

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA APLICADA AO MANEJO**  
**E CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS - PGECOL**

Patrícia Fernanda dos Santos de Loureiro Nunes

**EFEITO DA TURBIDEZ SOBRE A PRODUÇÃO PRIMÁRIA FITOPLANCTÔNICA.**

**Juiz de Fora**  
**2019**

**Patrícia Fernanda dos Santos de Loureiro Nunes**

**EFEITO DA TURBIDEZ SOBRE A PRODUÇÃO PRIMÁRIA FITOPLANCTÔNICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial a obtenção do grau de Mestre em Ecologia Aplicada a Conservação e Manejo de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Roland

Co-orientadora: Prof. Dra Simone Cardoso.

**Juiz de Fora**

**2019**

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

NUNES, PATRICIA FERNANDA DOS SANTOS DE LOUREIRO.  
Efeito da turbidez sobre a produção primária fitoplanctônica /  
PATRICIA FERNANDA DOS SANTOS DE LOUREIRO NUNES. --  
2019.  
92 p. : il.

Orientador: Fabio Roland  
Coorientadora: Simone Jaqueline Cardoso  
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós  
Graduação em Ecologia, 2019.

1. Fitoplâncton. 2. Turbidez. 3. Mineração. 4. Rejeito. I. Roland,  
Fabio, orient. II. Cardoso, Simone Jaqueline, coorient. III. Título.

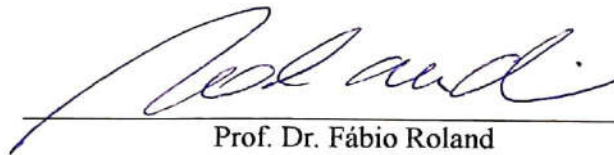
**"EFEITOS DA TURBIDEZ SOBRE A PRODUÇÃO PRIMÁRIA  
FITOPLANCTÔNICA"**

**Patrícia Fernanda dos Santos de Loureiro Nunes**

Orientador: Prof. Dr. Fábio Roland

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos para obtenção do Título de mestre em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais.


Aprovado em 28 de fevereiro de 2019.



Prof. Dr. Fábio Roland  
Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF



Prof. Dr. José Paulo Rodrigues Furtado de Mendonça  
Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF



Prof. Dr. Marcos Paulo Figueiredo de Barros  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, meu agradecimento a Deus, por me permitir passar por esta jornada que tanto contribuiu para meu crescimento profissional, acadêmico e pessoal. Por abrir portas e me dar forças quando as tarefas eram tantas que me questionei se teria forças para cumpri-las. Por todo o amadurecimento e superação que esse processo significou para mim.

Agradeço também à minha família, meus irmãos Priscila e Renato, que tanto torceram por mim e me apoiaram, meu pai, Fernando que se alegrou com cada conquista minha e minha mãe, Regina, minha maior incentivadora, intercessora, a pessoa que sempre me garantiu que “vai dar certo”. Obrigada, mãe, seu apoio foi e sempre será essencial para mim.

Ao meu marido, Marcos, pelo companheirismo, pela paciência e por me apoiar incondicionalmente. Você é a pessoa com quem decidi dividir minha vida, e por torná-la mais feliz eu te agradeço.

Aos professores que me orientaram e me ensinaram tanto. Fábio Roland, primeiramente por ter aceitado me orientar, pelos seus desafios que me fizeram ter ainda mais certeza do que eu quero e pela paciência em me explicar as coisas, com todas as suas histórias. Por acreditar em mim, obrigada! E Simone Cardoso, por ser tão presente e atenciosa, por me fazer dar sempre meu melhor, por todo incentivo, pelos conselhos e por tudo que me ensinou, obrigada!

Aos professores que contribuíram com este trabalho: André Amado, obrigada por todas as contribuições e por ser tão solícito para responder as dúvidas que surgiram no desenvolvimento do trabalho; Raquel Mendonça, obrigada pelas contribuições com a interpretação dos dados; Nathan Barros, obrigada pela ajuda com os dados e gráficos.

Agradeço pela contribuição na etapa experimental: Nathália Resende, Bárbara Miranda, Yasmin Gomes e de maneira geral: Iollanda, Layla, Gabi, José Reinaldo, Ive, Vitor, Ingrid, Guilherme, muito obrigada por tudo o que me ensinaram. Agradeço também a todos do LEA que de alguma forma contribuíram com minhas atividades. Ao Gladson por me ajudar com as inúmeras análises de nutrientes, por tantas horas de trabalho e à Adriana por toda ajuda com as análises e por contribuir com as dúvidas que surgiram.

À Prof. Renata Pereira e à Iramaia Moraes, Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA) do departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental pelo empréstimo da cubeta

do aparelho PHYTO-PAM e ao Prof. Roberto da Gama Alves e ao Pedro Amaral do Laboratório de Invertebrados Bentônicos (LIB) do departamento de Zoologia pelo empréstimo do turbidímetro e análise de granulometria.

À equipe de direção e colegas de profissão da Escola Estadual Maria de Magalhães Pinto pelo incentivo e cooperação.

A todos os que em algum momento contribuíram com essa jornada, tornando meus dias mais agradáveis, meu sincero agradecimento.

Que não cesse o canto das aves  
Que as borboletas façam seu vôo desgovernado  
E depois que a chuva cair  
Que haja cheiro de novidade na mata.  
Cada bicho saia de sua toca  
E quando a luz do sol chegar  
Na cíclica manhã que desde o eterno há  
A vida grite sua existência de todo canto.  
Que cada pessoa entenda que é pedaço da roda viva  
E que a terra onde pisamos  
Não é nossa,  
É parte de nós.

Patrícia Nunes

## RESUMO

Cadeias tróficas aquáticas têm como primeiro elo o fitoplâncton, grupo dos organismos fotossintetizantes que transformam a energia luminosa que penetra na coluna d'água em carbono orgânico. Fatores como disponibilidade de nutrientes e de radiação luminosa fotossinteticamente ativa (PAR) regulam o metabolismo fitoplanctônico. A turbidez é um fator que pode regular a quantidade de luz disponível à fotossíntese e pode ser de natureza orgânica ou inorgânica, relacionada a partículas em suspensão na coluna d'água. Pode ser causada pela ressuspensão de sedimentos ou por impactos antrópicos que levem ao aumento de partículas inorgânicas em suspensão, como é o caso da atividade de mineração, cujo rejeito pode chegar a ambientes aquáticos e alterar a dinâmica planctônica e estrutura trófica. O Lago Batata (PA) se localiza na planície Amazônica e será usado como sistema modelo porque foi impactado por rejeito de beneficiamento de bauxita. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da turbidez sobre a produção primária, a distribuição de grupos de clorofila e sobre o rendimento fotossintético (Yield) e avaliar o efeito da adição progressiva de sedimento à produção primária. Foram feitos experimentos com sedimentos do reservatório de Chapéu D'Uvas, da área impactada do Lago Batata e da área natural e com a comunidade planctônica retirada do lago localizado no Jardim Botânico da UFJF. Foram combinados níveis alto, baixo e médio de turbidez com níveis alto, baixo e médio de clorofila para avaliar o efeito de cada variável. Foi realizado um experimento com adição diária progressiva de sedimento a níveis alto e baixo de clorofila para avaliar o efeito do aumento progressivo de turbidez. Os resultados mostraram que a turbidez inorgânica é capaz de reduzir a produção primária se o sedimento não fornecer nutrientes ao sistema. O efeito do sedimento é maior em maiores níveis de turbidez e o efeito da clorofila se torna maior em menores níveis de turbidez. O Yield reduz em maior turbidez e em tratamentos mais desfavoráveis à fotossíntese, na distribuição de grupos de clorofila houve maior expressão de algas marrons que em tratamentos com mais nutrientes. A adição progressiva de sedimento causou redução mais acentuada de clorofila em tratamentos de clorofila alta.

Palavras-chave: Fitoplâncton, Turbidez, Mineração, Rejeito.



## ABSTRACT

Aquatic trophic chains have as their first link the phytoplankton, group of photosynthetic organisms that transform the luminous energy that penetrates in the water into organic carbon. Factors such as nutrient availability and photosynthetically active radiation (PAR) regulate phytoplanktonic metabolism. Turbidity is a regulating factor of the available light for photosynthesis and can be of organic or inorganic nature, if it is related to particles in suspension in the water column. It can be caused by resuspension of sediment or by anthropic impact that lead to the increase of inorganic particles in suspension, as the mining activity, that generates tailings that can reach aquatic environments and alter planktonic dynamics and trophic structure. Batata Lake (PA) is situated at Amazonian plains and will be used as a model system because it was impacted by bauxite tailing. The objective of this study was to evaluate the effect of turbidity on primary production, on the distribution of chlorophyll groups and on the photosynthetic yield and to evaluate the effect of progressive addition of sediment on primary production. Experiments were performed using sediments from Chapéu D'Uvas reservoir, from the impacted area of Batata Lake and from its natural area with the planktonic community from the lake located at Botanic Garden of UFJF. High, medium and low levels of turbidity were combined to high, medium and low chlorophyll levels to evaluate the effect of each of the variables. An experiment was carried out with progressive addition of sediment to high and low levels of chlorophyll to evaluate the effect of progressive increase of turbidity. The results showed that inorganic turbidity is capable of reducing primary production if the sediment does not provide nutrients to the system. The effect of sediment is stronger in higher levels of turbidity and the effect of chlorophyll is stronger in lower levels of turbidity. Yield reduces in higher turbidity and treatments more adverse to photosynthesis, the groups distribution showed more brown algae expression than in treatments with more nutrients. The progressive addition of sediment caused more pronounced chlorophyll reduction in high chlorophyll treatments.

Keywords: Phytoplankton, Turbidity, Mining, Tailing.



## **LISTA DE ABREVIATURAS**

CDU – Chapéu D’Uvas

BI – Batata Impactado

BN – Batata Natural

TACA – Turbidez Alta Clorofila Alta

TACM – Turbidez Alta Clorofila Média

TACB – Turbidez Alta Clorofila Baixa

TMCA – Turbidez Média Clorofila Alta

TMCM – Turbidez Média Clorofila Média

TMCB – Turbidez Média Clorofila Baixa

TBCA – Turbidez Baixa Clorofila Alta

TBCM – Turbidez Baixa Clorofila Média

TBCB – Turbidez Baixa Clorofila Baixa

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1: Localização da área de estudo – Lago Batata (PA). Fonte: Google Earth e Google imagens. .... 26
- Figura 2: Represa de Chapéu D’Uvas e localização no Rio Paraibuna. Fonte: Google Earth. 26
- Figura 3: A) Jardim Botânico – UFJF. Fonte: Google Earth. B) Localização do lago no Jardim Botânico – UFJF. Fonte: Google Earth. C) Vista panorâmica do lago do Jardim Botânico – UFJF. Fonte: acervo pessoal..... 28
- Figura 4: Relação entre valores de turbidez encontrados em amostras de diferentes concentrações de sedimento. As bandas em cinza representam o erro padrão do modelo. .... 30
- Figura 5: Comparação entre resultados dos sedimentos analisados. BI: Batata Impactado, BN: Batata Natural e CD: Chapéu D’Uvas. As bandas em cinza representam o erro padrão do modelo..... 31
- Figura 6: Valores de clorofila por turbidez de amostras dos sedimentos do Batata Impactado (BI), Batata Natural (BN) e Chapéu D’Uvas (CDU) . As bandas representam o erro padrão do modelo..... 32
- Figura 8: Câmara incubadora com lâmpada de LED e placa agitadora onde os béqueres com tratamentos foram incubados..... 36
- Figura 9: Conteúdo de matéria orgânica por sedimento analisado (%) por tipo de sedimento. .... 40
- Figura 10: Variação de clorofila a em função do tempo (dias) no experimento de efeito da turbidez sobre a produção primária com sedimento de Chapéu D’Uvas. Tratamentos de turbidez = Baixa (B), Média (M) e Alta (A) e tratamentos de clorofila Baixa (B), Média (M) e Alta (A). Os gráficos menores, o eixo vertical menor indica os valores de clorofila em ( $\mu\text{g/L}$ ) com desvio padrão e o eixo horizontal menor indica a variação de tempo. Os gráficos dos tratamentos de clorofila Baixa (B) apresentam escala do eixo Y menor devido à menor amplitude de distribuição dos dados. Devido ao método de correção dos dados, algumas réplicas precisaram ser desconsideradas, produzindo gráficos sem desvio padrão (TMCM e TMCA)..... 44
- Figura 11: Variação de clorofila ao longo do tempo por tratamento para o sedimento de Chapéu D’Uvas. Tratamentos de turbidez = Baixa (B), Média (M) e Alta (A) e tratamentos de clorofila Baixa (B), Média (M) e Alta (A). .... 45
- Figura 12: Variação de clorofila a em função do tempo (dias) no experimento de efeito da turbidez sobre a produção primária com sedimento Batata Impactado. Tratamentos de turbidez = Baixa (B), Média (M) e Alta (A) e tratamentos de clorofila Baixa (B), Média (M) e Alta (A). Os gráficos menores, o eixo vertical menor indica os valores de clorofila em ( $\mu\text{g/L}$ ) com desvio padrão e o eixo horizontal menor indica a variação de tempo. O gráfico do tratamento TACA apresenta escala do eixo Y maior devido à maior amplitude de distribuição dos dados ..... 46

Figura 13: Variação de médias de clorofila ao longo do tempo para o sedimento Batata Impactado. Tratamentos de turbidez = Baixa (B), Média (M) e Alta (A) e tratamentos de clorofila Baixa (B), Média (M) e Alta (A). .....	47
Figura 14: Variação de clorofila a em função do tempo (dias) no experimento de efeito da turbidez sobre a produção primária com sedimento de Batata Natural. Tratamentos de turbidez = Baixa (B), Média (M) e Alta (A) e tratamentos de clorofila Baixa (B), Média (M) e Alta (A). Os gráficos menores, o eixo vertical menor indica os valores de clorofila em ( $\mu\text{g/L}$ ) com desvio padrão e o eixo horizontal menor indica a variação de tempo. O gráfico do tratamento TBCB apresenta escala do eixo Y menor devido à menor amplitude de distribuição dos dados. Devido ao método de correção dos dados, algumas réplicas precisaram ser desconsideradas, produzindo gráficos sem desvio padrão (TMCB).....	48
Figura 15: Variação de clorofila ao longo do tempo para o sedimento Batata Natural. Tratamentos de turbidez = Baixa (B), Média (M) e Alta (A) e tratamentos de clorofila Baixa (B), Média (M) e Alta (A). .....	49
Figura 16: Variação de clorofila por tratamento ao longo do tempo. CDU: Chapéu D'Uvas; BN: Batata Natural; BI: Batata Impactado. Tratamentos de turbidez = Baixa (B), Média (M) e Alta (A) e tratamentos de clorofila Baixa (B), Média (M) e Alta (A). .....	50
Figura 17: Regressão linear dos tratamentos. CHD: Chapéu D'Uvas; BN: Batata Natural; BI: Batata Impactado. Tratamentos de turbidez = baixa (B), média (M) e alta (A) e tratamentos de clorofila baixa (B), média (M) e alta (A). .....	51
Figura 18: Slopes dos tratamentos por concentração de sedimento. Correspondências de concentração de sedimento para níveis de turbidez: Batata Impactado: Turbidez baixa-0,04g/L; Turbidez média-0,1g/L; Turbidez alta-0,8g/L; Batata Natural: Turbidez baixa-0,1g/L; Turbidez média- 0,3g/L; Turbidez alta-1,3g/L; Chapéu D'Uvas: Turbidez baixa-0,1g/L; Turbidez média-0,3g/L; Turbidez alta- 1,2g/L. ....	52
Figura 19: Clorofila total média por tratamento Chapéu D'Uvas. As letras semelhantes representadas acima dos boxplots representam grupos de tratamentos semelhantes. ....	53
Figura 20: Clorofila total média por tratamento Batata Impactado. As letras semelhantes representadas acima dos boxplots representam grupos de tratamentos semelhantes. ....	54
Figura 21: Clorofila total média por tratamento Batata Natural. As letras semelhantes representadas acima dos boxplots representam grupos de tratamentos semelhantes. ....	55
Figura 22: Variação de clorofila por grupos em função do tempo referente ao experimento efeito da turbidez sobre a produção primária com sedimento de Chapéu D'Uvas. As cores representadas no gráfico se relacionam a cor de clorofila correspondente (marrom, verde e azul), indicando a distribuição de cada grupo. ....	57
Figura 23: Variação de clorofila por grupos em função do tempo referente ao experimento efeito da turbidez sobre a produção primária com sedimento do lago Batata Impactado. As cores representadas no gráfico se relacionam a cor de clorofila correspondente (marrom, verde e azul), indicando a distribuição de cada grupo.....	58
Figura 24: Variação de clorofila por grupos em função do tempo referente ao experimento efeito da turbidez sobre a produção primária com sedimento do lago Batata Natural. As cores	

representadas no gráfico se relacionam a cor de clorofila correspondente (marrom, verde e azul), indicando a distribuição de cada grupo. ....	59
Figura 25: Rendimento (Yield) por grupos em função do tempo referente ao experimento efeito da turbidez sobre a produção primária com sedimento de Chapéu D’Uvas. As cores representadas no gráfico se relacionam a cor de clorofila correspondente (marrom, verde e azul), indicando a distribuição de cada grupo. ....	60
Figura 26: Rendimento (Yield) por grupos em função do tempo referente ao experimento efeito da turbidez sobre a produção primária com sedimento do lago Batata Impactado. As cores representadas no gráfico se relacionam a cor de clorofila correspondente (marrom, verde e azul), indicando a distribuição de cada grupo.....	61
Figura 27: Rendimento (Yield) por grupos em função do tempo referente ao experimento efeito da turbidez sobre a produção primária com sedimento do lago Batata Natural. As cores representadas no gráfico se relacionam a cor de clorofila correspondente (marrom, verde e azul), indicando a distribuição de cada grupo. ....	62
Figura 28: Relação entre turbidez inicial (antes da adição de sedimento) e final (após a adição). ....	67
Figura 29: Turbidez final de cada tratamento e controles por dia analisado em função da quantidade de sedimento adicionado. ....	67
Figura 30: Variação da clorofila total ao longo dos dias. A: Tratamento com clorofila Alta; B: Tratamento com clorofila Baixa; CA: Controle de clorofila Alta; CB: Controle de clorofila Baixa. ....	68
Figura 31: Clorofila total por grama de sedimento adicionado ao longo do tempo. A: Tratamento de clorofila Alta; B: Tratamento de clorofila Baixa; CA: Controle de clorofila Alta; CB: Controle de clorofila Baixa .....	69
Figura 32: Incremento de clorofila ao longo do tempo. Os valores foram padronizados pela quantidade de sedimento adicionado (g). Os valores dos controles foram divididos por 1. A: = clorofila Alta; B = clorofila Baixa; CA = Controle de clorofila Alta; CB = Controle de clorofila Baixa. ....	69
Figura 33: Variação de clorofila ao longo do tempo (esquerda) e incremento de clorofila ao longo do tempo (direita). Valores normalizados. B: Tratamento de clorofila Baixa. ....	70
Figura 34: Variação de clorofila dos controles ao longo do tempo. ....	71
Figura 35: Variação de valores de turbidez (com área de erro em destaque) dos controles ao longo do tempo. CA: Clorofila alta; CB: Clorofila Baixa. ....	71

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Variáveis limnológicas do lago do Jardim Botânico – UFJF, de onde foi retirada a água para os experimentos. Valores médios calculados com base em medidas sequenciais realizadas em dois pontos do lago. ....	29
Tabela 2: Concentração de soluções (g/L) de sedimento para cada nível de turbidez.....	30
Tabela 3: Valores médios e desvios padrões de clorofila a ( $\mu\text{g/L}$ ) encontrados nos diferentes tratamentos de turbidez para cada tipo de sedimento. ....	32
Tabela 4: Irradiância ( $\mu\text{W/cm}^2$ ) fornecida pela lâmpada de LED em cada ponto da placa agitadora. ....	36
Tabela 5: Quantidade de sedimento adicionado por dia (T1 a T10) e valores de turbidez atingidos. Legenda: CA - Clorofila Alta, CB - Clorofila Baixa; NA: Não adicionado. ....	38
Tabela 6: Valores de pH e Turbidez obtidos para cada sedimento. CDU: Chapéu D’Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TA: Turbidez Alta; TM: Turbidez Média; TB: Turbidez Baixa. TI = Tempo Inicial; TF = Tempo Final. Valores com (*) apresentaram variação significativa (Teste T pareado, $p < 0.05$ ).....	41
Tabela 7: Valores de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e Nitrogênio Dissolvido (ND) para cada sedimento. CDU: Chapéu D’Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TA: Turbidez Alta; TM: Turbidez Média; TB: Turbidez Baixa. TI = Tempo Inicial; TF = Tempo Final. Valores com (*) apresentaram variação significativa (Teste T pareado, $p < 0.05$ ).....	41
Tabela 8: Valores de Fósforo Total (P total), Fósforo Dissolvido (PD) e Amônia para cada sedimento. CDU: Chapéu D’Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TA: Turbidez Alta; TM: Turbidez Média; TB: Turbidez Baixa. TI = Tempo Inicial; TF = Tempo Final. Valores com (*) apresentaram variação significativa (Teste T pareado, $p < 0.05$ ).....	42
Tabela 9: Valores de Absorbância a 250 nm, (Abs 250 nm), Absorbância a 365 nm (Abs 365 nm) e Absorbância a 430 nm (Abs 430 nm). CDU: Chapéu D’Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TA: Turbidez Alta; TM: Turbidez Média; TB: Turbidez Baixa. TI = Tempo Inicial; TF = Tempo Final. Valores com (*) apresentaram variação significativa (Teste t pareado, $p < 0.05$ ).....	43
Tabela 10: Valores da razão entre absorbâncias a 250 nm e 365 nm (Razão Abs 250/ 365 nm) e Razão entre absorbância 430 nm e valores de Carbono Orgânico Dissolvido (Razão Abs 430/ COD). CDU: Chapéu D’Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TA: Turbidez Alta; TM: Turbidez Média; TB: Turbidez Baixa. TI = Tempo Inicial; TF = Tempo Final. Valores com (*) apresentaram variação significativa (Teste t pareado, $p < 0.05$ ).....	43
Tabela 11: Resultados do teste GLM de medidas repetidas para efeito do tempo para cada sedimento e tratamento. CDU: Chapéu D’Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. Z: teste estatístico Z; gl: graus de liberdade; QM: quadrados médios; SQT: soma dos quadrados totais; N: número de amostras; p: significância (os valores em negrito foram significativos para um alfa de 0.05). <sup>1</sup> Não houve variância na Anova destes grupos porque para realizar a correção, algumas réplicas precisaram ser desconsideradas. ....	56

Tabela 12: Valores de pH obtidos para cada tratamento. CDU: Chapéu D’Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TACA: Turbidez Alta, Clorofila Alta; TACM: Turbidez Alta, Clorofila Média; TACB: Turbidez Alta, Clorofila Baixa; TMCA: Turbidez Média, Clorofila Alta; TMCM: Turbidez Média, Clorofila Média; TMCB: Turbidez Média, Clorofila Baixa; TBCA: Turbidez Baixa, Clorofila Alta; TBCM: Turbidez Baixa, Clorofila Média; TBCB: Turbidez Baixa, Clorofila Baixa. Valores com (\*) apresentaram variação significativa. .... 63

Tabela 13: Valores de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e Nitrogênio Dissolvido (ND) obtidos para cada tratamento. CDU: Chapéu D’Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TACA: Turbidez Alta, Clorofila Alta; TACM: Turbidez Alta, Clorofila Média; TACB: Turbidez Alta, Clorofila Baixa; TMCA: Turbidez Média, Clorofila Alta; TMCM: Turbidez Média, Clorofila Média; TMCB: Turbidez Média, Clorofila Baixa; TBCA: Turbidez Baixa, Clorofila Alta; TBCM: Turbidez Baixa, Clorofila Média; TBCB: Turbidez Baixa, Clorofila Baixa. Valores com (\*) apresentaram variação significativa. .... 64

Tabela 14: Valores de fósforo Total (P total) e Fósforo Dissolvido (PD) obtidos para cada tratamento. CDU: Chapéu D’Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TACA: Turbidez Alta, Clorofila Alta; TACM: Turbidez Alta, Clorofila Média; TACB: Turbidez Alta, Clorofila Baixa; TMCA: Turbidez Média, Clorofila Alta; TMCM: Turbidez Média, Clorofila Média; TMCB: Turbidez Média, Clorofila Baixa; TBCA: Turbidez Baixa, Clorofila Alta; TBCM: Turbidez Baixa, Clorofila Média; TBCB: Turbidez Baixa, Clorofila Baixa. Valores com (\*) apresentaram variação significativa..... 65

Tabela 15: Razões C:N, N:P e C:P de cada tratamento. CDU: Chapéu D’Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TACA: Turbidez Alta, Clorofila Alta; TACM: Turbidez Alta, Clorofila Média; TACB: Turbidez Alta, Clorofila Baixa; TMCA: Turbidez Média, Clorofila Alta; TMCM: Turbidez Média, Clorofila Média; TMCB: Turbidez Média, Clorofila Baixa; TBCA: Turbidez Baixa, Clorofila Alta; TBCM: Turbidez Baixa, Clorofila Média; TBCB: Turbidez Baixa, Clorofila Baixa. C: Carbono Orgânico Dissolvido, N: Nitrogênio Total e P: Fósforo total..... 66

Tabela 16: Valores de clorofila resultantes do experimento efeito da turbidez sobre a produção primária e médias do sedimento Chapéu D’Uvas; TACA: Turbidez Alta, Clorofila Alta; TACM: Turbidez Alta, Clorofila Média; TACB: Turbidez Alta, Clorofila Baixa; TMCA: Turbidez Média, Clorofila Alta; TMCM: Turbidez Média, Clorofila Média; TMCB: Turbidez Média, Clorofila Baixa; TBCA: Turbidez Baixa, Clorofila Alta; TBCM: Turbidez Baixa, Clorofila Média; TBCB: Turbidez Baixa, Clorofila Baixa. .... 90

Tabela 17: Valores de clorofila resultantes do experimento efeito da turbidez sobre a produção primária e médias do sedimento Batata Natural; TACA: Turbidez Alta, Clorofila Alta; TACM: Turbidez Alta, Clorofila Média; TACB: Turbidez Alta, Clorofila Baixa; TMCA: Turbidez Média, Clorofila Alta; TMCM: Turbidez Média, Clorofila Média; TMCB: Turbidez Média, Clorofila Baixa; TBCA: Turbidez Baixa, Clorofila Alta; TBCM: Turbidez Baixa, Clorofila Média; TBCB: Turbidez Baixa, Clorofila Baixa. .... 91

Tabela 18: Valores de clorofila resultantes do experimento efeito da turbidez sobre a produção primária e médias do sedimento Batata Impactado; TACA: Turbidez Alta, Clorofila Alta; TACM: Turbidez Alta, Clorofila Média; TACB: Turbidez Alta, Clorofila Baixa; TMCA: Turbidez Média, Clorofila Alta; TMCM: Turbidez Média, Clorofila Média; TMCB: Turbidez Média, Clorofila Baixa; TBCA: Turbidez Baixa, Clorofila Alta; TBCM: Turbidez Baixa, Clorofila Média; TBCB: Turbidez Baixa, Clorofila Baixa.. .... 92



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1	FITOPLÂNCTON COMO PRIMEIRO ELO DA CADEIA TRÓFICA .....	19
1.2	FATORES QUE ALTERAM A PENETRAÇÃO DE LUZ NA COLUNA D'ÁGUA .....	21
1.3	OBJETIVOS .....	23
1.4	OBJETIVO GERAL .....	23
1.5	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	23
1.6	HIPÓTESE.....	24
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
2.1	SEDIMENTOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS.....	25
2.2	ÁGUA E COMUNIDADES PLÂNCTÔNICAS UTILIZADAS NOS EXPERIMENTOS.....	27
2.3	PADRONIZAÇÃO DE MEDIDAS.....	29
2.3.1	<b>Turbidez.....</b>	<b>29</b>
2.3.2	<b>Clorofila a.....</b>	<b>31</b>
2.4	CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA NOS SEDIMENTOS E MOBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DOS SEDIMENTOS PARA A ÁGUA .....	33
2.5	EXPERIMENTO 1: EFEITO DA TURBIDEZ SOBRE A PRODUÇÃO PRIMÁRIA .....	<b>35</b>
2.6	EXPERIMENTO 2: EFEITO DA ADIÇÃO PROGRESSIVA DE SEDIMENTO A CONCENTRAÇÕES INICIAIS FIXAS DE CLOROFILA .....	38
2.7	ANÁLISE DOS DADOS .....	39
<b>3</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>40</b>
3.1	CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA NOS SEDIMENTOS E MOBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DOS SEDIMENTOS PARA A ÁGUA .....	40
3.2	EXPERIMENTO 1: EFEITO DA TURBIDEZ SOBRE A PRODUÇÃO PRIMÁRIA .....	43
3.3	EXPERIMENTO 2: EFEITO DA ADIÇÃO PROGRESSIVA DE SEDIMENTO A CONCENTRAÇÕES INICIAIS FIXAS DE CLOROFILA .....	66

<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>72</b>
4.1	CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA, MOBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DOS SEDIMENTOS E MUDANÇA DE TURBIDEZ E pH DA ÁGUA. ....	72
4.2	EXPERIMENTO 1: EFEITO DA TURBIDEZ SOBRE A PRODUÇÃO PRIMÁRIA .....	73
4.2.1	Efeitos da turbidez .....	73
4.2.2	Efeitos da concentração de clorofila .....	77
4.2.3	Efeitos sinérgicos .....	80
4.3	EXPERIMENTO 2: EFEITO DA ADIÇÃO PROGRESSIVA DE SEDIMENTO A CONCENTRAÇÕES INICIAIS FIXAS DE CLOROFILA .....	82
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>84</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. FITOPLÂNCTON COMO PRIMEIRO ELO DA CADEIA TRÓFICA

O conjunto de organismos adaptados à movimentação limitada na coluna d'água é denominado Plâncton (ESTEVES, 1998). Este grupo é constituído pelo fitoplâncton, zooplâncton e bacterioplâncton. O fitoplâncton abrange os microorganismos fotossintetizantes, produtores da maior parte do carbono orgânico pelágico. Podem ser unicelulares ou filamentosos e viver isolados ou em colônias na superfície das águas (BONEY, 1975; BOLD, 1985; ESKINAZI-LEÇA et al., 2004).

Esses organismos são o primeiro elo da cadeia trófica por realizarem a produção primária, processo em que fornecem carbono orgânico particulado (COP) aos próximos níveis tróficos através da fotossíntese, pela qual fornecem oxigênio para o ambiente. Auxiliam na manutenção do equilíbrio de CO<sub>2</sub> pela respiração e atuam também na ciclagem de matéria orgânica e incorporação de nutrientes (ODUM, 1971; WISSMAR et al., 1981; RICHEY et al., 2002; KOSTEN et al., 2010).

Fatores ambientais como baixas quantidades de fósforo e nitrogênio são fatores limitantes que podem levar a uma redução da produção primária das populações fitoplanctônicas e também modificar a dinâmica sazonal, espacial e sucessional dessas populações (ESTEVES, 1998; REYNOLDS, 2006; & MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Além desses fatores, processos de mistura da água e parâmetros físico-químicos como temperatura, turbidez e oxigênio dissolvido, que são considerados indicadores de qualidade dos ecossistemas aquáticos, também podem se relacionar ao metabolismo fitoplanctônico (HARRIS, 1986).

Extremamente sensível a mudanças ambientais, o fitoplâncton pode ser usado como indicador para avaliar e monitorar eutrofização, acidificação e alterações climáticas. Desse modo, estes organismos desempenham um papel relevante em estudos da dinâmica físico-química de ecossistemas aquáticos (CARNEY, 1998). A fotossíntese, de um modo geral, é a maneira pela qual organismos autotróficos adquirem carbono através da captura de energia solar e transformação desta energia pela quebra de moléculas de água e produção de oxigênio, gerando elétrons livres que através do ciclo de Calvin formam compostos energéticos e fornecem carbono reduzido ao ecossistema (ODUM & BARRETT, 2007).

Em algas autotróficas, este processo envolve fatores limitantes como a baixa penetração de luz na coluna d'água, seja devido às variações naturais do ambiente que fazem com que a luz varie tanto diariamente quanto sazonalmente, à turbidez, à disponibilidade de CO<sub>2</sub> ou temperatura (KIRK, 2011).

