fósforo aparece em águas naturais devido principalmente às descargas de esgotos sanitários. Dentro destes, os detergentes superfosfatados constituem a principal fonte desse elemento nos corpos hídricos. As indústrias também possuem contribuição significativa nessa concentração, efluentes industriais das indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas (PIVELI, e KATO, 2006).

O fosfato presente em um ecossistema tem origem de fontes naturais e artificiais. Dentre as fontes naturais, as rochas da bacia de drenagem constituem a fonte básica de fosfato para os ecossistemas aquáticos continentais. A quantidade de fosfato de fonte natural no sistema aquático depende diretamente do conteúdo de fosfato presente nos minerais primários das rochas da bacia de drenagem (ESTEVES, 1988).

Mesmo quando estacionados ou fixados no sedimento, o fósforo pode ser transportado para os corpos d'água. O escoamento superficial e a erosão são as principais formas pelas quais o fósforo é transportado para os corpos d'água. A dinâmica do fósforo em reservatórios é principalmente influenciada pelo aporte de cargas através dos tributários, da mobilização a partir do sedimento de fundo, do assoreamento e erosão, da decomposição de restos vegetais remanescentes, do intemperismo das rochas e minerais e, de forma mais intensa, pela ação antrópica, que envolve principalmente a contaminação por esgoto clandestino (ANDREOLI, e CARNEIRO, 2005).

3.6 Mapeamento da ficocianina

O estudo realizado por Utsumi, Galo e Tachibana (2015) mostra o mapeamento da ocorrência de cianobactéria por meio da integração de medidas de fluorescência *in vivo* do pigmento ficocianina com uma análise geoestatística. Nesse estudo foram coletados em 59 pontos amostras de dados fluorimétricos. Para que a área pudesse ser caracterizada, foram analisados parâmetros limnológicos da água, além da identificação dos grupos fitoplanctônicos constatando-se a presença de gêneros tóxicos de cianobactérias. A análise geoestatística permitiu a anisotropia dos dados de concentração de ficocianina, de modo que o modelo esférico se ajustou melhor para realizar a *krigagem ordinária*.

Recentemente, poucas pesquisas foram feitas para mapear a ficocianina usando detecção remota multi e hiper espectral. Existem poucos casos bem sucedidos relatados na literatura publicada referente ao assunto. Em um dos exemplos foram usadas múltiplas regressões lineares entre diferentes combinações de relações de banda TM e concentração medida, para a

construção do mapa espacial da distribuição de ficocianina no Lago Erie. Esse algoritmo é saturado quando a abundância de ficocianina é superior a 14 µg-L-1 (ppb) (LI et. al, 2006 apud VICENT et al., 2004).

Uma ecosonda foi utilizada para registrar a população de peixes na Polônia, enquanto que um método de detecção em linha de fluorescência de ficocianina foi utilizado para estimar a biomassa de cianobactérias. Os mapas da população de peixes e as distribuições de células de cianobactéria amostradas a cada 20 segundos foram produzidos usando técnicas de *krigagem*. A análise subsequente dos mapas de distribuição mostrou que as concentrações de peixes e algas às vezes se sobrepõem no espaço e no tempo, aumentando assim o risco de contaminação dos peixes e a morbidade humana. Mais estudos são necessários para explorar ainda mais a relação entre peixes e cianobactérias (GODLEWSKA et. al, 2016).

No estudo realizado por Sengpiel 2007, foram apresentados os resultados de uma análise da concentração de pigmentos de fitoplâncton (clorofila a e ficocianina) a partir de imagens de detecção remota. Nesse estudo foram adquiridos espectros de reflectância em três reservatórios na Indiana Central, EUA. Paralelamente à aquisição de reflectância, amostras *in situ* foram coletadas e analisadas em laboratórios para quantificar a concentração de pigmento e outros parâmetros da qualidade da água. A concentração resultante foi então vinculada ao espectrômetro de reflexão do Aromatômetro de aplicação (AISA) em estações de amostragem para desenvolver modelos preditivos. Os espectros de reflexão coletados com uma imagem hiperespectral no ar são estatisticamente significativos, na predição da concentração de clorofila a e do pigmento de ficocianina nos três reservatórios deste estudo, sem a consideração de outros parâmetros.

É possível que cianobactérias existam em um reservatório sem a presença de ficocianina. Esta situação pode ocorrer por causa do estado fisiológico das cianobactérias, isto é, pouco ou nenhuma ficocianina produzido ou a quebra do pigmento em tempos de limitação de nitrogênio (SENGPIEL, 2007 apud SIMIS, et al., 2007).

O monitoramento de cianobactérias e suas toxinas são tradicionalmente realizados por contagem de células, determinação de clorofila-

a (chl-a) e medidas de cianotoxina, respectivamente. Estes métodos são dispendiosos, demorados e insensíveis às mudanças rápidas na qualidade da água e na abundância de cianobactérias. Com isso, em outro trabalho foi aplicada e testada uma sonda de fluorescência de ficocianina on-line para monitorização rápida de cianobactérias no reservatório de armazenamento de Macau que está sofrendo com florações de cianobactérias. Ao contrário do conteúdo de chl-a, que indicava apenas a biomassa total de algas, o pigmento de ficocianina indicava especificamente cianobactérias. Esses resultados suportam que a ficocianina era um parâmetro confiável para estimar o número de células de cianobactérias, especialmente em corpos de água doce onde a comunidade e a estrutura do fitoplâncton eram estáveis. Assim, a sonda PC foi potencialmente aplicável ao monitoramento on-line de cianobactérias (KONG et al, 2016).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Piraquara localiza-se na porção leste da Região Metropolitana de Curitiba, em bacias formadoras da área de proteção dos mananciais de abastecimento público e em parte da Bacia Litorânea. Limita-se ao norte com o município de Quatro Barras, a leste com Morretes e ao sul com São José dos Pinhais. Foi criado em 10 de janeiro de 1890, desmembrado do município de Curitiba. Tem área de 228 km² altitude média de 897 m s.n.m., sendo subdividido nos distritos sede e do Guarituba (LIMA, CAMPOS, TERBECK, 2008).

Os reservatórios existentes em Curitiba e região metropolitana apresentam certas características, como baixa profundidade média, grande tempo de residência da água, extensa lâmina d'água, o que torna esses corpos hídricos mais susceptíveis a eutrofização (ANDREOLI, e CARNEIRO, 2005). O crescimento da demanda de água para abastecimento público na Região Metropolitana de Curitiba se apresenta na ordem de 300 l/s por ano (SANEPAR, 1999).

O Reservatório do Piraquara II teve suas comportas fechadas em setembro de 2008 para aumentar a oferta de água para a Região Metropolitana de Curitiba. É formado em parte pela água proveniente do Reservatório Piraquara I e tem sua captação à jusante do Reservatório do Iraí, na ETA Iraí. Este reservatório apresentou processos de acentuada estratificação térmica em determinados períodos, considerados ocasionais, com depleção nos teores de oxigênio dissolvido da coluna d' água, chegando em alguns casos a anóxia na camada próxima ao fundo. Em um estudo realizado pelo IAP, com relação ao Índice de Estado Trófico (IET), este reservatório foi classificado como "mesotrófico". No que se refere à assembleia fitoplanctônica, o Reservatório do Piraquara II apresentou a segunda maior diversidade de fitoplâncton observada em todos os reservatórios estudados. O grupo das Clorofíceas foi o que apresentou a maior diversidade. Também foram identificados 7 gêneros de cianobactérias sendo que *Aphanocapsa delicatissima* foi a espécie com a maior quantidade de células e ocorrência mais frequente. Contudo, esta

espécie não apresentou toxicidade, visto que as concentrações de microcistinas estiveram sempre abaixo de 0,20 µg/L (IAP, 2017, p. 44).

A barragem Piraquara II, localizada na região metropolitana de Curitiba, possui um reservatório de 21 milhões de metros cúbicos de água e é uma das quatro barragens que compõem o sistema de regularização e reforço para o abastecimento de água da capital. O reservatório garante também o abastecimento para mais de 650 mil habitantes em outros seis municípios da região (Secretaria da agricultura e do abastecimento, 2011). Quando a capacidade de produção estava chegando perto da demanda, se fez necessário a implementação da barragem Piraquara II, que garante o abastecimento (AVILA, 2006).

A intensa e crescente ocupação desordenada do município de Piraquara tende a instalar uma situação negativa em decorrência da expansão urbana de Curitiba, podendo gerar problemas aos mananciais destinados ao abastecimento público de água. Por tratarem-se de ocupações irregulares ou mal planejadas, esgotos e lixos provenientes dessas habitações são jogados diretamente nos corpos de água sem receber qualquer tratamento, prejudicando a qualidade da água no local. A importância do controle das fontes geradoras de matéria orgânica assume condição primordial para a qualidade da água do reservatório se for considerada a possibilidade de ocorrência de florações de algas tóxicas e/ou nocivas (PBA, 2002).

O reservatório do Piraquara II apresenta condições favoráveis à estratificação térmica, segundo o EIA/RIMA (2000, p.521): “é um fenômeno que ocorre geralmente em reservatórios com mais de cinco metros de profundidade, durante as estações quentes. Como a densidade da água decresce com a temperatura, na primavera a água aquecida da superfície e dos tributários, mais leve, sobrepõe a água mais fria e densa, criando uma situação hidro dinamicamente estável, o que dificulta a homogeneização causada pelos ventos e outras forças” (AVILA, 2006).

As medidas que devem ser adotadas, de acordo com o EIA/RIMA, em relação à estratificação térmica, é a implementação de um programa de caracterização e monitoramento da água, a fim de acompanhar a ocorrência do

fenômeno de estratificação térmica, química e bioquímica com a finalidade de subsidiar eventuais medidas, caso a situação se torne crítica. Sabe-se que o reservatório apresenta uma grande probabilidade de estratificar pelas suas características físicas, principalmente profundidade e temperatura (AVILA, 2006).

