



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



**LUIZA DE ABREU PEREIRA PIERMATEI**

**AVALIAÇÃO DA PLANTA DE PAISAGISMO *Spatiphyllum wallisii* EM  
FITORREMEDIAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS**

**TRABALHO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**Ouro Preto, Julho de 2018**

LUIZA DE ABREU PEREIRA PIERMATEI

**AVALIAÇÃO DA PLANTA DE PAISAGISMO *Spatiphyllum wallisii* EM  
FITORREMEDIAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vera Lúcia Miranda Guarda

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ângela Leão Andrade

Ouro Preto, Julho de 2018

P619a Piermatei, Luiza de Abreu Pereira .  
Avaliação da planta de paisagismo *Spathiphyllum wallisii* em fitorremediação de águas residuárias [manuscrito] / Luiza de Abreu Pereira Piermatei. - 2018.

76f.: il.: grafis; tabs; mapas.

Orientador: Profa. Dra. Vera Lúcia Miranda Guarda.  
Coorientador: Profa. Dra. Ângela Leão Andrade.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Ambiental.

1. Fitorremediação. 2. Águas residuárias. 3. *Spathiphyllum wallisii*. I. Guarda, Vera Lúcia Miranda. II. Andrade, Ângela Leão. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 504

Catálogo: [ficha@sisbin.ufop.br](mailto:ficha@sisbin.ufop.br)

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas  
Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental - CEAMB  
Campus Universitário Morro do Cruzeiro-S/N - CEP:35400-000 Ouro Preto – MG  
Brasil - Tel.: (31) 3559.1542 – e-mail: ceamb@em.ufop.br

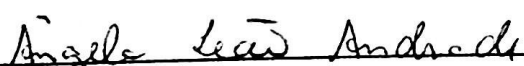
Folha de Aprovação

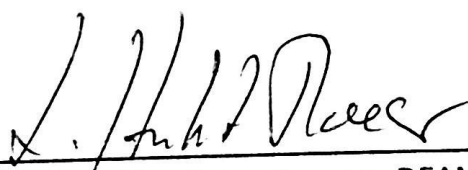
Luiza de Abreu Pereira Piermatei

AVALIAÇÃO DA PLANTA DE PAISAGISMO *Spatiphyllum wallisii* EM FITORREMEDIAÇÃO  
DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS.

Trabalho Conclusão de Curso defendido e aprovado em 09/07/2018 pela comissão  
avaliadora constituída pelos professores:

  
Profª. Drª. Vera Lúcia Miranda Guarda - DEFAR/UFOP (Orientadora)

  
Profª. Drª. Ângela Leão Andrade – DEQUI/UFOP (Coorientadora)

  
Prof. Dr. Hubert Mathias Peter Roeser - DEAMB/UFOP

  
Profª. MSc. Edilayne Cristina Santos - IFMG

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida! Ao meu pai, João Carlos, à minha madrinha Marilda, tios (as), Isadora e meus primos (as), às minhas amigas da Engenharia Ambiental-UFOP-2013.2, e aos meus demais familiares e amigos que me apoiaram e incentivaram para tornar possível a realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Ouro Preto pela oportunidade de realização do curso de graduação em Engenharia Ambiental. Aos professores do Departamento de Engenharia Ambiental – DEAMB, sem vocês não teria chegado até aqui!

Às professoras Vera Guarda e Ângela Andrade da UFOP, pelo apoio, paciência e dedicação. Ao LaQua/Escola de Farmácia-UFOP pelo auxílio na realização dos experimentos e aos seus funcionários que me apoiaram durante a pesquisa.

Ao Herbário José Badini/DEBIO-UFOP e sua equipe pelo suporte para obtenção de material testemunho para este trabalho.

Ao Edenir, funcionário da Secretaria de Meio Ambiente de Ouro Preto, sua ajuda com as amostragens foi fundamental para concretizar este trabalho.

Às moradoras da República Toda Menina pelo carinho, acolhida, compreensão. A todos (as) que de certo modo contribuíram para que este trabalho fosse realizado e que confiaram em mim, muito obrigada!

*“Se procurar bem, você acaba encontrando  
não a explicação (duvidosa) da vida,  
mas a poesia (inexplicável) da vida.”*

(ANDRADE, Carlos Drummond de, Poesia Completa. Nova Aguilar, 2002. p. 1256).

## RESUMO

A água é considerada um Direito Humano, tanto para consumo como em nível de saneamento. A importância da sua gestão é evidenciada pelo objetivo do desenvolvimento sustentável n. 6 da Organização das Nações Unidas. Com o intuito de verificar o potencial de fitorremediação da planta usada em paisagismo *Spathiphyllum wallisii* amostras de água foram coletadas no Córrego dos Contos, um manancial situado dentro do município de Ouro Preto – MG, o qual recebe lançamento de efluentes domésticos. No período entre maio e junho de 2018, duas campanhas de amostragem foram realizadas e as amostras de águas coletadas em três pontos do Córrego dos Contos passaram pelo procedimento de fitorremediação usando *Spathiphyllum wallisii* e seu potencial de fitorremediação avaliado por parâmetros físico-químicos: pH, turbidez, nitrito, nitrato, fosfatos, cloretos, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). Também foi aplicado o Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em Trechos de Bacias Hidrográficas, o qual aborda determinadas variáveis relacionadas à degradação ambiental da região e como é a situação geral nos pontos de aplicação. Os resultados obtidos foram: pH apresentou valores entre 6,53 a 7,19; a maior turbidez obtida foi de 24,50 UNT, para nitrato e nitrito as concentrações médias apresentaram-se abaixo de seus limites especificados pela CONAMA 357/2005 (10,0 mg/L e 1,0 mg/L, respectivamente); o valor máximo obtido de cloretos foi 31,83 mg/L; a maior concentração média de fosfatos foi 2,06 mg/L. Já na relação DQO/DBO, o valor obtido foi abaixo de 2,5, o que significa que um tratamento biológico tem grandes chances de obter sucesso. O estudo demonstrou que a planta *Spathiphyllum wallisii* apresenta potencial para fitorremediação e sugere que o trabalho seja continuado, utilizando a planta *in locus*, pois além do aspecto fitorremediador a mesma pode contribuir para uma melhoria da qualidade do entorno.