O espectro luminoso convencionalmente chamado “luz” compreende a fração visível da radiação eletromagnética que emana do Sol (REYNOLDS, 2006). A penetração de luz na coluna d'água é um dos principais fatores limitantes à fotossíntese (ODUM, 1972), influenciando na distribuição das espécies e adaptações morfológicas e fisiológicas que os organismos desenvolvem (KIRK, 2011).

A intensidade luminosa na coluna d'água pode variar em função de fatores ambientais como altitude, quantidade de partículas no ar, que interferem na quantidade de luz que chega à água, cobertura de nuvens, estação do ano e variação diária. Particularidades do ecossistema aquático como absorção e dispersão da luz pela água, teor de matéria orgânica dissolvida, microorganismos e partículas inorgânicas em suspensão também podem reduzir a intensidade luminosa (ESTEVES, 1998; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Em lagos, pode-se relacionar a distribuição de luz na coluna d'água à profundidade em um fenômeno denominado atenuação vertical, que ocorre conforme um gradiente de distribuição da luminosidade em função da profundidade. Quanto maior for a profundidade, menor é a quantidade de luz, que se torna ainda mais reduzida em ambientes com partículas em suspensão ou turbidez inorgânica.

A luz disponível à fotossíntese (PAR) na água é resultante da atenuação vertical e da radiação incidente, que compreende a parte da radiação solar que não foi dispersa ou absorvida por qualquer componente da atmosfera antes de atingir a água (KIRK, 2011).

Assim, há três principais regiões: a área mais superficial, onde há excesso de radiação e, portanto, menor crescimento fitoplanctônico por fotoinibição; uma área intermediária com saturação intermediária de luminosidade, onde há maior desenvolvimento fitoplanctônico e uma região profunda com limitação de luminosidade. A região onde há penetração de luz é a zona eufótica e onde não há suficiente luminosidade se denomina zona afótica (ESTEVES, 1998).

Os componentes do fitoplâncton apresentam mecanismos de adaptação a pouca luz, que podem incluir o aumento do conteúdo intracelular de clorofila, modificação do formato da célula, aumento da capacidade de captura de luz por pigmentos acessórios (clorofila-b, carotenoides e ficobilinas) ou aparatos fotossintéticos (LHCs), aumento do

tamanho de organelas ou mesmo de realocação de recursos da célula, resultando em uma otimização da captura de fótons e conseqüentemente, da fotossíntese (MÜLLER et al., 2003; REYNOLDS, 2006).

Nem todo organismo autotrófico é exclusivamente fotossintetizante. Há um grupo de organismos capazes de fixar carbono de outras formas, como dinoflagelados e crisofíceas, fotossintetizantes que consomem carbono particulado ou bactérias que podem absorver compostos orgânicos dissolvidos através da membrana celular, num processo denominado “osmotrofia”, se comportando como heterotróficas facultativas. Estes organismos formam o grupo de mixotróficos, que são capazes de manter a cadeia trófica por caminhos alternativos, desempenhando papel importante na dinâmica do carbono em lagos (LEWITUS & KANA, 1994; REYNOLDS, 2006).

## 1.2. FATORES QUE ALTERAM A PENETRAÇÃO DE LUZ NA COLUNA D'ÁGUA

A medida da quantidade de material particulado em suspensão na água se denomina turbidez. Pode ser de natureza orgânica e ser causada pela presença de células de plâncton na água, como é o caso de florações de cianobactérias ou alta concentração de microalgas planctônicas, comum em lagos rasos (DESCY et al., 2013). Pode representar uma medida da produtividade do sistema em caso de clorofíceas, por exemplo, ou estar relacionada à baixa qualidade da água e menor diversidade de espécies se houver predominância de cianobactérias, como ocorre em processos de eutrofização (DECLERCK et al., 2005). Se a turbidez for de natureza inorgânica, é causada por partículas ou sólidos inorgânicos em suspensão, o que pode ocorrer pela ação de ventos em lagos rasos, causando ressuspensão de sedimentos e detritos e favorecendo o metabolismo de microorganismos e zooplâncton (DONOHUE AND GARCIA-MOLINOS, 2009) ou pelo aporte de material alóctone trazido pelos rios, fato comum em planícies de inundação (WANTZEN et al. 2008).

Quando há alta turbidez por partículas inorgânicas, a penetração de luz na coluna d'água é reduzida por sombreamento e dispersão. Para os organismos fotossintetizantes, isto leva à redução de atividade fotossintética, de clorofila e COP em ambientes túrbidos (ESTEVES, 1998; KIRK, 2011). Desta forma, além de outros fatores ambientais, a baixa disponibilidade de luz modifica a dinâmica sazonal, espacial, sucessional e também o metabolismo das populações fitoplanctônicas (ROLAND & ESTEVES, 1998; REYNOLDS, 2006; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Atividades antrópicas como uso do solo e modificação da cobertura vegetal ocorrem atualmente trazendo grande impacto ambiental. A má utilização das bacias hidrográficas tem efeitos mais acentuados nos grandes adensamentos populacionais. Além disso, a expansão da agricultura, implantação de indústrias de grande porte e atividade de mineração, são elementos capazes de alterar a dinâmica dos sedimentos e seu transporte para o ambiente fluvial, trazendo profundas alterações às bacias de drenagem (JONG, 1995).

Na planície Amazônica, por exemplo, além do pulso de inundação (JUNK et al., 1989) em que há variação sazonal do nível das águas de rios e lagos, há a crescente intervenção humana com barragens em rios tributários, erosão causada por desmatamento e pelo lançamento de material particulado pela atividade de mineração (ROLAND et al., 1997).

A mineração na planície Amazônica tem se intensificado nos últimos anos. O lançamento de rejeitos no ambiente no processo de beneficiamento do minério pode modificar a ciclagem de energia e matéria e causar alterações nas redes tróficas naturais (ROLAND & ESTEVES, 1998, GUENTHER & BOZELLI, 2004). Um estudo de longa duração na região, que por trinta anos tem buscado compreender os efeitos desse rejeito para as comunidades aquáticas e propor soluções ambientais para a restauração e mitigação deste impacto é o projeto de monitoramento do Lago Bata, um lago de águas claras, marginal ao Rio Trombetas, que durante dez anos recebeu efluente de mineração (SIOLI, 1984).

Este lago localiza-se na planície Amazônica e sua ligação ao Rio Trombetas, um afluente do Rio Amazonas, o torna sujeito às variações sazonais do pulso hidrológico. A relevância deste ecossistema se deve ao impacto do lançamento de cerca de 50.000 m<sup>3</sup>. d<sup>-1</sup> de rejeito de bauxita, que assoreou aproximadamente 30% do lago (LAPA, 2000), alterando as características do sedimento e influenciando a estrutura das comunidades bentônicas (FONSECA & ESTEVES, 1999), zooplanctônicas (BOZELLI, 1998) e fitoplanctônicas (ROLAND & ESTEVES, 1998), impactando, inclusive, a mata de igapó ao redor do lago.

A partir dos estudos realizados neste lago sabe-se que a dinâmica planctônica também é influenciada pela presença de partículas de rejeito de mineração em suspensão, que altera parâmetros químicos e disponibilidade de luz e nutrientes, reduzindo a produção primária e alterando a ciclagem de nutrientes na cadeia alimentar (ROLAND & ESTEVES, 1998, LOREAU et al., 2001, TARRAS-WAHLBERG et al., 2001; MAIA-BARBOSA & BOZELLI, 2006). A presença de rejeito é responsável não somente pela redução da penetração de luz na coluna d'água (ROLAND & ESTEVES, 1998), reduzindo a fotossíntese, mas também por dificultar a filtração zooplanctônica (BOZELLI, 1998) e incorporação de

carbono, aumentando a quantidade de carbono assimilável a bactérias planctônicas (BARROS, 2010).

Em situações onde há lançamento ou vazamento de rejeito de mineração para ambientes aquáticos é necessário conhecer as conseqüências ecológicas sobre os organismos fitoplanctônicos afetados e os efeitos sobre os aspectos metabólicos e respostas adaptativas que apresentam, dada a ainda escassa quantidade de estudos realizados sobre o tema no Brasil.

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.4. OBJETIVO GERAL

Avaliar experimentalmente os efeitos do aumento de turbidez inorgânica, causada pela adição de sedimentos de tamanho predominante de cerca de 250  $\mu\text{m}$  sobre a produção primária em uma comunidade fitoplanctônica.

#### 1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar experimentalmente a produção temporal de clorofila *a* e outros pigmentos pela comunidade fitoplanctônica em combinações de alta, média e baixa concentrações de clorofila *a* e alta, média e baixa turbidez;
- Comparar experimentalmente os efeitos da turbidez causada pela adição de sedimentos de três ecossistemas aquáticos diferentes sobre a produção de clorofila *a* e outros pigmentos pela comunidade fitoplanctônica;
- Comparar experimentalmente os efeitos da turbidez causada pela adição de sedimentos de três ecossistemas aquáticos diferentes sobre o rendimento fotossintético (do inglês, “*yield*”) comunidade fitoplanctônica;

- Avaliar experimentalmente a produção temporal de clorofila *a* pela comunidade fitoplanctônica em níveis alto e baixo de concentração de clorofila submetida ao aumento progressivo da turbidez inorgânica causada pela adição de sedimentos.

#### 1.6. HIPÓTESE

O aumento da turbidez inorgânica causada pela adição de sedimentos reduz a produção primária fitoplanctônica.

As predições para os objetivos específicos são:

(1) O aumento de turbidez inorgânica causada pela adição de sedimentos reduzirá a produção de clorofila *a* nos tratamentos, independente das suas concentrações iniciais de clorofila *a* e do tipo de sedimento utilizado;

(2) O aumento de turbidez inorgânica, causada pela adição de sedimentos promoverá modificações nas proporções de pigmentos (azuis, verdes e marrons) independente das concentrações iniciais de clorofila *a* e do tipo de sedimento utilizado;

(3) O aumento de turbidez inorgânica, causada pela adição de sedimentos, promoverá modificações no rendimento fotossintético (do inglês, “yield”) nos tratamentos independente das concentrações iniciais de clorofila *a* e do tipo de sedimento utilizado;

(4) O aumento progressivo de turbidez inorgânica, causada pela adição de sedimentos, reduzirá proporcionalmente a produção de clorofila *a* nos tratamentos, independente das concentrações iniciais de clorofila *a*.



## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. SEDIMENTOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS

Para a realização dos experimentos foram utilizados sedimentos de um lago amazônico que recebeu rejeito de mineração. O Lago Batata (Figura 1) foi impactado por lançamento de rejeito de lavagem de bauxita entre os anos de 1979 a 1989. Este rejeito é inerte e não tóxico, composto predominantemente por silicatos (47%), óxido de alumínio (21%) e óxido de ferro (21%) (LAPA, 2000). Sedimenta-se lentamente e em períodos de águas baixas no lago, a ação dos ventos somada à baixa profundidade, fazem com que seja ressuspensionado, aumentando a turbidez, reduzindo a penetração de luz na coluna d'água e a produção primária fitoplanctônica, afetando indiretamente os outros níveis tróficos. As consequências desse impacto têm efeitos únicos do ponto de vista ecológico no Brasil e no mundo (ESTEVES et al.,1990).

O Lago Batata apresenta dois tipos diferentes de sedimento, correspondentes à área natural e à impactada pelo rejeito. O sedimento proveniente da área natural apresenta maior teor de nitrogênio, COD e matéria orgânica que o da área impactada, de acordo com Leal et al., (2003) e Callisto & Esteves, (1996 a). O sedimento da área natural também apresenta maior conteúdo de água intersticial, indicando maior capacidade de reter água que o sedimento da área impactada por rejeito.

O sedimento da área natural é capaz de formar um ambiente orgânico, composto por partículas finas com aspecto de "lama" (CALLISTO & ESTEVES, 1996 a). Tem composição granulométrica composta predominantemente de areias finas e silte. Devido às ações de recuperação realizadas no lago já se formou uma camada orgânica sobre a parte superficial de sedimento da área impactada (PENHA, 2015), assim, a parte subsuperficial desse sedimento (10 cm abaixo da superfície) foi separada para ser utilizada nos experimentos. Esse sedimento apresenta partículas com predomínio de argilas, que levam mais tempo para decantar (CALLISTO & ESTEVES, 1996 b, ROLAND & ESTEVES, 1998).

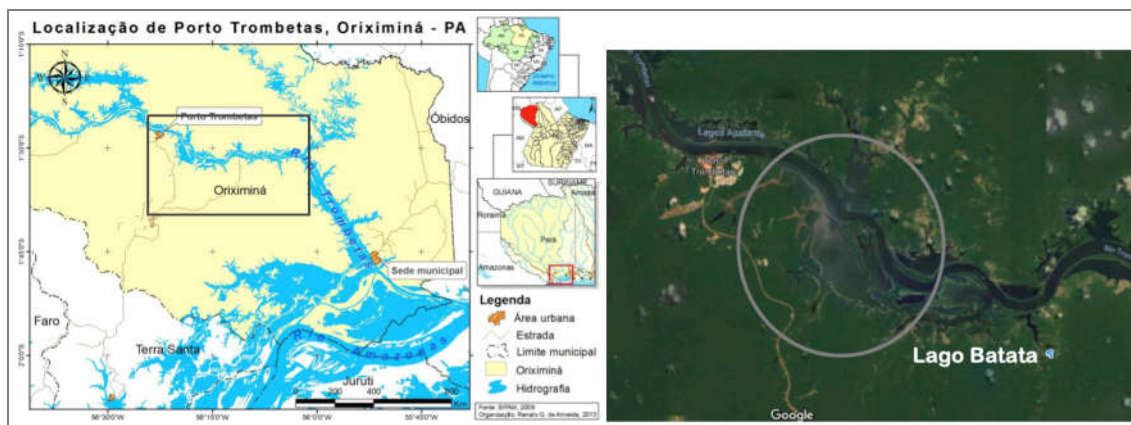


Figura 1: Localização da área de estudo – Lago Batata (PA). Fonte: Google Earth e Google imagens.

Além dos sedimentos do Lago Batata, também foram utilizados sedimentos do reservatório de Chapéu D’Uvas. A represa de Chapéu D’Uvas se localiza no Rio Paraibuna (Figura 2), bacia do rio Paraíba do Sul ( $21^{\circ}33' S-43^{\circ}35' W$ ), entre os municípios de Ewbank da Câmara (barragem) e Santos Dumont (cabeceira), estado de Minas Gerais. Para caracterizar o sedimento de Chapéu D’Uvas é necessário considerar que a Bacia Hidrográfica da Represa de Chapéu D’Uvas é uma sub bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna, (ARAÚJO, 2009) o que permite considerar que o sedimento da represa de Chapéu D’Uvas é proveniente da Bacia de contribuição do rio Paraibuna e tem, portanto, características semelhantes.

O sedimento do rio Paraibuna apresenta granulometria de partículas muito finas, na faixa de silte e argilas (LOURES, 2014). Encontra-se em Chapéu D’Uvas um sedimento pobre em cálcio e magnésio. Um fator em que o diferencia é a composição de fósforo, pois reservatórios normalmente têm altos valores deste nutriente (OLIVEIRA, 2018).

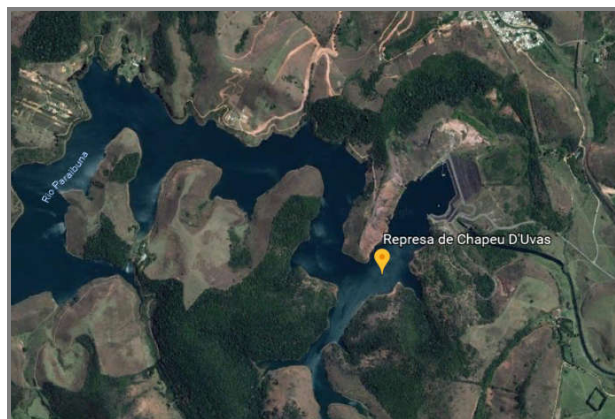


Figura 2: Represa de Chapéu D’Uvas e localização no Rio Paraibuna. Fonte: Google Earth.

Como forma de preparação do sedimento para utilização nos tratamentos, os sedimentos de cada área foram secos em estufa a 60° por 24h e macerados após este processo. Assim, uma análise de granulometria foi realizada com as porções a serem utilizadas para avaliação do tamanho real das partículas em suspensão nos tratamentos e os resultados estão presentes na Tabela 1. Esta análise foi realizada por peneiramento em um conjunto de peneiras com diferentes malhas acopladas a um agitador da marca TecnoFund modelo AEP para separar o material conforme as frações de partículas.

*Tabela 1: Dados de granulometria de cada sedimento após preparo para utilização nos experimentos. CDU: Chapéu D'Uvas, BI: Batata Impactado, BN: Batata Natural.*

Sedimento	Tamanho da partícula	Classificação	Quantidade de sedimento (g)	Porcentagem da amostra
CDU	1 mm	AMG	1,03	4,1
	500 µm	AG	4,72	18,9
	250 µm	AM	10,11	40,5
	150 µm	AF	6,79	27,2
	75 µm	AMF	1,5	5,9
	>75 µm	Silte/ Argila	0,2	0,8
BI	1 mm	AMG	2,06	8,2
	500 µm	AG	2,17	8,7
	250 µm	AM	14,58	58,3
	150 µm	AF	5,39	21,6
	75 µm	AMF	0,1	0,3
	>75 µm	Silte/ Argila	0,1	0,3
BN	1 mm	AMG	3,53	14,1
	500 µm	AG	5,19	20,7
	250 µm	AM	9,20	36,8
	150 µm	AF	4,86	19,4
	75 µm	AMF	1,4	5,7
	>75 µm	Silte/ Argila	0,7	2,9

## 2.2. ÁGUA E COMUNIDADES PLÂNCTÔNICAS UTILIZADAS NOS EXPERIMENTOS

A comunidade fitoplânctônica utilizada nos experimentos foi proveniente do Lago do Jardim Botânico da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), em Juiz de Fora, MG (21°44'18" S, 43°22'07" W) (Figura 3 A e C). O clima local é do tipo Cwb (KÖPPEN, 1948), mesotérmico com verões quentes e chuvosos e invernos frios e secos. A pluviosidade anual

varia em torno de 1.536 mm e a temperatura média anual oscila em torno de 18°C (dados da Estação Climatológica Principal da UFJF) (MOREIRA, 2014).

A água utilizada nos experimentos foi coletada em um lago artificial existente na propriedade (Figura 3 B) As características limnológicas foram aferidas com uma sonda multiparamétrica HORIBA modelo U-50 em janeiro de 2019 e estão descritas na (Tabela 2).

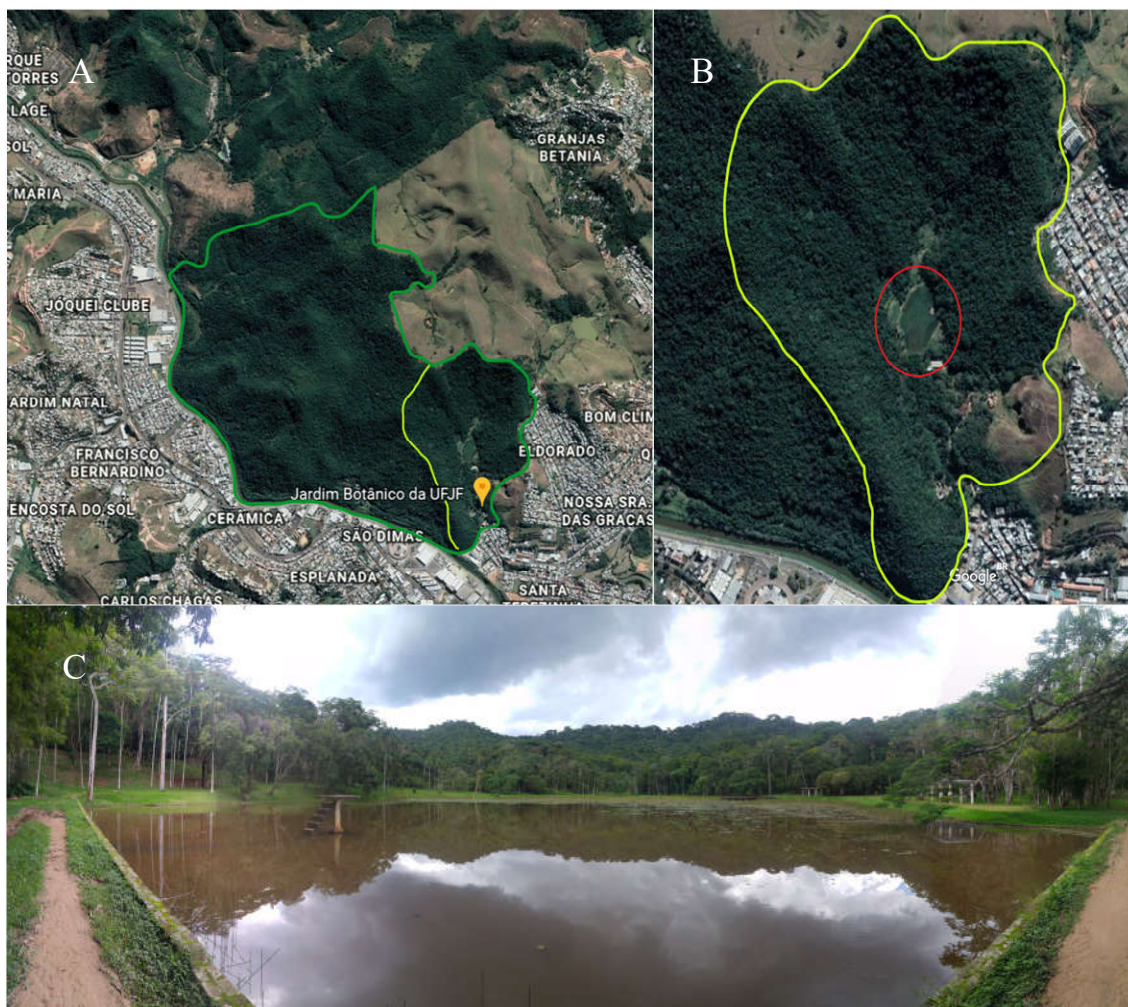


Figura 3: A) Jardim Botânico – UFJF. Fonte: Google Earth. B) Localização do lago no Jardim Botânico – UFJF. Fonte: Google Earth. C) Vista panorâmica do lago do Jardim Botânico – UFJF. Fonte: acervo pessoal.

*Tabela 2: Variáveis limnológicas do lago do Jardim Botânico – UFJF, de onde foi retirada a água para os experimentos. Valores médios calculados com base em medidas sequenciais realizadas em dois pontos do lago.*

<b>Variável</b>	<b>Medida</b>
Temperatura da água (°C)	27,4
pH	7,4
Potencial de oxidação/ redução (mV)	262,5
Condutividade (mS/cm)	0,03
Turbidez (NTU)	25,2
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	11,5
Oxigênio Dissolvido (%)	147,4
Sólidos Dissolvidos Totais (g/L)	0,021

### 2.3. PADRONIZAÇÃO DE MEDIDAS

Toda a parte experimental descrita nos tópicos a seguir foi realizada no Laboratório de Ecologia Aquática da UFJF (L.E.A.) entre os meses de abril e outubro de 2018. As concentrações de clorofila foram medidas diariamente no aparelho PHYTO PAM (WALZ-Alemanha), a turbidez em um aparelho portátil Instrutherm modelo TD-300 e o pH em um pHmetro da marca Hanna modelo HI 8424.

#### 2.3.1. Turbidez

Foi considerada para o parâmetro turbidez a medida de sólidos inorgânicos em suspensão acrescentados pelo sedimento. Nos experimentos realizados foram utilizados valores de turbidez fixos em três níveis: alta (300 NTU), média (50 NTU) e baixa (12 NTU) que correspondem aos valores de turbidez mínima, à mediana e ao valor mais alto de turbidez encontrados no Lago Batata, sistema modelo deste estudo. A fim de padronizar as quantidades de sedimento a serem acrescentadas a cada tratamento para atingir os valores de turbidez adotados, foram preparadas soluções teste com sedimentos das diferentes áreas (Chapéu D’Uvas, Batata Impactado e Batata Natural) e água destilada (Tabela 3). Os valores de turbidez foram aferidos com o turbidímetro Instrutherm. Este aparelho funciona através da medida do espalhamento de luz causado pelas partículas. O aparelho conta com uma fonte de

luz (400 a 900 nm) e um sensor posicionado na mesma direção da fonte de luz (MERTEN & MINELLA, 2011).

Tabela 3: Concentração de soluções (g/L) de sedimento para cada nível de turbidez.

Sedimento/Turbidez	Alta	Média	Baixa
Chapéu D'uvas	1,2	0,3	0,1
Batata Natural	1,3	0,3	0,1
Batata Impactado	0,8	0,1	0,04

Para avaliar a relação entre a quantidade de sedimento e valores de turbidez, foram relacionadas as concentrações de sedimento às leituras de turbidez. Neste experimento, foi utilizada água do lago do Jardim Botânico com adição de quantidades progressivas de sedimento. Ao final do experimento, observou-se uma relação linear entre as leituras de turbidez e a concentração de sedimento em cada amostra. Esta relação foi positiva conforme esperado, ou seja, quanto maior a concentração de sedimento, maior a leitura de turbidez (Figura 4).

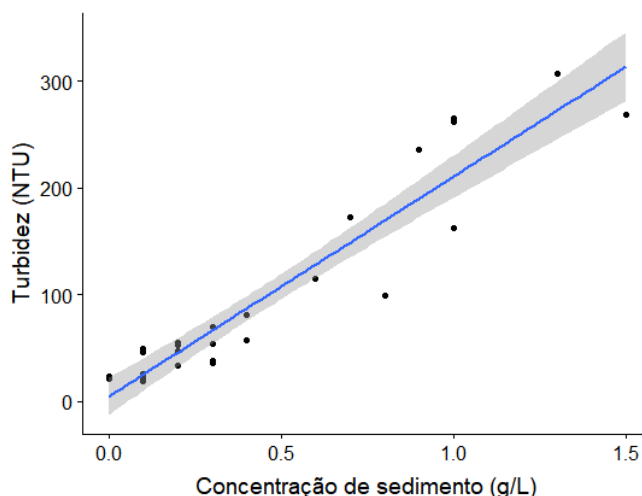


Figura 4: Relação entre valores de turbidez encontrados em amostras de diferentes concentrações de sedimento. As bandas em cinza representam o erro padrão do modelo.

Os sedimentos utilizados apresentaram uma pequena diferença na relação entre a concentração de sedimento e turbidez. Os sedimentos BI (Batata Impactado) e CD (Chapéu D'Uvas) apresentaram uma relação mais forte entre os fatores relacionados, resultando em maior inclinação da curva (*slope*) que com o sedimento BN (Batata Natural). No entanto,

essas diferenças não foram significativas, uma vez que há sobreposição das faixas de erro padrão e consequentemente dos intervalos de confiança, conforme Figura 5.

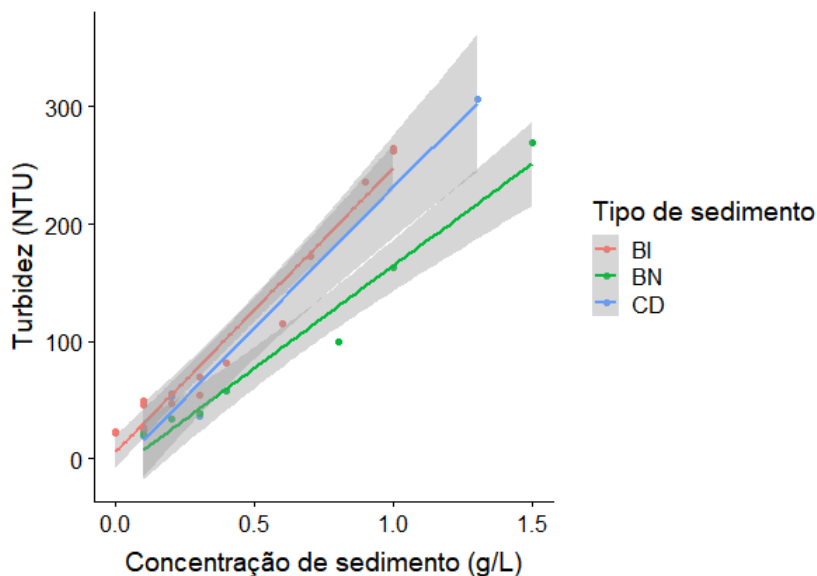


Figura 5: Comparação entre resultados dos sedimentos analisados. BI: Batata Impactado, BN: Batata Natural e CD: Chapéu D'Uvas. As bandas em cinza representam o erro padrão do modelo.

### 2.3.2. Clorofila *a*

Os valores de clorofila foram medidos através do aparelho PHYTO-PAM, um fluorímetro que funciona através da amplificação da medida de fluorescência produzida a partir de pulsos intensos e curtos de luz. Esses pulsos são emitidos em quatro comprimentos de onda, que correspondem às cores azul (470 nm), verde (520 nm), vermelho-claro (645 nm) e vermelho-escuro (665 nm). Esses pulsos de luz excitam o complexo antena do pigmento coletor de luz, levando à produção do sinal de fluorescência, que é captado pelo sensor do aparelho (WALZ- Alemanha, 2003).

Durante a execução de experimentos pilotos foi detectado que ao realizar a leitura de amostras contendo sedimento em suspensão pelo PHYTO-PAM, ocorria uma interferência no valor de clorofila apresentado pela amostra. Para a quantificação desta interferência, as soluções preparadas no experimento anterior foram então lidas no PHYTO – PAM.

Os valores medidos mostraram que o sedimento de Chapéu D'Uvas apresenta em leitura no PHYTO-PAM, valores de aproximadamente 0,723  $\mu\text{g/L}$  de clorofila *a* para turbidez baixa, 1,503  $\mu\text{g/L}$  para turbidez média e 6,710  $\mu\text{g/L}$  para turbidez alta. O sedimento do Lago

Batata Impactado apresenta os valores de clorofila *a* de 0,637 µg/L para turbidez baixa, 1,437 µg/L para turbidez média e 5,070 µg/L para turbidez alta. O sedimento do Lago Batata Natural apresentou os valores de clorofila *a* de 0,880 µg/L para turbidez baixa, 2,460 µg/L para turbidez média e 7,440 µg/L para turbidez alta (Tabela 4)

Tabela 4: Valores médios e desvios padrões de clorofila *a* (µg/L) encontrados nos diferentes tratamentos de turbidez para cada tipo de sedimento.

Sedimento/Turbidez	Alta	Média	Baixa
Chapéu D'Uvas	6,71 ± 0,47	1,50 ± 0,20	0,72 ± 0,06
Batata Natural	7,44 ± 0,68	2,46 ± 0,48	0,88 ± 0,06
Batata Impactado	5,07 ± 0,32	1,43 ± 0,25	0,63 ± 0,02

Observou-se um padrão linear de leitura pelo PHYTO-PAM, onde quanto maior a turbidez na amostra, maior a leitura de clorofila *a* pelo, com pequenas variações de acordo com o tipo de sedimento utilizado (Figura 6). Desta forma, detectou-se uma interferência da presença do sedimento, que foi “interpretada” como clorofila *a* presente na amostra.

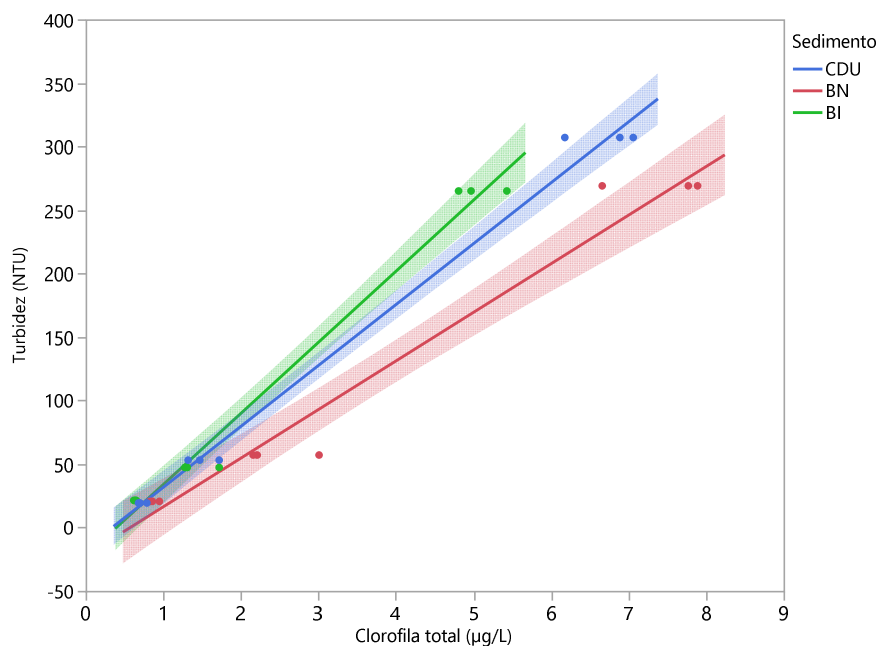


Figura 6: Valores de clorofila por turbidez de amostras dos sedimentos do Batata Impactado (BI), Batata Natural (BN) e Chapéu D'Uvas (CDU). As bandas representam o erro padrão do modelo.