4.1 Caracterização da área de estudo

O município de Piraquara/PR está localizado na região metropolitana de Curitiba, capital do estado do Paraná. Situa-se no 1º planalto oeste da Serra do Mar, sendo o divisor geográfico entre o litoral paranaense e o Primeiro Planalto. Foi desmembrado de Curitiba em 1890, com área territorial de aproximadamente 228 km². Possui uma população estimada em 2017 de aproximadamente 107.751 habitantes (IBGE, 2017).

Mais de 90% do território municipal está enquadrado em áreas de mananciais, e o município é responsável por 70% do abastecimento de água da Região Metropolitana de Curitiba (RMC). Possui 1.162 nascentes e abriga três reservatórios para abastecimento público, sendo eles o reservatório do Iraí, o Piraquara I e o Piraquara II (PREFEITURA DE PIRAQUARA, 2015). A maior parte do município é formada por áreas rurais e a região concentra diversas paisagens formadas pela proximidade com a Serra do Mar. O município de Piraquara possui alta integração com Curitiba, por concentrar micro bacias com o maior número de corpos d'água de contribuição, e acaba sendo alvo do maior fluxo de imigrantes na RMC (GONÇALVES, 2010).

Como a cidade sempre foi um verdadeiro reservatório de água da região metropolitana, as restrições para o desenvolvimento sempre fizeram parte da história de Piraquara. Quando o distrito de Pinhais, que fazia parte de Piraquara, tornou-se o maior centro populacional do município, foi desmembrado em 1992 e assim criado o município de Pinhais. A região era o único lugar onde havia indústrias e de onde vinha boa parte dos recursos financeiros de Piraquara, havendo assim uma diminuição na arrecadação do município (GONÇALVES, 2010).

A atividade industrial e agrícola em grande escala não pode ser instalada na região porque Piraquara está localizada quase totalmente em uma área de proteção ambiental, em função da grande quantidade de mananciais de águas puras em seu território, sendo assim, é protegido por leis ambientais (GONÇALVES, 2010).

Além de ser o maior aglomerado urbano do Paraná, a Região Metropolitana de Curitiba (RMC) é a região que mais cresce no Estado. Os maiores problemas dessa região estão relacionados à ocupação, que afetam o reordenamento territorial, notadamente nos aspectos relativos ao assentamento populacional e ambiental (MINEROPAR, 2014).

4.1.1 Caracterização do reservatório do Piraquara II

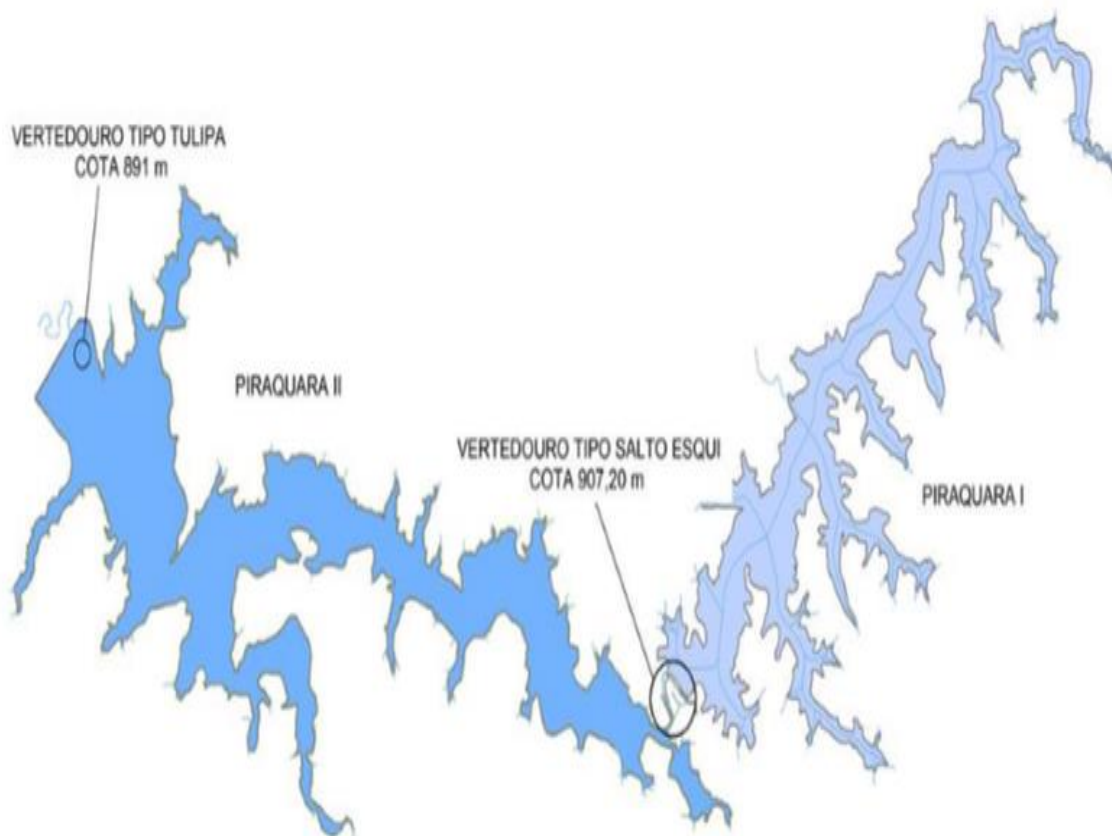
A barragem do Piraquara II, com área inundada de 5,5 Km², integralmente dentro do município e que, em conjunto com a barragem Piraquara I, possui uma vazão de 1200 l/s (GONÇALVES, 2010). Os dois reservatórios e seus vertedouros podem ser visualizados pela figura 1. Ela é uma das quatro barragens que compõem o sistema de regularização e reforço para o abastecimento de água da capital. Com essa capacidade, garante o abastecimento para 650 mil habitantes de Curitiba e outros seis municípios da Região metropolitana. Possui capacidade de 21 milhões de metros cúbicos, apresentando na sua máxima (crista da barragem), 17 metros de altura e 670 metros de comprimento. O reservatório possui alta declividade, o que aumenta sua susceptibilidade a deslizamentos de terra superficiais nos casos das margens mais elevadas e inclinadas (PREFEITURA DE PIRAQUARA, 2013).

4.1.2 Características da Bacia Hidrográfica

De acordo com o Projeto Básico Ambiental do reservatório, na construção da barragem do Piraquara II eram apresentados poucos processos erosivos na bacia hidrográfica, o que indicava uma boa conservação dos solos. A bacia apresentava também, baixa susceptibilidade a fenômenos naturais de consequências graves, como a erosão, e possui uma boa densidade de sua

água, o que permite o rápido escoamento superficial. Mas atualmente, a bacia apresenta alguns processos erosivos significativos.

Figura 1 - Reservatórios do Piraquara I e Piraquara II e seus vertedouros.

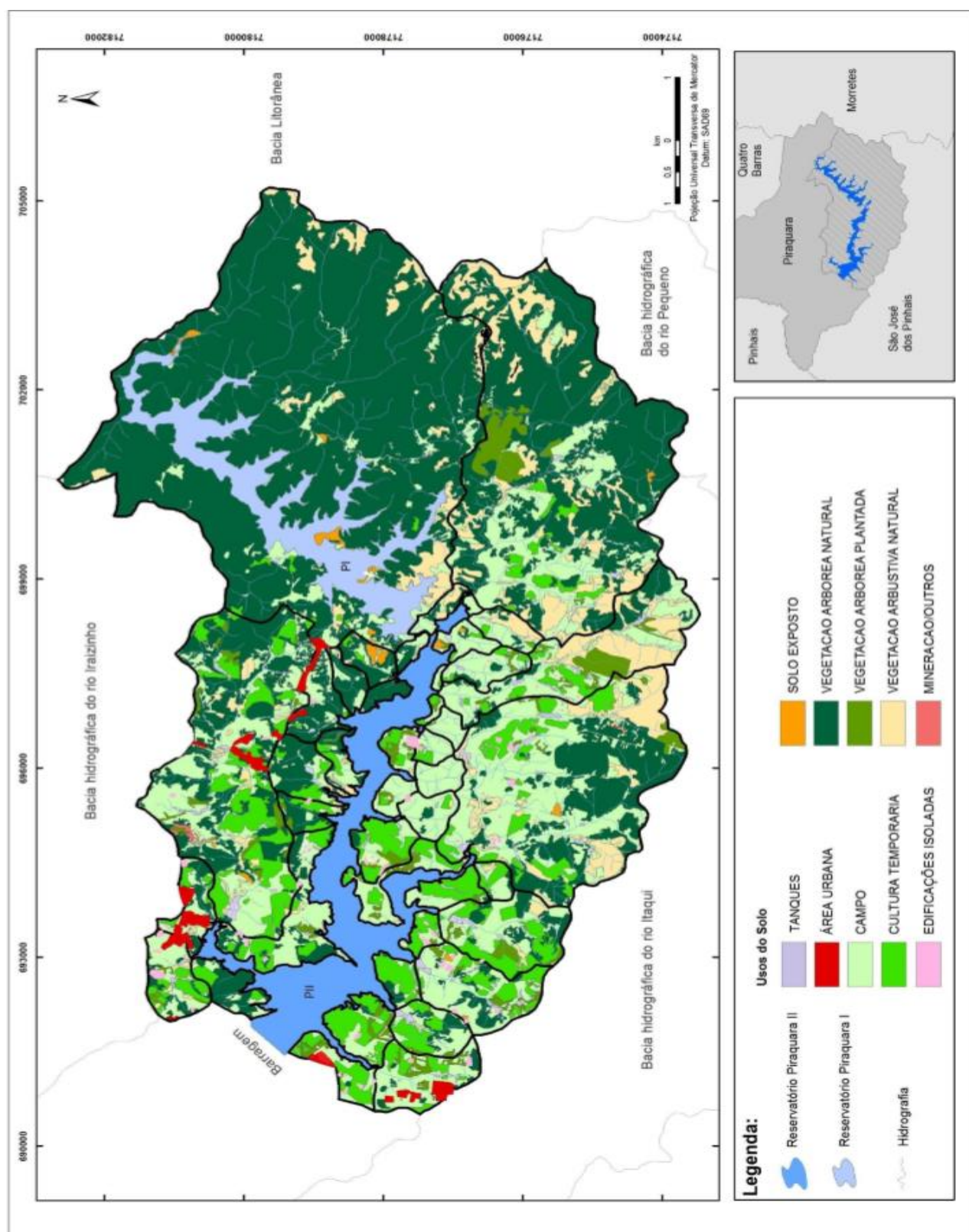


Fonte: SANEPAR (2016).