**Palavras-chave:** fitorremediação, Águas residuárias, *Spathiphyllum wallisii*.

## ABSTRACT

Water is considered a Human Right for both consumption and sanitation. The importance of its management is evidenced by the objective of sustainable development n. 6., of the United Nations Organization. In order to verify the phytoremediation potential of the plant used in *Spathiphyllum wallisii*. landscaping, water samples were collected at Contos Stream, a spring located within the municipality of Ouro Preto - MG, which receives domestic effluents. In the period between May and June 2018, two sampling campaigns were carried out and the samples of water collected at three points of Contos Stream passed through the phytoremediation procedure using *Spathiphyllum wallisii*. and its phytoremediation potential evaluated by physicochemical parameters: pH, turbidity, nitrite, nitrate, phosphates, chlorides, biochemical oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD). The Protocol for the Rapid Assessment of Habitat Diversity in Watershed Areas has also been applied, which addresses certain variables related to the environmental degradation of the region and the general situation of the points of application. The results obtained were: pH values ranging from 6.53 to 7.19; the highest turbidity obtained was 24.50 NTU; for nitrate and nitrite the average concentrations were below their limits specified by CONAMA 357/2005 (10.0 mg / L and 1.0 mg / L, respectively); the maximum value obtained for chlorides was 31.83 mg / L; the highest mean phosphate concentration was 2.06 mg / L. The COD / BOD ratio was below 2.5, which means that a biological treatment has a high chance of success. The study showed that the plant *Spathiphyllum wallisii*. presents a potential for phytoremediation and suggests that the work be continued using the plant in loccu, because in addition to the phytoremediative aspect it can contribute to an improvement of the quality of the environment.

Keywords: phytoremediation, wastewater, *Spathiphyllum wallisii*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: <i>Spathiphyllum wallisii</i> , com detalhes de folhas e flores .....	23
Figura 2: Preparo das exsicatas.....	23
Figura 3: <i>Spathiphyllum wallisii</i> .....	24
Figura 4: Localização do Córrego dos Contos no município de Ouro Preto – MG .....	25
Figura 5: Parque Horto dos Contos em Ouro Preto-MG.....	26
Figura 6: Primeiro ponto de coleta.....	26
Figura 7: Segundo ponto de coleta.....	27
Figura 8: Terceiro ponto de coleta .....	27
Figura 9: Curva padrão obtida para DQO no espectrofotômetro.....	40
Figura 10: <i>S. wallisii</i> com água coletada na primeira amostragem, em tempo de 0 a 17 dias .....	41
Figura 11: <i>S. wallisii</i> com água coletada na segunda amostragem, em tempo de 0 a 9 dias .....	42
Figura 12: Raízes da <i>S. wallisii</i> dos pontos de coleta 1, 2, 3, da esquerda para direita, com água da primeira amostragem no tempo de 10 dias .....	43
Figura 13: Flores da <i>S. wallisii</i> no tempo de 17 e 33 dias, equivalentes aos últimos dias com água coletada na primeira e segunda amostragem, respectivamente.....	44
Figura 14: Aspecto da água no segundo ponto de amostragem.....	50
Figura 15: Despejo de efluentes domésticos (15a-direita) no terceiro ponto de coleta ocorrido na segunda amostragem (15b-esquerda) .....	53
Figura 16: Relação entre DQO/DBO .....	60

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 : Valores médios de pH, em duas amostragens.....	45
Gráfico 2: Valores médios de turbidez em UNT .....	46
Gráfico 3: Valores de Nitrogênio de nitrato (mg/L). .....	47
Gráfico 4: Valores de Nitrogênio de nitrito (mg/L). .....	48
Gráfico 5 : Valores médios de Cloretos, em ambas as campanhas (mg/L). .....	52
Gráfico 6: Valores médios de Fosfatos em ambas as campanhas (mg/L). .....	54
Gráfico 7: Valores de DQO em mg/L de Oxigênio. ....	56
Gráfico 8: Valores Médios de Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L de O <sub>2</sub> ). .....	58

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em trechos de bacias hidrográficas, modificado do protocolo da Agência de Proteção Ambiental (U.S. EPA, 1987). .....	28
Quadro 2 - Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em trechos de bacias hidrográficas, modificado do protocolo de Hannaford et al. (1997*), sendo 5 pontos situação natural; 3, 2 e 0 pontos situações leve ou rigorosamente alteradas .....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Protocolo de Trecho de Bacia – Córrego dos Contos.....	38
Tabela 2: Tabela 2: Eficiência de Remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) .....	57
Tabela 3: Eficiência de Remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	59
Tabela 4: Relação DQO/DBO .....	61

## LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
ABNT	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
AOB	Bactérias Oxidadoras de Amônio
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho de Política Ambiental
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	Agência Americana de Proteção Ambiental
IGA	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IQA	Índice De Qualidade Das Águas
LaQua	Laboratório de Qualidade de Águas
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira
NOB	Bactérias Oxidadoras de Nitrito
pH	Potencial Hidrogeniônico
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UT	Unidade de Turbidez
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas

## SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO.....	1
2- OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo Geral.....	3
2.2 Objetivos Específicos .....	3
3- REVISÃO DA LITERATURA .....	4
3.1. Qualidade de água de rios .....	4
3.1.2 Parâmetros físico-químicos .....	5
3.1.2.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	6
3.1.2.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	6
3.1.2.3 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	7
3.1.2.4 Turbidez.....	7
3.1.2.5 Nitrogênio .....	8
3.1.2.6 Fósforo.....	8
3.1.2.7 Cloretos.....	9
3.1.3. Principais Parâmetros Biológicos .....	9
3.1.3.1. Coliformes.....	10
3.1.3.2. Algas.....	10
3.1.3.3. Organismos Bentônicos .....	11
3.2. Poluição .....	12
3.2.1. Conceito e termos afins.....	12
3.2.2. Eutrofização .....	13
3.3 Biorremediação: conceito e exemplos .....	13
3.3.1 Fitorremediação .....	18
3.3.2 Técnicas de fitorremediação .....	19
3.3.3. Principais classes de plantas usadas na fitorremediação .....	20
3.4 <i>Spathiphyllum wallisii</i> .....	22
4- METODOLOGIA.....	25
4.1. Universo do Estudo .....	25
4.2. Protocolo de avaliação do ambiente .....	28
4.3. Caracterização físico-química .....	30
4.3.1. Coleta e análises.....	30
4.4 Materiais e Métodos .....	31
4.4.1 Materiais, reagentes e soluções.....	31
4.4.2. Equipamentos.....	32
4.4.3. Metodologia.....	33

5- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1. Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats.....	37
5.2. Validação da metodologia aplicada para Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	39
5.3. Desenvolvimento da <i>Spathiphyllum wallisii</i> .....	40
5.4. Resultados comparativos dos parâmetros químicos de Qualidade da Água, antes e após o processo de fitorremediação por <i>Spathiphyllum wallisii</i> .....	45
5.4.1. Potencial Hidrogeniônico (pH).....	45
5.4.2. Turbidez.....	46
5.4.3. Nitrogênios de Nitrato e Nitrito.....	47
5.4.4. Cloretos.....	52
5.4.5. Fosfatos.....	54
5.4.6. Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	56
5.4.7. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	58
5.4.8. Relação DQO/DBO.....	60
6- CONCLUSÕES .....	62
REFERÊNCIAS .....	63
APÊNDICES .....	71

## 1- INTRODUÇÃO

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), o desenvolvimento sustentável possui 17 objetivos que visam melhorias da qualidade de vida no planeta. Dentre eles, cabe destacar o objetivo 6 que buscam: Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, vem justificar a importância do estudo realizado nesse trabalho, visto que estamos inseridos em uma cidade patrimônio Mundial da Humanidade (ONU/ Brasil, 2017).

No caso do município de Ouro Preto, a carência de um planejamento urbano adequado, de políticas de gestão e de estação de tratamento do esgoto faz com que o lançamento de efluentes sem tratamento seja realizado diretamente nos rios e córregos, tornando-os poluídos. Um exemplo disso é o Córrego dos Contos, localizado no Centro Histórico de Ouro Preto-MG. O Córrego situa-se dentro do Parque Vale dos Contos, local que já foi Horto Botânico de Vila Rica, em que foi idealizado pela Corte Portuguesa para a aclimação de plantas, inaugurado em 1779 (Portal Prefeitura de Ouro Preto, 2018). A sua nascente está próxima da região da antiga Casa de Misericórdia de Ouro Preto, localizada no centro de Ouro Preto. Em determinados pontos, possui algumas particularidades, como mudança na cor e odor marcante, intervindo na qualidade de vida da população ouropretana. O lançamento do esgoto é observado em toda a sua extensão. Nesse contexto, os recursos hídricos tornam-se impróprios para o consumo humano e até mesmo para várias atividades, além de sujeitar a população ao risco de doenças transmitidas pela água.

A fitorremediação destas águas pode ser realizada através de numerosas técnicas que compreendem métodos físicos e/ou químicos de altos investimentos. Como uma opção viável para minimizar esse problema, propõe-se o tratamento biológico de fitorremediação, metodologia de tratamento de águas mais naturais, de simples execução e valor acessível.

Entende-se por fitorremediação como a utilização de plantas capazes de absorver e degradar contaminantes da água. O motivo para sua absorção se resume na necessidade de absorver determinados componentes que são micronutrientes essenciais para o desenvolvimento e funcionamento das mesmas (TAVARES, 2009).

Considerando a importância do Córrego dos Contos para o meio urbano, visto que o mesmo atravessa o Parque Horto dos Contos, verificou-se o emprego da planta de paisagismo *Spathiphyllum walisii*. em biorremediação. Amostras da água do Córrego foram coletadas, analisadas e armazenadas na presença de mudas dessa planta, por sete dias, em condições naturais, ou seja, ao ar livre e a sombra. Quando se reavaliaram os parâmetros de qualidade da água: pH, Turbidez, Cloretos, Nitrito, Nitrato, DBO e DQO.

No final dos sete dias observaram-se significativas modificações na qualidade da água, e um crescimento das mudas, com presença de novas folhas e floração.

Este trabalho, a nível laboratorial, permitiu verificar que o *Spathiphyllum walisii*. pode contribuir para uma melhoria da qualidade da água do córrego dos contos além de fornecer um bom cenário estético, devido as suas florações. No entanto, isso só será possível se as autoridades sanitárias eliminassem o lançamento de dejetos diretamente nesse corpo hídrico.

## 2- OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Verificar o emprego do *Spathiphyllum wallisii*. em fitoremediação de águas poluídas por esgotos.