Desta forma, foi necessário fazer uma correção nos dados lidos pelo PHYTO-PAM, de modo que a leitura reflita somente os resultados do efeito da turbidez na produção primária, medida indiretamente pela concentração de clorofila na amostra ao longo do tempo.



Considerando-se a linearidade da relação entre clorofila e quantidade de sedimento na amostra, os dados foram então padronizados. Com base nos valores de referência dos controles e nos valores de clorofila *a* antes e após a adição de sedimentos no tempo 1, foram subtraídos os valores de clorofila *a* acrescentados pela adição de sedimentos nos tempos subsequentes, ou seja, nos tempos de 2 a 7. Dessa forma, considera-se que os valores de clorofila representam apenas o acréscimo ou decréscimo de clorofila que ocorreu em decorrência dos tratamentos sem influência dos sedimentos adicionados.

Essa padronização foi realizada nos resultados do experimento de efeito da turbidez sobre a produção primária. Por utilizar uma abordagem diferente, no experimento de adição progressiva de sedimentos os dados foram corrigidos através da razão entre o valor de clorofila encontrado e o valor em gramas de sedimento adicionado.

#### 2.4. CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA NOS SEDIMENTOS E MOBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DOS SEDIMENTOS PARA A ÁGUA

Para mensurar a matéria orgânica de cada tipo de sedimento, foi feito o procedimento de gravimetria. Os sedimentos de Chapéu D'Uvas, Batata Impactado e Batata Natural foram secos em estufa por 24h, pesados em balança de precisão em cadinhos ao valor de 5g para cada repetição, sendo ao todo 5. Os cadinhos foram incinerados em mufla por 4 horas a 500 °C e, após esfriarem, foram pesados novamente conforme metodologia proposta por Suguio (1973).

Uma vez que se pretende medir o efeito isolado da turbidez sobre a produção primária (i.e. produção de clorofila *a*), a mobilização de nutrientes dos sedimentos pode funcionar como uma variável de confusão, onde o aporte de nitrogênio e fósforo dos sedimentos, por exemplo, podem interferir nas taxas de produção primária, já que são fatores limitantes para esse processo.

De forma a excluir um potencial efeito da mobilização de nutrientes dos sedimentos para a água nas taxas de produção de clorofila *a*, realizou-se um experimento para averiguar a quantidade de nutrientes dissolvidos liberados por cada tipo de sedimento. Esse experimento foi realizado em um período de 7 dias. Foram realizadas soluções de sedimento e água destilada nos valores de turbidez utilizados, a saber: 12 NTU para turbidez baixa, 50 NTU para turbidez média e 300 NTU para turbidez alta com sedimentos de Chapéu D'Uvas, Batata Impactado e Batata Natural.

Foram analisadas as concentrações iniciais e finais de fósforo total (PT) e dissolvido (PD), carbono dissolvido (COD) e nitrogênio dissolvido (ND) e amônia segundo a metodologia proposta por Wetzel & Likens (1991). Para a determinação dos valores de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e Nitrogênio Dissolvido (ND) foi utilizado o aparelho SHIMADZU 5000<sup>a</sup> TOC L Analyzer. As amostras iniciais e finais de fósforo dissolvido, carbono e nitrogênio totais foram filtradas em filtro de 1.2 µm de poro. As concentrações de Fósforo Total (PT) e Fósforo Inorgânico Dissolvido, ou ortofosfato (PD) foram estimadas segundo o método do complexo azul de molibdênio através de leitura em espectrofotômetro (GOLTERMAN et al., 1978).

Foram feitas também leituras ao espectrofotômetro às absorvâncias de 250 nm, 365 nm e 430 nm para realizar uma caracterização das moléculas de carbono presentes na água, permitindo conhecer as características do ambiente de onde o sedimento é proveniente (WETZEL, 1990), bem como a origem do carbono orgânico proveniente do sedimento no experimento de efeito da turbidez sobre a produção primária, se de origem vegetal ou terrestre e conhecer qual caminho metabólico dessas moléculas (AMADO et al., 2006).

A Absorbância (Abs) a 250 nm é uma medida usada para investigar a presença de moléculas orgânicas hidrofóbicas, aromáticas e de alto peso molecular, que podem ser provenientes de compostos húmicos na amostra. A leitura de absorvância a 365 nm indica a presença de compostos de utilização e degradação rápida, compostos de moléculas lábeis como compostos alifáticos, ácidos orgânicos e carboidratos. O valor da absorvância de uma amostra a 430 nm é uma estimativa da cor da água (STROME & MILLER, 1978). É uma medida geral conveniente de materiais com cor particulados na água. (KIRK, 2011).

Foi feita a razão da Abs 250 pela Abs 365, pois esta relação indica a proporção do tamanho das moléculas naquela amostra, ou seja, um número alto informa uma maior proporção de moléculas menores e um resultado menor aponta para uma maior proporção de moléculas maiores no carbono dissolvido bruto da amostra (GRANÉLI et al., 1996) e isso informa sobre o estado do ambiente já que moléculas menores são geralmente mais refratárias (STROME & MILLER, 1978). Foi realizado o cálculo da razão entre Abs 430 e COD para indicar a proporção de matéria orgânica refratária ao metabolismo de microorganismos. Valores mais altos desta razão representam maior humificação da matéria orgânica trazida pelo sedimento, com maior participação alóctone enquanto valores menores indicam menor contribuição desta fração de matéria orgânica. Os resultados obtidos para cada parâmetro foram submetidos a um teste *t* pareado utilizando o software R.

## 2.5. EXPERIMENTO 1: EFEITO DA TURBIDEZ SOBRE A PRODUÇÃO PRIMÁRIA

Neste experimento foi utilizada água do lago do Jardim Botânico (UFJF-MG). Foi usado o valor de clorofila encontrado no fluorímetro PHYTO-PAM (WALZ) da água de subsuperfície para a concentração baixa (aprox. 5 mg/L), o valor da água concentrada em rede de plâncton de malha de 25 µm de poro para a concentração alta (aprox. 25 mg/L) e uma diluição de 50% em volume da concentração alta e 50% em volume de concentração baixa para atingir um valor de clorofila média (aprox. 15 mg/L) enquanto os três valores de turbidez (NTU) utilizados são correspondentes aos valores mínimo (12 NTU), a mediana (50 NTU) e o máximo (300 NTU) de turbidez presentes na série histórica do monitoramento do Lago Batata. Todos os tratamentos foram realizados em tréplicas, inclusive os controles (Quadro 1).

Ao medir os valores de clorofila *a*, foram fornecidas pelo aparelho as contribuições de grupos de pigmentos azuis, verdes e marrons de cada amostra. Além disso, foram medidos no PHYTO-PAM os valores de rendimento fotossintético (Yield) de cada amostra. Esses valores são medidos através da emissão de um pulso curto de luz que satura os receptores dos fotossistemas (PSII), causando sua redução completa. Assim, induz-se a emissão de uma resposta fluorescente, captada pelo equipamento e interpretada na forma de rendimento fotossintético do fotossistema, ou rendimento quântico da conversão de energia fotoquímica, separado por grupos de clorofila (HEINZ-WALZ, 2003).

*Quadro 1: Desenho experimental com cada tratamento realizado, demonstrando a combinação de valores de clorofila com valores de turbidez. A = alta, M = média, B = baixa.*

	CLOROFILA ALTA	CLOROFILA MÉDIA	CLOROFILA BAIXA
TURBIDEZ ALTA	TACA	TACM	TACB
TURBIDEZ MÉDIA	TMCA	TMCM	TMCB
TURBIDEZ BAIXA	TBCA	TBCM	TBCB
CONTROLES	CHL A	CHL M	CHL B

A água retirada do lago foi incubada por um período de 24 horas em uma câmara incubadora para DBO WTW modelo TS 606/ 2-i (Figura 7) e mantida à temperatura constante de 18° C, referente à temperatura média anual da região onde se localiza o Lago do Jardim Botânico (MOREIRA, 2014). Os tratamentos permaneceram sobre uma placa agitadora marca WTW Oxitop IS12 em constante agitação durante o período experimental. Foram mantidos iluminados por uma lâmpada de LED simulando fotoperíodos de 12 horas. A intensidade luminosa em cada ponto da placa agitadora foi medida utilizando um radiômetro da marca International Light modelo IL 14004 e permaneceu com média de 445 $\mu$ W/cm<sup>2</sup> em cada ponto da placa agitadora (Tabela 5).



*Figura 7: Câmara incubadora com lâmpada de LED e placa agitadora onde os béqueres com tratamentos foram incubados.*

*Tabela 5: Irradiância ( $\mu$ W/cm<sup>2</sup>) fornecida pela lâmpada de LED em cada ponto da placa agitadora.*

Posição na placa	Irradiância ( $\mu$ W/cm <sup>2</sup> )
1	446
2	496
3	490
4	458
5	456
6	490
7	485
8	459
9	444
10	470
11	460
12	434

O experimento foi realizado em três etapas, cada uma utilizando um tipo de sedimento (Chapéu D'Uvas, Batata Impactado e Batata Natural) para efeito de comparação. Na primeira etapa foi utilizado sedimento do reservatório de Chapéu D'Uvas (MG), na segunda etapa, sedimento da área impactada do Lago Batata (PA) e na terceira, sedimento da área natural do Lago Batata (PA). As amostras de sedimento foram autoclavadas por 20 min para esterilização e posteriormente secas em estufa a 60° por 24h (QUAGGIO & RAIJ, 1979). Após estes procedimentos, cada amostra de sedimento foi macerada para melhor diluição e preparação dos tratamentos.

Após o período de 24 horas, foi feita a divisão dos estoques, acrescentadas as quantidades de cada sedimento até que se atingisse o valor de turbidez pretendido. Foram utilizados béqueres com capacidade de 500 mL, cobertos com papel laminado e preenchidos com 400 mL da solução estoque de água e sedimento conforme os valores determinados para cada tratamento. Após o preparo, foram separadas amostras de nutrientes e fitoplâncton e os béqueres foram mantidos em constante agitação com o auxílio de barras magnéticas durante 7 dias. Diariamente, o volume evaporado de cada béquer foi preenchido com água destilada. No tempo inicial e ao fim de 7 dias, foram separadas amostras, que foram fixadas com solução de Lugol para análise quantitativa de fitoplâncton (VOLLENWEIDER, 1974).

Para a determinação dos valores de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e Nitrogênio Dissolvido (ND) foi utilizado o aparelho SHIMADZU 5000<sup>a</sup> TOC L Analyzer. As concentrações de clorofila foram medidas diariamente no aparelho PHYTO PAM (WALZ-Alemanha), a turbidez em um aparelho portátil Instrutherm modelo TD-300 e o pH em um pHmetro da marca Hanna modelo HI 8424.

As amostras iniciais e finais de fósforo dissolvido, carbono e nitrogênio totais foram filtradas em filtro de 1.2 µm de poro. As concentrações de Fósforo Total (PT) e Dissolvido (PD) foram estimadas segundo o método do complexo azul de molibdênio, através de leitura em espectrofotômetro (GOLTERMAN et al., 1978).

O Lago Batata foi utilizado como sistema modelo em que os valores de clorofila variam entre 3.15 a 17.79 µg/L na estação natural e 2.94 e 7.27 µg/L na estação impactada (BOZELLI et al., 2009; PENHA, 2015), com valores menores em enchente e águas altas, quando os níveis de água são maiores (BOZELLI, 1992). Assim, os resultados experimentais encontrados podem contribuir na compreensão da dinâmica fitoplanctônica que ocorre neste ecossistema.

## 2.6. EXPERIMENTO 2: EFEITO DA ADIÇÃO PROGRESSIVA DE SEDIMENTO A CONCENTRAÇÕES INICIAIS FIXAS DE CLOROFILA

Neste experimento foi utilizada água do lago do Jardim Botânico com adição de quantidades progressivamente maiores de sedimento e consequente aumento de turbidez para avaliar o efeito do aumento progressivo da turbidez nas leituras de clorofila ao longo do tempo.

Foram utilizadas concentrações alta e baixa de clorofila (25 µg/L e 5µg/L respectivamente) com valores iniciais de turbidez correspondentes ao mínimo do Lago Batata de acordo com os relatórios de monitoramento, ou seja, 12 NTU. Ao longo de 10 dias foi acrescentado diariamente sedimento de Chapéu D'Uvas (Tabela 6) para que a turbidez aumentasse progressivamente e pudesse ser avaliado o efeito sobre os valores de clorofila. Os tratamentos de Clorofila Alta (CA) e Baixa (CB) foram feitos em tréplica, incluindo os controles. Foram acompanhados diariamente os valores de clorofila e turbidez antes da adição do sedimento.

*Tabela 6: Quantidade de sedimento adicionado por dia (T1 a T10) e valores de turbidez atingidos. Legenda: CA - Clorofila Alta, CB - Clorofila Baixa; NA: Não adicionado.*

Tratamento/Dia	Sedimento adicionado (g)	Turbidez média final (NTU)
CAT1	0,03	30,8
CBT1	0,03	21,7
CAT2	0,03	83,3
CBT2	0,03	76,3
CAT3	0,04	164,3
CBT3	0,04	156
CAT4	0,05	286
CBT4	0,05	282,6
CAT5	0,06	398,3
CBT5	0,06	436,6
CAT6	0,07	520
CBT6	0,07	563
CAT7	0,08	648,6
CBT7	0,08	681,6
CAT8	0,09	770
CBT8	0,09	790,7
CAT9	0,1	853,6
CBT9	0,1	869,3
CAT10	NA	917,3
CBT10	NA	935,6

## 2.7. ANÁLISE DOS DADOS

Todos os resultados de nutrientes e parâmetros obtidos foram submetidos a testes *t* pareados no programa estatístico R, para verificação de variação significativa entre tempo inicial e final. Os resultados de clorofila obtidos foram corrigidos da maneira proposta e posteriormente submetidos a uma análise do tipo GLM (Modelo Linear Geral) de medidas repetidas no software SPSS para avaliar o efeito dos tratamentos por cada tipo de sedimento utilizando o tempo como variável randômica.

Os valores de clorofila por tratamento foram submetidos a uma regressão linear para obter as linhas de tendência de crescimento e os valores de slope por tratamento através do software JMP-SAS.

Foram calculadas a partir dos dados de nutrientes obtidos em cada tratamento, as razões C: N a partir de valores de COD e ND, N: P a partir dos valores de COD e P total e C: P, utilizando os valores já citados e comparadas os resultados com a razão de Redfield (1934) que referencia a proporção de 106 mols de Carbono para 16 mols de Nitrogênio e 1 mol de Fósforo como a composição ideal de microorganismos aquáticos.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA NOS SEDIMENTOS E MOBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DOS SEDIMENTOS PARA A ÁGUA

O sedimento de Chapéu D'Uvas apresentou em média 10.36 % de matéria orgânica por grama analisado, o sedimento do Lago Batata Natural apresentou 21.48 % de matéria orgânica e o sedimento do Lago Batata Impactado apresentou 20.43 % de matéria orgânica por grama analisado. O tipo de sedimento que apresentou menor teor de matéria orgânica é o proveniente de Chapéu D'Uvas e os sedimentos provenientes do Lago Batata apresentaram os maiores valores (Figura 8).

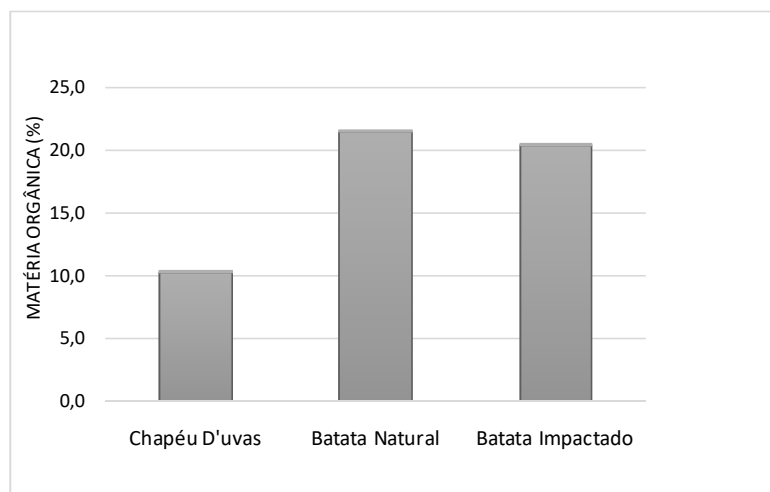


Figura 8: Conteúdo de matéria orgânica por sedimento analisado (%) por tipo de sedimento.

Os resultados dos experimentos para caracterização dos sedimentos (Tabela 7) mostram que para o sedimento de Chapéu D'Uvas houve variação significativa de pH para tratamentos de turbidez alta e média, que contém maior quantidade de sedimento, repetindo-se essa tendência para o sedimento Batata Impactado, que apresentou variação em turbidez baixa. O sedimento Batata Natural não apresentou variação significativa de pH.

Em relação aos valores de turbidez, todos os sedimentos testados apresentaram variação significativa em turbidez alta e apenas Chapéu D'Uvas apresentou variação em



turbidez média. Nenhum nível de turbidez apresentou variação significativa em turbidez baixa.

*Tabela 7: Valores de pH e Turbidez obtidos para cada sedimento. CDU: Chapéu D'Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TA: Turbidez Alta; TM: Turbidez Média; TB: Turbidez Baixa. TI = Tempo Inicial; TF = Tempo Final. Valores com (\*) apresentaram variação significativa (Teste T pareado,  $p < 0.05$ ).*

Sed	Trat	pH		Turb (NTU)	
		TI	TF	TI	TF
CDU	TA	9,2 ± 0,4	9,0 ± 0,34 *	314 ± 4,83	640,7 ± 91,8 *
	TM	8,5 ± 0,1	8,3 ± 0,18 *	56,7 ± 1,71	101,7 ± 10,8 *
	TB	8,3 ± 0,04	7,9 ± 0,27	16,7 ± 2,02	11,4 ± 4
BI	TA	7,1 ± 0,04	7,7 ± 0,19 *	370,2 ± 36	590 ± 14,7 *
	TM	7,5 ± 0,07	7,2 ± 0,09 *	44,2 ± 12,1	49,6 ± 18,3
	TB	7,3 ± 0,05	6,9 ± 0,15 *	17,5 ± 2,9	13,9 ± 4,7
BN	TA	7,7 ± 0,13	7,6 ± 0,1	341,2 ± 56	628,7 ± 90 *
	TM	7,5 ± 0,11	7,5 ± 0,09	85,7 ± 11,5	113,2 ± 71
	TB	7,3 ± 0,05	7,2 ± 0,11	35,1 ± 3,1	43,5 ± 12

Para todos os tratamentos, o Carbono Orgânico Dissolvido (COD) apresentou variação significativa e para Nitrogênio Dissolvido (ND), nenhum tratamento variou significativamente (Tabela 8).

*Tabela 8: Valores de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e Nitrogênio Dissolvido (ND) para cada sedimento. CDU: Chapéu D'Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TA: Turbidez Alta; TM: Turbidez Média; TB: Turbidez Baixa. TI = Tempo Inicial; TF = Tempo Final. Valores com (\*) apresentaram variação significativa (Teste T pareado,  $p < 0.05$ ).*

Sed	Trat	COD (mg/L)		ND (mg/L)	
		TI	TF	TI	TF
CDU	TA	1,76 ± 0,16	5,25 ± 0,57 *	0,09 ± 0,04	0,06 ± 0,10
	TM	0,65 ± 0,13	3,96 ± 0,17 *	0,06 ± 0,03	0,15 ± 0,22
	TB	0,6 ± 0,04	3,57 ± 0,13 *	0,10 ± 0,01	0,03 ± 0,04
BI	TA	1,42 ± 0,36	1,64 ± 0,31	0,06 ± 0,04	0,04 ± 0,02
	TM	0,56 ± 0,04	0,82 ± 0,09 *	0,07 ± 0,02	0,08 ± 0,02
	TB	0,39 ± 0,08	0,73 ± 0,07 *	0,11 ± 0,04	0,08 ± 0,02
BN	TA	2,37 ± 0,20	3,64 ± 0,71 *	0,38 ± 0,09	0,38 ± 0,07
	TM	1,04 ± 0,13	1,39 ± 0,13 *	0,04 ± 0,03	0,05 ± 0,04
	TB	1,62 ± 0,36	0,80 ± 0,08 *	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01

Para o nutriente Fósforo Total, houve variação significativa em turbidez baixa do sedimento de Chapéu D'Uvas, turbidez alta do sedimento Batata Impactado e para todos os tratamentos do sedimento Batata Natural. Para Fósforo Dissolvido, apenas houve variação

significativa no tratamento de turbidez média do sedimento de Chapéu D'Uvas. Para Amônia, os tratamentos de turbidez média e Baixa de Chapéu D'Uvas apresentaram variação significativa, o tratamento de turbidez média do sedimento Batata Impactado e turbidez alta do sedimento Batata Natural (Tabela 9).

*Tabela 9: Valores de Fósforo Total (P total), Fósforo Dissolvido (PD) e Amônia para cada sedimento. CDU: Chapéu D'Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TA: Turbidez Alta; TM: Turbidez Média; TB: Turbidez Baixa. TI = Tempo Inicial; TF = Tempo Final. Valores com (\*) apresentaram variação significativa (Teste T pareado,  $p < 0.05$ ).*

Sed	Trat	P Total ( $\mu\text{g/L}$ )		PD ( $\mu\text{g/L}$ )		Amônia ( $\mu\text{g/L}$ )	
		TI	TF	TI	TF	TI	TF
CDU	TA	168,8 $\pm$ 28,7	330,3 $\pm$ 56,8	9,3 $\pm$ 3,6	8,5 $\pm$ 4,8	58,3 $\pm$ 5,4	51,4 $\pm$ 10,2
	TM	53,7 $\pm$ 12,8	85,8 $\pm$ 9	13,9 $\pm$ 0,6	5,6 $\pm$ 0,7 *	35,5 $\pm$ 3,4	111,3 $\pm$ 15,9 *
	TB	9,9 $\pm$ 1,9	22,4 $\pm$ 3,08 *	4,66 $\pm$ 0,61	5,7 $\pm$ 2,1	30,3 $\pm$ 1,4	150,5 $\pm$ 16,5 *
BI	TA	53,4 $\pm$ 10,1	112,9 $\pm$ 18,4 *	5,7 $\pm$ 2,3	4,2 $\pm$ 2,1	92,1 $\pm$ 13,5	126,1 $\pm$ 25,3
	TM	32,4 $\pm$ 12,1	23,1 $\pm$ 8,3	4,3 $\pm$ 1,8	3,1 $\pm$ 0,4	92,8 $\pm$ 7,8	118,7 $\pm$ 17,8 *
	TB	12,4 $\pm$ 1,2	14,6 $\pm$ 6,2	5,3 $\pm$ 2,1	2,5 $\pm$ 0,4	75,2 $\pm$ 8,3	121,3 $\pm$ 10
BN	TA	165,2 $\pm$ 26,7	287,4 $\pm$ 17,3 *	9,5 $\pm$ 4,4	6,0 $\pm$ 2,5	649,0 $\pm$ 56,7	442,5 $\pm$ 62,6 *
	TM	53,7 $\pm$ 8,3	78,9 $\pm$ 6,8 *	5,1 $\pm$ 0,3	3,9 $\pm$ 0,5	293,2 $\pm$ 14,7	282,3 $\pm$ 56,2
	TB	15,6 $\pm$ 1,5	32,2 $\pm$ 3,6 *	3,8 $\pm$ 0,8	3,6 $\pm$ 0,2	201,9 $\pm$ 17,2	256,0 $\pm$ 24,8

Nos resultados de absorvância a 250 nm, o sedimento de Chapéu D'Uvas apresentou variação significativa em todos os tratamentos, enquanto que o sedimento Batata Impactado apresentou variação significativa em tratamentos de média e baixa turbidez e o sedimento do Batata Natural apresentou variação significativa apenas em turbidez média (Tabela 10).

Nas leituras de absorvância a 365 nm, apenas o sedimento de Chapéu D'Uvas apresentou variação significativa nos três tratamentos realizados. O sedimento Batata Impactado apresentou variação significativa em turbidez baixa e Batata Natural em turbidez média. Os valores de absorvância a 430 nm para o sedimento de Chapéu D'Uvas apresentam variação significativa apenas para tratamentos de turbidez alta e média e para o sedimento Batata Natural variou significativamente apenas o tratamento de turbidez média (Tabela 10).

Tabela 10: Valores de Absorbância a 250 nm, (Abs 250 nm), Absorbância a 365 nm (Abs 365 nm) e Absorbância a 430 nm (Abs 430 nm). CDU: Chapéu D'Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TA: Turbidez Alta; TM: Turbidez Média; TB: Turbidez Baixa. TI = Tempo Inicial; TF = Tempo Final. Valores com (\*) apresentaram variação significativa (Teste t pareado,  $p < 0.05$ ).

Sed	Trat	Abs 250 (nm)		Abs 365 (nm)		Abs 430 (nm)	
		TI	TF	TI	TF	TI	TF
CDU	TA	0,068 ± 0,01	0,41 ± 0,1 *	0,0401 ± 0,1	0,237 ± 0,07 *	0,03 ± 0,008	0,146 ± 0,04 *
	TM	0,017 ± 0,005	0,101 ± 0,2 *	0,010 ± 0,04	0,053 ± 0,1 *	0,008 ± 0,002	0,033 ± 0,009 *
	TB	0,006 ± 0,002	0,018 ± 0,004 *	0,002 ± 0,02	0,009 ± 0,03 *	0,001 ± 0,002	0,007 ± 0,001
BI	TA	0,033 ± 0,007	0,024 ± 0,14	0,026 ± 0,01	0,018 ± 0,003	0,024 ± 0,01	0,020 ± 0,01
	TM	0,006 ± 0,001	0,009 ± 0,002 *	0,007 ± 0,07	0,007 ± 0,001	0,016 ± 0,01	0,005 ± 0,001
	TB	0,001 ± 0,001	0,006 ± 0,001 *	0,001 ± 0,001	0,004 ± 0,009 *	0,002 ± 0,006	0,001 ± 0,002
BN	TA	0,041 ± 0,01	0,259 ± 0,09	0,019 ± 0,008	0,123 ± 0,04	0,013 ± 0,001	0,079 ± 0,03
	TM	0,017 ± 0,001	0,073 ± 0,02 *	0,010 ± 0,01	0,035 ± 0,012 *	0,007 ± 0,001	0,023 ± 0,008 *
	TB	0,015 ± 0,006	0,015 ± 0,003	0,006 ± 0,002	0,008 ± 0,002	0,005 ± 0,003	0,006 ± 0,001

Os resultados das razões entre absorbância 250 nm e absorbância 365 nm variaram apenas nos tratamentos de turbidez baixa no sedimento Batata Impactado e turbidez média do sedimento Batata Natural. Os resultados da razão entre absorbância 430 nm e Carbono Orgânico Dissolvido apresentaram variação significativa apenas em tratamentos de turbidez média e baixa no sedimento Batata Natural (Tabela 11).

Tabela 11: Valores da razão entre absorbâncias a 250 nm e 365 nm (Razão Abs 250/ 365 nm) e Razão entre absorbância 430 nm e valores de Carbono Orgânico Dissolvido (Razão Abs 430/ COD). CDU: Chapéu D'Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TA: Turbidez Alta; TM: Turbidez Média; TB: Turbidez Baixa. TI = Tempo Inicial; TF = Tempo Final. Valores com (\*) apresentaram variação significativa (Teste t pareado,  $p < 0.05$ ).

Sed	Trat	Razão Abs 250/Abs 365		Razão Abs 430/COD	
		TI	TF	TI	TF
CDU	TA	1,71 ± 0,15	1,762 ± 0,05	0,018 ± 0,005	0,142 ± 0,006
	TM	2,145 ± 0,76	1,894 ± 0,07	0,01 ± 0,003	0,032 ± 0,002
	TB	3,385 ± 2,90	2,101 ± 0,27	0,003 ± 0,005	0,006 ± 0,001
BI	TA	1,427 ± 0,46	1,34 ± 0,74	0,014 ± 0,01	0,013 ± 0,01
	TM	1,752 ± 1,28	1,27 ± 0,14	0,031 ± 0,03	0,006 ± 0,001
	TB	0,451 ± 2,10	1,485 ± 0,45 *	0,007 ± 0,001	0,001 ± 0,003
BN	TA	2,171 ± 0,16	2,128 ± 0,11	0,005 ± 0,001	0,021 ± 0,006
	TM	1,728 ± 0,22	2,069 ± 0,06 *	0,007 ± 0,001	0,017 ± 0,004 *
	TB	2,317 ± 0,47	1,821 ± 0,26	0,003 ± 0,001	0,008 ± 0,001 *

### 3.2. EXPERIMENTO 1: EFEITO DA TURBIDEZ SOBRE A PRODUÇÃO PRIMÁRIA

Os resultados encontrados para o experimento de turbidez direcionando a produção primária serão apresentados conforme a ordem de execução das etapas dos

experimentos. Para o primeiro sedimento testado (Chapéu D'Uvas) os valores de clorofila apresentaram tendência a aumento mais pronunciada em tratamentos de turbidez média e alta (Figura 9). Pode-se perceber uma tendência a aumento de clorofila em tratamentos de clorofila alta e média enquanto que tratamentos de clorofila baixa apresentaram tendência a manter os valores próximos dos iniciais (Figura 10).

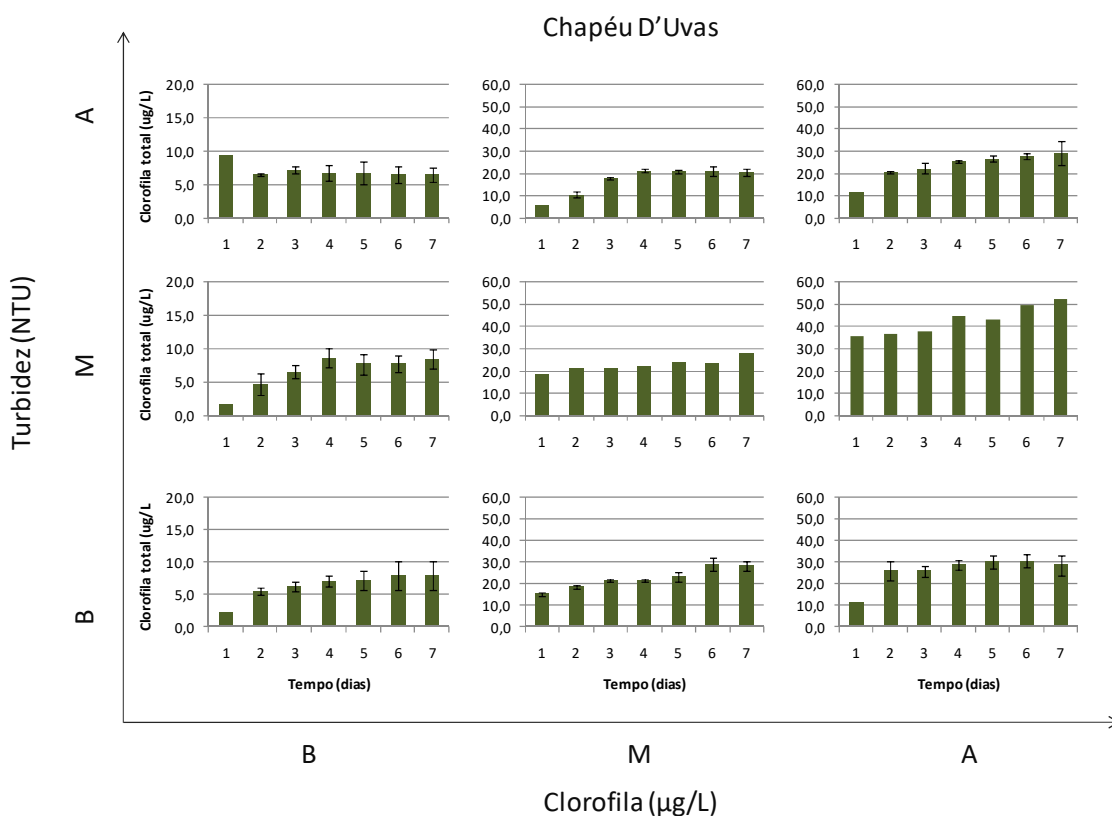


Figura 9: Variação de clorofila *a* em função do tempo (dias) no experimento de efeito da turbidez sobre a produção primária com sedimento de Chapéu D'Uvas. Tratamentos de turbidez = Baixa (B), Média (M) e Alta (A) e tratamentos de clorofila Baixa (B), Média (M) e Alta (A). Os gráficos menores, o eixo vertical menor indica os valores de clorofila em ( $\mu\text{g/L}$ ) com desvio padrão e o eixo horizontal menor indica a variação de tempo. Os gráficos dos tratamentos de clorofila Baixa (B) apresentam escala do eixo Y menor devido à menor amplitude de distribuição dos dados. Devido ao método de correção dos dados, algumas réplicas precisaram ser desconsideradas, produzindo gráficos sem desvio padrão (TMCM e TMCA).