4.1.2.1 Uso e ocupação do solo

Existem predominância de solos orgânicos e hidromórficos na região, solos pouco evoluídos, que se tornam predominantes em atividades agrícolas, além de serem mal drenados, estes solos não apresentam altas taxas de oxigênio. Os principais elementos que caracterizam a ocupação do solo na área da bacia, em ordem decrescente de percentual, são: Florestas, campo seco/pastagens, agricultura e várzeas/campo de inundação, como é possível observar na figura 2 (PBA, 2002).

Figura 2 - Uso e ocupação do solo da bacia do Piraquara II.



Fonte: SANEPAR (2016).

4.1.2.2 Climatologia

O clima da região se apresenta na maioria dos dias do ano quente e temperado. A média anual de pluviosidade é de 1565 mm e se compararmos o mês mais seco com o mês mais chuvoso verificamos que existe uma diferença de precipitação de 129 mm, indicando que a pluviosidade se mantém em grandes volumes durante o ano inteiro. As temperaturas médias, durante o ano, variam 7,9 °C. Com uma temperatura média de 20.9 °C, janeiro é o mês mais quente do ano e junho apresenta a temperatura mais baixa, de 13.0 °C (CLIMATE DATA, 2017).

Segundo o Banco de Dados Meteorológicos para ensino e pesquisa (BDMEP), aferido pela estação Curitiba número 83842 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016), observa-se para a região uma insolação total anual de 1.676 horas, velocidade média do vento de 2,17m/s e evapotranspiração total anual de 927mm. Com relação a umidade relativa, observa-se 81,9% de média mensal, com valores mais baixos no verão e maiores no inverno (SANEPAR, 2016).

4.1.2.3 Cobertura vegetal

O predomínio dos campos se dá nas áreas de inundação ou nos locais mais elevados, onde o solo permanece seco, representando a cobertura vegetal mais antiga. A vegetação arbórea passou a invadir esses campos, a partir dos locais mais úmidos, onde os solos se mostraram propícios ao desenvolvimento de espécies mais evoluídas. O clima subtropical úmido da região, sem estação seca definida e um solo pobre em nutrientes minerais, e associado a elevados teores de alumínio, reflete em uma vegetação característica da região (PBA, 2002).

A cobertura vegetal é caracterizada pelas seguintes formações florestais: Floresta Ombrófila Densa, que corresponde à área melhor conservada na bacia hidrográfica do rio Piraquara. A Floresta Ombrófila Mista, é representada pelos capões com araucária, apresentam composições distintas

de acordo com seu estágio de desenvolvimento. No entanto, essa floresta foi grandemente alterada por atividades antrópicas em sua quase totalidade. Outra formação vegetal importante na área do reservatório é a Floresta Ombrófila Mista Aluvial, que acompanha os rios nas regiões de planície. As outras duas formações vegetais ocorrentes na área da bacia são relacionadas à vegetação campestre, ou seja, os campos de inundação e os campos secos (PBA, 2002).

4.1.2.4 Subdivisão das bacias

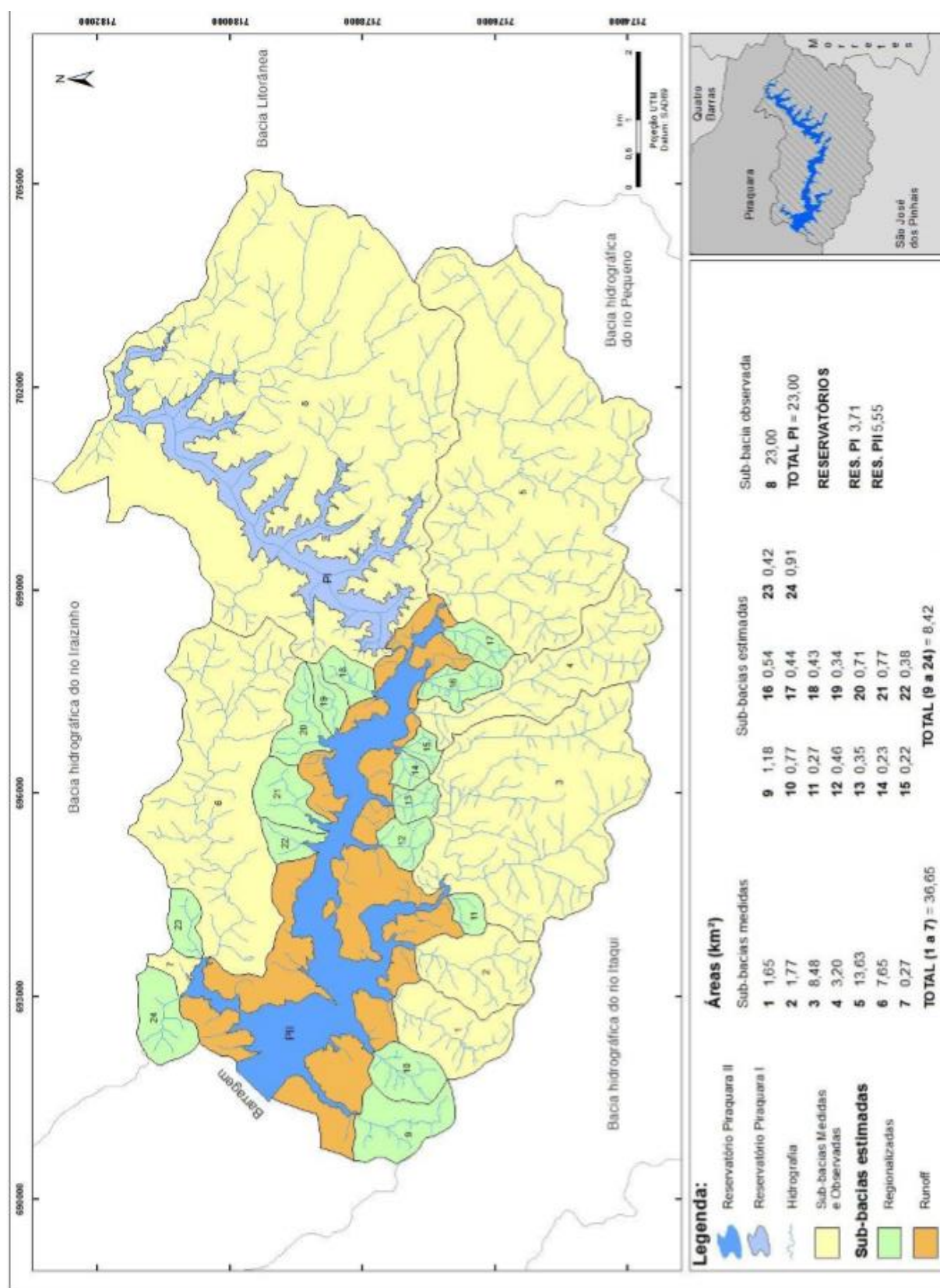
Com o estudo realizado por LOPES (2016), para estimar as contribuições de fósforo pelos tributários, a bacia hidrográfica do Reservatório do Piraquara II foi subdividida em 24 sub-bacias, com tributários medidos e monitorados ao longo de 26 visitas em campo e 16 sub-bacias estimadas por regionalização. As sub-bacias apresentadas pela cor verde (figura 3) são vazões que foram estimadas por escoamento superficial. Nessas áreas existe uma pequena extensão de rios ou inexistência de rede hídrica. Possuem áreas que variam entre 0,05 e 1,48 km², representando 15,01% do total de sub-bacias do reservatório Piraquara II (SANEPAR, 2016).

Com as medições feitas por SANEPAR (2016) é possível estimar quais afluentes possuem maior contribuição de fósforo no reservatório do Piraquara II e a partir disso é possível relacionar os tributários que apresentam maior contribuição de fósforo com as regiões que apresentam maior concentração de cianobactérias em regiões estratégicas do reservatório.

4.2 Estratégias de amostragem

Para a amostragem de dados no reservatório do Piraquara II, foi utilizada uma sonda multi paramétrica, que consegue fazer uma estimativa da concentração de diversos parâmetros ao longo da coluna d'água. As sondas multi paramétricas possuem grande aplicação e podem ser instaladas em campo possibilitando um monitoramento da qualidade da água de uma maneira contínua, poupando tempo e recursos.

Figura 3 - Subdivisão das bacias hidrográficas do reservatório do Piraquara II.



Fonte: SANEPAR (2016).

A sonda a ser utilizada é a TriLux (figura 4), uma sonda multi paramétrica que realiza monitoramento simultâneo de parâmetros indicadores de qualidade da água. A sonda permite que seja estimada a concentração e a variação de ficocianina a, clorofila a e turbidez. A TriLux opera sob o princípio da absorção de luz na forma de energia que é liberada pelos pigmentos presentes nas cianobactérias. Uma parte desta energia absorvida pelos microorganismos é reemitida como fluorescência de acordo com a pigmentação das cianobactérias.

Figura 4 - Sonda multiparamétrica TriLux



Fonte: Foto tirada pelo autor.

A tabela 1 mostra as faixas de medição da sonda TriLux, indicando qual a faixa de medição, o limite de detecção, qual o comprimento de onda detectado e qual o comprimento de onda de excitação para clorofila a, ficocianina e turbidez. Todos esses dados são encontrados no manual da sonda disponibilizado pela vendedora AG SOLVE.