### 2.2 Objetivos Específicos

- I. Reconhecer o local e detectar pontos críticos.
- II. Coletar amostras de água, analisar os seguintes parâmetros: pH, turbidez, nitrogênios de nitrito e nitrato, fósforo, cloretos, DBO, DQO para se ter o diagnóstico da Qualidade da Água.
- III. Verificar a capacidade fitoremediadora de *Spathiphyllum wallisii* planta usada em decoração paisagística.
- IV. Reavaliar os mesmos parâmetros, após um período de sete dias, após a inserção de mudas de *Spathiphyllum wallisii* nas amostras coletadas.
- V. Avaliar a eficiência do *Spathiphyllum wallisii* como planta fitorremediadora.
- VI. Realizar o Diagnóstico Observacional.

### **3- REVISÃO DA LITERATURA**

#### **3.1. Qualidade de água de rios**

A água é o recurso natural de grande relevância, uma vez que é necessária a todos os seres vivos, assim como para a maioria dos meios de produção. Sua disponibilidade indica que ela deverá estar presente não só em quantidade, mas também que sua qualidade seja apropriada para prover as necessidades de todo indivíduo. O uso da água pelo homem para qualquer fim ocasiona a deterioração da sua qualidade, restringindo seu potencial de uso (MEYBECK et al, 1996).

A conservação das bacias hidrográficas passou a ser uma atitude imprescindível na atualidade, tendo em vista o intenso consumo dos recursos hídricos. Seguindo este contexto, é importante criar e executar uma política de gestão das águas que inclua itens essenciais, como planejamento, coleta, armazenamento de materiais e informações a respeito dos cursos d'água e monitoramento constante em diversos pontos em seu percurso, para ampliar o controle da qualidade da água.

Segundo Araújo e Santaella (2003), qualidade da água condiz no termo empregado para expressar a adequabilidade desta para os mais variados fins: abastecimento doméstico, uso industrial e agrícola, para recreação, dessedentação animal, aquicultura, piscicultura, dentre outros.

Quando se refere à qualidade da água, esta expressão representa um padrão mais equivalente ao natural, como a água se encontra nas nascentes e rios antes de ter contato com seres humanos. Este termo é apresentado na legislação brasileira referente à classificação de corpos d'água e diretrizes ambientais a respeito do enquadramento dos mesmos, pela Resolução CONAMA 357/2005. Esta aborda as condições de qualidade de água para que assim possam ser analisadas as águas doces, salobras e salinas avaliando as condições e padrões específicos para certificar-se de seus principais usos. A Resolução CONAMA 357/2005 também apresenta os parâmetros de qualidade de águas, assim como os limites estabelecidos para enquadrar os cursos d'água em classes variadas (BRASIL, 2005).

Neste contexto, em Minas Gerais, a Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG n° 01, de 05/05/2008, estabelece as diretrizes ambientais para o enquadramento de corpos d'água de modo qualitativo e quantitativo, além de estabelecer as condições e padrões de lançamento de efluentes.

De acordo com essa Deliberação Normativa, a divisão em categorias das águas doces torna-se um ponto essencial à afirmação do nível de qualidade determinado, sendo esta analisada por meio de padrões específicos e demais condições. Com isso, é possível certificar os principais usos ao corpo d'água, assim como aferir a qualidade ambiental demandada para o mesmo.

Outro modo de observar e estudar a qualidade da água é por meio do Índice de Qualidade das Águas - IQA. Segundo Sperling (2007), o IQA é índice único, global, que retrata a qualidade das águas em certo ponto de monitoramento. Os índices podem ser interpretados como “notas” ou classificações, as quais retratam condições dadas como “muito ruim” a “excelente”.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), a elaboração deste índice surgiu para avaliar a qualidade da água bruta tendo em vista o seu uso para o abastecimento público, após a realização do devido tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos. Tal índice retrata a resultante de nove parâmetros biológicos e físico-químicos, como oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, DBO, nitrato, fosfato, temperatura, turbidez, sólidos totais. Mas, o IQA é ainda discutido, pois não engloba parâmetros importantes como: metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos, protozoários patogênicos e demais substâncias que possuem a capacidade de interferir nas propriedades organolépticas da água (Portal da Qualidade das Águas, ANA, 2018).

### **3.1.2 Parâmetros físico-químicos**

Os parâmetros físico-químicos, utilizados para acompanhamento da condição e controle da qualidade do corpo d'água, de maior relevância para análise e avaliação da qualidade da água de rios são: DBO, DQO, pH, turbidez, nitrogênio, fósforo e cloretos.

### **3.1.2.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um dos indicadores mais importantes que determinam a quantidade de oxigênio necessária para que a matéria orgânica seja degradada. A DBO equivale à quantidade de oxigênio utilizada por uma população de microrganismos no processo de oxidação aeróbia da matéria orgânica presente na amostra coletada (RIBEIRO, 2010).

A partir do teste da DBO determina-se a concentração de oxigênio dissolvido (OD) da amostra no dia da coleta. Cinco dias após a amostra ser mantida em um frasco fechado e incubada a 20°C, determina-se a nova concentração de OD, já reduzida, devido ao consumo de oxigênio por microrganismos, durante o período de incubação (SPERLING, 2005).

### **3.1.2.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

A Demanda Química de Oxigênio é uma variável indicadora da quantidade de oxigênio molecular necessária à estabilização da matéria orgânica, porém quimicamente. Na realização do teste de DQO, além de degradar a matéria orgânica biodegradável, também é oxidada a matéria orgânica não biodegradável e outros componentes inorgânicos como sulfetos. Usado também para quantificar a matéria orgânica, principalmente em contato com substâncias tóxicas (CETESB, 2013).