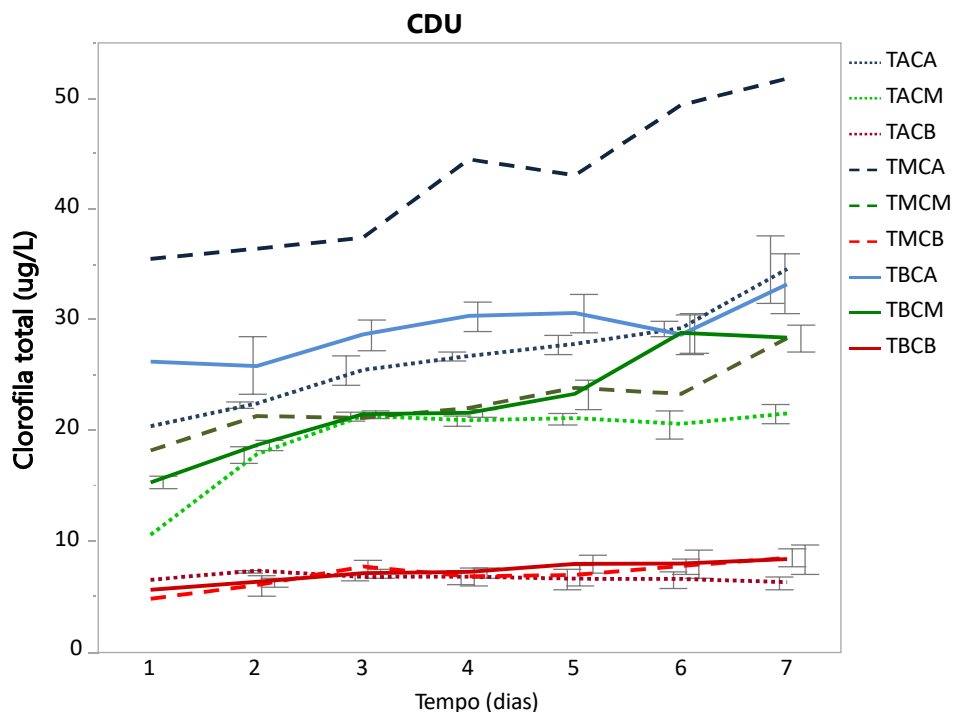


Figura 10: Variação de clorofila ao longo do tempo por tratamento para o sedimento de Chapéu D'Uvas. Tratamentos de turbidez = Baixa (B), Média (M) e Alta (A) e tratamentos de clorofila Baixa (B), Média (M) e Alta (A).

Na segunda etapa deste experimento foi utilizado sedimento do Lago Batata, área Impactada. Nesta etapa, os resultados mostram menores valores de clorofila em geral, com maiores valores nos tratamentos de clorofila alta e menores valores nos tratamentos de clorofila baixa (Figura 11). A variação ao longo do tempo para os tratamentos mostra que há menor variação de clorofila nos tratamentos. Além disso, não houve grande tendência a aumento em nenhum tratamento (Figura 12).

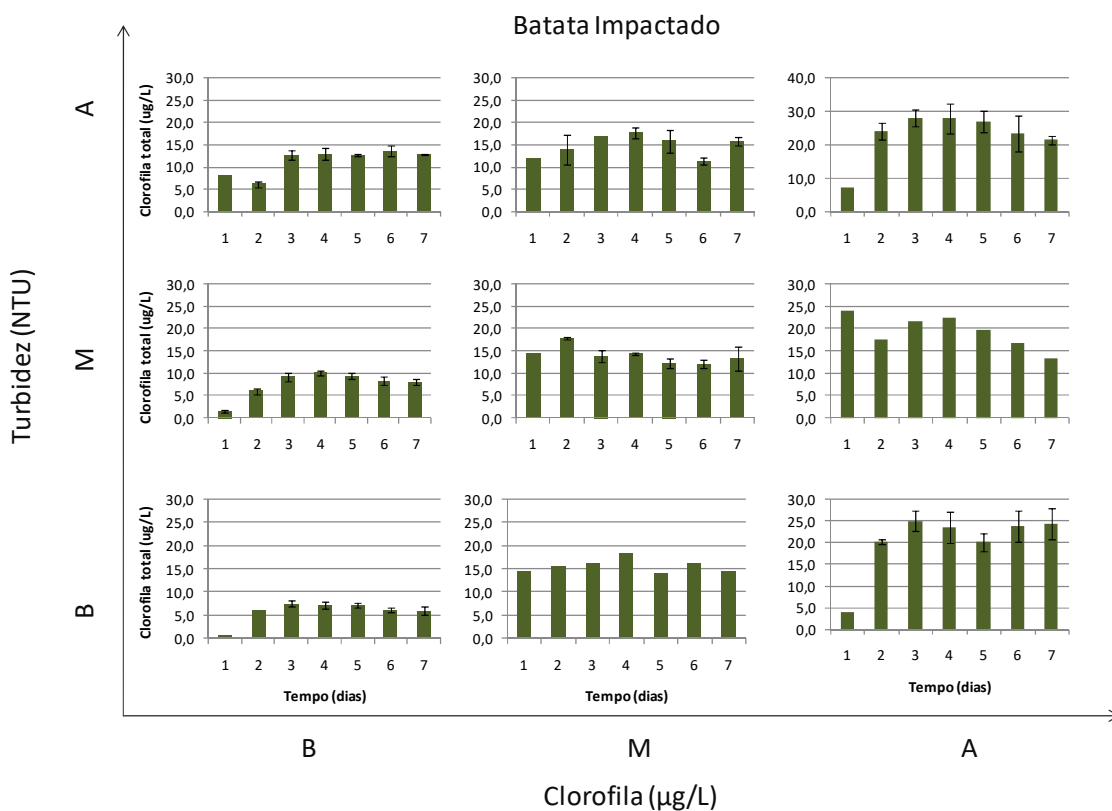


Figura 11: Variação de clorofila a em função do tempo (dias) no experimento de efeito da turbidez sobre a produção primária com sedimento Batata Impactado. Tratamentos de turbidez = Baixa (B), Média (M) e Alta (A) e tratamentos de clorofila Baixa (B), Média (M) e Alta (A). Os gráficos menores, o eixo vertical menor indica os valores de clorofila em (µg/L) com desvio padrão e o eixo horizontal menor indica a variação de tempo. O gráfico do tratamento TACA apresenta escala do eixo Y maior devido à maior amplitude de distribuição dos dados

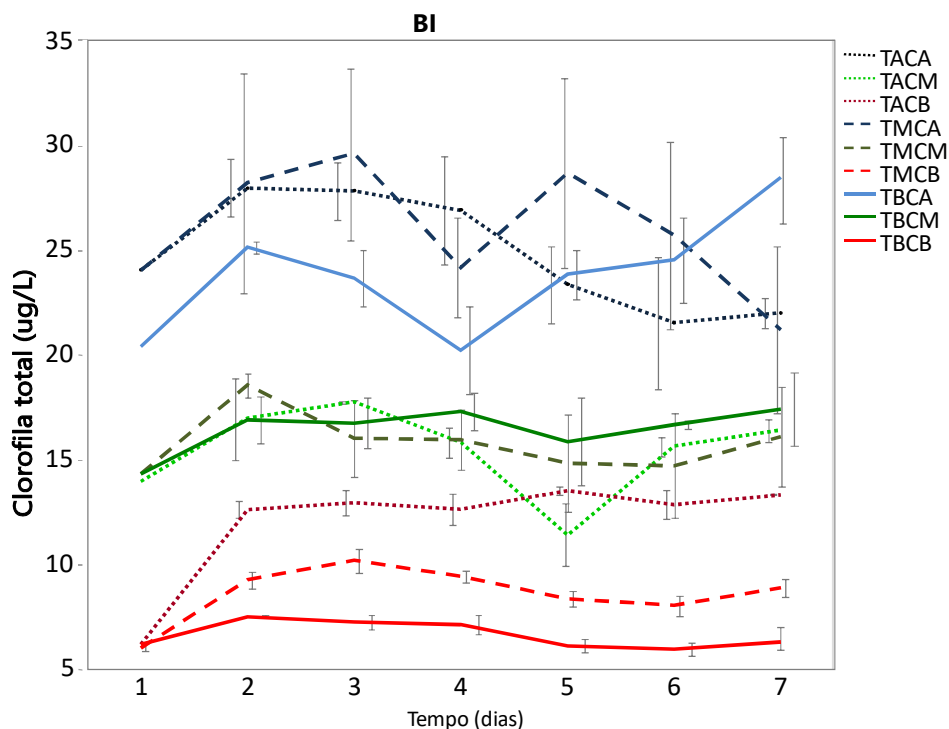


Figura 12: Variação de médias de clorofila ao longo do tempo para o sedimento Batata Impactado. Tratamentos de turbidez = Baixa (B), Média (M) e Alta (A) e tratamentos de clorofila Baixa (B), Média (M) e Alta (A).

A terceira e última etapa deste experimento foi feita com sedimento da área Natural do Lago Batata. Os resultados mostram maior variação nos tratamentos de clorofila alta e maior homogeneidade nos valores ao longo do tempo para clorofila baixa (Figura 13). A variação dos tratamentos ao longo do tempo apresentou tendências semelhantes em tratamentos de clorofila baixa e tendências diferenciadas nos outros tratamentos, não relacionadas diretamente ao tratamento (Figura 14).

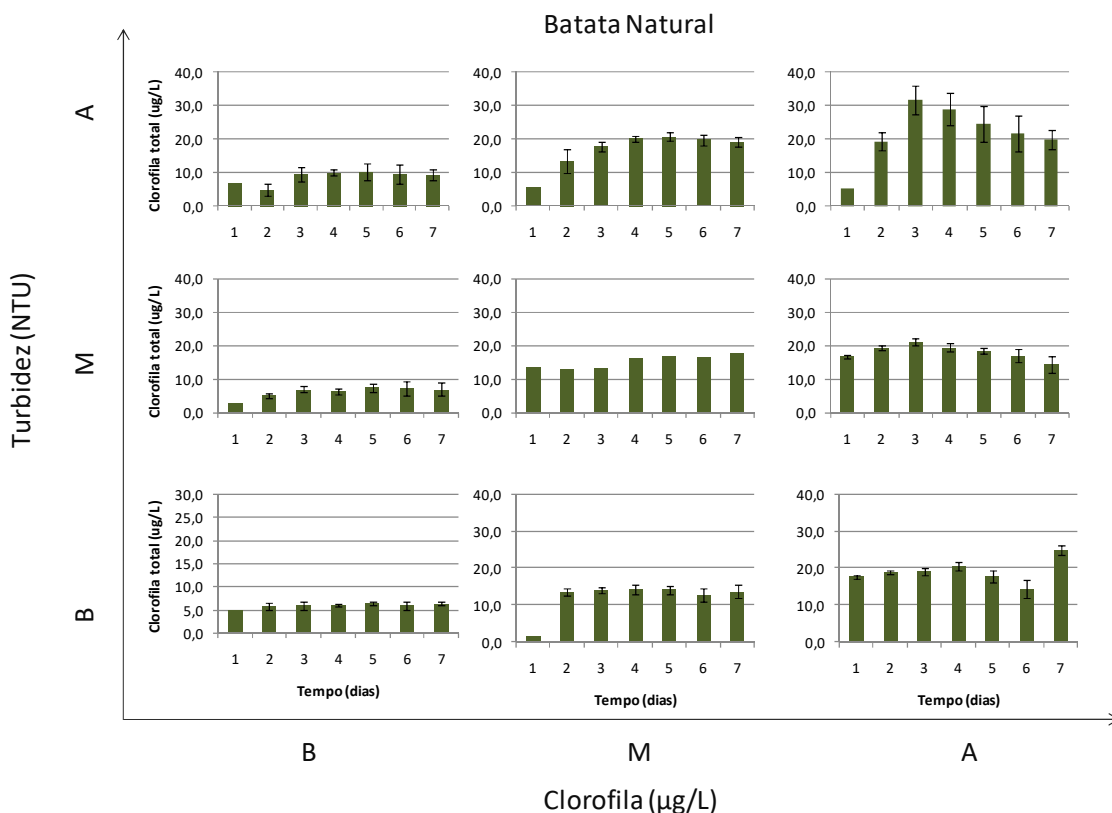


Figura 13: Variação de clorofila a em função do tempo (dias) no experimento de efeito da turbidez sobre a produção primária com sedimento de Batata Natural. Tratamentos de turbidez = Baixa (B), Média (M) e Alta (A) e tratamentos de clorofila Baixa (B), Média (M) e Alta (A). Os gráficos menores, o eixo vertical menor indica os valores de clorofila em ( $\mu\text{g/L}$ ) com desvio padrão e o eixo horizontal menor indica a variação de tempo. O gráfico do tratamento TBCB apresenta escala do eixo Y menor devido à menor amplitude de distribuição dos dados. Devido ao método de correção dos dados, algumas réplicas precisaram ser desconsideradas, produzindo gráficos sem desvio padrão (TMCM).



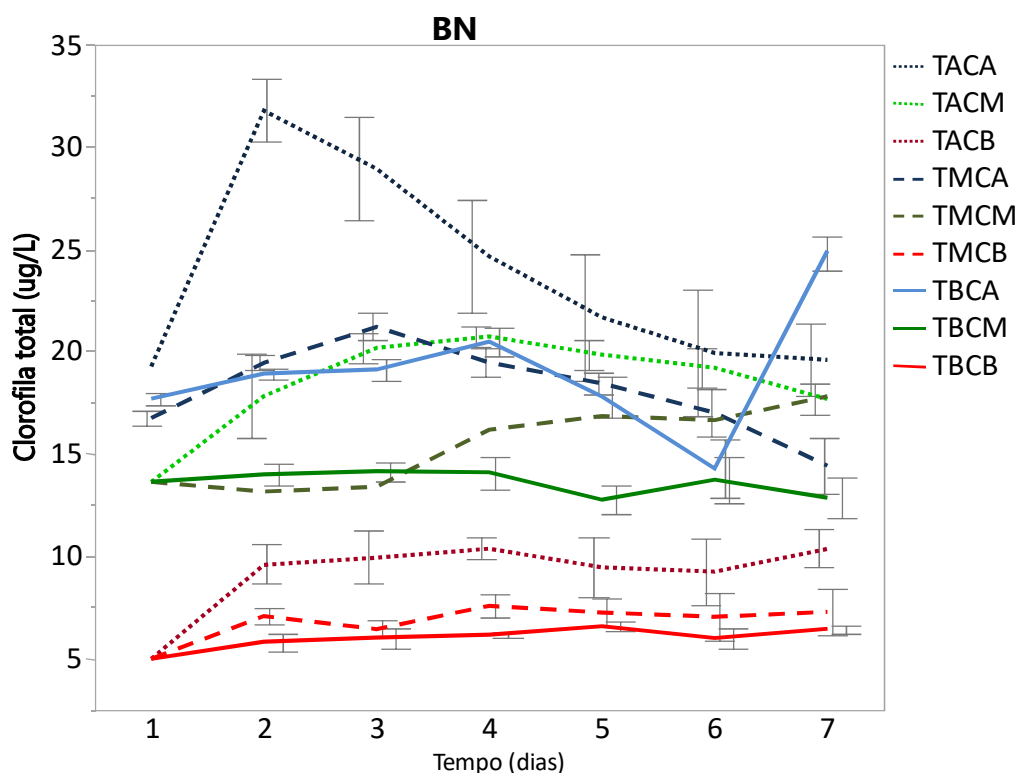


Figura 14: Variação de clorofila ao longo do tempo para o sedimento Batata Natural. Tratamentos de turbidez = Baixa (B), Média (M) e Alta (A) e tratamentos de clorofila Baixa (B), Média (M) e Alta (A).

Os resultados da variação de clorofila ao longo do tempo comparados por sedimento apontam que para tratamentos de turbidez baixa, o sedimento de Chapéu D'Uvas obteve maiores valores finais enquanto que os outros sedimentos apresentaram ampla variação com tendência a aumentar apenas em tratamentos de clorofila alta. Em tratamentos de turbidez média, esta tendência ocorre de forma semelhante em tratamentos de clorofila média e alta, mas em clorofila baixa os sedimentos de Chapéu D'Uvas e Batata Natural apresentam variação semelhante enquanto que Batata Impactado apresenta aumento até o tempo 3 seguido de redução de clorofila e pequeno aumento em seguida. Os tratamentos de turbidez alta e clorofila baixa apresentam padrão semelhante com valores totais diferentes para os sedimentos, com Batata Impactado apresentando maior média. Em tratamentos de clorofila média os sedimentos de Chapéu D'Uvas e Batata Natural apresentam tendência semelhante enquanto que Batata Impactado apresenta redução brusca de clorofila no tempo 5, seguido de aumento até o tempo 7. Em clorofila alta, os tratamentos Batata Natural e Impactado seguem tendências semelhantes de variação, enquanto que Chapéu D'Uvas se diferencia e apresenta aumento (Figura 15).

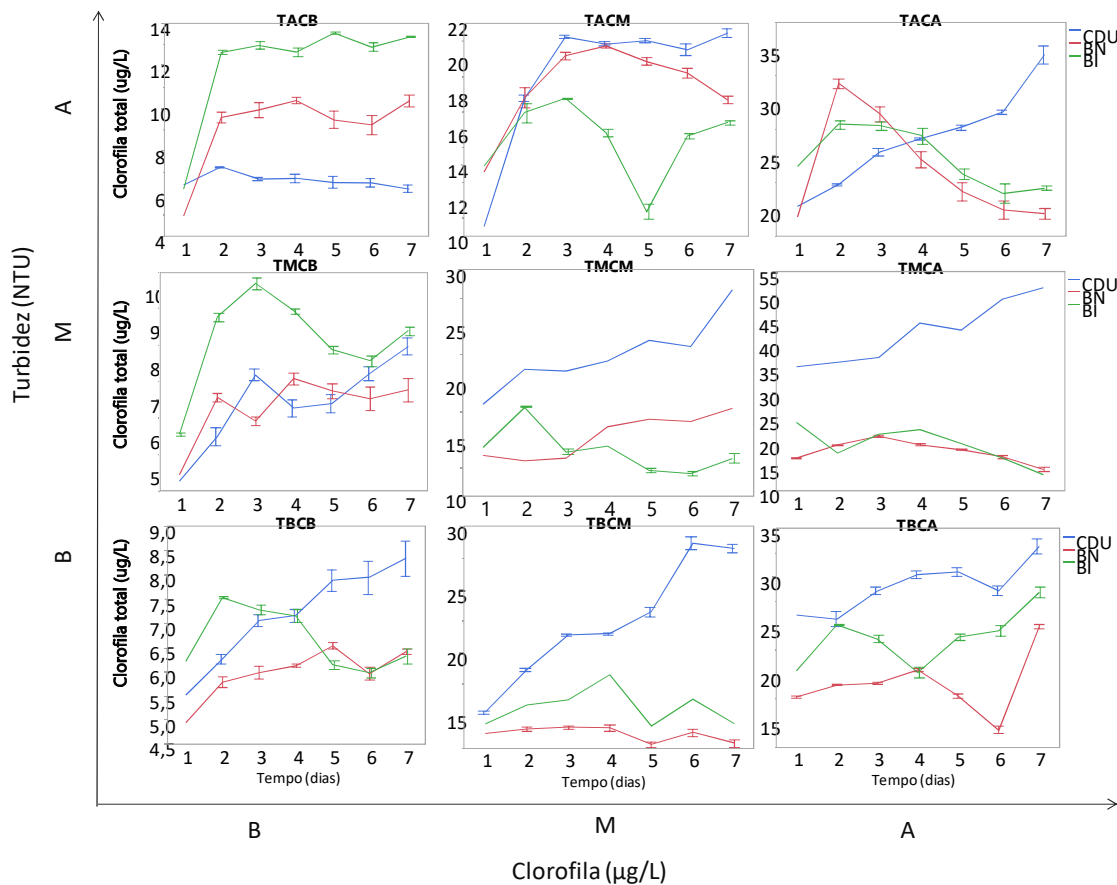


Figura 15: Variação de clorofila por tratamento ao longo do tempo. CDU: Chapéu D'Uvas; BN: Batata Natural; BI: Batata Impactado. Tratamentos de turbidez = Baixa (B), Média (M) e Alta (A) e tratamentos de clorofila Baixa (B), Média (M) e Alta (A).

A partir dos valores de clorofila foi feita a comparação das linhas de tendência de cada tratamento. Para os tratamentos de turbidez alta, houve diferença entre os sedimentos em clorofila alta, em tratamentos de turbidez média, em clorofila média e alta o sedimento Chapéu D'Uvas apresentou aumento em clorofila média e alta e em turbidez baixa os tratamentos apresentaram variação semelhante em clorofila baixa e média (Figura 16).

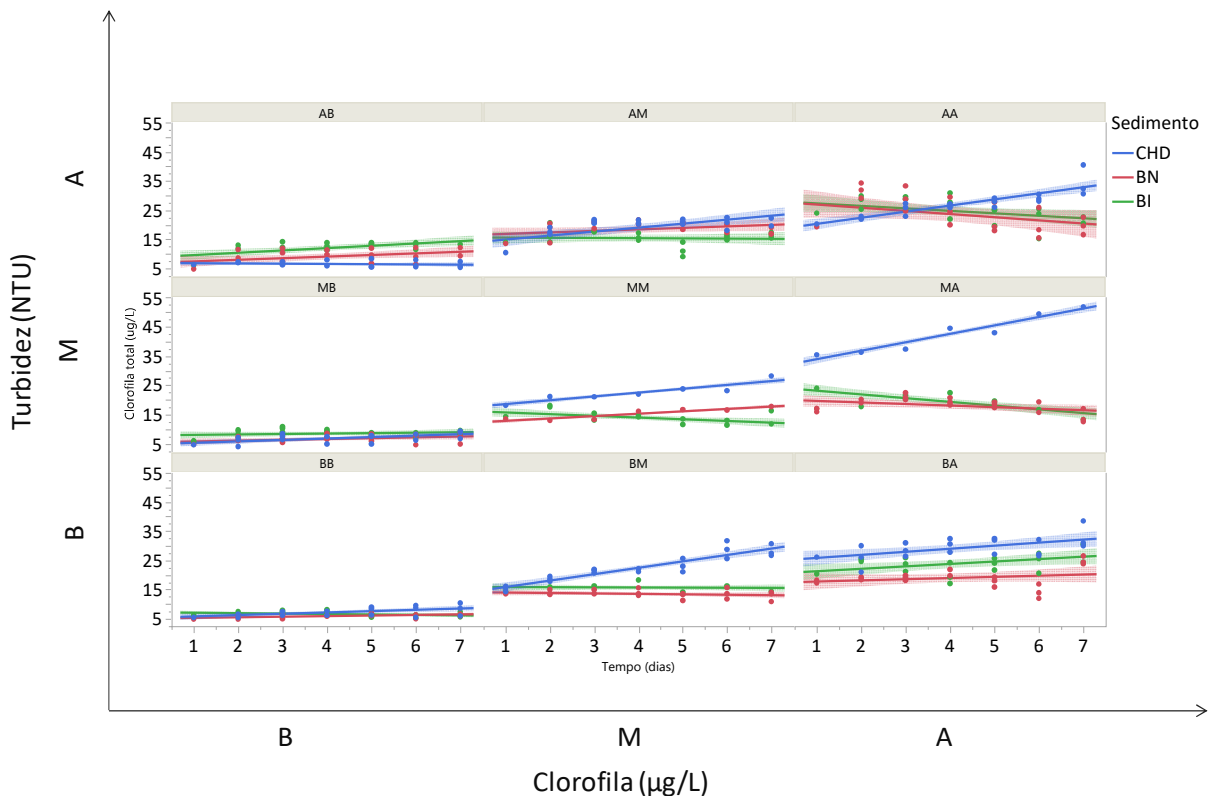


Figura 16: Regressão linear dos tratamentos. CHD: Chapéu D'Uvas; BN: Batata Natural; BI: Batata Impactado. Tratamentos de turbidez = baixa (B), média (M) e alta (A) e tratamentos de clorofila baixa (B), média (M) e alta (A).

O slope dos conjuntos de tratamentos apresenta relação com a quantidade de sedimento em Batata Impactado e Batata Natural, onde são menores conforme aumenta a quantidade de sedimento adicionada. Em relação a Chapéu D'Uvas, não houve a tendência apresentada nos outros tratamentos (Figura 17).

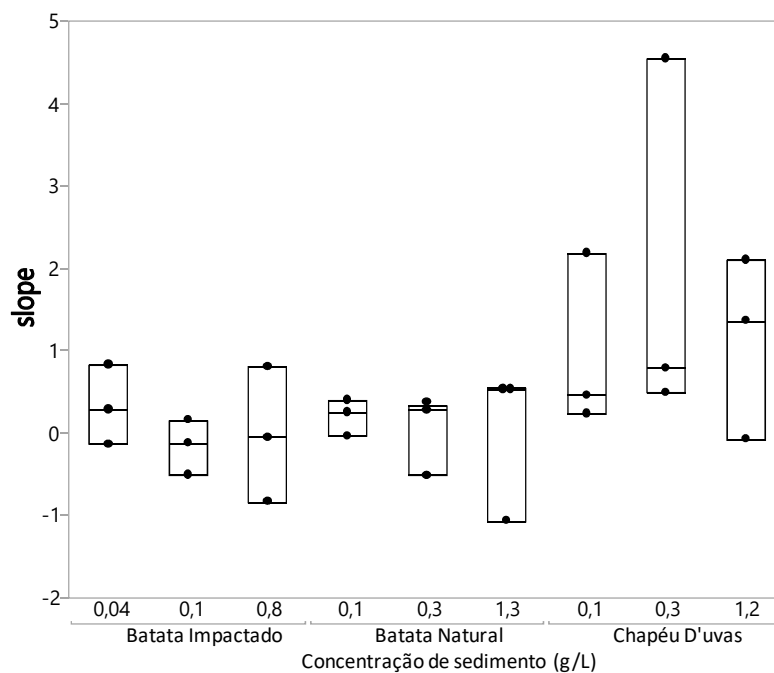
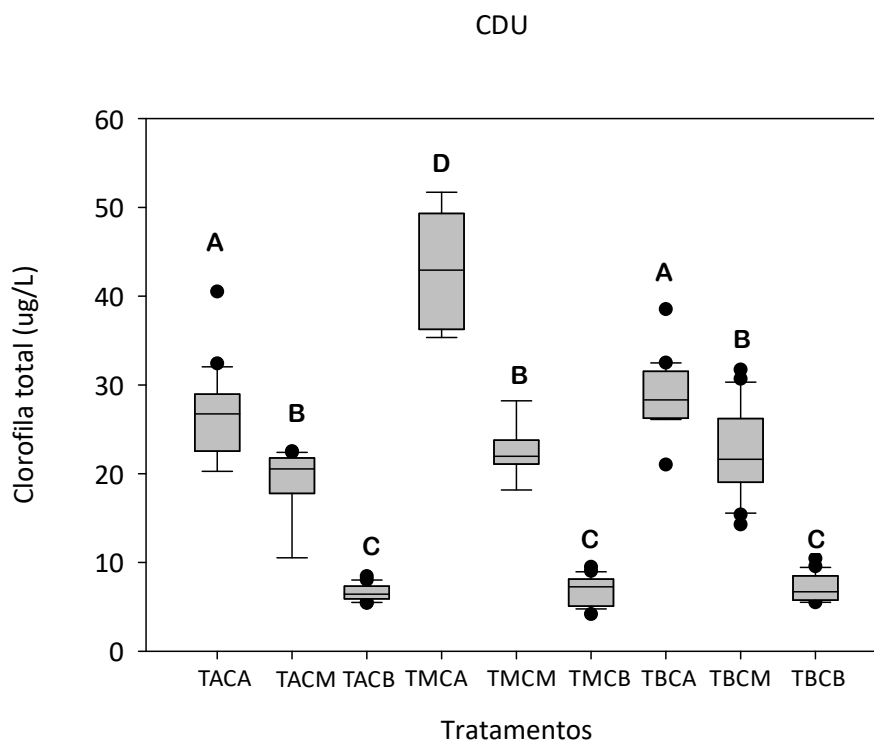


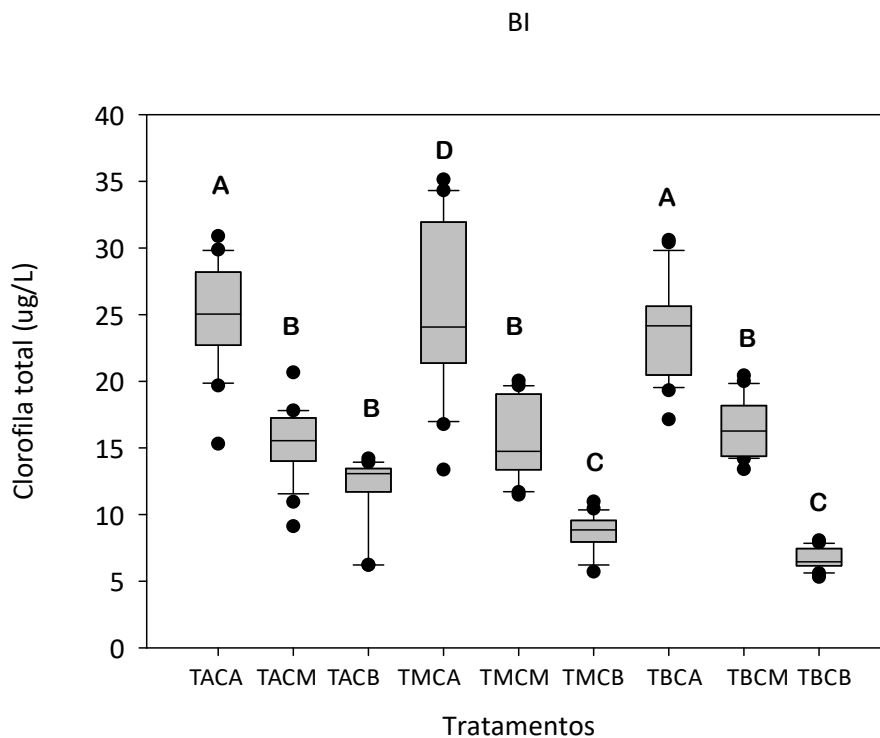
Figura 17: Slopes dos tratamentos por concentração de sedimento. Correspondências de concentração de sedimento para níveis de turbidez: Batata Impactado: Turbidez baixa-0,04g/L; Turbidez média-0,1g/L; Turbidez alta-0,8g/L; Batata Natural: Turbidez baixa-0,1g/L; Turbidez média-0,3g/L; Turbidez alta-1,3g/L; Chapéu D'Uvas: Turbidez baixa-0,1g/L; Turbidez média-0,3g/L; Turbidez alta- 1,2g/L.