Tabela 1 – Faixas de medição da sonda multiparamétrica TriLux.

Faixa de medição dinâmica	Calibrado para 0-100µg/L (clorofila-a). Usuário pode ajustar o intervalo selecionando a intensidade de saída do LED.
Limite de detecção	Tipicamente 0,1% da faixa de medição configurada
Detecção comprimento da onda	685nm
Comprimento da onda de excitação	470nm – Clorofila a 610nm – Ficocianina 685nm – Turbidez

Fonte: AG SOLVE

4.2.1 Calibração da sonda

Com a sonda Trilux é possível estimar a concentração de ficocianina, em µg/l, e, a partir de coletas manuais e análises laboratoriais posteriores, é possível estimar a concentração em cél/ml de cianobactérias. Para que se possa estimar uma relação entre as duas concentrações, é necessário que seja feita uma calibração entre as duas unidades. Após uma coleta manual significativa de células de cianobactérias e com o auxílio dos valores obtidos pela sonda, foi estimada por meio de regressão linear uma curva que representa a calibração da sonda nas condições do Piraquara II.

De acordo com o INMETRO, a calibração é o conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou valores representados por uma medida materializada ou material de referência (Métodos de Calibração, UFJB, 2012).

Quando as duas variáveis são quantitativas é possível que seja feito um gráfico de dispersão, que permite medir a associação entre as variáveis a partir de um coeficiente de correlação. O coeficiente mais comum é o coeficiente de Pearson, que é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas e que descreve quão bem uma linha reta se ajustaria através de uma nuvem de pontos (SHIMAKURA, 2005). O coeficiente de Pearson (r) é uma medida de associação linear entre duas variáveis (FIGUEIREDO E SILVA, 2009).

Quando se usa métodos instrumentais, é necessário calibrar os instrumentos usando uma série de amostras consideradas padrões. Para que se possa estimar uma curva de calibração, são necessários alguns procedimentos estatísticos, como a verificação da linearidade do gráfico e qual o melhor ajuste para os pontos. Para verificar se existe uma relação linear entre as variáveis dos eixos y e x , usa-se o coeficiente de correlação de Pearson (r), que quanto mais próximo de ± 1 , maior a probabilidade de que exista uma relação linear entre as variáveis x e y . Valores de r que tendem a zero indicam que x e y não estão linearmente correlacionados (Métodos de Calibração, UFJB, 2012).

Após dois dias de coleta e amostragem de água em determinados pontos do reservatório, foram feitas análises quantitativas da concentração de cianobactérias e ficocianina ao longo desse corpo hídrico. Foi criada uma curva que representasse a correlação entre essas duas variáveis, e ajustado um coeficiente de correlação que representasse a relação entre os fatores estudados. Com essa relação, busca-se estimar a concentração de células/ml de cianobactérias sem que fosse necessária a contagem das demais amostras medidas, apenas estimando o número de células por uma regressão linear.

O coeficiente de correlação de Pearson ao quadrado é denominado coeficiente de determinação, ou apenas R^2 . Esse coeficiente é uma medida da proporção da variabilidade em uma variável que é explicada pela variabilidade da outra. O R^2 é, portanto uma medida descritiva da qualidade do ajuste obtido (SHIMAKURA, 2006). Com o auxílio do excel, à partir de ajustes de linhas de tendência, foi estimado o coeficiente de determinação entre as duas variáveis

analisadas, para isso, foram utilizados para a regressão apenas os pontos coletados ao longo do reservatório do Piraquara II.

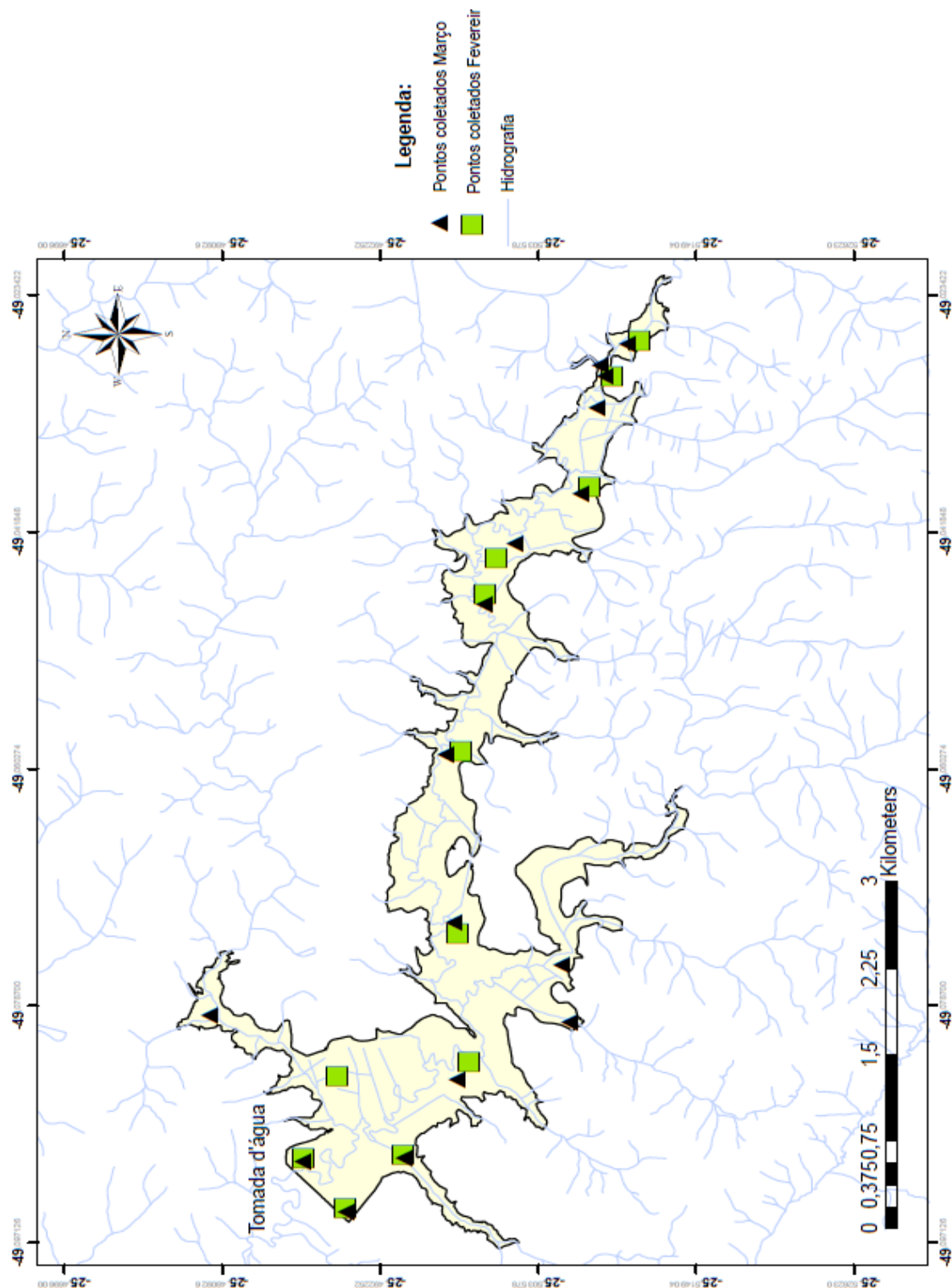
Foi utilizado outro estimador para o coeficiente angular, como a proposta de Theil Sen, que é determinado, a partir do coeficiente angular de todos os pontos utilizados, assim cada coeficiente angular dos pontos representa todas as combinações possíveis de coeficientes angulares de retas tomadas, duas a duas, em todos os pontos do diagrama de dispersão. O coeficiente angular da reta que se forma é dado pela mediana de todos os valores de coeficientes angulares obtidos ponto a ponto (DIAS, A., DIAS, S., JACOBI, L., 2005).

4.2.2 Amostragem e contagem de cianobactérias

A campanha para coleta de cianobactérias foi realizada em dois dias, como demonstrado na figura 6. No primeiro dia foram coletadas 14 amostras, sendo 12 delas distribuídas ao longo do reservatório do Piraquara II, 1 no reservatório do Piraquara I e 1 no reservatório do Iraí. As amostras coletadas nos outros reservatórios foram feitas apenas para que se pudesse realizar a calibração da sonda com valores distintos de concentração de cianobactérias. O dia se apresentava ensolarado, com poucas nuvens e sem ventos significativos, a temperatura média do dia 06/02/18 foi de 27 graus. A segunda parte da campanha foi realizada no dia 21/03/18, o dia se apresentava nublado e durante a amostragem houve fortes pancadas de chuva. Nesse dia foram coletadas 16 amostras para a posterior contagem laboratorial, e estimada a concentração de ficocianina através da sonda multi paramétrica Trilux nos pontos escolhidos.

Os pontos de coleta mostrados na figura 6, foram escolhidos estrategicamente no sentido de relacionar as concentrações obtidas de ficocianina, com as possíveis regiões que possuem contribuição de sub-bacias com focos poluidores. Os dados relacionados de carga de fósforo, foram obtidos do estudo realizado por SANEPAR (2016), que estima a contribuição da concentração de fósforo das sub-bacias da Bacia do Piraquara e as suas respectivas vazões. Com isso, se cria a hipótese de que as bacias com maior

Figura 5 - Pontos de coleta de amostras e de medição da concentração de ficocianina no reservatório do Piraquara II, realizado no dia 06/2018 e no dia 21/03/2018



Fonte: O Autor (2018).

contribuição de fósforo gerem pontos do reservatório com maior concentração de cianobactérias.

Para a coleta da água *in natura* foi utilizado um recipiente com boca larga que foi ambientado na água antes da sua retirada. As amostras de água eram retiradas a uma profundidade de 20 cm de acordo com instrumentação técnica fornecida pela SANEPAR, que se baseia nas instruções básicas do Ministério da Saúde para coleta e armazenamento de cianobactérias. A coleta foi realizada na minha presença, com o auxílio do Engenheiro Florestal da SANEPAR, da área de pesquisa e desenvolvimento, Maurício Scheer e do professor de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Michael Mannich.