O teste de DQO equivale à oxidação química da matéria orgânica, obtida através de um oxidante forte, o dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) em meio ácido, em elevada temperatura. Durante a determinação de DQO, a matéria orgânica é convertida a  $CO_2$  e  $H_2O$ . Compostos orgânicos como ácidos graxos de baixo peso molecular não são oxidados pelo oxidante citado anteriormente, sendo isto possível apenas com o uso de um catalisador, por exemplo, o sulfato de prata ( $Ag_2SO_4$ ) (UFAL, 2008).

### **3.1.2.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)**

Segundo Sperling, (2005, p.30) o termo parâmetro pH “Representa a concentração de íons hidrogênio  $H^+$  (em escala antilogarítma), dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água”. É importante em inúmeras etapas para o tratamento de água; quando se encontram valores de pH distante do neutro, isto pode prejudicar seres vivos aquáticos.

O pH é uma medida que determina se a água é ácida ou alcalina. O valor deste parâmetro influi na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos; contribui para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e define o potencial de toxicidade de vários elementos. As alterações de pH podem ter origem natural (dissolução de rochas, fotossíntese) ou antropogênica (despejos domésticos e industriais) (GASPAROTTO, 2011).

### **3.1.2.4 Turbidez**

A turbidez representa o grau de interferência que um feixe de luz sofre quando passa pela água. Essa intervenção ocorre devido à absorção da luz e sua dispersão relacionada com sólidos em suspensão (SPERLING, 2005).

A origem principal da turbidez é a erosão de solos, que devido às chuvas carregam os sedimentos para os cursos d’água. O aumento da turbidez ocasiona o aumento do uso da quantidade de produtos químicos em tratamento de água (Agência Nacional de Águas, 2004).

Para Calijuri e Cunha (2013, p. 412), a turbidez “é uma medida do material particulado presente na água. Ela afeta a escolha dos métodos de clarificação e pode definir se há ou não necessidade de pré-tratamento da água a montante de outros processos”.

Em corpos d’água, a turbidez pode reduzir a penetração de luz no meio e conseqüentemente a fotossíntese de algas e plantas aquáticas. Sua unidade de medida é

a Unidade de Turbidez (UT ou NTU), sendo esta determinada utilizando um aparelho nomeado de turbidímetro.

### **3.1.2.5 Nitrogênio**

O nitrogênio é um elemento indicador de presença de poluentes orgânicos no curso d'água. Assim como a sua alta concentração pode estimular o crescimento excessivo de algas em lagos, ocasionando a eutrofização.

De acordo com BRAGA et al., (2010, p. 101) “o nitrogênio, por seguir um ciclo que o conduz à mineralização total sob a forma de nitritos, permite avaliar o grau e a distância de uma poluição pela quantidade e forma de apresentação dos derivados nitrogenados”.

Além disto, pode-se encontrar o nitrogênio em forma de nitrato, o qual pode existir na atmosfera ou como gás dissolvido na água. Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency-USEPA-Terms of Environment, 2008), pode causar efeitos nocivos em humanos e animais, além de estar presente em diversos ambientes, tais como lixões, sistemas sépticos, insumos agrícolas, esterco, águas residuais industriais. Este composto, em excesso na água de consumo, pode causar uma doença chamada metemoglobina infantil, mais conhecida como a doença do bebê azul.

### **3.1.2.6 Fósforo**

O fósforo é um elemento importante, uma vez que é um nutriente essencial para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica e também um nutriente para o crescimento das algas, podendo então, em certas condições, conduzir a fenômenos de eutrofização de lagos e represas (MACEDO, 2001).

Este elemento ocorre em pequena concentração em águas naturais e em efluentes geralmente na forma de fosfatos (ortofosfatos, pirofosfatos, etc.). As formas podem estar solúveis ou em partículas em corpos de seres aquáticos. Nos ecossistemas

aquáticos, o fósforo é geralmente o nutriente que controla o crescimento das plantas, e, portanto, a poluição das águas naturais por esse elemento é considerada causa primária da eutrofização.

### **3.1.2.7 Cloretos**

Cloreto é um ânion inorgânico identificado por  $\text{Cl}^-$ , o qual está presente em significativas quantidades em águas subterrâneas e efluentes. São advindos da dissolução de sais, como cloreto de sódio. De acordo com Sperling (2005), seu constituinte principal são os sólidos dissolvidos, sua procedência natural é decorrente de intrusão salina e sua origem antropogênica é de despejos domésticos e industriais.

É utilizado como um importante indicador da poluição das águas, uma vez que diversos efluentes apresentam concentrações elevadas de cloretos, tais como indústria do petróleo, farmacêutica, curtumes, dentre outras. A sua determinação analítica se dá por meio de titulometria com nitrato de prata, sendo o seu padrão de aceitação para consumo humano menor ou igual a 250 mg/L, conforme padrão de potabilidade da Normativa 5, Ministério da Saúde nº 2914/2011 para água potável (BRASIL, 2011).

### **3.1.3. Principais Parâmetros Biológicos**

Ao abordar parâmetros biológicos, é fundamental a relação dos microrganismos vivos com os processos interligados à matéria orgânica e sua degradação. Se tratando de propriedades biológicas da água, também é válido reforçar a possibilidade de transmissão de doenças por meio destes. Neste contexto, são introduzidos os grupos de seres vivos interligados às características da água, assim como sua qualidade, os mesmos são considerados bioindicadores.

### 3.1.3.1. Coliformes

Dentre os microrganismos presentes na água, têm-se os indicadores de contaminação fecal e os patogênicos. O primeiro grupo é formado predominantemente por aqueles não patogênicos, sinalizando a contaminação por fezes humanas e de animais, além de mostrar a potencialização de adquirir doenças. O grupo Coliforme representa bactérias de vida livre, as quais se encontram em quantidades expressivas nas fezes humanas e de animais de sangue quente. Por dia cada pessoa elimina em torno de  $10^{10}$  a  $10^{12}$  células, o que consiste entre 1/3 a 1/5 do peso das fezes humanas. (BRANCO E ROCHA,1979).