Ao comparar os valores médios de clorofila dos tratamentos para o sedimento de Chapéu D'Uvas, pode-se perceber pouca amplitude de variação de clorofila no geral, exceto no tratamento TMCA, que apresentou maior amplitude. Foram representados no gráfico, grupos de tratamentos semelhantes em relação à variação de clorofila média de acordo com os resultados da análise GLM. São semelhantes entre si grupos de clorofila alta (grupo A), média (grupo B) e baixa (grupo C) e um tratamento de turbidez média e clorofila alta de diferencia dos demais (grupo D) (Figura 18).



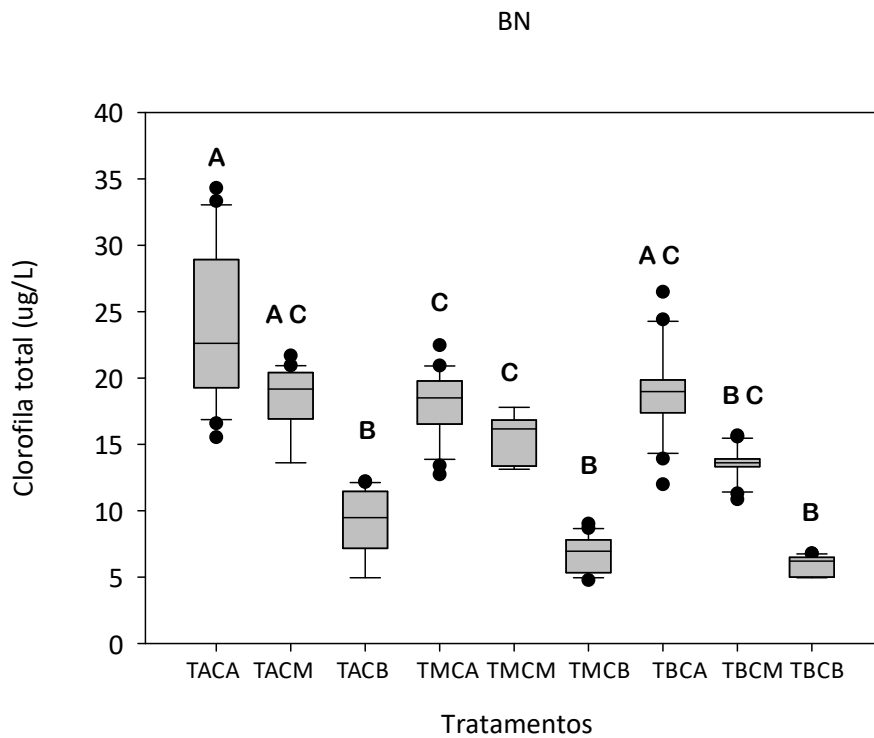
*Figura 18: Clorofila total média por tratamento Chapéu D'Uvas. As letras semelhantes representadas acima dos boxplots representam grupos de tratamentos semelhantes.*

A comparação de valores médios de clorofila do sedimento Batata Impactado mostra que a amplitude de valores de clorofila foi maior em tratamentos de clorofila alta e média, em destaque o tratamento TMCA que apresentou maior amplitude. A separação em grupos de tratamentos estatisticamente semelhantes mostra maior semelhança entre tratamentos de turbidez alta (grupo A), semelhança entre tratamentos de turbidez média com um tratamento de turbidez baixa (TACB) (grupo B) e semelhança entre tratamentos de turbidez baixa (grupo C) com o tratamento TMCA apresentando maior amplitude e figurando em um grupo diferenciado (grupo D) (Figura 19).



*Figura 19: Clorofila total média por tratamento Batata Impactado. As letras semelhantes representadas acima dos boxplots representam grupos de tratamentos semelhantes.*

Os valores de clorofila média para o sedimento Batata Natural apresentam maior amplitude de valores apenas no tratamento TACA, com turbidez alta e clorofila alta. A classificação dos grupos de tratamentos estatisticamente semelhantes mostra a semelhança entre tratamentos de turbidez alta e clorofilas alta e média com um tratamento de turbidez alta e clorofila média (grupo A) e semelhança entre tratamentos de clorofila baixa (grupo B). No caso de tratamentos de turbidez média, houve semelhança em clorofilas alta e média e no mesmo grupo (grupo C), os tratamentos TACM, TBCA e TBCM também foram considerados estatisticamente semelhantes (Figura 20).



*Figura 20: Clorofila total média por tratamento Batata Natural. As letras semelhantes representadas acima dos boxplots representam grupos de tratamentos semelhantes.*

A análise GLM de medidas repetidas mostrou efeito do tempo nos tratamentos TACA, TACM e TBCM de Chapéu D’Uvas, para os tratamentos TACM, TACB, TMCB, TBCA e TBCB de Batata Impactado e para todos os tratamentos de turbidez alta, TMCA e TBCA do sedimento Batata Natural (Tabela 12).

Tabela 12: Resultados do teste GLM de medidas repetidas para efeito do tempo para cada sedimento e tratamento. CDU: Chapéu D'Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. Z: teste estatístico Z; gl: graus de liberdade; QM: quadrados médios; SQT: soma dos quadrados totais; N: número de amostras; p: significância (os valores em negrito foram significativos para um alfa de 0.05). <sup>1</sup> Não houve variância na Anova destes grupos porque para realizar a correção, algumas réplicas precisaram ser desconsideradas.

Sedimento	Tratamento	Z	gl	QM	SQT	N	p
CDU	TACA	12.1382	6.0	65.0	390.06	3	<b>&lt;0,05</b>
	TACM	30.5643	6.0	46.9847	281.908	3	<b>&lt;0,05</b>
	TACB	0.31428	6.0	0.3	1.89	3	0.92
	TMCA <sup>1</sup>	-	-	-	-	3	-
	TMCM <sup>1</sup>	-	-	-	-	3	-
	TMCB	2.7497	6.0	4.57674	27.5	3	0.06
	TBCA	1.99317	6.0	20.4	122.48	3	0.13
	TBCM	23.1564	6.0	70.9	425.37	3	<b>&lt;0,05</b>
BI	TBCB	1.6043	6.0	3.0	18.20	3	0.22
	TACA	2.15574	6.0	22.3773	134.26	3	0.11
	TACM	4.55135	6.0	13.6	81.32	3	<b>&lt;0,05</b>
	TACB	29.2036	6.0	20.1	120.64	3	<b>&lt;0,05</b>
	TMCA	0.60517	6.0	27.4	164.68	3	0.72
	TMCM	0.60723	6.0	5.9	35.4956	3	0.72
	TMCB	11.1194	6.0	5.3	31.71	3	<b>&lt;0,05</b>
	TBCA	3.50895	6.0	24.2	145.11	3	<b>0.02</b>
BN	TBCM	0.71755	6.0	3.4	20.23	3	0.64
	TBCB	3.25237	6.0	1.2	7.30	3	<b>0.03</b>
	TACA	4.49888	6.0	74.0	443.84	3	<b>0.01</b>
	TACM	5.8236	6.0	17.5	105.15	3	<b>&lt;0,05</b>
	TACB	2.90268	6.0	10.8	64.58	3	<b>0.05</b>
	TMCA	7.29646	6.0	15.0	89.9579	3	<b>&lt;0,05</b>
	TMCM <sup>1</sup>	-	-	-	-	3	-
	TMCB	1.44472	6.0	2.4	14.15	3	0.27
	TBCA	15.9003	6.0	31.3	187.92	3	<b>&lt;0,05</b>
	TBCM	0.58223	6.0	1.0	5.76	3	0.74
	TBCB	2.49803	6.0	0.8	4.90	3	0.07

Os resultados de clorofila por grupos com o sedimento de Chapéu D'Uvas indicam predominância de algas verdes em tratamentos de clorofila alta (67 a 81% em média), média (63 a 79% em média) e baixa (59 a 72% em média) com menor expressividade de algas marrons e presença de algas azuis apenas em tratamentos de clorofila alta e média (3 a 7% em média) (Figura 21).



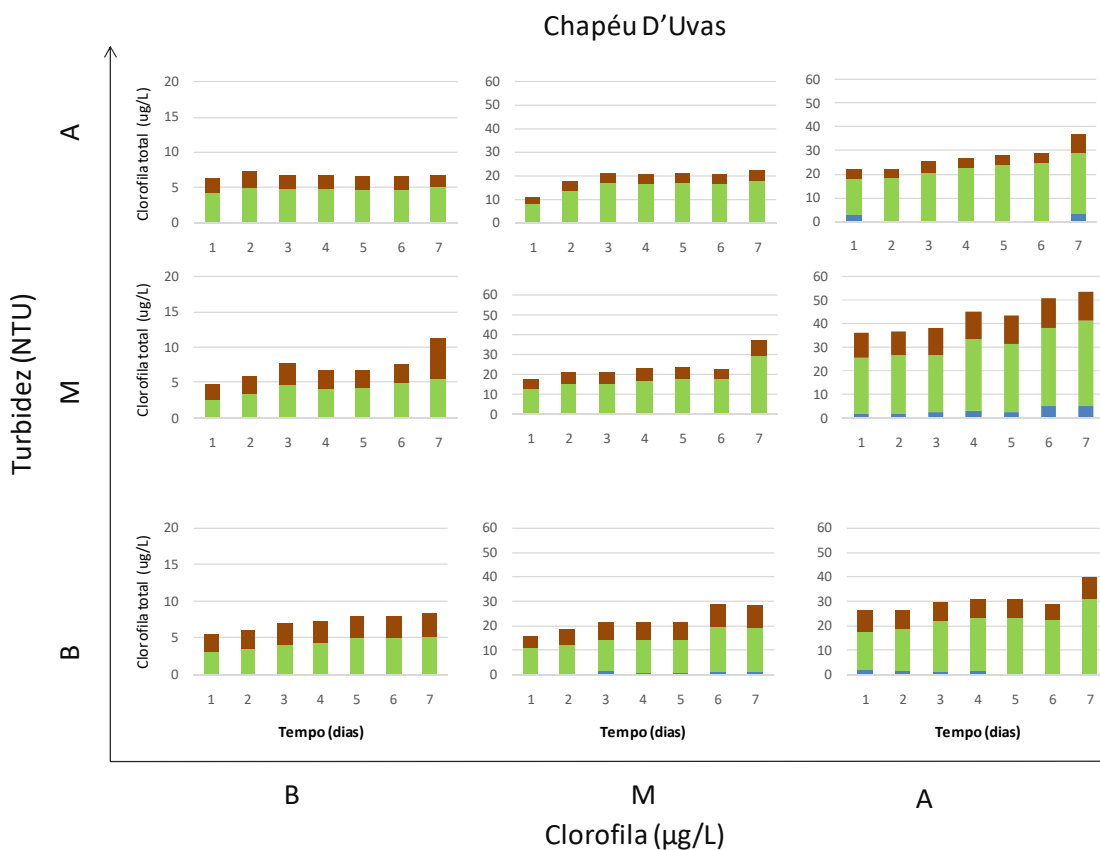


Figura 21: Variação de clorofila por grupos em função do tempo referente ao experimento efeito da turbidez sobre a produção primária com sedimento de Chapéu D'Uvas. As cores representadas no gráfico se relacionam a cor de clorofila correspondente (marrom, verde e azul), indicando a distribuição de cada grupo.

Os tratamentos realizados com sedimento do Lago Batata Impactado mostram predominância de algas verdes nos tratamentos de clorofila baixa (55 a 98% em média) e em clorofila média (63 a 83% em média). O tratamento de turbidez média com clorofila alta mostra predominância de algas marrons (69% e 30% algas verdes). Os tratamentos de clorofila alta variam em relação à composição de grupos de clorofila. Em turbidez baixa há predominância de algas verdes (48% algas verdes e 43% algas marrons), assim como em turbidez alta (73%) (Figura 22).

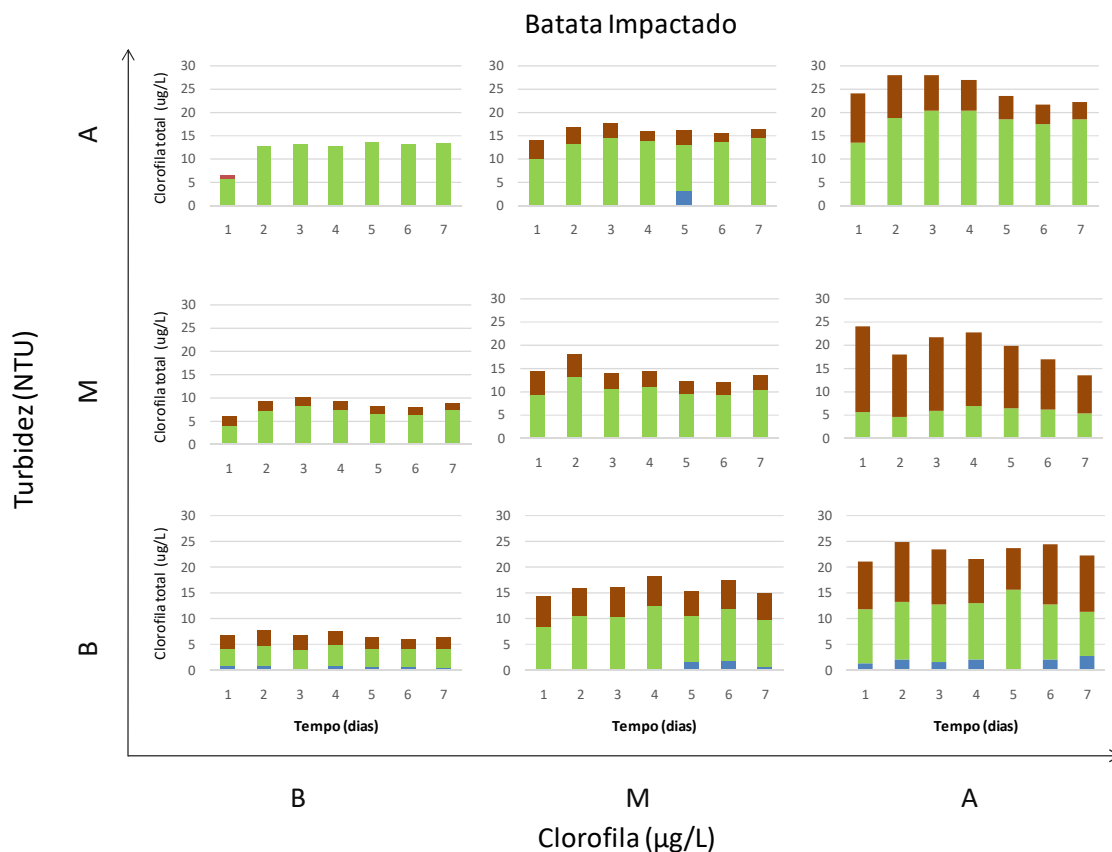


Figura 22: Variação de clorofila por grupos em função do tempo referente ao experimento efeito da turbidez sobre a produção primária com sedimento do lago Batata Impactado. As cores representadas no gráfico se relacionam a cor de clorofila correspondente (marrom, verde e azul), indicando a distribuição de cada grupo.

Os resultados de clorofila por grupos dos tratamentos realizados com sedimento do lago Batata Natural indicam proporção equilibrada entre algas verdes (51 a 53 % em média) e marrons (46 a 48% em média) na composição de clorofila dos tratamentos de clorofila baixa, enquanto os tratamentos de clorofila média mostram leve predominância de algas verdes (61 a 74% em média). Em tratamentos de clorofila alta, a prevalência de algas verdes ocorre mais expressivamente em turbidez alta (51 a 73% em média) (Figura 23).

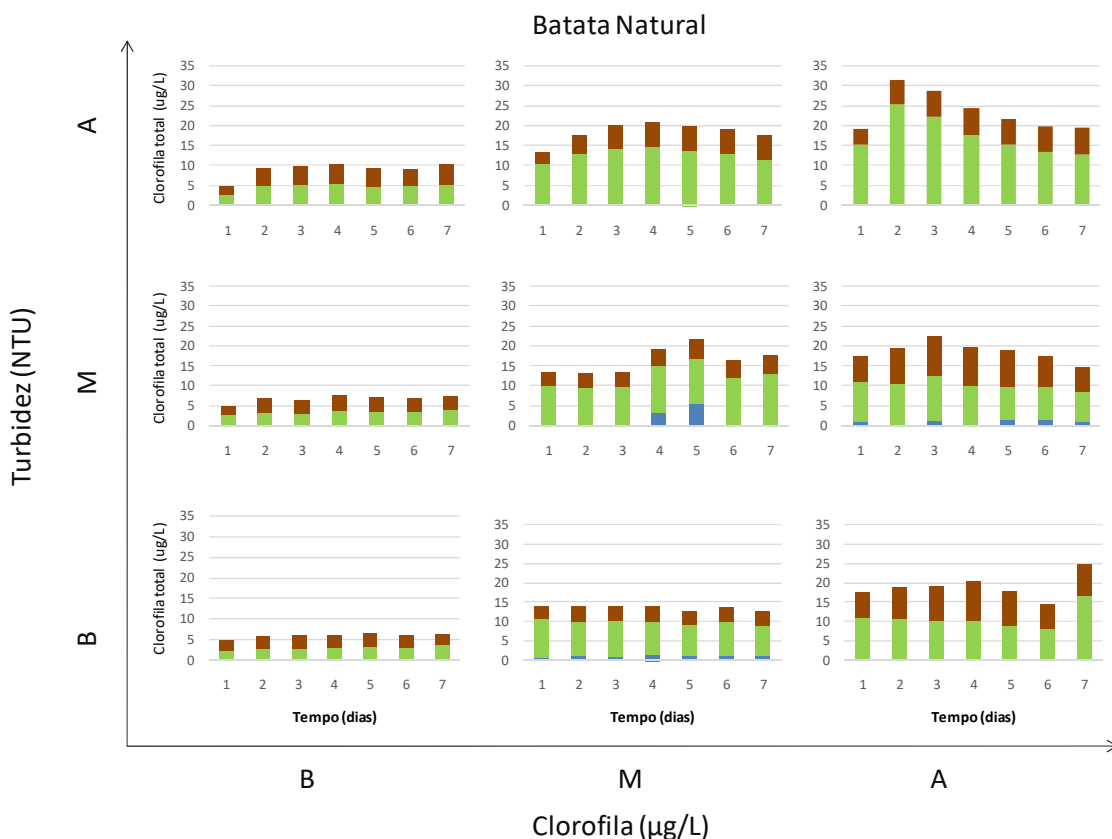


Figura 23: Variação de clorofila por grupos em função do tempo referente ao experimento efeito da turbidez sobre a produção primária com sedimento do lago Batata Natural. As cores representadas no gráfico se relacionam a cor de clorofila correspondente (marrom, verde e azul), indicando a distribuição de cada grupo.

Os resultados de Yield para o sedimento de Chapéu D'Uvas mostram que há maior rendimento fotossintético de grupos de algas verdes em tratamentos de clorofila baixa com turbidez baixa e média enquanto há predominância de rendimento de algas marrons em turbidez alta. Em relação à clorofila média, os tratamentos apresentam predominância de rendimento de algas marrons e nos tratamentos de clorofila alta há predominância de rendimento de algas marrons em turbidez alta com situações mais equilibradas em turbidez média e baixa, com picos de rendimento de algas azuis (Figura 24), que não foram expressivas em valores de clorofila por grupos (Figura 21).

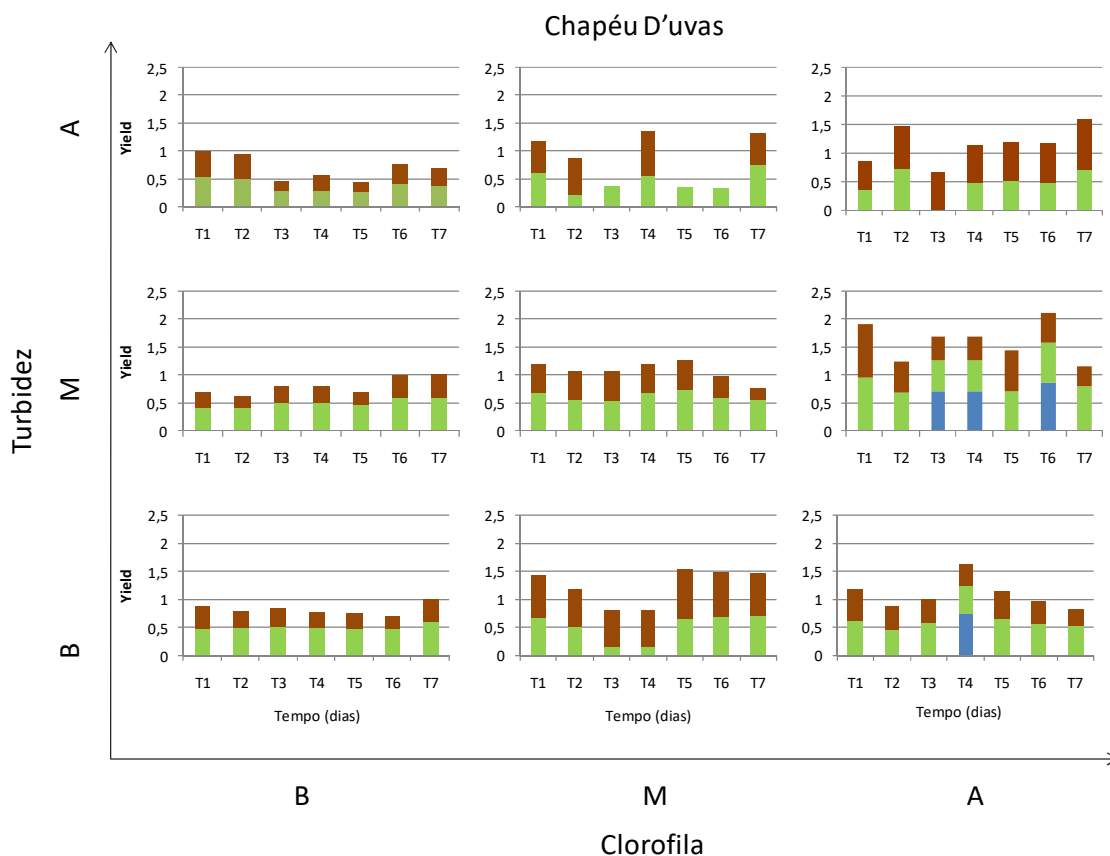


Figura 24: Rendimento (Yield) por grupos em função do tempo referente ao experimento efeito da turbidez sobre a produção primária com sedimento de Chapéu D'Uvas. As cores representadas no gráfico se relacionam a cor de clorofila correspondente (marrom, verde e azul), indicando a distribuição de cada grupo.

Os resultados de rendimento por grupos dos experimentos com sedimento da área Impactada do Lago Batata mostram que em tratamentos de clorofila baixa há no geral, predominância de rendimento de algas verdes, com alguns pontos de maior rendimento de algas marrons em turbidez média. Os tratamentos de clorofila média demonstraram maior equilíbrio entre o rendimento de algas verdes e marrons com alguns pontos de maior rendimento de algas azuis em turbidez baixa. Os tratamentos de clorofila alta apresentaram resultados com diversidade de rendimento entre grupos de algas em turbidez baixa, rendimentos equilibrados entre algas verdes e marrons em turbidez média e leve predominância de algas marrons em turbidez alta (Figura 25).

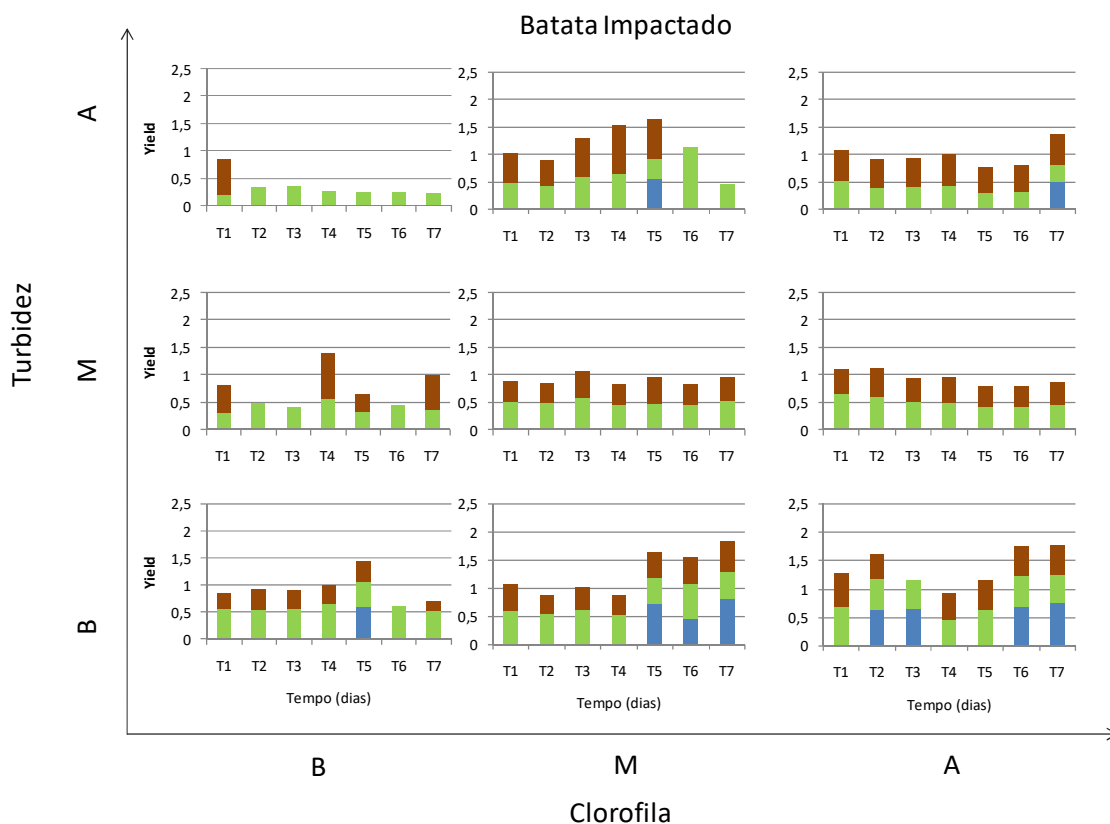


Figura 25: Rendimento (Yield) por grupos em função do tempo referente ao experimento efeito da turbidez sobre a produção primária com sedimento do lago Batata Impactado. As cores representadas no gráfico se relacionam a cor de clorofila correspondente (marrom, verde e azul), indicando a distribuição de cada grupo.

Por fim, os resultados de Yield encontrados nos tratamentos feitos com sedimento do Lago Batata Natural mostram valores equilibrados de rendimento entre algas verdes e marrons em turbidez média e baixa com leve predominância de algas verdes em turbidez alta. Os tratamentos de clorofila média mostram predomínio de rendimento de algas verdes com um pico de algas azuis em turbidez baixa que não se refletiu em clorofila azul (Figura 23). Os resultados dos tratamentos de clorofila alta indicam predominância de algas marrons em turbidez média e baixa com valores relativamente mais baixos em turbidez alta. Observam-se picos de algas azuis no tempo T6 nos três tratamentos de clorofila alta (Figura 26).

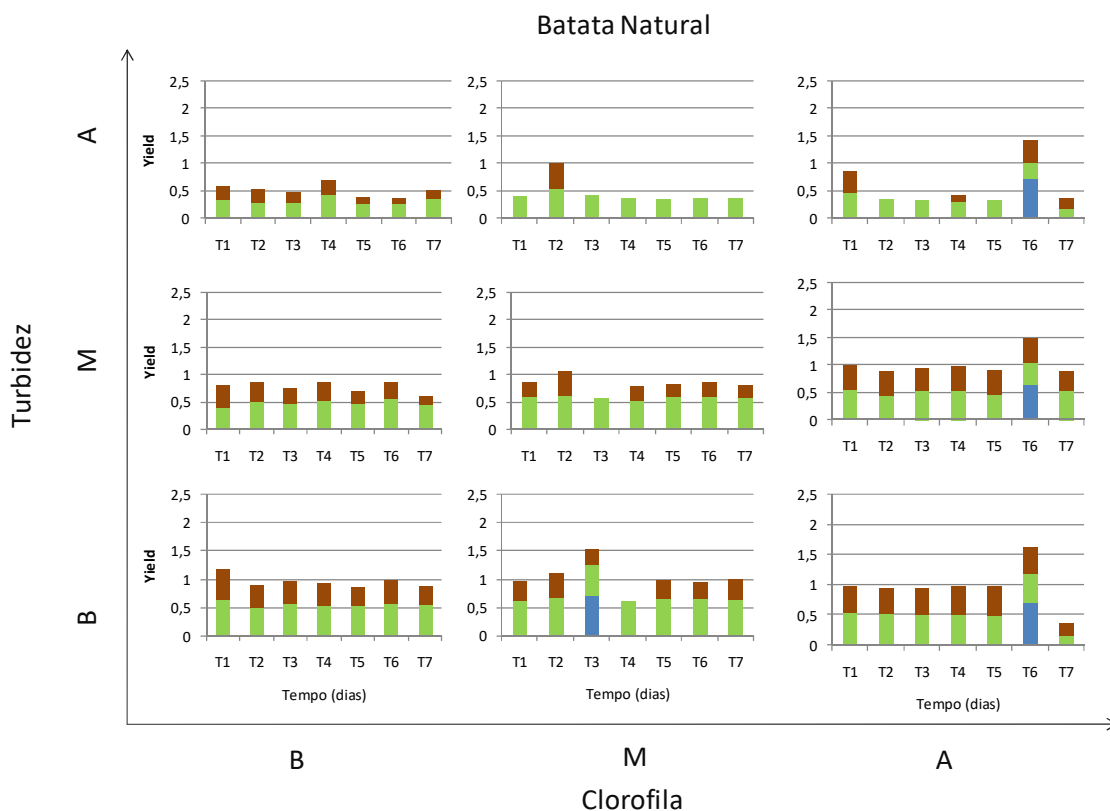


Figura 26: Rendimento (Yield) por grupos em função do tempo referente ao experimento feito da turbidez sobre a produção primária com sedimento do lago Batata Natural. As cores representadas no gráfico se relacionam a cor de clorofila correspondente (marrom, verde e azul), indicando a distribuição de cada grupo.

Em relação aos resultados de Yield percebe-se predominância de rendimento de algas verdes e marrons, com alguns pontos de expressão de algas azuis. Estes resultados não acompanham diretamente os de clorofila total ou por grupos, apresentando maior irregularidade entre os resultados, mas tal fato é explicado pela natureza diferente dos dados. Embora não haja correspondência direta, pode-se considerar o Yield indiretamente relacionado à clorofila.

Os resultados dos valores de nutrientes medidos nos tempos iniciais e finais do experimento indicam que para pH, grande parte dos tratamentos apresentaram variação significativa, aumentando o valor no tempo final. (Tabela 13).

Tabela 13: Valores de pH obtidos para cada tratamento. CDU: Chapéu D'Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TACA: Turbidez Alta, Clorofila Alta; TACM: Turbidez Alta, Clorofila Média; TACB: Turbidez Alta, Clorofila Baixa; TMCA: Turbidez Média, Clorofila Alta; TMCM: Turbidez Média, Clorofila Média; TMCB: Turbidez Média, Clorofila Baixa; TBCA: Turbidez Baixa, Clorofila Alta; TBCM: Turbidez Baixa, Clorofila Média; TBCB: Turbidez Baixa, Clorofila Baixa. Valores com (\*) apresentaram variação significativa.

Sed	Trat	pH	
		TI	TF
CDU	TACA	7,26 ± 0,26	7,36 ± 0,11
	TACM	6,88 ± 0,13	7,85 ± 0,13 *
	TACB	8,67 ± 0,34	7,87 ± 0,57 *
	TMCA	6,8 ± 0,04	7,43 ± 0,14 *
	TMCM	8,26 ± 0,19	8,06 ± 0,14
	TMCB	6,77 ± 0,02	8,41 ± 0,22 *
	TBCA	7,83 ± 0,07	8,55 ± 0,31
	TBCM	7,15 ± 0,13	7,81 ± 0,14 *
	TBCB	6,71 ± 0,08	8,54 ± 0,32 *
BI	TACA	8,17 ± 0,23	7,57 ± 0,18 *
	TACM	8,89 ± 0,37	8,8 ± 0,26 *
	TACB	8,98 ± 0,32	9,03 ± 0,67
	TMCA	7,73 ± 0,09	7,18 ± 0,12
	TMCM	8,12 ± 0,14	8,15 ± 0,13 *
	TMCB	8,25 ± 0,16	7,92 ± 0,13 *
	TBCA	7,49 ± 0,11	7,57 ± 0,18 *
	TBCM	7,78 ± 0,08	7,84 ± 0,09 *
	TBCB	7,87 ± 0,01	7,6 ± 0,12 *
BN	TACA	8,97 ± 0,33	8,86 ± 0,31
	TACM	8,46 ± 0,2	8,75 ± 0,3
	TACB	8,24 ± 0,26	8,06 ± 0,27
	TMCA	8,27 ± 0,17	8,2 ± 0,2 *
	TMCM	7,98 ± 0,16	8,13 ± 0,14
	TMCB	7,73 ± 0,11	7,55 ± 0,11 *
	TBCA	7,93 ± 0,12	8,07 ± 0,14
	TBCM	7,61 ± 0,1	8,6 ± 0,13 *
	TBCB	7,45 ± 0,08	7,26 ± 0,08 *

Para carbono orgânico dissolvido (COD), os resultados apresentam variação significativa nos tratamentos Batata Impactado e Batata Natural enquanto que os valores de Nitrogênio Total apresentaram variação significativa apenas no tratamento TMCB do sedimento Batata Natural (Tabela 14).