Muitas cianobactérias apresentam aerótopos, que são vesículas contendo gás resultante do seu metabolismo, que acaba permitindo que elas flutuem na água, sendo assim, a maioria das cianobactérias tendem a se concentrar na superfície. Outras podem formar extensas florações a vários metros de profundidade, longe da visão do coletor. Em dias de ventos mais intensos, as cianobactérias tendem a ter uma distribuição mais homogênea na coluna d'água. Para que possa ser medida a concentração de cianotoxinas, se recomenda que as amostras sejam coletadas próximas à superfície (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2015).

As amostras foram acondicionadas em recipientes com tampa, sendo eles do tipo âmbar, que proporcionam uma melhor conservação das amostras por serem recipientes opacos (baixa transparência). Para que se pudesse obter uma preservação das amostras coletadas foi utilizada uma solução fixadora, o lugol. O lugol tem como vantagem a manutenção de estruturas como flagelos e o aumento do peso específico das células algais, facilitando sua sedimentação, o que o torna ideal para análise quantitativa de cianobactérias. As amostras foram transportadas em uma caixa que apresentava conservação com relação a luz do sol.

A análise quantitativa consiste na identificação de espécies e baseia-se na observação das características morfológicas e sua estrutura. Utiliza-se para a análise um microscópio óptico binocular que possui: ocular de medição,

câmara clara, câmara fotográfica e sistema de epifluorescência. A amostra é armazenada e analisada em uma câmara de Utermöhl de vidro e depois é transferido para uma lâmina onde ocorre a contagem (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2015).

A contagem e identificação de cianobactérias coletadas na campanha de fevereiro foi realizada pela bióloga Sonia, no laboratório USAV, da companhia de saneamento do Paraná, SANEPAR. Nas amostras coletadas em março, com o auxílio da Sonia, eu estimei a concentração de células por ml dos frascos coletados.

O método Utermöhl consiste na quantificação dos organismos em campos aleatórios ou campos alinhados em transectos verticais e horizontais, onde foi utilizada uma lâmina para calibração com a presença de uma régua microscópica gravada na porção central, com dimensão de um milímetro dividida em 100 partes. A lâmina micrométrica é movida cuidadosamente de ponta a ponta na vertical e na horizontal da câmara de Utermöhl, e as espécies e a quantidade de cianobactérias são identificadas e quantificadas.

4.2.3 Georreferenciamento dos dados obtidos

Com o auxílio do ArcGis foram feitos mapas que representam a distribuição da concentração de ficocianina, turbidez e clorofila ao longo do reservatório. Após a coleta dos dados, para que fosse estimada a concentração de todos esses parâmetros ao longo de todo o reservatório, sem que fosse necessária a coleta e medição em absolutamente todos os pontos, foram testadas ferramentas de interpolação de dados que apresentam um comportamento de distribuição que fosse coerente com os fenômenos que ocorrem naturalmente.

De acordo com trabalho realizado por UTSUMI (2015), o melhor interpolador que se ajusta a distribuição de cianobactérias ao longo do reservatório é a *krigagem* ordinária. Vários interpoladores foram utilizados, e o que de fato se ajustou melhor ao comportamento das florações de cianobactérias foi o mesmo interpolador para o presente trabalho.

A *krigagem* ordinária é um método geoestatístico estimador que leva em consideração as características espaciais de variáveis regionalizadas. Deve existir uma continuidade espacial dos dados amostrados para que se possa ser utilizada a parametrização de pontos onde a variável não é conhecida. A krigagem leva em consideração todos os dados amostrados e considera a covariância entre uma amostra e o local estimado. O peso de cada amostra também diminui de acordo com o aumento da distância, ou seja, pontos próximos no espaço apresentam valores mais parecidos do que pontos mais distantes. É considerada a melhor ferramenta para a interpolação de dados, pois os erros de estimação apresentam uma variância mínima.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as recomendações da Portaria do Ministério da Saúde número 2.914, de 12 de dezembro de 2011, para minimizar os riscos de contaminação da água para consumo humano com cianotoxinas, deve ser realizado o monitoramento de cianobactérias, buscando-se identificar os diferentes gêneros, no ponto de captação do manancial superficial, de acordo com a tabela do anexo XI a esta portaria, considerando, para efeito de alteração da frequência de monitoramento, o resultado da última.

Após análise e contagem laboratorial, foi estimada a quantidade de células de cianobactérias encontradas no reservatório do Piraquara II e quais os gêneros que se manifestavam em maior quantidade nesse local. Foram identificadas cianobactérias dos seguintes gêneros: *Aphanocapsa*, *Cylindrospermopsis*, *Dolichospermum*, *Microcystis* e *Pseudanabaena*. Na maioria das amostras, os gêneros que apareceram em quantidades e frequências mais significativas foram as *Aphanocapsa* e *Microcystis* (figura 8), que são da ordem de cianobactéria *Chroococcales* e apresentam similaridade com relação as suas células esféricas.

As alterações na composição e abundância da comunidade fitoplanctônica podem ser provocadas pela variabilidade ambiental que, atuando com frequências e intensidades variáveis, podem gerar perturbações que irão modificar o caráter qualitativo e quantitativo da biota, selecionando espécies através de mecanismos competitivos. Conhecer as características físicas, químicas e biológicas da água

torna-se importante, pois são elementos a serem considerados na avaliação da qualidade do sistema influenciando diretamente a composição e distribuição do fitoplâncton (SILVA, 2015).

Em um estudo realizado por PIMENTEL (2009), se identificou em maiores números de células no reservatório de Furnas – Minas Gerais (MG), cianobactérias do gênero *Aphanocapsa*. No mesmo reservatório, se encontrou grandes quantidades de genótipos tóxicos e toxinas, assim foi considerado que o gênero *Aphanocapsa* seria um dos potenciais produtores de microcistinas no reservatório.

O gênero *Microcystis* é um dos que mais causa problemas de proliferações em reservatórios em todo mundo, devido a sua alta capacidade de formar florações e produzir toxinas. As *Microcystis* costumam a se formar em colônias e podem variar muito o tamanho das células de acordo com a sua família. Fatores como temperatura, luz e nutrientes afetam diretamente o desenvolvimento e a concentração de toxinas nas células desses microorganismos. Tais fatores determinam a sua taxa de crescimento e também a síntese de suas toxinas. É possível observar que, de maneira antrópica, existem mudanças significativas na dinâmica da comunidade fitoplanctônica, tanto que é possível notar que a sazonalidade e até mesmo variáveis abióticas pouco variam entre dois períodos amostrados (SILVA, 2015).

Na contagem de células de cianobactérias pode existir muita diferença de acordo com o responsável pela contagem. Qualquer pequeno movimento do instrumentador ou escolha do transecto pelo qual o microscópio vai se deslocar para visualização da amostra, pode afetar em questão de milhares de células o resultado final da contagem. De acordo com a bióloga Sonia (PEGAR SOBRENOME), cerca de 20% para mais ou para menos sobre o valor total de células é considerado um erro aceitável para contagem de cianobactérias.

De acordo com a portaria 2.914/2011 do ministério da saúde, quando a densidade de cianobactérias exceder 20.000 células/ml, deve-se realizar a análise de cianotoxinas na água do manancial, no ponto de captação, com frequência semanal. Com isso, são realizadas pelas empresas de saneamento,

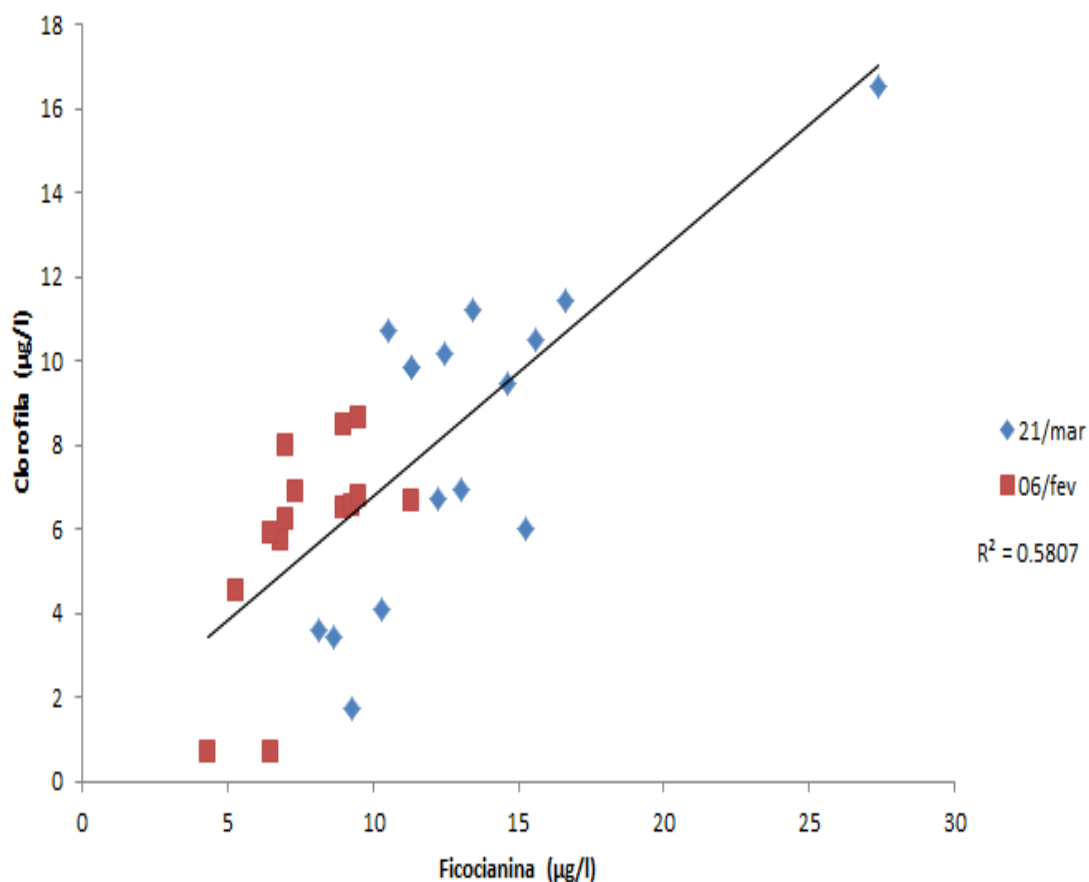
coletas mensais em todos os reservatórios de abastecimento de sua responsabilidade.