Os Coliformes englobam os Coliformes Totais e os Coliformes Fecais – termotolerantes. Os Coliformes Totais representam aqueles microrganismos vivos que têm sido isolados de amostras de águas e solos poluídos e não poluídos. Entretanto, existe um problema ligado aos Coliformes Totais, uma vez que as bactérias não fecais se enquadram neste grupo. Já os Coliformes Fecais ou Termotolerantes constituem as bactérias encontradas no trato intestinal de humanos e animais de sangue quente. A *Escherichia coli* é uma bactéria pertencente a este grupo (SPERLING, 2005). Caso ela seja detectada em análise laboratorial, está confirmada a contaminação por fezes da amostra coletada. A sua importância reside no fato de parasitas, por exemplo, protozoários e helmintos podem liberar cistos, oocistos e ovos pelas fezes e contaminar outras pessoas, em um ciclo fecal-oral.

### 3.1.3.2. Algas

As algas são seres vivos autotróficos, o que significa que produzem a sua própria energia necessária para a sua sobrevivência, para realizar seu metabolismo por meio de processos como fotossíntese, por exemplo. As algas podem ser unicelulares e multicelulares, sendo as primeiras essenciais na cooperação da produtividade do plâncton, seja em água doce ou em oceanos e mares. As algas são muito importantes por serem responsáveis por parte da fotossíntese realizada no planeta, produzindo oxigênio.

Elas também amparam no desenvolvimento de recifes de corais, como também podem ser utilizadas na alimentação humana (RAVEN e EVERT, 1996).

A ligação destes seres vivos com a qualidade da água está atrelada ao conceito de eutrofização, o qual consiste no crescimento excessivo de plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, em níveis que sejam considerados como causadores de interferências com os usos desejáveis do copo d'água em questão (SPERLING, 2005).

O florescimento algal decorrente do aumento da concentração de nutrientes no manancial pode ter os seguintes efeitos diretos na qualidade da água (DI BERNARDO, 2002):

- Aumento da matéria orgânica particulada (fitoplâncton, zooplâncton, bactérias, protozoários, fungos e detritos);
- Aumento de substâncias orgânicas dissolvidas que podem conferir sabor e odor à água, ser precursores da formação de compostos organoclorados, produzir ou aumentar a cor, servir de substrato para o crescimento de bactérias na estação de tratamento e no sistema de distribuição e contribuir para o aumento da corrosão;
- Aumento do pH e das suas flutuações diárias;
- Diminuição do teor de oxigênio próximo ao sedimento podendo ocorrer a liberação de sulfeto de hidrogênio (toxicidade), amônia, ferro, manganês, fósforo, etc. Pode ocorrer a anaerobiose no manancial provocando a mortandade de peixes (DI BERNARDO, 2002).

### **3.1.3.3. Organismos Bentônicos**

Os organismos bentônicos são considerados aqueles que vivem no fundo ou substrato sejam para fixar-se nele, para perfurar ou caminhar sobre a superfície. Este grupo de seres vivos é composto por macroalgas, microalgas, e plantas aquáticas (fitobentos); animais e protistas (zoobentos) (RAVEN e EVERT, 1996).

A avaliação biológica da qualidade da água deverá se transfigurar em um procedimento fundamental voltado para o manejo e o amparo dos ecossistemas aquáticos, uma vez que apenas estes métodos biológicos poderão assegurar se a integridade desses ecossistemas está sendo mantida. A partir disso Embrapa (2008) aborda:

O conhecimento de que diferentes organismos apresentam maior ou menor sensibilidade a determinados poluentes é a base para a utilização da biota como indicadora biológica de qualidade da água. Neste sentido, os

macroinvertebrados bentônicos são amplamente reconhecidos como bioindicadores de qualidade da água e do sedimento, respondendo a diversos poluentes e fatores de estresse ambiental no meio aquático (EMBRAPA, 2008, p.7).

A importância destes organismos vivos ocorre devido ao fato de que os organismos bentônicos são utilizados como indicadores em estudos de poluição marinha, pois acumulam substâncias tóxicas em seus tecidos.

## 3.2. Poluição

### 3.2.1. Conceito e termos afins

A crescente contaminação dos recursos hídricos é causada por diversas fontes, dentre as quais se destacam os efluentes domésticos e industriais e a carga difusa urbana e agrícola vem comprometendo o uso desses recursos para os seus diversos fins. Cada uma dessas fontes possui características próprias quanto aos poluentes. A poluição das águas por efluentes domésticos e industriais é uma das maiores causas da redução na qualidade da água, aumentando os custos de tratamento para consumo humano (FIGUEIRÊDO, 2008). A legislação brasileira aborda em sua Política Nacional de Meio Ambiente, Lei Federal 6938/81, o conceito de poluição e outra variação deste termo.

**Poluição:** a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (FIGUEIRÊDO, 2008).

**Degradação da qualidade ambiental:** de acordo com a lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981 que institui a Política Nacional de Meio Ambiente, artigo 3, inciso II, “a alteração adversa das características do meio ambiente”. Esta não evidencia se quem causa a degradação é o próprio homem, um efeito da realização de suas atividades ou

um fenômeno natural. Este conceito aborda claramente que a degradação ambiental caracteriza-se como um impacto ambiental negativo (SÁNCHEZ, 2008, p. 27).