Tabela 14: Valores de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e Nitrogênio Dissolvido (ND) obtidos para cada tratamento. CDU: Chapéu D'Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TACA: Turbidez Alta, Clorofila Alta; TACM: Turbidez Alta, Clorofila Média; TACB: Turbidez Alta, Clorofila Baixa; TMCA: Turbidez Média, Clorofila Alta; TMCM: Turbidez Média, Clorofila Média; TMCB: Turbidez Média, Clorofila Baixa; TBCA: Turbidez Baixa, Clorofila Alta; TBCM: Turbidez Baixa, Clorofila Média; TBCB: Turbidez Baixa, Clorofila Baixa. Valores com (\*) apresentaram variação significativa.

Sed	Trat	COD (mg/L)		ND (mg/L)	
		TI	TF	TI	TF
CDU	TACA	5,5 ± 0,08	6,0 ± 0,39	0,28 ± 0,13	0,32 ± 0,09
	TACM	5,3 ± 0,81	6,5 ± 0,61	0,41 ± 0,44	0,42 ± 0,1
	TACB	3,8 ± 0,21	4,2 ± 0,05	0,24 ± 0,12	0,23 ± 0,07
	TMCA	3,3 ± 2,84	5,0 ± 0,26	0,12 ± 0,16	0,28 ± 0,08
	TMCM	4,7 ± 0,17	4,9 ± 0,26	0,23 ± 0,03	0,22 ± 0,07
	TMCB	4,9 ± 1,02	5,4 ± 0,49	0,36 ± 0,3	0,35 ± 0,01
	TBCA	4,4 ± 0,03	4,8 ± 0,47	0,21 ± 0,04	0,27 ± 0,09
	TBCM	4,4 ± 0,24	5,3 ± 0,47	0,32 ± 0,06	0,26 ± 0,05
	TBCB	5,3 ± 0,19	5,1 ± 0,19	0,19 ± 0,09	0,23 ± 0,03
BI	TACA	5,7 ± 0,16	4,9 ± 0,27	0,27 ± 0,08	0,28 ± 0,08
	TACM	4,5 ± 0,05	4,6 ± 0,14	0,24 ± 0,02	0,38 ± 0,08
	TACB	4,5 ± 0,15	5,1 ± 0,09 *	0,24 ± 0,04	0,31 ± 0,05
	TMCA	5,5 ± 0,05	5,5 ± 0,05 *	0,27 ± 0,07	0,27 ± 0,07
	TMCM	4,2 ± 0,06	4,4 ± 0,14*	0,16 ± 0,04	0,27 ± 0,06
	TMCB	4,2 ± 0,03	5,0 ± 0,11 *	0,14 ± 0,03	0,23 ± 0,02
	TBCA	4,3 ± 0,04	4,5 ± 0,01 *	0,21 ± 0,02	0,35 ± 0,06
	TBCM	4,5 ± 0,01	4,4 ± 0,07	0,19 ± 0,02	0,26 ± 0,02
	TBCB	4,2 ± 0,07	4,7 ± 0,19*	0,2 ± 0,03	0,24 ± 0,06
BN	TACA	7,5 ± 0,57	8,8 ± 1,27	0,87 ± 0,07	1,14 ± 0,23
	TACM	6,4 ± 0,15	6,9 ± 0,15	0,76 ± 0,04	0,7 ± 0,01
	TACB	8,3 ± 5,81	6,5 ± 0,19	0,75 ± 0,21	0,66 ± 0,14
	TMCA	5,7 ± 0,29	5,9 ± 0,01	0,39 ± 0,12	0,59 ± 0,01
	TMCM	5,3 ± 0,19	6,1 ± 0,52	0,36 ± 0,13	0,4 ± 0,03
	TMCB	4,6 ± 0,15	5,5 ± 0,13 *	0,24 ± 0,05	0,39 ± 0,01 *
	TBCA	5,4 ± 0,07	5,4 ± 0,28	0,35 ± 0,08	0,48 ± 0,02
	TBCM	4,7 ± 0,20	5,4 ± 0,18 *	0,19 ± 0,03	0,31 ± 0,08
	TBCB	4,0 ± 0,12	4,8 ± 0,14 *	0,18 ± 0,06	0,25 ± 0,02

Para o nutriente Fósforo Total, o sedimento Chapéu D'Uvas apresentou variações significativas na maioria dos tratamentos e os tratamentos dos sedimentos Batata Impactado e Batata Natural apresentaram variação significativa apenas nos tratamentos TACA, TACM, TBCA e TACB e TBCB respectivamente. Para Fósforo Dissolvido, poucos tratamentos variaram significativamente. Em Chapéu D'Uvas, apenas TBCA apresentou variação, em Batata Impactado apenas TACM e em Batata Natural houve mais tratamentos variando significativamente (Tabela 15).



Tabela 15: Valores de fósforo Total (P total) e Fósforo Dissolvido (PD) obtidos para cada tratamento. CDU: Chapéu D'Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TACA: Turbidez Alta, Clorofila Alta; TACM: Turbidez Alta, Clorofila Média; TACB: Turbidez Alta, Clorofila Baixa; TMCA: Turbidez Média, Clorofila Alta; TMCM: Turbidez Média, Clorofila Média; TMCB: Turbidez Média, Clorofila Baixa; TBCA: Turbidez Baixa, Clorofila Alta; TBCM: Turbidez Baixa, Clorofila Média; TBCB: Turbidez Baixa, Clorofila Baixa. Valores com (\*) apresentaram variação significativa

Sed	Trat	P Total ( $\mu\text{g/L}$ )		PD ( $\mu\text{g/L}$ )	
		TI	TF	TI	TF
CDU	TACA	187,08 $\pm$ 44,61	333,68 $\pm$ 26,24 *	14,16 $\pm$ 3,19	20,12 $\pm$ 5,39
	TACM	177,36 $\pm$ 40,45	908,1 $\pm$ 223,71 *	12,41 $\pm$ 0,4	48,99 $\pm$ 21,73
	TACB	124,72 $\pm$ 74,8	138,09 $\pm$ 21,72	11,05 $\pm$ 5,76	26,94 $\pm$ 24,76
	TMCA	97,13 $\pm$ 84,21	159,17 $\pm$ 47,09	18,9 $\pm$ 18,26	21,28 $\pm$ 3,04
	TMCM	67,08 $\pm$ 9,77	132,97 $\pm$ 19,53 *	10,61 $\pm$ 1,72	12,25 $\pm$ 3,17
	TMCB	101,61 $\pm$ 27,52	95,48 $\pm$ 20,42	6,67 $\pm$ 1,08	10,29 $\pm$ 2,25
	TBCA	69,75 $\pm$ 4,52	96,83 $\pm$ 1,57 *	18,92 $\pm$ 4,11	10,37 $\pm$ 0,85 *
	TBCM	88,26 $\pm$ 7,59	88,19 $\pm$ 8,6	20,59 $\pm$ 2,25	35,1 $\pm$ 9,6
BI	TBCB	39,67 $\pm$ 4,76	507,78 $\pm$ 60,75 *	9,5 $\pm$ 1,18	23,03 $\pm$ 10,03
	TACA	35,47 $\pm$ 3,24	35,47 $\pm$ 3,24 *	6,07 $\pm$ 0,31	6,39 $\pm$ 0,63
	TACM	134,87 $\pm$ 8,77	30,28 $\pm$ 2,14 *	13,17 $\pm$ 1,71	7,05 $\pm$ 1,35 *
	TACB	94,04 $\pm$ 14,85	117,66 $\pm$ 39,17	10,83 $\pm$ 2,83	14,14 $\pm$ 1,92
	TMCA	28,74 $\pm$ 0,19	28,74 $\pm$ 0,19	6,2 $\pm$ 0,26	6,2 $\pm$ 0,26
	TMCM	71,97 $\pm$ 11,57	84,8 $\pm$ 6,39	8,05 $\pm$ 0,81	10,4 $\pm$ 1,78
	TMCB	57,67 $\pm$ 5,78	36,55 $\pm$ 19,45	8,35 $\pm$ 0,49	10,49 $\pm$ 1,83
	TBCA	112,89 $\pm$ 6,89	35,61 $\pm$ 5,69 *	10,01 $\pm$ 1,88	6,83 $\pm$ 0,34
BN	TBCM	58,25 $\pm$ 5,84	64,02 $\pm$ 4,6	8,21 $\pm$ 1,88	10,92 $\pm$ 2,73
	TBCB	43,78 $\pm$ 3,17	44,09 $\pm$ 2,94	6,52 $\pm$ 0,6	8,58 $\pm$ 0,91
	TACA	177,51 $\pm$ 12,5	190,17 $\pm$ 30,57	15,74 $\pm$ 5,55	13,18 $\pm$ 0,92
	TACM	179,22 $\pm$ 12,56	137,45 $\pm$ 32,1	7,22 $\pm$ 0,24	10,08 $\pm$ 1,53
	TACB	74,41 $\pm$ 13,41	130,4 $\pm$ 23,49 *	6,61 $\pm$ 0,44	8,53 $\pm$ 0,11 *
	TMCA	85,33 $\pm$ 6	80,7 $\pm$ 3,22	10,29 $\pm$ 1,89	16,63 $\pm$ 0,65 *
	TMCM	46,1 $\pm$ 1,58	43,45 $\pm$ 6,86	6,96 $\pm$ 0,84	7,81 $\pm$ 0,39
	TMCB	54,79 $\pm$ 4,28	45,58 $\pm$ 14,33	5,06 $\pm$ 0,72	6,92 $\pm$ 0,26 *
	TBCA	66,74 $\pm$ 3,85	72,14 $\pm$ 4,96	9,96 $\pm$ 0,9	21,1 $\pm$ 2,67 *
	TBCM	31,85 $\pm$ 4,5	30,24 $\pm$ 2,03	6,46 $\pm$ 0,33	8,49 $\pm$ 0,15 *
	TBCB	24,92 $\pm$ 1,25	19,79 $\pm$ 0,94 *	3,74 $\pm$ 0,42	7,81 $\pm$ 0,73

Os resultados das razões C:N indicam alta proporção de Carbono em todos os sedimentos, já que pela razão de Redfield, uma proporção normal seria cerca de 6,6 mols de carbono para cada mol de Nitrogênio e foram encontrados valores que excedem esta razão. Já a razão N:P indica baixa proporção de Nitrogênio em relação ao Fósforo das amostras comparando-se à proporção de 16 mols de Nitrogênio para cada 1 de Fósforo e a razão C:P mostra que as proporções de Carbono em relação ao Fósforo varia de acordo com os tratamentos, ficando abaixo da proporção de 106 mols de Carbono para 1 de Fósforo principalmente nos tratamentos de Chapéu D'Uvas (Tabela 16).

Tabela 16: Razões C:N, N:P e C:P de cada tratamento. CDU: Chapéu D'Uvas; BI: Batata Impactado; BN: Batata Natural. TACA: Turbidez Alta, Clorofila Alta; TACM: Turbidez Alta, Clorofila Média; TACB: Turbidez Alta, Clorofila Baixa; TMCA: Turbidez Média, Clorofila Alta; TMCM: Turbidez Média, Clorofila Média; TMCB: Turbidez Média, Clorofila Baixa; TBCA: Turbidez Baixa, Clorofila Alta; TBCM: Turbidez Baixa, Clorofila Média; TBCB: Turbidez Baixa, Clorofila Baixa. C: Carbono Orgânico Dissolvido, N: Nitrogênio Total e P: Fósforo total.

Sed	Trat	Razão C:N (mol/L)		Razão N:P (mol/L)		Razão C:P (mol/L)	
		TI	TF	TI	TF	TI	TF
CDU	TACA	56,4 ± 33,9	45,7 ± 9,3	2,1 ± 1,0	1,7 ± 0,5	100,9 ± 21,6	78,1 ± 20,7
	TACM	68,2 ± 64,1	36,9 ± 1,6	3,6 ± 3,9	1,1 ± 0,2	105,8 ± 14,5	42,3 ± 7,4
	TACB	41,9 ± 17,2	45,2 ± 15,5	3,6 ± 2,1	1,6 ± 1,3	125,9 ± 1,6	63,2 ± 41,2
	TMCA	141,4 ± 147,8	44,3 ± 12,1	0,9 ± 1,0	1,4 ± 0,2	46,9 ± 17,9	59,8 ± 10,9
	TMCM	48,5 ± 5,5	55,0 ± 15,8	2,3 ± 0,5	2,1 ± 1,2	112,1 ± 15,9	106,6 ± 35,0
	TMCB	44,2 ± 21,2	37,2 ± 8,1	5,3 ± 3,6	3,9 ± 1,6	184,2 ± 8,0	136,4 ± 37,5
	TBCA	51,1 ± 9,1	43,6 ± 9,0	1,2 ± 0,2	2,8 ± 1,0	60,1 ± 13,3	117,2 ± 19,3
	TBCM	32,5 ± 4,1	48,4 ± 5,9	1,7 ± 0,5	0,9 ± 0,4	53,7 ± 9,1	39,7 ± 12,8
	TBCB	75,0 ± 36,9	50,9 ± 4,7	2,3 ± 1,2	1,3 ± 0,6	141,7 ± 21,2	62,5 ± 26,7
BI	TACA	50,4 ± 14,8	43,1 ± 11,2	5,0 ± 1,6	4,8 ± 1,6	253,0 ± 12,5	193,4 ± 21,6
	TACM	44,3 ± 3,5	28,9 ± 5,1	2,0 ± 0,4	5,9 ± 1,2	86,5 ± 11,1	168,4 ± 27,9
	TACB	45,3 ± 7,9	38,7 ± 5,4	2,4 ± 0,6	2,4 ± 0,4	108,4 ± 22,8	91,2 ± 12,7
	TMCA	50,6 ± 16,4	59,1 ± 19,5	4,7 ± 1,4	3,2 ± 1,2	222,6 ± 7,9	174,6 ± 4,3
	TMCM	61,5 ± 12,0	39,8 ± 8,8	2,2 ± 0,3	2,8 ± 0,9	131,0 ± 11,5	107,7 ± 13,8
	TMCB	72,9 ± 18,9	51,9 ± 3,7	1,8 ± 0,5	2,4 ± 0,6	125,0 ± 6,7	121,4 ± 21,4
	TBCA	48,6 ± 4,8	30,9 ± 5,9	2,3 ± 0,5	5,5 ± 1,2	108,8 ± 17,9	166,7 ± 8,1
	TBCM	55,5 ± 5,3	39,4 ± 2,6	2,6 ± 0,6	2,7 ± 0,8	141,1 ± 29,9	105,5 ± 24,7
	TBCB	48,9 ± 6,4	47,5 ± 11,3	3,3 ± 0,3	3,0 ± 0,8	161,7 ± 12,4	138,8 ± 8,7
BN	TACA	20,2 ± 1,0	22,9 ± 0,4	6,1 ± 3,4	9,2 ± 1,3	121,1 ± 40,8	167,6 ± 18,7
	TACM	19,9 ± 0,6	23,8 ± 5,1	11,2 ± 0,8	7,6 ± 1,3	223,4 ± 9,6	173,0 ± 28,7
	TACB	28,5 ± 22,4	23,37 ± 0,2	12,3 ± 4,3	8,2 ± 1,7	307,2 ± 200,9	190,5 ± 7,2
	TMCA	34,4 ± 21,7	36,0 ± 4,8	4,4 ± 0,3	3,8 ± 0,2	142,7 ± 32,0	89,3 ± 3,6
	TMCM	37,1 ± 11,5	32,5 ± 1,3	5,7 ± 2,4	5,5 ± 0,2	192,4 ± 21,2	196,9 ± 23,6
	TMCB	45,7 ± 8,0	26,3 ± 2,3	5,1 ± 0,9	6,1 ± 0,3	227,8 ± 27,1	198,4 ± 6,9
	TBCA	56,7 ± 6,4	41,7 ± 8,8	3,7 ± 0,8	2,5 ± 0,3	137,2 ± 14,5	64,3 ± 6,8
	TBCM	56,1 ± 19,5	46,1 ± 6,0	3,2 ± 0,5	4,0 ± 1,1	181,0 ± 13,2	158,8 ± 8,1
	TBCB	18,36 ± 1,7	4,8 ± 0,14	4,5 ± 2,4	3,4 ± 0,6	263,9 ± 35,5	155,2 ± 11,6

Os resultados brutos de todas as variáveis analisadas neste estudo que porventura não tenham sido apresentadas estarão no Apêndice A.

### 3.3. EXPERIMENTO 2: EFEITO DA ADIÇÃO PROGRESSIVA DE SEDIMENTO A CONCENTRAÇÕES INICIAIS FIXAS DE CLOROFILA

Neste experimento, os resultados confirmam que há uma relação linear entre os valores de turbidez inicial (antes da adição de sedimento) e final (logo após a adição de sedimento) nas amostras. Ou seja, a adição de sedimento afeta a leitura de turbidez de forma linear (Figura 27).

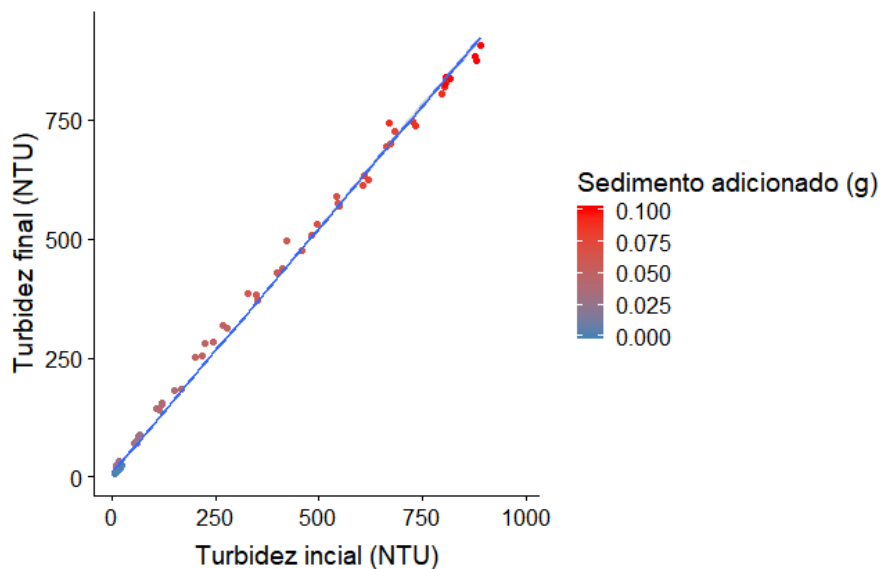


Figura 27: Relação entre turbidez inicial (antes da adição de sedimento) e final (após a adição).

Relacionando-se a turbidez final dos tratamentos por dia à quantidade de sedimentos adicionada, temos que, quanto maior a concentração de sedimento na amostra ao longo do tempo, maior a leitura de turbidez (Figura 28), como havia sido comprovado anteriormente. Ao comparar os tratamentos aos controles, pode-se perceber uma clara distinção entre as amostras que receberam o sedimento e as que não receberam visto que os controles não apresentaram variação significativa de turbidez. Ainda, não houve diferença significativa entre as curvas dos tratamentos de clorofila alta (A) e baixa (B). A tendência é linear para ambas as condições com inclinação da reta iguais.

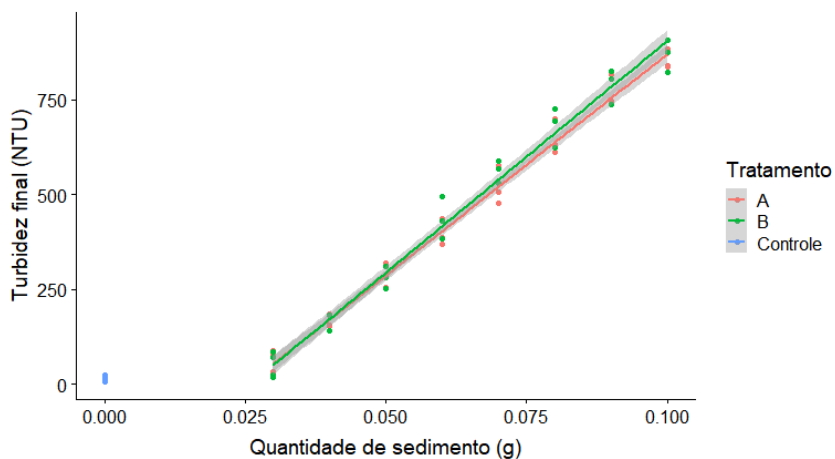


Figura 28: Turbidez final de cada tratamento e controles por dia analisado em função da quantidade de sedimento adicionado.

O efeito da adição de sedimento ao longo do tempo influenciou significativamente a leitura das concentrações de clorofila, uma vez que os tratamentos A e B foram significativamente diferentes dos seus respectivos controles CA e CB. Os níveis de clorofila total subiram em ambos os tratamentos (A e B) ao longo do tempo, enquanto nos controles diminuíram (CA) ou se estabilizaram (CB) (Figura 29).

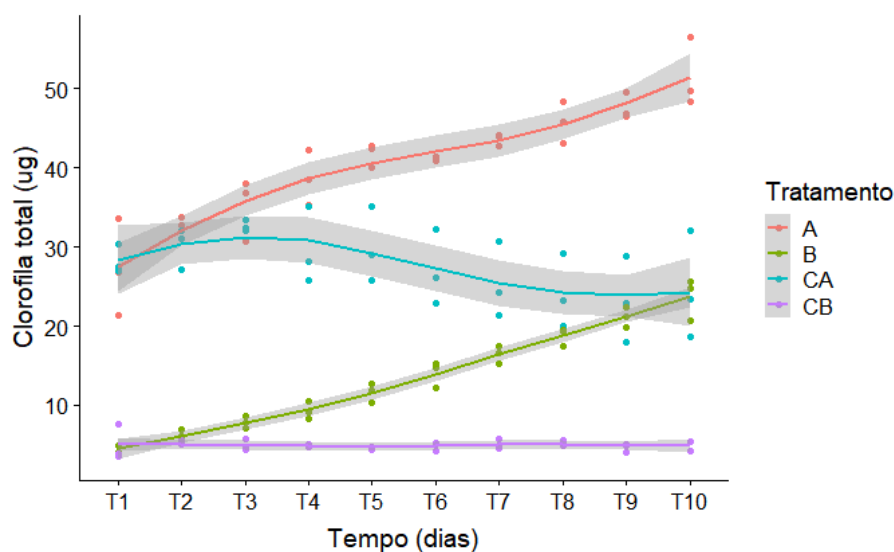


Figura 29: Variação da clorofila total ao longo dos dias. A: Tratamento com clorofila Alta; B: Tratamento com clorofila Baixa; CA: Controle de clorofila Alta; CB: Controle de clorofila Baixa.

Ao relacionar os valores de clorofila total por grama de sedimento adicionado, percebe-se que a concentração de clorofila diminuiu drasticamente no tratamento A (Clorofila Alta). O tratamento B e os controles, por sua vez, aparentemente se mantiveram estáveis ou com crescimento reduzido (Figura 30).

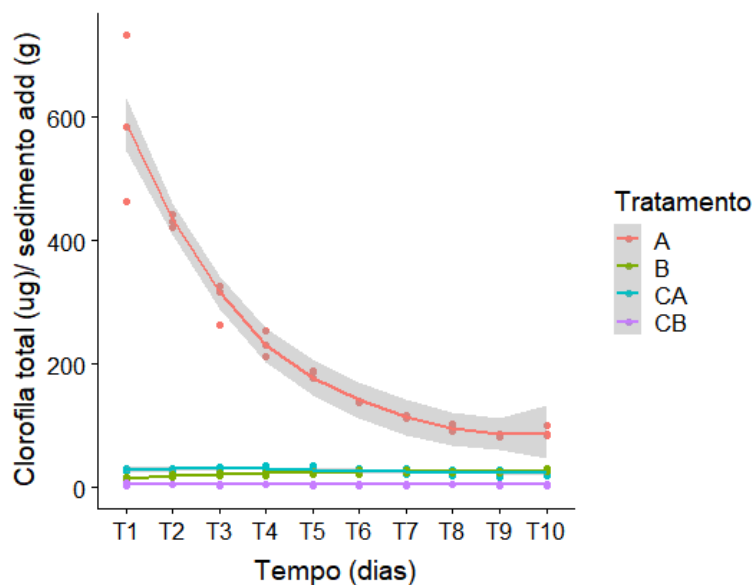


Figura 30: Clorofila total por grama de sedimento adicionado ao longo do tempo. A: Tratamento de clorofila Alta; B: Tratamento de clorofila Baixa; CA: Controle de clorofila Alta; CB: Controle de clorofila Baixa

A quantidade de clorofila acrescentada ao longo de cada tempo, ou seja, a diferença entre a quantidade de clorofila do tempo atual para o anterior, ou o incremento do valor ao longo do tempo, foi diminuindo ao longo do experimento, sendo a diminuição mais expressiva no tratamento A (clorofila alta) (Figura 31).

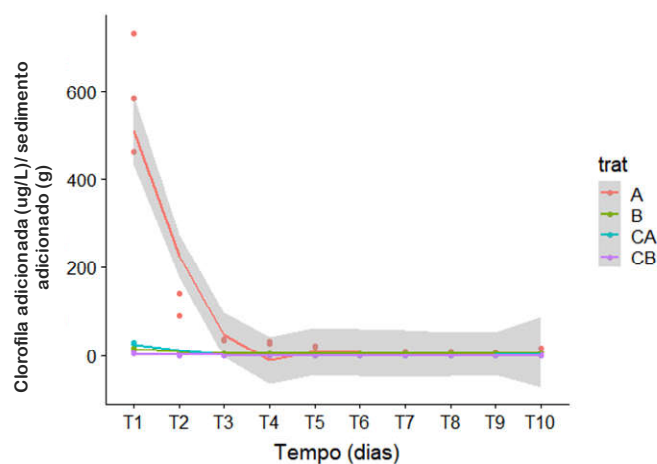


Figura 31: Incremento de clorofila ao longo do tempo. Os valores foram padronizados pela quantidade de sedimento adicionado (g). Os valores dos controles foram divididos por 1. A: = clorofila Alta; B = clorofila Baixa; CA = Controle de clorofila Alta; CB = Controle de clorofila Baixa.

Ao se analisar o tratamento B (Clorofila Baixa) isoladamente com maior resolução (em uma escala diferente), pode-se visualizar (Figura 32 A) um pequeno aumento de clorofila total ao longo do tempo. Quando observamos a quantidade de clorofila acrescentada (Figura 32 B) há uma diminuição no início, mas após o T4 há uma recuperação. No entanto, esse padrão encontrado não foi diferente dos controles (Figura 31).

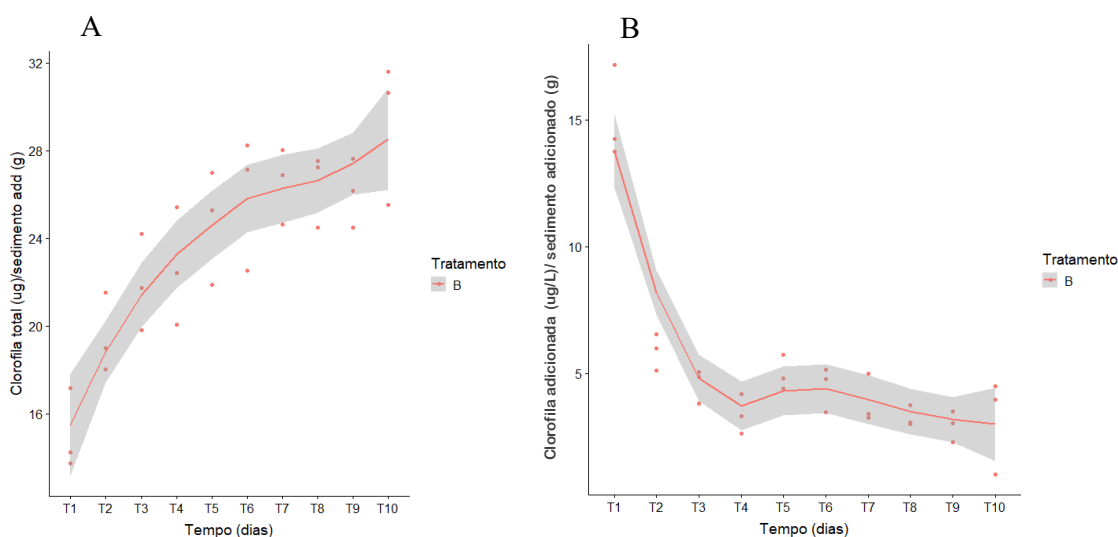


Figura 32: Variação de clorofila ao longo do tempo (esquerda-A) e incremento de clorofila ao longo do tempo (direita-B). Valores normalizados. B: Tratamento de clorofila Baixa.

Nos controles, a concentração de clorofila também aumenta em CA (controle clorofila alta) até T5 e depois diminui, aumentando novamente em T10. Em CB (controle clorofila B) os valores se mantêm estáveis (Figura 33).

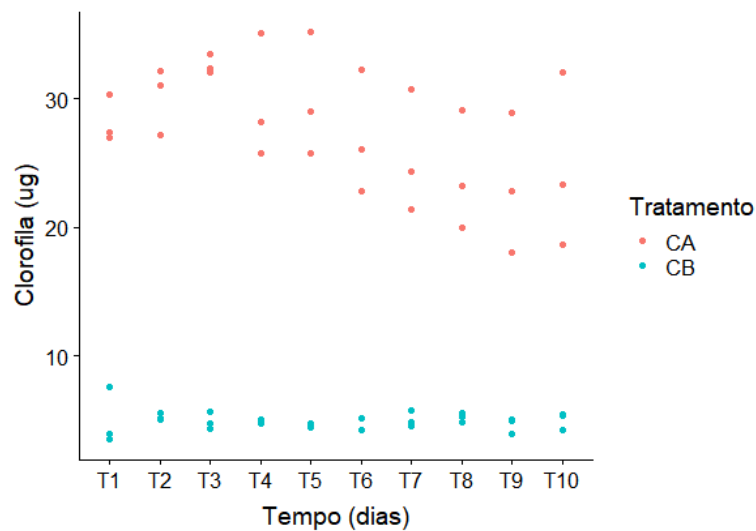


Figura 33: Variação de clorofila dos controles ao longo do tempo.

Observando a variação de turbidez dos controles, onde não foi adicionado sedimento, percebe-se que também há um pequeno aumento da turbidez ao longo do tempo. Neste caso, a turbidez lida é proveniente da biomassa fitoplanctônica. Esse aumento foi mais pronunciado a partir do T5 nos controles de Clorofila Alta (CA) e mais disperso nos de Clorofila Baixa (CB) (Figura 34).