A grande variedade no tipo de barragens e reservatórios, e suas estratégias operacionais de acumulação e liberação dos fluxos, introduzem uma considerável incerteza sobre as alterações no regime hidrológico, e por consequência, sobre a retenção de sedimentos e nutrientes. O lago artificial formado pela barragem apresenta características que, em princípio, seriam semelhantes aos lagos naturais com seu ecossistema podendo ser associado às características climáticas, geológicas, físico-químicas e biológicas. O estabelecimento da barragem implica ainda em um desacoplamento dos fluxos de água e sedimentos em suspensão que por sua vez interagem com a morfologia do canal fluvial a jusante (SOUZA, 2011).

Sabendo que a característica principal de reservatórios é a existência de gradientes horizontais e um fluxo contínuo em direção à barragem, foi possível observar maiores concentrações de células de cianobactérias e de clorofila nessas regiões devido ao fato do acúmulo de nutrientes e favorecimento do crescimento desses organismos. Observa-se também, um gradiente que aumenta sua concentração com relação ao deslocamento pelo reservatório em direção a barragem. O comportamento do crescimento de cianobactérias e fitoplânctons ao longo do reservatório é bastante similar, apontando regiões possíveis de acúmulo de nutrientes ou de lançamento de fontes antrópicas no meio.

No caso da turbidez, é possível verificar que quanto maior for o floração de cianobactérias menor é a distribuição da turbidez ao longo do reservatório. Esse fator pode ser explicado devido ao fato de que as florações estão associadas a extensos períodos, nos quais a escassez de chuvas provoca uma baixa taxa de escoamento da água.

Figura 6 – Relação entre os dados amostrados de clorofila e ficocianina ao longo do reservatório.

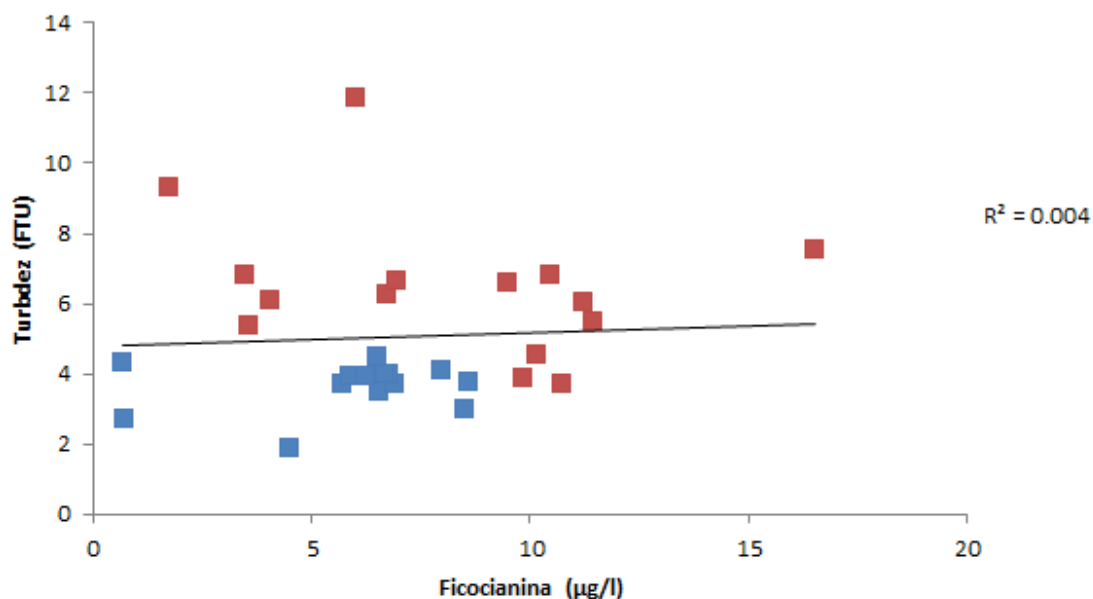


Fonte: O autor (2018).

A relação entre o indicador de cianobactérias, a ficocianina, e a turbidez pode ser visto na figura 10 como fatores que possuem uma baixa correlação. O comportamento dos sólidos totais é semelhante ao da turbidez. Os valores refletem na condição local, com aumento em locais de maior poluição. O excesso de sólidos na água pode afetar a comunidade aquática, podendo alterar as condições de luminosidade da água interferindo no metabolismo dos organismos autotróficos submersos e acabam por dificultar a realização da fotossíntese. Assim aumentando a concentração de nutrientes pode estar diretamente ligado com a redução da turbidez na água (BUZELLI, 2013).

Mas esse fato também pode ser explicado devido a interferência dos sólidos presentes no meio, atrapalharem de certa forma a leitura óptica feita pela sonda.

Figura 7 – Concentrações de ficocianina e turbidez coletadas ao longo do reservatório do Piraquara II.

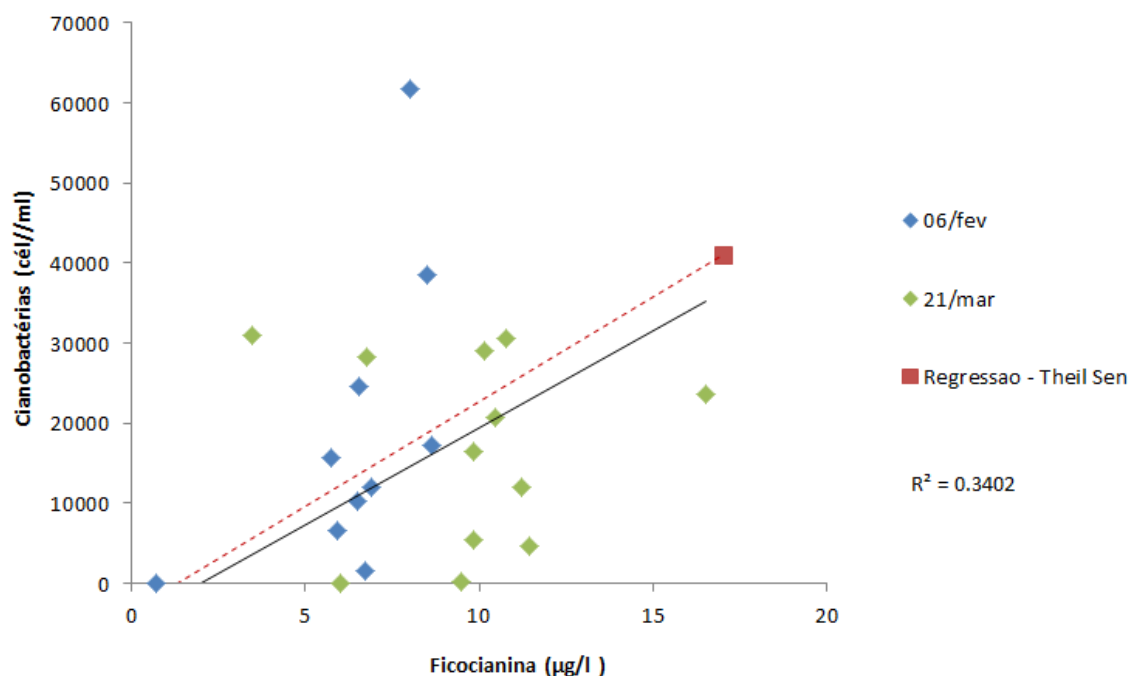


Fonte: O autor (2018).

A correlação apresentada entre a concentração de células de cianobactérias e ficocianina, se deu de certa maneira baixa. Acredita-se que a contagem de mais pontos poderia gerar uma correlação maior. O presente estudo não pode afirmar de fato que as contagens laboratoriais não sejam mais necessárias, se necessita uma correlação que apresente maior confiabilidade (figura).

A cor vermelha da figura representa as concentrações de turbidez obtidas em 06/02 e a cor azul representa as concentrações obtidas na campanha realizada em 21/03.

Figura 8 - Regressão linear entre as concentrações coletadas de ficocianina e a contagem de cianobactérias no reservatório. A regressão representada pela linha vermelha apresenta a reta estimada pelo método de Theil Sen.