### **3.2.2. Eutrofização**

O lançamento de efluentes domésticos implica no aumento da concentração de elementos como nitrogênio e fósforo. Tais compostos são considerados nutrientes para organismos vivos presentes em corpos d'água, como plantas aquáticas. A eutrofização consiste no crescimento excessivo de plantas aquáticas de modo que este fato pode desencadear interferências com os usos desejáveis do corpo d'água (SPERLING, 2005). Esta pode desencadear diversos problemas na água, assim como: exagerado crescimento da vegetação, odores mal cheirosos, perturbações com insetos, morte de organismos vivos.

Este último problema está relacionado à ocorrência de algas que produzem toxinas, tais como as cianofíceas. Desta forma, alguns seres vivos sofrem consequências disto, como os peixes e até mesmo aves e mamíferos, quando estes utilizam a água em que tais algas se proliferam. As toxinas produzidas podem causar danos hepáticos e bloqueio neuromuscular (BROOKE et al., 2008).

### **3.3 Biorremediação: conceito e exemplos**

O termo remediação consiste em abolir a contaminação por meio de uma atividade de custo aceitável, de modo que pondere os impactos ambientais, econômicos, sociais e culturais na retirada, neutralização ou diminuição dos níveis de contaminantes, sem que esta prática perturbe o modo de vida de organismos vivos. A biorremediação é baseada em um processo tecnológico de remoção da poluição e restauração da qualidade ambiental através da degradação dos poluentes utilizando organismos, tais como plantas, bactérias e fungos (SPÓSITO, 2004).

As técnicas de biorremediação segundo o seu tipo de tratamento são denominadas das seguintes formas: *in situ*, cujo processo de biodegradação ocorre no local contaminado, e *ex situ*, quando o material em questão é removido e levado até a unidade de tratamento. É de suma importância considerar os poluentes, o custo dos processos e a concentração final do contaminante, no término do tratamento, como admissível para o tipo de resíduo e para o uso futuro da área (MANCERA-LÓPEZ et al., 2007).

Dentre os processos de biorremediação *in situ*, podem-se citar a biorremediação passiva ou intrínseca; a bioestimulação; a bioventilação; a bioaugmentação; e o air sparging. (CARNEIRO. D.A e GARIGLIO. L.P, 2010).

A biorremediação passiva consiste em um procedimento natural de enfraquecimento de um determinado contaminante, preferencialmente orgânico, de modo que não existam alterações no ambiente em questão (por exemplo, aumento da disponibilidade de nutrientes no local). Trata-se de uma técnica exclusivamente natural, por isso, este pode ser considerado o método mais lento de biorremediação. Com isto, torna-se imprescindível o acompanhamento/monitoramento da região, assim como o uso em parceria de outros processos de remediação na colaboração de obtenção de resultados mais significativos (CARNEIRO. D.A e GARIGLIO. L.P., 2010).

O seguinte trabalho “Acompanhamento do Processo de Atenuação Natural de Solo Contaminado por Petróleo”, realizado por BAPTISTA P. A. e RIZZO A. C. L. (2005), aborda a simulação de um processo natural de atenuação de solo nordestino, contaminado artificialmente por petróleo 5% p/p. A finalidade do trabalho era observar o processo de remediação natural do contaminante no solo seguido de comparação com resultados dos processos realizados em biopilhas, contribuindo para uma aceleração desta metodologia (RIZZO A. C. L., 2005).

A bioestimulação se baseia em uma ideia oposta à última técnica apresentada. Esta se fundamenta no acréscimo de elementos, tais como nutrientes, tanto orgânicos como inorgânicos, para que os microrganismos tenham suas atividades estimuladas. Alguns destes nutrientes já se encontram no ambiente: nitrogênio, carbono, fósforo. Para que o processo de bioestimulação possa ser utilizado, deve-se analisar primeiramente a região contaminada a fim de verificar a presença de uma população

natural de microrganismos capazes de degradar o contaminante presente (MARIANO, 2006).

Gaylard et al (2005) afirmam que esta técnica de biorremediação apresenta um acréscimo significativo (de 5 a 10 vezes) quando se trata da taxa de degradação do composto contaminante. Ao final de um determinado tempo, não existem garantias a respeito disto, sendo que o equilíbrio é alcançado nestas taxas de degradação.

O trabalho “Aplicação do modelo SCBR no gerenciamento de áreas contaminadas: Análise de funcionalidade "áreas reativas" para simulação de tecnologias de bioestimulação”, realizado por KERN, P. (2016), relata a avaliação da funcionalidade conhecida por “áreas reativas” em modelo Solução Corretiva Baseada no Risco (SCBR) para a simulação de bioestimulação, baseia-se em um experimento de campo, o qual se empregou a bioestimulação ativa com nitrato em áreas contaminadas por gasolina. As áreas reativas são aquelas regiões que apresentam propriedades diferenciadas dentro do coeficiente de biodegradação. No estudo em questão, as dimensões da área reativa foram escolhidas em função dos resultados do experimento de campo. No cenário aparente, uma única área reativa foi elaborada utilizando dois coeficientes de biodegradação, em função da dinâmica de degradação biológica do etanol e benzeno com o passar do tempo neste procedimento (KERN, P. 2016).

O mecanismo conhecido como bioventilação ou bioaeração é definido pela introdução de oxigênio no ambiente contaminado, em sua maioria o solo, com a finalidade de promover o desenvolvimento de organismos naturais ali presentes. A disposição e acesso ao oxigênio molecular estimulam ainda mais o processo de deterioração de contaminantes (MARIANO, 2006).

Quando o composto é degradável em meio aeróbio, pode-se afirmar que a bioventilação é potencializada. A minimização da extração de vapores, o uso de equipamentos de fácil instalação e aquisição, a atuação em ambientes com acesso dificultado e impacto reduzido em regiões contaminadas constituem as principais vantagens desta tecnologia de biorremediação (CETESB, 2010).