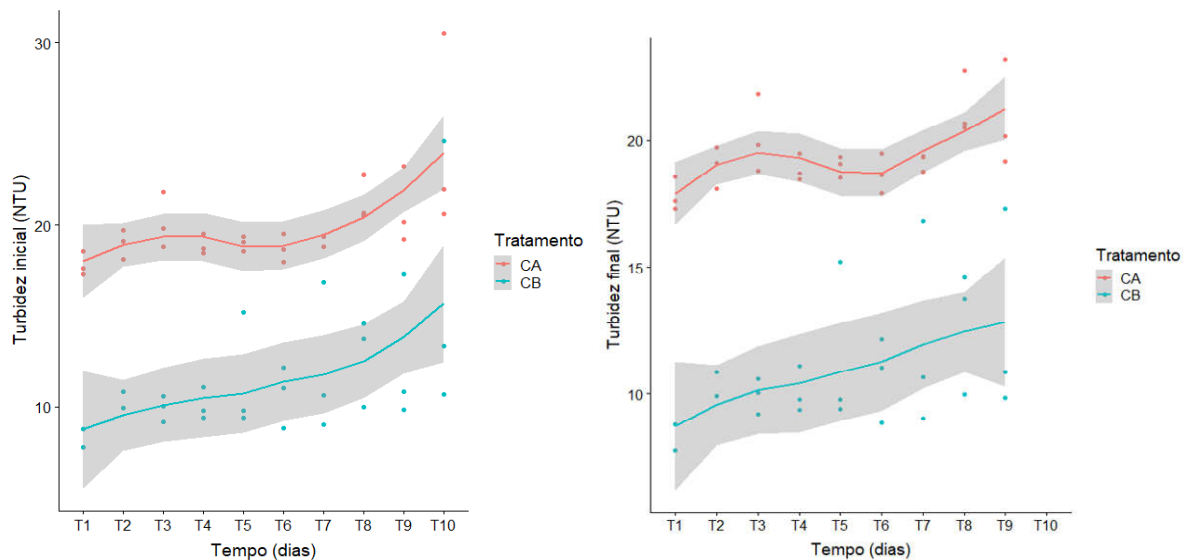


Figura 34: Variação de valores de turbidez (com área de erro em destaque) dos controles ao longo do tempo. CA: Clorofila alta; CB: Clorofila Baixa.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA, MOBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DOS SEDIMENTOS E MUDANÇA DE TURBIDEZ E pH DA ÁGUA

Considerando os resultados dos experimentos de caracterização dos sedimentos, é possível diferenciar os tipos de sedimento em relação à quantidade de nutrientes liberada e ao comportamento da luz na presença das partículas diluídas. A origem de cada sedimento, considerando as condições tróficas de cada local também influencia na quantidade e qualidade dos nutrientes fornecidos ao sistema. Os resultados de nutrientes liberados por cada sedimento permitem compreender que a quantidade de nutrientes liberada pode estar relacionada aos maiores valores de clorofila e maior tendência a aumento de clorofila encontrados para o sedimento de Chapéu D'Uvas em maiores níveis de turbidez, conforme Figura 15 e Figura 16.

Comparando os valores de absorvância, pode-se caracterizar a matéria orgânica proveniente desses sedimentos de acordo com sua origem. O sedimento Batata Impactado apresenta menor quantidade de moléculas refratárias, que provavelmente se relacionam a matéria orgânica alóctone (Abs 250 nm). Em Chapéu D'Uvas houve dominância de moléculas lábeis (Abs 365 nm), de metabolismo mais rápido, que se relacionam a matéria orgânica autóctone do sistema (PARLANTI et al., 2000). Em relação a compostos húmicos (Abs 430 nm) não houve diferença entre os tratamentos com três tipos de sedimento. A razão Abs 250/365 nm foi maior no sedimento Batata Natural, o que indica uma maior proporção de moléculas maiores, mais lábeis e a razão 430/ COD é menor neste mesmo sedimento, indicando que a proporção de substâncias húmicas dentro o conteúdo de matéria orgânica deste sedimento foi menor.

Os valores de COD diferenciam Chapéu D'Uvas dos demais sedimentos por ter maior quantidade, e conforme esperado, Batata Impactado apresenta menores valores. Porém, estes valores não se relacionam diretamente com a quantidade de matéria orgânica, já que Chapéu D'Uvas apresenta menor quantidade de matéria orgânica que os dois sedimentos do Lago Batata apresentam menor quantidade de matéria orgânica que Batata Natural.

Em relação ao Fósforo Total, todos os sedimentos liberaram este nutriente para a coluna d'água, mas não houve variação de ortofosfato, que é a forma mais utilizada pelo



metabolismo fitoplanctônico, permitindo relacionar a origem dos valores obtidos no experimento de efeito da turbidez sobre a produção primária ao próprio metabolismo de cada tratamento. Os resultados de Fósforo Dissolvido tenderam a reduzir conforme o tempo, com maiores valores no sedimento de Chapéu D'Uvas, corroborando o estudo de Oliveira (2018).

Os valores de Amônia aumentaram nos sedimentos de Chapéu D'Uvas e Batata Impactado com grande amplitude entre valores iniciais e finais enquanto que nos tratamentos do sedimento Batata Natural houve tendência a redução com menor amplitude de valores iniciais e finais. Esta variação pode ter sido causada pela atividade bacteriana nesses sistemas, ocorrida conforme a liberação de nutrientes do sedimento para a água.

A turbidez apresentou ampla variação positiva entre os tempos iniciais e finais para todos os tratamentos, mas tal padrão ocorreu para todos os tratamentos. Isso pode ser explicado pela solubilização das partículas em suspensão e se relaciona à proporção de sedimento/turbidez que demonstra uma relação positiva entre os fatores. Em relação aos valores de pH, pode-se considerar que Batata Impactado e Batata Natural apresentam pH semelhante, mais ácido, porém Batata Natural não alterou o pH dos tratamentos ao longo do tempo.

## 4.2. EXPERIMENTO 1: EFEITO DA TURBIDEZ SOBRE A PRODUÇÃO PRIMÁRIA

Nesta seção serão discutidos os efeitos do gradiente de turbidez sobre a produção primária em níveis de clorofila em abordagens de efeitos individuais e de efeitos sinérgicos sobre os fatores.

### 4.2.1. Efeitos da turbidez

De modo geral, o efeito da turbidez sobre a clorofila é maior conforme aumenta a concentração de sedimento. Este efeito se relaciona tanto ao fornecimento de nutrientes ao sistema, sobretudo em tratamentos de turbidez alta, que pode favorecer o crescimento fitoplanctônico quanto ao efeito de sombreamento que a presença do sedimento causa, reduzindo a entrada de luz. O efeito individual da turbidez pode ser avaliado pela variação no tempo dos tratamentos e os tratamentos que apresentaram variação ao longo dos dias são

principalmente os de clorofilas altas, demonstrando que o efeito do tempo ocorre independente do tipo de sedimento.

Tratamentos com sedimentos Batata Natural e Batata Impactado apresentaram menores valores de clorofila. Este fato pode estar relacionado às características físicas das partículas que compõem cada sedimento. As partículas de argila presentes nos sedimentos de Chapéu D'Uvas e Batata Impactado têm carga negativa e alta capacidade de adsorção de cátions (PAUL, 1988), incluindo íons fosfato, apresentando afinidade então a células de algas, bactérias e moléculas de carbono orgânico particulado, que apresentam carga positiva (GUENTHER & BOZELLI, 2004a).

Os valores de clorofila encontrados no sedimento Batata Impactado não se relacionaram tão fortemente à sedimentação porque o rejeito não facilita este processo, mas favorece a dispersão de luz e promove a redução de PAR em cerca de 35% (ROLAND & ESTEVES, 1998). Ainda, o rejeito pode aumentar o substrato para aderência bacteriana (ANESIO et al., 1997; GUENTHER & BOZELLI, 2004a), o que torna mais provável que os efeitos do rejeito se resumam ao efeito de sombreamento e não da aderência de células.

De maneira geral, os tratamentos com sedimentos Batata Natural e Batata Impactado apresentaram menor amplitude de variação de clorofila e menor crescimento, indicando maior dificuldade de estabelecimento do fitoplâncton. Este fato é salientado comparando-se os tratamentos de clorofila alta, onde há redução em turbidez alta e crescimento em turbidez baixa. O tratamento com sedimento de Chapéu D'Uvas apresentou efeito positivo, sobretudo em menores valores de turbidez. Nos tratamentos de clorofila alta, o efeito do sedimento foi menor em turbidez média, em que o tratamento apresentou maior crescimento de clorofila. Neste tratamento ocorreram maiores valores de clorofila e uma proporção um pouco maior de algas marrons comparado aos outros tratamentos.

Estes resultados se assemelham ao que ocorreu no Lago Batata, onde foram feitos estudos que comprovaram a redução da produção primária na região impactada (ROLAND, 1995; ROLAND et al., 2002; GUENTHER & BOZELLI, 2004b) que por sua vez afetou a transferência de energia pela cadeia trófica, atingindo indiretamente o zooplâncton (BOZELLI & ESTEVES, 1995). O rejeito causou alteração na estação impactada de variáveis limnológicas como transparência, alcalinidade, condutividade, nutrientes totais e clorofila, resultando em menor qualidade nutricional (PANOSSO, 1993). Os resultados encontrados comprovam que a turbidez inorgânica pode ser um importante fator de controle ascendente (do inglês, *bottom-up*) considerando a privação de luz que causa ao sistema, reduzindo a produção primária e conseqüentemente diminuindo a ligação entre fitoplâncton e zooplâncton,

mais especificamente o grupo dos cladóceros, que são filtradores e principais herbívoros de comunidades aquáticas de água doce, reduzindo a taxa de alimentação deste grupo (KIRK & GILBERT, 1990; HART, 1998).

No Lago Batata, as partículas que formam o sedimento Batata Natural são maiores e levam menos tempo para decantar do que as partículas finas e facilmente sujeitas a ressuspensão que formam o rejeito de bauxita (ROLAND & ESTEVES, 1998). Nas condições experimentais, esta turbidez inorgânica foi mantida em suspensão, reproduzindo o que ocorreria com o fitoplâncton se houvesse um evento natural como ressuspensão ou impacto antrópico que aumentasse a turbidez inorgânica causada por este sedimento, por isso, os resultados experimentais corroboram que a adição de sedimento inorgânico reduz a produção primária se este não for rico em nutrientes.

O sedimento Batata Natural pode ter causado um efeito de sombreamento maior que os outros sedimentos visto que apresenta menores valores e amplitudes de clorofila, menor tendência a crescimento e maior homogeneidade na distribuição de algas marrons, que se desenvolvem melhor que algas verdes em privação de luz (REYNOLDS, 2006).

Considerando que as espécies de algas têm um ponto ótimo de luz, ou ponto de saturação, onde o rendimento da fotossíntese é maior, é possível que o sedimento Batata Natural tenha causado um tipo de sombreamento que selecionou espécies de algas com uma necessidade menor de irradiância (PAR) para realizar a fotossíntese, que conseguiram vencer a competição e se estabelecer nos tratamentos, principalmente de clorofila baixa, onde há menor quantidade de organismos em competição. Um fator que também deve ser discutido é que o espectro luminoso que penetra os ambientes aquáticos é modificado pela absorção e espalhamento da luz, qualidade da matéria orgânica dissolvida e outras partículas em suspensão (FALKOWSKI & RAVEN, 2007; LEECH & JOHNSEN, 2009). Dessa forma, pode ser esperado que diferentes tipos de partículas em suspensão alterem a intensidade e composição do espectro de luz que alcança os microorganismos (KIRK, 2011) e como consequência, as distribuições de grupos entre os tipos de sedimentos se relacionem à qualidade de luz disponível. Algas verdes realizam absorção de luz no espectro azul (450-475 nm) e vermelha (630-675 nm) e a absorção aumenta conforme aumenta o comprimento de onda. Estas algas contam com clorofilas a e b.

Algas marrons (p.ex. diatomáceas) possuem clorofila *a* e *c* com presença do pigmento acessório fucoxantina que permite absorver melhor comprimentos na faixa do verde (530 nm). Algas azuis (p.ex. cianobactérias) têm carotenóides e zeaxantina que permitem resistir a altas intensidades de luz. Absorvem luz no espectro do azul (430 nm) Algas azuis

possuem clorofila *a* com ficocianinas (500 a 600 nm) e ficoeritrinas (600 nm), pigmentos acessórios do grupo das ficobilinas (REYNOLDS, 2006). Analisando as distribuições de grupos, é possível perceber que provavelmente, devido à predominância de algas verdes no sedimento Chapéu D'Uvas não tenha acontecido restrição do comprimento de onda disponível, já que estas algas têm amplo espectro de absorção. Já no caso de algas azuis, não foi observada grande expressão em nenhum dos tratamentos. Tal fato pode estar relacionado à intensa competição. Este grupo de algas normalmente se sobressai em limitação por nitrogênio, por conseguirem fixar este nutriente e, de maneira geral, são estrategistas do tipo *s*, sobrevivendo bem em ambientes com escassez de recursos. Neste caso, a densidade dessas algas provavelmente não foi suficiente para que pudessem se estabelecer no sistema.

O grupo de algas marrons apresentou distribuição mais expressiva nos sedimentos Batata Impactado e Batata Natural. Estes sedimentos podem ter realizado uma redução do espectro de luz disponível não apenas em atenuação vertical, mas em relação ao comprimento de onda, permitindo maior penetração de luz no comprimento de onda menor. Além disso, é conhecido que organismos mixotróficos como dinoflagelados, algumas espécies de *Cryptomonas* e *Synechococcus* são capazes de absorver carbono orgânico presente no meio, permitindo a sobrevivência mesmo em baixa disponibilidade de luz (COSTA et al., 2018). Possivelmente pode ter ocorrido uma seleção de organismos mixotróficos, principalmente no sedimento Batata Natural, onde houve maior participação deste grupo na composição da clorofila total.

Os sedimentos Batata Natural e Chapéu D'Uvas se aproximaram em relação à concentração de sedimento por tratamento, utilizando quantidades semelhantes para atingir os mesmos níveis de turbidez, enquanto que uma quantidade em gramas menor do sedimento Batata Impactado é suficiente para atingir os valores de turbidez. Este fato permite compreender que uma quantidade relativamente menor de rejeito em suspensão é capaz de atingir altos valores de turbidez e levar a todas as consequências já discutidas. Os valores do ângulo de inclinação da reta do modelo linear (*slope*) por concentração de sedimento permitem compreender que para Batata Impactado, quanto maior for a quantidade de sedimento adicionada, menor será o *slope* dos tratamentos, porém, para Batata Natural esta relação se dá de forma menos evidente e Chapéu D'Uvas não apresenta qualquer relação entre *slope* e quantidade de sedimento embora apresente amplitude maior de valores de *slope* em turbidez média (0,3g/L). Assim, é possível observar uma relação negativa entre o aumento de turbidez e o crescimento de clorofila dos tratamentos.

A partir destes resultados, considerando que valores negativos de slope representam decréscimo de clorofila, pode-se perceber que os sedimentos Batata Impactado e Batata Natural promoveram decréscimo de clorofila em tratamentos de turbidez média e alta enquanto que Chapéu D'Uvas não apresentou este efeito de maneira tão forte. Os sedimentos Batata Impactado e Batata Natural foram mais desfavoráveis ao crescimento de clorofila nos tratamentos embora em turbidez alta e baixa, o sedimento Batata Impactado tenha sido menos prejudicial ao crescimento fitoplanctônico que Batata Natural.

Os efeitos dos sedimentos Batata Natural e Batata Impactado podem ser diferenciados a partir da comparação entre os valores de clorofila entre os tratamentos. Batata Natural apresentou valores um pouco maiores se considerada a média global e menor variação dos tratamentos entre os tempos, enquanto os tratamentos de Batata Impactado apresentaram maiores valores médios devido à ampla variação dos tratamentos ao longo dos tempos. Estes resultados podem estar relacionados ao espalhamento de luz causado pelas diferentes propriedades das partículas, como discutido anteriormente. O espalhamento da luz em ambientes túrbidos pode ocorrer devido à presença de material inorgânico ou pela presença de fitoplâncton em suspensão. No caso de partículas de argila em suspensão, ocorre este espalhamento (KIRK, 2011) que pode resultar em um fenômeno onde a parcela de luz que consegue penetrar a coluna d'água tenha uma parte refletida pelas partículas e dessa forma seja absorvida pelo fitoplâncton, permitindo a manutenção da fotossíntese, mesmo que com rendimento irregular, como ocorreu com os sedimentos de Chapéu D'Uvas e Batata Impactado.

O rendimento fotossintético foi menor em maior turbidez para todos os sedimentos e se apresentou de modo geral mais estável em Batata Natural e com maior variação entre os tempos nos sedimentos Batata Impactado e Chapéu D'Uvas. O maior crescimento dos tratamentos apresentado em chapéu D'Uvas pode estar relacionado à quantidade de fósforo.

#### 4.2.2. Efeitos da concentração de clorofila

Considerando o conjunto de dados apresentados, é possível observar que o acréscimo de turbidez não leva obrigatoriamente à redução de clorofila independente do valor inicial. Pode-se compreender que os grupos de clorofila apresentam distribuição diferente de acordo com o tipo de sedimento adicionado, porém, para compreender melhor os efeitos dos

sedimentos, é preciso considerar também a influência do comportamento de dispersão de luz que cada formato e composição de partícula é capaz de causar.

Dentre os tratamentos com os diferentes sedimentos, os tratamentos de clorofila alta foram estatisticamente semelhantes entre si, com alguns tratamentos apresentando tendências discrepantes. Batata Natural apresentou menores amplitudes de clorofila e uma divisão em grupos que mostra semelhança entre tratamentos de clorofila média e alta de turbidez baixa. Este padrão demonstra que não houve tendência a aumento de clorofila de modo geral nos tratamentos deste sedimento, que pode ter se acentuado pela tendência a redução em concentrações de clorofila alta. Houve maior crescimento em turbidez média em Chapéu D'Uvas e Batata Impactado e menor crescimento em Batata Natural. O tratamento TACA (Turbidez Alta e Clorofila Alta) com sedimento Batata Natural se assemelha também a um tratamento de clorofila média que apresenta pouca variação, indicando que neste caso, a concentração de clorofila não gerou efeito sobre os tratamentos. Em Batata Impactado houve semelhança entre tratamentos de clorofila média e clorofila baixa em turbidez alta. Neste caso, a concentração de clorofila também não exerceu efeito sobre os tratamentos.

O sedimento Batata Impactado apresentou grupos bem definidos entre as clorofilas altas, médias e baixas. Chapéu D'Uvas apresentou influência da concentração de clorofila já que teve tendência a aumento em clorofilas médias e altas, sem tendência a aumento em clorofilas baixas.

Pode-se perceber efeito positivo da concentração de clorofila no sedimento Chapéu D'Uvas. Este fato pode estar relacionado à maior disponibilidade de fósforo que este sistema dispõe, que leva a uma situação em que mesmo com o efeito de sombreamento dos tratamentos de turbidez média e alta, as algas sejam capazes de metabolizar o nutriente rapidamente e devolvê-lo à coluna d'água, favorecendo a manutenção do crescimento. Grupos como Chlorophyceae e Zygnemaphyceae, são capazes de otimizar a captura de fótons e realizar a fotossíntese de uma maneira mais eficiente e por isso, se presentes em ambientes assim, podem superar os efeitos da turbidez (ZOHARY et al., 2010; COSTA et al., 2016). Nestes tratamentos o efeito do Fósforo foi mais forte que nos outros sedimentos, onde o efeito da competição foi mais forte e levou à redução de clorofila.

Por outro lado, os tratamentos de clorofilas altas e médias dos sedimentos Batata Natural e Batata Impactado apresentam redução de clorofila em turbidez alta e média. Este fato pode estar relacionado à maior competição por nutrientes, que somada ao efeito de sombreamento causado pelo sedimento e pelas próprias células, tornam o sistema menos favorável à proliferação de algas e causa redução no valor de clorofila. A distribuição mais

equilibrada entre algas marrons e verdes em tratamentos de clorofilas mais altas confirmam esta constatação, visto que algas verdes são menos eficientes em ambientes com escassez de luz e nutrientes e alguns grupos de algas marrons (mixotróficas) conseguem manter o metabolismo heterotrófico em condições desfavoráveis à fotossíntese (KATECHAKIS et al., 2005). Estes tratamentos apresentaram crescimento apenas em clorofila alta e turbidez baixa, evidenciando a menor influência da concentração de clorofila em menor turbidez.

Um sistema natural, se impactado por rejeito de Bauxita é afetado principalmente pela redução da produção primária e secundária (COLE et al., 1992; GROBBELAAR, 1992; CUKER, 1993). Embora haja produção primária em um ambiente impactado, a composição fitoplanctônica será alterada, já que os valores de clorofila e a contribuição por grupos se tornam diferentes entre os sedimentos. Os resultados experimentais demonstram que tratamentos com maior concentração de clorofila onde houve crescimento, contaram com prevalência de algas verdes, mas em tratamentos em que a clorofila se manteve, o equilíbrio entre os grupos foi mais evidente. O trabalho de Huszar (2000) demonstrou que este fato pode ocorrer em ambientes naturais ao reportar a redução da diversidade, densidade e biomassa fitoplanctônica na área impactada do Lago Batata. Dessa forma, os organismos fitoplanctônicos que prevaleceram nos resultados experimentais podem ter sofrido aclimação com adaptações a pouca luz, como redução da taxa respiratória e aumento da concentração de pigmentos fotossintetizantes podendo, inclusive, alterar a proporção desses pigmentos, no processo denominado adaptação cromática ontogenética (KIRK, 2011).

De acordo com a razão de Redfield (1934), a proporção de mols de Carbono, Nitrogênio e Fósforo presente em microorganismos aquáticos corresponde a 106C: 16N: 1P. Esta proporção foi calculada a partir de microorganismos marinhos, mas pode ser utilizada para fitoplâncton como uma aproximação da proporção ideal (REYNOLDS, 2006). Considerando as razões estequiométricas apresentadas, é possível apontar o Carbono como nutriente excedente na maioria dos tratamentos se comparado ao Fósforo, que é o principal nutriente limitante ao fitoplâncton e está em maior quantidade apenas no sedimento de Chapéu D'Uvas (REYNOLDS, 2006; KIRK, 2011). Assim, é necessário compreender o papel do Carbono Dissolvido no metabolismo estabelecido nos tratamentos porque uma alta proporção de carbono favorece o metabolismo mixotrófico (REYNOLDS, 2006). Os tratamentos do sedimento Batata Impactado apresentaram maior proporção de algas marrons em clorofila alta o que pode ser suportado pela abundância de carbono nos tratamentos. De modo semelhante, a presença de Fósforo pode ter favorecido o metabolismo fitoplanctônico nos tratamentos de Chapéu D'Uvas.

Considerando a disponibilidade de luz em abundância de carbono, STERNER e colaboradores (1998) demonstraram que em condições de alta luminosidade e com excesso de carbono no sistema, nem toda a energia fotossintética será transferida ao zooplâncton, tornando a cadeia trófica ineficiente nestas condições se comparado a condições de menor luminosidade. Este trabalho conclui que ocorrem mudanças na composição química das células dependendo das condições de disponibilidade de luz e de nutrientes. Neste caso, é possível que, considerando a disponibilidade de carbono, condições de menor disponibilidade de luz resultem então em carbono orgânico melhor assimilável pelos próximos níveis tróficos e que a biomassa produzida em condições de alta turbidez seja melhor assimilável pelos consumidores.

A relação N:P foi baixa em todos os tratamentos, concordando com as características do Lago Batata. Porém, dada a proporção N:P, o nitrogênio pode ser um fator limitante, principalmente se for considerada a competição bacteriana por este nutriente (ELSER et al., 2003). De acordo com os resultados do experimento de quantificação de nutrientes, os sedimentos não forneceram nitrogênio para o sistema, contribuindo com a baixa proporção de nitrogênio encontrada no experimento de efeito da turbidez.

Os tratamentos de clorofila alta e média podem ter sido privados deste nutriente devido à competição nos sedimentos do Lago Batata. Chapéu D'Uvas apresentou maior quantidade deste nutriente, o que pode ter proporcionado uma competição menor nos tratamentos de clorofila alta e média por este nutriente. Não houve predominância de algas azuis em nenhum dos tratamentos, provavelmente porque não houve condições favoráveis para que este grupo vencesse a competição. Além de condições desfavoráveis de PAR, a relação C:P não favoreceu este grupo, que se desenvolveu melhor com menores proporções de carbono e fósforo (PENHA, 2015).

#### 4.2.3. Efeitos sinérgicos

Para analisar os efeitos sinérgicos da interação entre clorofila e turbidez, é possível comparar o rendimento fotossintético (Yield), que representa a eficiência da produção primária realizada.

Através da análise do rendimento fotossintético é possível saber a taxa de absorção de energia pelo fitoplâncton. Este rendimento é determinado pela competição pela radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e pela eficiência com que a luz absorvida é convertida em energia química (KIRK, 2011). Os resultados demonstram um menor



rendimento nos tratamentos de Batata Natural, confirmando a menor eficiência fotossintética nestes tratamentos. Nos tratamentos Chapéu D'Uvas e Batata Impactado há expressão de rendimento fotossintético de algas marrons, o que confirma a presença de organismos mixotróficos nestes tratamentos.

De modo geral, o rendimento fotossintético apresentou maiores valores em Chapéu D'Uvas, possivelmente devido ao espalhamento de luz em um ambiente com mais disponibilidade de fósforo. Os valores de rendimento em Batata Natural foram menores e mais constantes. Este fato pode estar relacionado à maneira que a luz incidente se distribui no sistema, com menor disponibilidade.

Não é possível observar uma tendência geral de aumento ou redução de Yield ao longo do tempo para nenhum dos sedimentos, visto que estas medidas refletem o rendimento que ocorre no sistema em tempo real e devido à natureza da medida, um sistema em constantes modificações apresenta rendimentos diferentes em cada momento. É possível, porém analisar as diferenças entre tratamentos e observar que de maneira geral, em tratamentos com mais clorofila, o rendimento é maior, o mesmo ocorre quando há menos turbidez.

Ambientes naturais estão constantemente sujeitos a alterações climáticas, disponibilidade de nutrientes e outros aspectos que podem levar à mudança de um estado estável a um estado alternativo bastante diferente do original. A teoria dos estados estáveis alternativos prediz que um sistema pode existir em equilíbrio após passar por uma perturbação, porém com funcionamento diferente do inicial, adaptado às novas condições (HOLLING, 1973). O aumento de turbidez em lagos rasos é conhecido como fator direcionador da mudança de estados estáveis, (SCHEFFER, 2001). Neste caso, é possível comparar a adição de sedimento de Chapéu D'Uvas a um impacto que modificou o estado inicial da comunidade, que após a adaptação às novas condições, dado o crescimento apresentado nos valores de clorofila, possivelmente passaria a constituir um sistema em um diferente estado estável, com alteração de funções uma comunidade adaptada ao novo nível de turbidez e disponibilidade de nutrientes.

#### 4.3. EXPERIMENTO 2: EFEITO DA ADIÇÃO PROGRESSIVA DE SEDIMENTO A CONCENTRAÇÕES INICIAIS FIXAS DE CLOROFILA

No experimento de adição progressiva de clorofila foi possível perceber que há diferença da evolução dos valores de clorofila com e sem a presença de sedimento. Este experimento permitiu compreender que há diferença entre tratamentos de clorofila alta e baixa na presença de sedimento porque com o aumento progressivo com acréscimo semelhante de sedimento, as quantidades de clorofila variaram de maneira diferente. A correção dos valores pela quantidade de sedimento adicionada permitiu visualizar o efeito da adição progressiva de sedimento ao tratamento, já que a clorofila reduziu drasticamente nos tratamentos de clorofila alta, mas nos tratamentos de clorofila baixa houve aumento.

Estes resultados podem ser extrapolados a ambientes onde há aumento progressivo de turbidez inorgânica como em casos de aporte de material alóctone, onde é esperado que ocorra conseqüente redução da concentração de clorofila devido ao aumento de turbidez. O Lago Batata passa por variações no nível da água que levam ao aumento da turbidez inorgânica em período de águas baixas, seja devido à redução do volume de água ou devido à ressuspensão do sedimento que tem longo tempo de decantação. Esse processo é responsável pela redução da clorofila como resultado da dispersão e redução de penetração de luz na coluna d'água (ROLAND & ESTEVES, 1998).

O estudo realizado contribui com conhecimentos acerca do efeito da turbidez inorgânica sobre a produção primária e em que intensidade estes efeitos ocorrem nos diferentes níveis de turbidez abordadas, avaliando também a relação entre os tipos de material em suspensão e as características do efeito de sombreamento e da dispersão de luz pelas partículas e as conseqüências que podem trazer à comunidade planctônica. O conhecimento sobre os impactos que o rejeito de mineração pode causar em ambientes aquáticos são de extrema importância em um contexto onde ainda há riscos de vazamento de rejeitos para ambientes naturais como ocorrido na cidade de Mariana com o rompimento da barragem de Fundão (QUEIROZ et al., 2018). Desta forma, ainda é necessário avançar não apenas no conhecimento sobre os impactos do rejeito de mineração à cadeia trófica existente em ambientes lacustres e fluviais como também no conhecimento sobre medidas de recuperação e mitigação dos danos causados a estes ecossistemas.

## 5. CONCLUSÃO

A distribuição de grupos de algas demonstrou maior proporção de algas verdes em Chapéu D'Uvas, que fornece fósforo dissolvido ao sistema. Houve maior proporção de algas marrons em Batata Natural e Batata Impactado, onde houve menores valores de clorofila e, portanto, piores condições à fotossíntese. O aumento de turbidez é capaz de reduzir a produção primária fitoplanctônica se não houver abundância de fósforo fornecido pelo sedimento.

Pode-se concluir também que há maior efeito da turbidez em maiores concentrações de sedimento em suspensão e que maiores quantidades de clorofila inicial podem fazer com que este efeito seja mais expressivo em menores concentrações de sedimento.

As partículas do sedimento Batata Natural podem ter causado uma forma de dispersão de luz que permitiu maior estabilidade entre os valores de clorofila e Yield ao longo do tempo e valores um pouco maiores de clorofila total. Por outro lado, as partículas do Batata Impactado trazem desenvolvimento mais instável de clorofila e Yield ao longo do tempo.

O Yield é menor em maior nível de turbidez, apresentando valores mais estáveis em Batata Natural e maior variação no tempo em Batata Impactado e Chapéu D'Uvas.

A adição progressiva de sedimento resultou em redução mais acentuada de clorofila em tratamentos de clorofila alta e menor incremento de clorofila por tempo. Os tratamentos de clorofila baixa apresentaram padrão diferente com pouco crescimento e menor efeito da adição progressiva de sedimento.