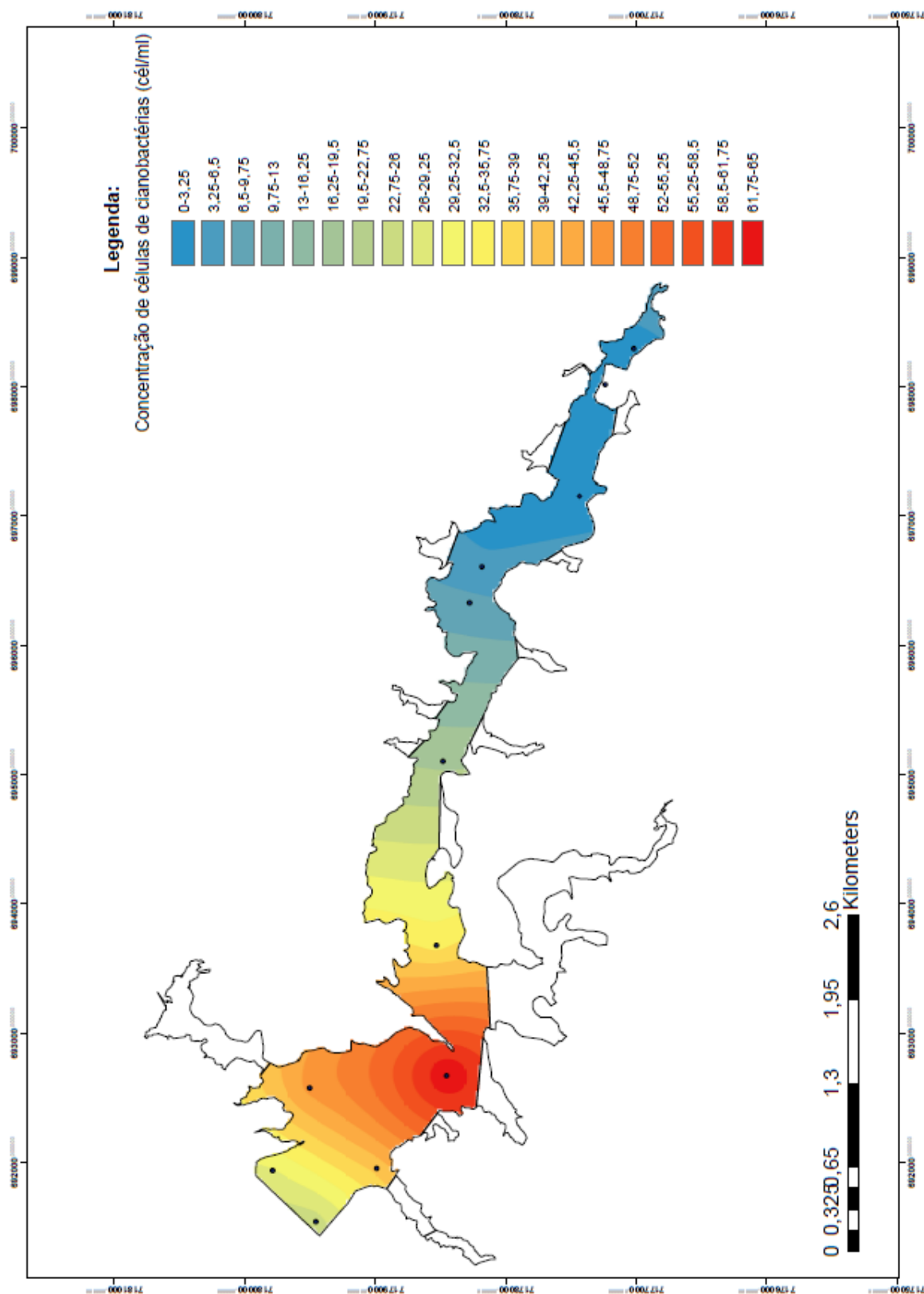


As sub bacias que apresentam maiores contribuições de fósforo são: Botiatuva e Campinaíva. É possível observar que as regiões que apresentam maiores florações de cianobactérias possuem altas cargas de fósforo, o que pode estar diretamente relacionado, devido ao fato de o fósforo ser um fator determinante do crescimento destes organismos.

Tabela 2 – Carga de fósforo presente nas sub bacias do reservatório do Piraquara II.

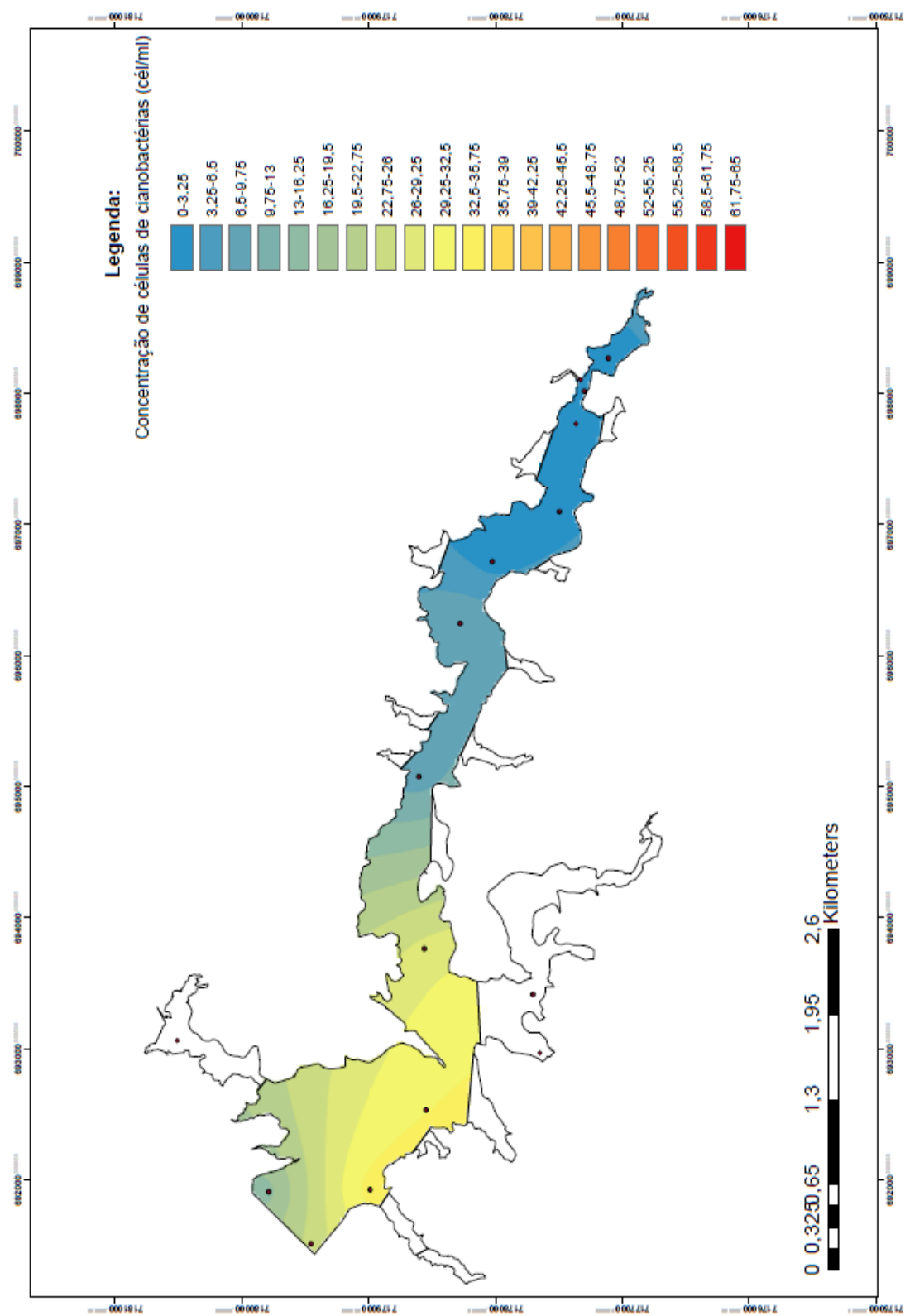
Sub Bacia	Carga de fósforo (kg/dia)
Tanque do Beto 1	0,090
Guimaraes 2	0,105
Rio Botiatuva 3	1,220
Rio Voçoroca 4	0,577
Rio Campestre	
Médio 5	0,252
Rio Campestre 6	0,380
Rio Campinaíva 7	0,514
Rio Laranjeiras 8	0,051

Figura 9 – Concentração de células de cianobactéria ao longo do reservatório do Piraquara II, amostras realizadas no dia 06 de fevereiro.



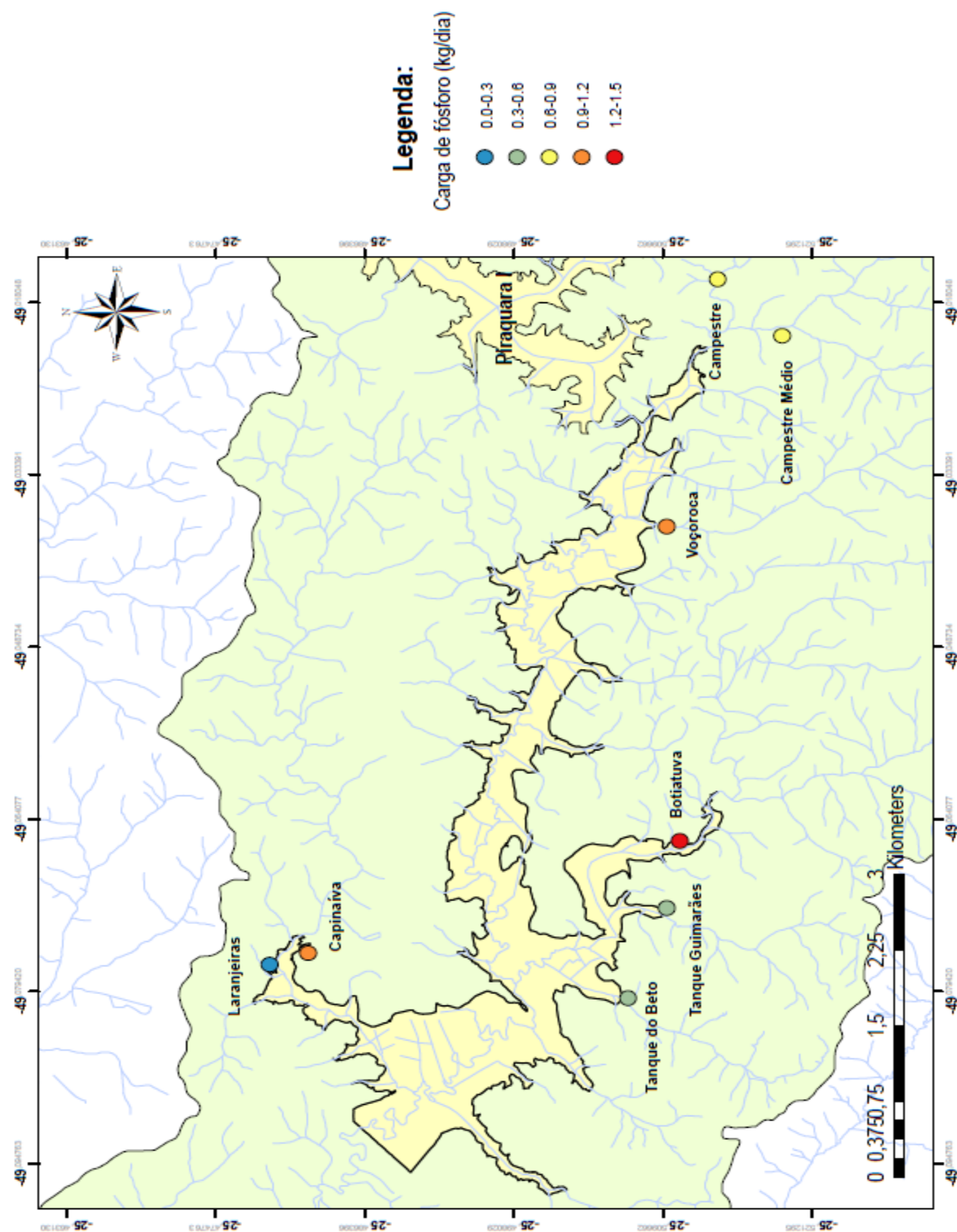
Fonte: O autor (2018).