Embora a ecologia e metabolismo do fitoplâncton sejam amplamente conhecidos, ainda é necessário avançar na compreensão da interferência de fatores ambientais sobre a fotossíntese e de que modo este processo é modificado, como ocorre a interferência de partículas na dispersão de luz dentro da água, além das alterações na dinâmica e composição populacional e possíveis efeitos à cadeia trófica que estes aspectos podem causar, sobretudo em ambientes lacustres tropicais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R. M., ROLAND, F., CARDOSO, S. J., FARJALLA, V. F., BOZELLI, R. L., & BARROS, N. O. Viruses and bacteria in floodplain lakes along a major Amazon tributary respond to distance to the Amazon River. *Frontiers in Microbiology*, 2015. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00158>.
- ALMEIDA, F.F.; MELO, S.. Considerações limnológicas sobre um lago da planície de inundação amazônica (lago Catalão-Estado do Amazonas, Brasil). *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 3: 387-395, 2009.
- ALVARES CA, STAPE JL, SENTELHAS PC, DE MORAES G, LEONARDO J, SPAROVEK G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorol Z. 22:711–728. 2013.
- AMADO A. M., FARJALLA V. F., ESTEVES F. A., BOZELLI R. L., ROLAND F., ENRICH-PRAST A. . **Complementary pathways on dissolved organic carbon removal pathways in clear-water Amazonian ecosystems: photochemical degradation and bacterial uptake**. *FEMS Microbiol. Ecol.* 56 8–17. 10.1111/j.1574-6941.2006.00028.x. 2006.
- ARAÚJO, J. P. de C. **Utilização de métodos e critérios para determinação do rio principal em bacias hidrográficas – o caso do Rio Paraibuna**. 2009. 109 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.
- BARROS, N., FARJALLA, V. F., SOARES, M. C., MELO, R. C. N., & ROLAND, F. Virus-bacterium coupling driven by both turbidity and hydrodynamics in an Amazonian floodplain lake. *Applied and Environmental Microbiology*. 2010. <https://doi.org/10.1128/AEM.01161-10>.
- BOLD, H. C., 1985. **Introduction to the algae: Structure and Reproduction**. Ed.:2ª. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- BONEY, A. D.,. Mucilage sheaths of spores of red algae. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 55: 511-518. 1975.
- BOZELLI, RL.,. Composition of the zooplankton community of Batata and Mussurá lakes and of the Trombetas River, State of Pará, Brasil. *Amazoniana*, vol. 12, p. 239-261, 1992.
- BOZELLI, R.L., 1994. **Influência do rejeito de bauxita sobre as populações de cladóceros (Crustacea - Branchiopoda) em um lago amazônico (Lago Batata, PA) e em condições laboratoriais**. São Carlos: UFSCar, 131 p. (Tese).
- BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A. Species diversity, evenness and richness of the zooplankton community of Batata and Mussurá lakes of the Trombetas river, Amazônia, Brazil. **International Conference on Tropical Limnology: Tropical Lakes and Reservoirs**, v 2, p. 87-93. 1995
- BOZELLI, R. Influences of suspended inorganic matter on carbon ingestion and incorporation rates of two tropical cladocerans, *Diaphanosoma birgei* and *Moina minuta*. *Archiv für Hydrobiologie*, 142, 451–465. 1998.
- BOZELLI R.L., THOMAZ S.M., PADIAL A.A., LOPES P.M. & BINI L.M. Floods decrease zooplankton beta diversity and environmental heterogeneity in an Amazonian flood- plain system. *Hydrobiologia*, 753, 233–241.2015.
- CARDOSO, S. J., 2009. **Influência Da Morfometria De Lagos na Diversidade Fitoplanctônica**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. 104 p.
- CARDOSO, S. J., NABOUT, J. C., FARJALLA, V. F., LOPES, P. M., BOZELLI, R. L., HUSZAR, V. L., & ROLAND, F. . Environmental factors driving phytoplankton taxonomic and functional diversity in Amazonian floodplain lakes. *Hydrobiologia*, 802, 115–130. 2017. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3244-x>.
- CALLISTO, M. F. P. & ESTEVES, F. A., Macroinvertebrados bentônicos em dois lagos amazônicos: Lago Batata (um ecossistema impactado por rejeito de bauxita) e Lago Mussurá (Brasil). *Acta Limnol. Bras.*, 8: 137-147. 1996a

- CALLISTO, M. F. P & ESTEVES, F.A.,. Composição granulométrica do sedimento de um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita e um lagonatural. **Acta Limnológica Brasiliensia** 8:115-126. 1996b
- CARNEY, H. J. Biodiversity, conservation and global change: an algal perspective. **Anais do IV Congresso Latino-Americano**, II Reunião Ibero-Americana, VII Reunião Brasileira de Ficologia 1: 31-42. 1998.
- COLE, J. J., N. F. CARACO & B. L. PEIERLS,. Can phytoplankton maintain a positive carbon balance in a turbid, freshwater, tidal estuary? **Limnol. Oceanogr.** 37: 1608–1617. 1992.
- COSTA, D. F.; BARBOSA, J. E. L.; DANTAS, Ê W. Productivity–diversity relationships in reservoir phytoplankton communities in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 129, p. 64-70, 2016.
- COSTA, M. R. A.; MENEZES, R. F.; SARMENTO, H.; ATTAYDE, J. L.; STERNBERG, L. S. L.; BECKER, V. Extreme drought favors potential mixotrophic organisms in tropical semi-arid reservoirs. **Hydrobiologia**, p. 1-12, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3583-2>.
- CUKER, B. E., Suspended clays alter trophic interactions in the plankton. **Ecology** 74: 944–953. 1993.
- DECLERCK, S., J. VANDEKERKHOVE AND L. JOHANSSON: Multi-group diversity in shallow lakes along gradients of phosphorus and water plant cover. **Ecology**, 86, 1905–1915 (2005).
- DESCY, J.P., C.S. REYNOLDS AND J. PADISÁK: Phytoplankton in turbid environments: Rivers and shallow lakes. **Springer Science & Business Media**. Boston, London (2013).
- DONOHUE, I. AND J. GARCIA-MOLINOS: Impacts of increased sediment loads on the ecology of lakes. **Biological Rev.**, 84, 517–531 (2009).
- ELSER JJ, ACHARYA K, KYLE M, COTNER J, MAKINO W, MARKOW T, WATTS T, HOBBIE S, FAGAN W, SCHADE J, HOOD J, STERNER RW. Growth rate-stoichiometry couplings in diverse biota. **Ecol Lett** 6:936–943. 2003.
- ESKINAZI-LEÇA, E.; KOENING, M. L.; SILVA-CUNHA, M. G. G., 2004. Estrutura e Dinâmica da Comunidade Fitoplanctônica. **In.: Oceanografia: Um cenário tropical** / Org. por Eskinazi-Leça; Sigrid Neumann-Leitão; Mônica Ferreira da Costa. Recife: Bagaço. UFPE. Centro de Tecnologia e Geociências. Departamento de Oceanografia. 353 – 373 p.
- ESTEVES, F. D. A; BOZELLI, R. L.; & ROLAND, F.; Lago Batata: um laboratório de limnologia tropical. **Ciência hoje**. 11 (64): 26 -33, 1990.
- ESTEVES, F. D. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. Rio de Janeiro, Interciência Relation between Lake Morphometry and Primary Productivity and Its Use in Interpreting Whole-Lake Eutrophication Experiments, 1998.
- ESTEVES, F. A.; CALIMAN, A.; SANTANGELO, J. M.; GUARIENTO, R. D.; FARJALLA, V. F.; & BOZELLI, R.L., Neotropical coastal lagoons: na appraisal of their biodiversity, functionings, threats and conservation management. **Brazilian Journal of Biology**, 68(4), 967–981. (2008).
- FALKOWSKI, P.G.; RAVEN, J.A. **Aquatic photosynthesis**. Second edition. Princeton University Press: Princeton. ISBN 978-0-691-11551-1. 484 pp. 2007.
- FARJALLA, V. F., D. A. AZEVEDO, F. A. ESTEVES, R. L. BOZELLI, F. ROLAND & A. ENRICH-PRAST,. Influence of hydrological pulse on bacterial growth and DOC uptake in a clear-water Amazonian lake. **Microbial Ecology**. 52: 334–344. 2006.
- JOHNSON P.W., SIEBURTH J.MCN.Chroccoid cyanobacteria in the sea: a ubiquitous and diverse phototrophic biomass **Limnology and Oceanography**, 24 (1979), pp. 928-935.

- GOLTERMAN, H. L., CLYMO, R. S. and OHNSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1978.
- GRANÉLI, W., M. LINDELI, AND L. TRANVIK. 1996. Photooxidative production of dissolved inorganic carbon in lakes of different humic content. *Limnol. Oceanogr.* 41: 698-706.
- GUENTHER, M. & BOZELLI, R. Factors influencing algae-clay aggregation. *Hydrobiologia* 523, 217–223. 2004a.
- GUENTHER, M. & BOZELLI, R. Effects of inorganic turbidity on the phytoplankton of an Amazonian Lake impacted by bauxite tailings. *Hydrobiologia* 511, 151–159. 2004b.
- GROBBELAAR, J. U., . Nutrients versus physical factors in determining the primary productivity of waters with high inorganic turbidity. *Hydrobiologia* 238: 177–182. 1992.
- HARRIS, G.P.; **Phytoplankton ecology: structure, function and fluctuation**. New York, Chapman and Hall. 1986.
- HART, R., Zooplankton feeding rates in relation to suspended sediment content: potential influences on community structure in a turbid reservoir. *Freshwater Biology* 19(1): 123–139, 1988.
- HEINZ WALZ GMBH, **Phytoplankton Analyzer PHYTO-PAM and Phyto-Win Software V 1.45 System Components and Principles of Operation**, Germany: \_\_\_\_, 2003, 135p.
- HOLLING, C. S., Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology & Sistematics*, 4:1-23. 1973.
- HUSZAR, V. & REYNOLDS, C., Phytoplankton periodicity and sequences of dominance in an Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Pará, Brasil): responses to gradual environmental change. *Hydrobiologia*, 346, 169–181. 1997.
- JONG, J.; ROOY, P. T. J. C.; HOSPER, S. H. Living with water: at the crossroads of change. *Water Science Technology* , v.31, n.8, p.393-400, 1995.
- JUNK, W. J., BAYLEY, P. B., & SPARKS, R. E.. The flood pulse concept in river-floodplain-systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. (1989). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028909>.
- JUNK, W. J., The flood pulse concept of large rivers: learning from the tropics. *River Systems* 1999. <https://doi.org/10.1127/lr/11/1999/261>.
- JUNK, W. J. et al. A Classification of Major Naturally-Occurring Amazonian Lowland Wetlands. *Wetlands*, v. 31, n. 4, p. 623-640, Aug. 2011. ISSN 0277-5212. Disponível em: <<Go to ISI>://000296695000001 >.
- KATECHAKIS, A., T. HASENEDER, R.KLING, & H. STIBOR. Mixotrophic versus photoautotrophic specialist algae as food for zooplankton: The light: nutrient hypothesis might not hold for mixotrophs. *Limnol. Oceanogr.* 50: 1290–1299, 2005.
- KIRK, J. T. O. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems** (3. ed.). Cambridge UK ;New York: Cambridge University Press. (2011). Retrieved from <https://www.worldcat.org/title/light-and-photosynthesis-in-aquatic-ecosystems/oclc/900461245?referer=br&ht=edition>.
- KIRK, K. L. & J. J. GILBERT, Suspended clay and the population dynamics of planktonic rotifers and cladocerans. *Ecology* 71: 1741–1755, 1990.
- KÖPPEN, W. (1948). **Climatologia: com um estudio de los climas de la tierra**. Jaboticabal: Fondo de Cultura Econômica.

KOSTEN S, ROLAND F, DA MOTTA MARQUES DML, VAN NES EH, MAZZEO N, et al. Climate-dependent CO<sub>2</sub> emissions from lakes. **Glob. Biogeochem. Cycles** 24:GB2007. 2010.

KOSTEN, S.; VAN DEN BERG, S.; MENDONÇA, R.; PARANÁIBA J. R.; ROLAND, F.; SOBEK, Sebastian; VAN DEN HOEK, J. & BARROS, N., Extreme drought boosts CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emissions from reservoir drawdown areas, **Inland Waters**, 8:3, 329-340, 2018. DOI: 10.1080/20442041.2018.1483126.

LAPA, R. P. 2000. A bauxita e o Rejeito de Bauxita. In: **Lago Batata: Impacto e Recuperação de um Ecossistema Amazônico**, 1st edn. (Ed. by R. L. Bozelli, F. D. A. Esteves, & F. Roland), pp. 25–35. Rio de Janeiro: IB-UFRJ/SBL

LEAL, J. J. F.; ENRICH-PRAST, A.; ESTEVES, F. A. & FARJALLA, V. F. Effect of *Campylobacter* on NH<sub>4</sub>, DOC fluxes, O<sub>2</sub> uptake and bacterioplankton production in experimental microcosms with sediment-water interface of an Amazonian lake impacted by bauxite tailings. **International Review of Hydrobiology**, Alemanha, v. 88, n. 2, p. 167-178. 2003.

LEECH, DM. and JOHNSEN, S.. Light, Biological Receptors. In LIKENS, GE., ed. **Encyclopedia of Inland Waters**. Oxford: Elsevier. vol. 2, p. 2009, 671-681.

LEWITUS, A. J. AND KANA, T. M. Responses of estuarine phytoplankton to exogenous glucose: stimulation versus inhibition of photosynthesis and respiration. **Limnology and Oceanography**, 39, 182–9. 1994.

LOURES, Raphael Salgado. **Cálculo analítico do diâmetro representativo da partícula do leito para emprego nas equações de cálculo do transporte de sedimentos em escoamento com superfície livre: o Rio Paraibuna como estudo de caso**. Trabalho Final de Curso (Curso De Engenharia Ambiental E Sanitária). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/Trabalho-de-conclus%C3%A3o-de-curso-Raphael-Salgado-Loures.pdf>>. Acesso em: Jan. 2019.

MAIA-BARBOSA, P. M. & BOZELLI, R. L., Community structure and temporal dynamics of cladocerans in an Amazonian lake (lake Batata, PA, Brazil) impacted by bauxite tailings . **Acta Limnologica Brasiliensia**, 18, 67–75. 2006.

MARINHO, M. M. & V. L. M. HUSZAR,. Nutrient availability and physical conditions as controlling factors of phytoplankton composition and biomass in a tropical reservoir (Southeastern Brazil). **Archiv für Hydrobiologie** 153: 443–468. 2002.

MEIRELLES-FILHO, J. **O livro de ouro da Amazônia**. 5. Ediuoro, 2006. 480 ISBN 978-85-0002-161-9.

MELO, S. & HUSZAR, V.L. Phytoplankton in an Amazonian flood-plain lake (Lagoa Batata, Brasil): diel variation and species strategies. **Journal of Plankton Research** 22:63-76. 2000.

MERTEN G. H., MINELLA J. P. G. Curso Determinação da Concentração de Sedimentos em Rios com Uso do Turbidímetro. P&D - ANEEL. 2011.

MOREIRA, B. **Estrutura, diversidade e regeneração arbórea de uma Floresta Atlântica secundária submetida à supressão do sub-bosque**. [Minas Gerais, 2014] 62 p. (Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Juiz de Fora). M.Sc., Programa de Pós-graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais, 2014. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal de Juiz de Fora, 2014.

MÜLLER, M. C., RODRIGUEZ-AMAYA, D. B., LOURENÇO, S. O. Carotenóides da cianobactéria *Synechocystis pevalekii* produzida em condições normais e sob limitação de nutrientes. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**. vol. 39, n. 4, out./dez. 2003.

NEIFF, J. J., Ideas para la interpretacion ecológica del Parana. **Interciencia** 15: 424–441. 1990.

ODUM, E. P. **Fundamentals of ecology**. 3.ed. Philadelphia : W.B. Saunders, 574p. 1971.

ODUM, E. P.. **Ecologia**. Rio de Janeiro: [s.n.], Guanabara Koogan, 1972.

ODUM, E. P. e BARRETT, G. W. **Ecologia**. Editora Guanabara-Koogan. São Paulo: 623p. 2007.

OLIVEIRA, M. de, **Limnologia da Paisagem com uso de Regressão Geograficamente Ponderada: estudo da qualidade da água na Represa de Chapéu D'Uvas**, 2018., 222 f. MG. Tese (Doutorado em Ecologia) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais. Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018.

PANOSSO, R. F. **Influência do regime hidrológico e das características morfométricas sobre algumas variáveis limnológicas de um lago amazônico (lago Batata, PA) impactado por rejeito de bauxita**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) ,PPGE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 120 p. 1993.

PARLANTI, E., WORZ, K., GEOFFROY, L.; LAMOTTE, M., **.Dissolved organic matter fluorescence spectroscopy as a tool to estimate biological activity in a coastal zone submitted to anthropogenic inputs**. *Organic Geochemistry*, 31(12): 1765-1781.2000.

PAUL, E. A.. **Soil Microbiology and Biochemistry**. Academic Press, Inc., San Diego, California, 335 p. 1988.

PENHA, Leonardo Nunes. **Dinâmica da matéria orgânica no sedimento de um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita (lago Batata - Porto Trombetas, PA) e sua importância para o processo de restauração** - 2015, 70 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Conservação, UFRJ/ NUPEM, Rio de Janeiro, 2015.

QUAGGIO, J.A. & RAIJ, B.van. Comparação de métodos rápidos para a determinação da matéria orgânica em solos. **R. Bras. Ci. Solo**, 3:184-187, 1979.

QUEIROZ, H. M., NÓBREGA, G. N., FERREIRA, T. O., ALMEIDA, L. S., ROMERO, T. B., SANTAELLA, S. T., ... & OTERO, X. L. The Samarco mine tailing disaster: A possible time-bomb for heavy metals contamination? **Science of the Total Environment**, 637, 498-506. 2018.

REYNOLDS, C. S. **The Ecology of Phytoplankton**. 1. New York, Cambridge University Press, 2006.

REDFIELD, A. C. **On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton**. In The James Johnstone Memorial Volume, ed. University of Liverpool, pp. 176-92. Liverpool: Liverpool University Press. 1934.

RICHEY, J. E.; JOHN, M.; AUDFENKAMPE, A.; BALLESTER, M.V.R; HESS, L. Outgassing from Amazonian Rivers and Wetlands as a Large Tropical Source of Atmospheric CO<sub>2</sub>. **Nature**. 416. 617-20. 10.1038/416617a. 2002.

ROLAND, F. **Produção primária fitoplanctônica em um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita - lago Batata, Pará**. Tese - Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - programa de pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, p. 117. 1995

ROLAND, FABIO ; ESTEVES, F. A. ; BARBOSA, FRANCISCO A. R. . **The influence of bauxite tailings on the light regime and its consequence on phytoplankton primary production in an Amazonian floodplain lake..** Proceedings of the International Association of Theoretical and Applied Limnology, Stuttgart, v. 26, p. 765-767, 1997.

ROLAND, F. ; ESTEVES, F. A. . Effects of bauxite tailing on PAR attenuation in an Amazonian crystalline water lake . **Hydrobiologia** (The Hague), v. 377, p. 1-7, 1998.

ROLAND, Fabio, Esteves, F. A., Barbosa, F. A. R.. Relationship between antropogenically caused turbidity and phytoplankton production in a clear Amazonian floodplain lake In **Amazoniana - Limnologia Et Oecologia Regionalis Systemae Fluminis Amazonas** . , v.XVII, 65-77. 2002.

SCHEFFER, M., S. R. CARPENTER, J. A. FOLEY, C. FOLKE & B. WALKER. Catastrophic shifts in ecosystems. **Nature** 413: 591-596, 2001.



- SCHIEMER, F. Conservation of biodiversity in floodplain rivers. **River Systems**. 1999. <https://doi.org/10.1127/tr/11/1999/423>.
- SIOLI, H. **Über Natur und Mensch im brasilianischen Ama-zonagebiet**. Erdkunde, v. 10, n.2, p. 89-109, 1956.
- SIOLI, H.. The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses, and river types. In: SIOLI, H. (Ed.). **The Amazon: limnology and landscape of a might tropical river and its basis**. Dordrecht, Dr. W. Junk, p. 127-165, 1984.
- SOURNIA A., 1978. - **Phytoplankton manuel**. Muséum National d'Histoire naturelle, Paris, Ed., UNESCO: 337 p.
- STEFAN, H. G., CARDONI, J. J., SCHIEBE, F. R., & COOPER, C. M. Model of light penetration in a turbid lake. **Water Resources Research**, 19(1), 109–120. (1983).. <https://doi.org/10.1029/WR019i001p00109>.
- STROME, D. J., ARID M. C. MILLER.. Photolytic changes in dissolved hunic substances. **Verh. Internat. Vercin. Limnol.** 20: 1248-I 254. 1978.
- SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo, Edgar Blucher / EDUSP, [s. l.], 1973.
- TARRAS-WAHLBERG, N. H., FLACHIER, A., LANE, S. N. AND SANGFORS, O. Environmental impacts and metal exposure of aquatic ecosystems in rivers contaminated by small scale gold mining: the Puyango river basin, southern Ecuador. **The Science of the Total Environment** 278, 239±261. 2001
- TOWNSEND, S. A. Hydraulic phases, persistent stratification, and phytoplankton in a tropical floodplain lake (Mary River, northern Australia). **Hydrobiologia**. 2006. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-0885-y>.
- TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez**, São Carlos: Ri Ma, Instituto Internacional de Ecologia. 2003.
- TUNDISI, J.G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Carlos Oficina de textos, 632p. 2008.
- VOLLENWEIDER, R. A. **A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments**. London, Blackwell Scientific Publication, 1974.
- WANTZEN, K. M., JUNK, W. J. & ROTHHAUPT, K.-O.. An extension of the floodpulse concept (FPC) for lakes. **Hydrobiologia**, 613, 151–170, 2008.
- WATERBURY J.B., WATSON S.W., GUILLARD R.R.L., BRAND L.E. Wide-spread occurrence of a unicellular, marine planktonic, cyanobacterium **Nature**, 277 pp. 293-294. 1979.
- WETZEL, R. G. **Reservoir ecosystems: conclusions and speculations**. In: THORNTON, K. W., KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E. (eds) **Reservoir limnology: ecological perspectives**. New York: *A Wiley-Interscience*. p.227-238, 1990.
- WETZEL, R.G. and LIKENS, G.E. **Limnological Analysis**. 2nd Edition, Springer Verlag, New York. 1991.
- WISSMAR R.C., RICHEY J.E., STALLARD R.F. & EDMOND J.M. (1981) Plankton metabolism and carbon processes in the Amazon and floodplain water, Peru-Brazil, May/June 1977. **Ecology**, 62, 1622–1633.
- ZOHARY, T., J. PADISÁK & L. NASELLI-FLORES, Phytoplankton in the physical environment: beyond nutrients, at the end, there is some light. **Hydrobiologia** 639: 261–269, 2010.

## APÊNDICE A – Valores de clorofila: experimento efeito da turbidez sobre a produção primária.

Tabela 17: Valores de clorofila resultantes do experimento efeito da turbidez sobre a produção primária e médias do sedimento Chapéu D'Uvas; TACA: Turbidez Alta, Clorofila Alta; TACM: Turbidez Alta, Clorofila Média; TACB: Turbidez Alta, Clorofila Baixa; TMCA: Turbidez Média, Clorofila Alta; TMCM: Turbidez Média, Clorofila Média; TMCB: Turbidez Média, Clorofila Baixa; TBCA: Turbidez Baixa, Clorofila Alta; TBCM: Turbidez Baixa, Clorofila Média; TBCB: Turbidez Baixa, Clorofila Baixa.

Sedimento	Tratamento	Diferença T1 - controle	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Chapéu D'Uvas	TACA	9,1	20,26	21,90	25,90	26,73	29,09	28,86	30,56
	TACA	14,5	20,26	22,15	22,90	25,87	26,04	28,14	32,42
	TACA	10,7	20,26	22,92	27,28	27,24	27,98	30,41	40,51
	Média	11,4	20,26	22,32	25,36	26,61	27,70	29,14	34,50
	TACM	5,09	10,53	16,74	20,54	20,60	21,03	20,91	22,41
	TACM	5,2	10,53	19,14	21,82	21,71	21,88	22,52	22,32
	TACM	5,6	10,53	17,46	21,33	20,17	20,19	18,10	19,64
	Média	5,3	10,53	17,78	21,23	20,83	21,03	20,51	21,46
	TACB	8,5	6,42	7,08	7,27	8,03	8,44	7,97	5,43
	TACB	10,4	6,42	7,42	6,27	6,00	5,69	5,96	7,39
	TACB	9,0	6,42	7,26	6,53	6,13	5,47	5,61	5,86
	Média	9,3	6,42	7,25	6,69	6,72	6,53	6,51	6,23
	TMCA	7,8	35,35	36,27	37,29	44,39	42,93	49,33	51,71
	TMCA	7,8	35,35	36,27	37,29	44,39	42,93	49,33	51,71
	TMCA	7,8	35,35	36,27	37,29	44,39	42,93	49,33	51,71
	Média	7,8	35,35	36,27	37,29	44,39	42,93	49,33	51,71
	TMCM	1,9	18,16	21,23	21,07	21,95	23,77	23,23	28,22
	TMCM	1,9	18,16	21,23	21,07	21,95	23,77	23,23	28,22
	TMCM	1,9	18,16	21,23	21,07	21,95	23,77	23,23	28,22
	Média	1,9	18,16	21,23	21,07	21,95	23,77	23,23	28,22
	TMCB	2,0	4,76	4,18	6,59	5,05	5,11	6,36	6,86
	TMCB	1,8	4,76	7,26	7,83	7,59	7,86	8,43	9,04
	TMCB	1,73	4,76	6,54	8,62	7,68	7,72	8,39	9,49
	Média	1,8	4,76	5,99	7,68	6,77	6,90	7,73	8,46
	TBCA	9,6	26,11	21,00	26,37	27,79	27,07	27,07	29,95
	TBCA	6,9	26,11	29,98	31,03	30,60	32,51	32,14	38,53
	TBCA	18,4	26,11	26,11	28,33	32,40	32,04	26,57	30,98
	Média	11,63	26,11	25,70	28,58	30,26	30,54	28,59	33,15
	TBCM	0,0	16,18	17,87	21,95	21,30	23,02	25,63	27,45
	TBCM	0,0	14,27	18,58	21,62	21,15	21,07	28,77	26,73
TBCM	0,0	15,39	19,48	20,68	22,15	25,68	31,73	30,70	
Média	0	15,28	18,64	21,42	21,53	23,26	28,71	28,29	
TBCB	2,11	5,51	6,56	7,49	7,62	8,38	8,78	8,60	
TBCB	1,7	5,51	6,69	7,45	7,60	8,96	9,56	10,44	
TBCB	2,5	5,51	5,52	6,21	6,24	6,30	5,49	5,97	
Média	2,1	5,51	6,26	7,05	7,15	7,88	7,94	8,34	

Tabela 18: Valores de clorofila resultantes do experimento efeito da turbidez sobre a produção primária e médias do sedimento Batata Natural; TACA: Turbidez Alta, Clorofila Alta; TACM: Turbidez Alta, Clorofila Média; TACB: Turbidez Alta, Clorofila Baixa; TMCA: Turbidez Média, Clorofila Alta; TMCM: Turbidez Média, Clorofila Média; TMCB: Turbidez Média, Clorofila Baixa; TBCA: Turbidez Baixa, Clorofila Alta; TBCM: Turbidez Baixa, Clorofila Média; TBCB: Turbidez Baixa, Clorofila Baixa.

Sedimento	Tratamento	Diferença T1 - controle	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Batata Natural	TACA	3,9	19,28	34,32	33,33	29,51	27,79	25,92	22,62
	TACA	4,8	19,28	31,91	28,81	24,49	19,27	18,34	19,61
	TACA	7,2	19,28	29,06	24,66	19,95	17,96	15,53	16,58
	Média	5,3	19,28	31,76	28,93	24,65	21,67	19,93	19,60
	TACM	5,5	13,61	19,18	20,95	20,09	20,34	20,08	19,14
	TACM	3,4	13,61	13,77	18,69	21,70	20,79	20,21	16,82
	TACM	8,2	13,61	20,48	20,88	20,37	18,38	17,29	17,03
	Média	5,7	13,61	17,81	20,17	20,72	19,83	19,19	17,66
	TACB	8,3	4,95	8,60	10,37	9,79	9,57	9,10	9,48
	TACB	7,4	4,95	8,62	7,49	9,95	6,85	6,46	9,39
	TACB	5,9	4,95	11,51	11,95	11,41	11,96	12,16	12,21
	Média	7,2	4,95	9,57	9,93	10,38	9,46	9,24	10,36
	TMCA	0,0	16,03	20,23	22,47	19,24	18,51	15,78	13,39
	TMCA	0,0	17,02	19,05	20,94	20,80	19,32	19,37	17,13
	TMCA	0	17,18	19,07	20,19	18,34	17,49	15,89	12,73
	Média	0,0	16,74	19,45	21,20	19,46	18,44	17,01	14,42
	TMCM	1,7	13,61	13,13	13,37	16,16	16,83	16,63	17,79
	TMCM	1,7	13,61	13,13	13,37	16,16	16,83	16,63	17,79
	TMCM	1,7	13,61	13,13	13,37	16,16	16,83	16,63	17,79
	Média	1,66	13,61	13,13	13,37	16,16	16,83	16,63	17,79
	TMCB	3,0	4,95	7,57	6,95	7,31	7,13	7,92	7,69
	TMCB	2,2	4,95	7,34	5,57	8,69	8,54	8,40	9,02
	TMCB	3,4	4,95	6,28	6,74	6,74	6,07	4,77	5,10
	Média	2,84	4,95	7,06	6,42	7,58	7,24	7,03	7,27
	TBCA	0	18,23	18,37	19,90	21,86	18,04	11,98	26,49
	TBCA	0,0	17,32	19,33	19,22	19,69	19,33	16,89	24,41
	TBCA	0,0	17,44	18,98	18,16	19,82	15,94	13,91	23,78
	Média	0,0	17,66	18,89	19,09	20,46	17,77	14,26	24,89
	TBCM	2,0	13,61	13,61	13,61	13,61	13,61	13,61	13,61
	TBCM	0,9	13,61	15,01	13,74	15,58	13,34	15,67	14,08
TBCM	2,0	13,61	13,29	15,01	13,01	11,30	11,84	10,86	
Média	1,7	13,61	13,97	14,12	14,06	12,75	13,70	12,85	
TBCB	1,0	4,95	6,21	6,49	6,25	6,78	6,44	6,62	
TBCB	1,1	4,95	4,95	4,99	5,89	6,07	5,01	6,03	
TBCB	1,0	4,95	6,21	6,49	6,25	6,78	6,44	6,62	
Média	1,0	4,95	5,79	5,99	6,13	6,54	5,96	6,42	

Tabela 19: Valores de clorofila resultantes do experimento efeito da turbidez sobre a produção primária e médias do sedimento Batata Impactado; TACA: Turbidez Alta, Clorofila Alta; TACM: Turbidez Alta, Clorofila Média; TACB: Turbidez Alta, Clorofila Baixa; TMCA: Turbidez Média, Clorofila Alta; TMCM: Turbidez Média, Clorofila Média; TMCB: Turbidez Média, Clorofila Baixa; TBCA: Turbidez Baixa, Clorofila Alta; TBCM: Turbidez Baixa, Clorofila Média; TBCB: Turbidez Baixa, Clorofila Baixa..

Sedimento	Tratamento	Diferença T1 - controle	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Batata Impactado	TACA	7,6	24,03	29,88	29,58	27,72	25,05	23,78	22,72
	TACA	6,6	24,03	28,68	25,10	22,05	19,69	15,31	20,56
	TACA	7,4	24,03	25,29	28,78	30,90	25,30	25,46	22,71
	Média	7,2	24,03	27,95	27,82	26,89	23,34	21,51	21,99
	TACM	14,3	13,95	14,07	17,78	14,74	9,12	15,69	17,35
	TACM	11,2	13,95	20,67	17,80	15,54	10,95	16,37	16,32
	TACM	10,06	13,95	16,11	17,61	17,15	14,14	14,83	15,50
	Média	11,9	13,95	16,95	17,73	15,81	11,40	15,63	16,39
	TACB	5,5	6,21	12,98	14,20	13,88	13,46	13,15	13,44
	TACB	6,9	6,21	11,85	12,38	12,73	13,22	11,56	13,30
	TACB	12,2	6,21	13,07	12,30	11,34	13,93	13,92	13,31
	Média	8,19	6,21	12,63	12,96	12,65	13,54	12,88	13,35
	TMCA	3,2	24,03	17,77	21,61	22,55	19,73	16,78	13,36
	TMCA	3,2	24,03	17,77	21,61	22,55	19,73	16,78	13,36
	TMCA	3,2	24,03	17,77	21,61	22,55	19,73	16,78	13,36
	Média	3,15	24,03	17,77	21,61	22,55	19,73	16,78	13,36
	TMCM	1,29	14,35	17,71	13,17	14,32	11,68	11,48	11,85
	TMCM	1,3	14,35	17,71	13,17	14,32	11,68	11,48	11,85
	TMCM	3,0	14,35	18,20	15,45	14,74	13,55	13,11	16,39
	Média	1,9	14,35	17,87	13,93	14,46	12,30	12,02	13,36
	TMCB	0,9	6,21	8,47	10,44	9,96	8,92	8,85	9,66
	TMCB	0,9	6,21	9,86	10,97	9,25	8,47	8,17	8,73
	TMCB	2,8	5,71	9,46	9,12	9,06	7,71	7,16	8,27
	Média	1,5	6,04	9,26	10,18	9,42	8,37	8,06	8,89
	TBCA	3,5	20,38	25,20	25,92	24,17	25,67	25,55	30,60
	TBCA	3,1	20,38	25,59	23,83	19,32	24,14	27,41	30,42
	TBCA	5,3	20,38	24,56	21,20	17,13	21,69	20,57	24,30
	Média	4,0	20,38	25,12	23,65	20,21	23,83	24,51	28,44
TBCM	0,3	14,35	15,86	16,26	18,26	14,19	16,33	14,38	
TBCM	0,3	14,35	15,86	16,26	18,26	14,19	16,33	14,38	
TBCM	0,3	14,35	15,86	16,26	18,26	14,19	16,33	14,38	
Média	0,3	14,35	15,86	16,26	18,26	14,19	16,33	14,38	
TBCB	0,2	6,21	7,63	6,69	6,95	5,59	6,22	5,82	
TBCB	0,6	6,21	7,47	7,24	6,45	6,11	5,31	5,73	
TBCB	1,87	6,21	7,49	7,90	8,06	6,72	6,40	7,42	
Média	0,9	6,21	7,53	7,28	7,15	6,14	5,98	6,32	