Figura 10 - Concentração de células de cianobactéria ao longo do reservatório do Piraquara II, amostras realizadas no dia 21 de março.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 11 – Sub bacias da bacia do Piraquara, que apresentam contribuições de fósforo medidas por LOPES (2016).



Fonte: O Autor (2018).

6 CONCLUSÃO

A análise conjunta entre as variáveis quantificadas pela sonda TriLux mostraram que os parâmetros estudados, como a ficocianina, a clorofila e a turbidez possuem grande relação entre si. O aumento da ficocianina e da clorofila no corpo hídrico se dá de maneira proporcional, conforme se tem o acúmulo de nutrientes ao longo do reservatório. Na barragem onde a maioria dos nutrientes se acumula ao longo do deslocamento, pode-se observar que a presença desses microorganismos é grande.

É possível observar também, que as bacias que possuem maior contribuição de fósforo acabam gerando regiões no reservatório com concentrações mais elevadas de ficocianina e clorofila, como as bacias do Capinaíva e do Botiatuva, confirmando a hipótese de que o lançamento de fontes poluidoras com altas concentrações de fósforo acabam aumentando a concentração desses microorganismos na água. A turbidez ao longo do reservatório aumenta conforme a diminuição da concentração de cianobactérias, isso se dá pelo fato de que em lugares onde a turbidez é muito alta é difícil que haja penetração da luz e conseqüentemente, que ocorra o floramento de cianobactérias.

A regressão linear entre os pontos coletados para contagem e os quantificados pela sonda, mostram que a qualidade do ajuste entre essas duas variáveis ainda não é muito confiável, pois foi obtido um baixo valor de coeficiente de determinação (R^2). A regressão obtida pelo método de Theil Sen, mostra que é possível fazer a linearização de pontos sem que os pontos muito dispersos interfiram de uma maneira brusca no comportamento da reta. O desvio padrão obtido com o auxílio da regressão linear, apresentou valores mais satisfatórios, pois se obteve um desvio padrão menor do que quando utilizamos o método de Theil Sen.

7 REFERENCIAS

ANDREOLI, C. V. et al. Os mananciais de abastecimento do sistema integrado da região metropolitana de Curitiba. Revista técnica da sanepar, Curitiba, v. 12, n. 12, jul./dez. 1999.

ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados. 10 ed. Curitiba: Sanepar, 2005

ARAUJO, J. A. F.; SALES, R. J. M.; SOUZA, R. O. Risco de eutrofização em reservatórios de regiões semiáridas com uso da teoria dos conjuntos difusos. REGA, v. 10, n. 1, p. 29-39, jan./jun. 2013.

AVILA, R. Análise crítica do relatório de impacto ambiental do projeto Piraquara II com a relação à manutenção de disponibilidade de água. Curitiba, 2006.

BARROS, et. al. Classificação do índice de estado trófico no rio turvo sujo-Mg segundo diferentes metodologias. Simpósio do Centro Brasileiro para Conservação da Natureza e Desenvolvimento Sustentável Viçosa – MG, 2010.

COUTO, José Luiz Vianna do. Lições de Hidrologia, Limnologia: Parâmetros. Notas de Aula. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1989. 12 p. Disponível em< <http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/hid.htm>>. Acesso em 25 de setembro.

DI BERNARDO, L.; MINILLO, A.; DANTAS, A.D. Florações de algas e de cianobactérias: Suas influências na qualidade da água e nas tecnologias de tratamento. São Carlos: Editora LDiBe Ltda., 536p., 2010.

ESTEVES, F.A. Fundamentos de Limnologia. 2ª edição. Rio de Janeiro: Editora Interciência/FINEP, 226p., 1988.

FIGUEIREDO E SILVA. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson. UFPE, Revista Política Hoje, Vol. 18, n. 1, 2009.

GODLEWSKA et. al.,. Do fish and blue-green algae blooms coexist in space and time?. Fisheries Research, Volume 173, Part 1, p. 93-100, 2016.

GONÇALVES, E. A urbanização em áreas de proteção ambiental: a caracterização do município de Piraquara. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências da Terra. Curso de Especialização em Análise Ambiental Curitiba, 2010.

KIRST, L. Avaliação da toxicidade induzida pela exposição à microcistinaLR sobre as neurotransmissões purinérgica e colinérgica em Zebrafish. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Biologia Celular e Molecular - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul 2012.

KONG, Y. et al. Using an online phycocyanin fluorescence probe for rapid monitoring of cyanobacteria in Macau freshwater reservoir. Hydrobiologia. Ed. 741, p. 33-49, 2014.

LIMA, C. A.; CAMPOS, M. L. B.; TERBECK, M. I. Ocupação Urbana Em Área De Mananciais Na Região Metropolitana De Curitiba – Municípios De Pinhais e Piraquara. Setor de Tecnolgoia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

MACIEL, J. N. Qualidade de água em Reservatórios, Unidade III: Gerenciamento da Qualidade de água em reservatórios. UFSC, 2010.

MARRARA, A. e SIVIERO, A. Monitoração de cianobactérias tóxicas em sistemas de tratamento de águas residuárias e sua influência no corpo receptor. UNICAMP, 2015.

MARTINS, J. C.; VASCONCELOS, V. M.; Microcystin Dynamics in Aquatic Organisms. Journal of Toxicology and Environmental Health Part B, vol. 12, p. 65-82, 2009.

Métodos de Calibração. Núcleo de Pesquisa e Informação – Universidade Federal de Juíz de Fora. Aula 1, 2012.

MORAES et al. Extração de ficocianina a partir de diferentes biomassas de *Spirulina* sp. Periódico Universidade Federal de Pelotas. CAST - Current Agricultural Science and Technology, vol. 13, n.4, 2007.

LI, et. al. Developing a Survey Tool for the Rapid Assessment of Blue-Green Algae in Central Indiana's Reservoirs. Preliminary Report of 2005 Research. CEES, 2006.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, Cianobactérias/cianotoxinas procedimentos de coleta, preservação e análise, 2015.

PBA – PROJETO BÁSICO AMBIENTAL da Barragem Piraquara II/PR, da SANEPAR – Companhia Paranaense de Saneamento e Consórcio ParanáSan (Elaboração) – Jan/01 a Jan/02.

PARO, M.C. Estratificação térmica e reflexos na qualidade da água em reservatórios de acumulação do Sistema Produtor Cantareira. Revista DAE, n. 126 Sabesp. 11º Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária. São Paulo, 1981.

PIVELI, R.; KATO, M. Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-químicos, Editora: Abes, 2006.

Prefeitura de Piraquara, Bacia do Rio Piraquara. Curitiba, 2015. Disponível em : <http://www.piraquara.pr.gov.br/facoparte/PSA--Bacia-do-Rio-Piraquara-218-4449.shtml>

PROÁGUA. Embrapa Meio Ambiente. Programa de Desenvolvimento de Recursos Hídricos para o Semi-Árido Brasileiro SEMI ÁRIDO, 2005.

Projeto Mapeamento Geológico Geotécnico para Planejamento na Região Metropolitana De Curitiba. Mineropar – Serviço Geológico do Paraná. Curitiba, 2014.

Relatório de Qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná. Instituto Ambiental do Paraná. Curitiba, 2017, p. 44.

SANEPAR, OS MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO DO SISTEMA INTEGRADO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA – RMC, Vol 12, julho de dezembro de 1999.

SANEPAR (2016). Vazões e cargas de fósforo afluentes ao reservatório Piraquara II. Curitiba, 2016.

SENGIPIEL, R. E. Using airborne hyperspectral imagery to estimate chlorophyll a and phycocyanin in three central Indiana mesotrophic to eutrophic reservoirs. Department of Earth Science. Indiana University. 163p., 2007.

SERAFIM, M. J. Qualidade da água em reservatórios – UNESP, 2011.

SILVA, A.; MOLICA, R.; AZEVEDO, S. Ecologia, Ecofisiologia E Toxicologia De Cianobactérias. Oecologia Australis, vol 13, p. 225-228. 2009.

SHIMAKURA, Coeficiente de Pearson, 2005. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~silvia/CE701/node79.html>>

UTSUMI, A. G.; GALO, M. de L. B. T.; TACHIBANA, V. M. - Mapeamento de cianobactérias por meio da fluorescência da ficocianina e de análise geoestatística. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande: v. 19, n. 3, p. 273-279. 2015.

VINCENT, R.K et al. Phycocyanin detection from LANDSAT TM data for mapping cyanobacterial blooms in Lake Erie. Remote Sensing of Environment, v. 89, p. 361-368, 2004.

Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília : Ministério da Saúde, 213p., 2006.

VILELA, J. Ficocianina. Artigo Ciência da Terra e da Vida: Biologia. 2015.