Para que este mecanismo alcance seu objetivo, é imprescindível que o ar adicionado alcance todas as camadas de solo de modo que não sejam alteradas as

condições aeróbias. Acrescenta-se também o fato de que a presença relevante da população de microrganismos degradantes é essencial para um bom desempenho das taxas de degradação (FEDERAL REMEDIATION TECHNOLOGIES ROUNDTABLE, 2010).

Um exemplo de aplicação deste tipo de biorremediação é discutido no trabalho “Bioventilação para tratar derramamentos de combustível de tanques de armazenamento subterrâneo”, escrito por KAMPBELL, D. H., e WILSON, J. T. (1991). O artigo relata que a bioventilação foi o procedimento selecionado para remover o gás do solo de hidrocarbonetos combustíveis voláteis provenientes de vazamentos de tanques de armazenamento. É abordada a importância da taxa de degradação de vapor como um parâmetro de controle no projeto de um sistema de bioventilação. A metodologia aplicada foi um procedimento de microcosmo de laboratório usando solo arenoso de um local de derramamento de gasolina de aviação, com o intuito de medir a cinética relativa de determinados vapores de combustível (KAMPBELL, D. H., e WILSON, J. T., 1991).

A introdução de microrganismos específicos, selecionados para atuar em certo local contaminado compreende mais um método de biorremediação, conhecido como bioaugmentação. Aqueles escolhidos especificamente, assim como outros modificados geneticamente, tem a capacidade de metabolizar determinados poluentes (TORTORA et al., 2005). Este mecanismo é utilizado com maior recorrência em ambientes que apresentam quantidades menores de microrganismos degradantes para o(s) contaminante(s).

O seguinte artigo “Bioaugmentação para degradação de efluentes do processamento da castanha de caju”, feito por Jerônimo et. al (2012) é uma aplicação deste método. O trabalho em questão aborda a avaliação da viabilidade técnica do emprego de cepas de microrganismos no tratamento de efluentes industriais (bioaugmentação). A amostra utilizada era efluente do processamento de castanha de caju, tendo por suas características oleosidade e complexa biodegradação. Logo, a remediação deste composto tornou-se um desafio tendo em vista as condições operacionais (necessária adequação de relação substrato e matéria). Entretanto, uma das técnicas usadas, com agitação, foi demonstrada como a mais viável (JERÔNIMO et. al, 2012).

O último procedimento de biorremediação *in situ* se chama Air Sparging. Consiste na volatilização, em que o vapor atua como uma pressão sobre o contaminante, levando-o do solo à atmosfera, onde será tratado (FERNANDES e ALCÂNTARA, 2004). Esta técnica também é utilizada para descontaminação de aquíferos. O ar introduzido na zona saturada ascende por meio de águas subterrâneas, transferindo-os para a zona não saturada do subsolo. Nesta região os vapores serão removidos e posteriormente tratados.

Para assegurar um melhor desempenho, é necessário analisar alguns tópicos, como: pH, oxigênio dissolvido, características do aquífero, a biodegradabilidade do composto contaminante e presença de microrganismos no ambiente.

Dentre os processos de biorremediação *ex situ*, podem-se citar o landfarming, a compostagem e os biorreatores.

O tratamento de solo conhecido como landfarming compreende em homogeneizar, misturar o solo contaminado juntamente com solo limpo repleto de substâncias, tais como nutrientes que auxiliarão no desenvolvimento de organismos capazes de degradar o poluente ali presente. Para realizar este método, é importante estar atento ao subsolo e ter um cuidado maior com esta parcela do solo. Além disto, é necessário o uso de equipamentos mecânicos para que ocorra a mistura.

No Brasil, existe uma norma técnica da ABNT que trata a respeito desta técnica especificamente, a NBR 13984 (1997), a qual apresenta detalhes do processo e de sua operação.

O processo biológico de compostagem consiste na decomposição e reciclagem da matéria orgânica presente em restos de origem animal e vegetal. Este procedimento apresenta como um resultado final a formação de um composto orgânico, um produto que pode ser utilizado no solo, aprimorando suas características e condições locais (MMA, 2014).

Trata-se de uma bioxidação aeróbia de compostos orgânicos, e seu procedimento é caracterizado pela liberação de gás carbônico, água, substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável (composto orgânico citado acima). Por ser um método

biológico, alguns fatores podem comprometer a degradação da matéria orgânica, como: temperatura, umidade, aeração, tamanho das partículas e disposição de nutrientes (FERNANDES e SILVA, 1999).

Biorreatores são equipamentos que tem a capacidade de isolar e controlar a biodegradação de um determinado contaminante dentro de um recipiente ou equipamento. Estes se tornam mais eficientes quando se diz respeito à recuperação de solo e água contaminados por compostos orgânicos e hidrocarbonetos. Durante um longo período de tempo, este procedimento fazia parte do tratamento de efluentes urbanos e industriais. Somente nos últimos dez a quinze anos se intensificaram os estudos para observar a potência destes equipamentos no processo de biorremediação (FEDERAL REMEDIATION TECHNOLOGIES ROUNDTABLE, 2010).

### ***3.3.1 Fitorremediação***

Aliado a concepção de bioremediação, surge a ideia de utilizar seres vivos para remover ou reduzir poluentes do ambiente, como plantas e algas. Esta técnica é denominada fitorremediação, que corresponde a uma das tecnologias de baixo custo para tratamento em cursos d'água e solos contaminados. Essa tecnologia se adapta melhor em ambientes cuja contaminação se caracterize como dispersa e com baixas concentrações de seus poluentes.

“A utilização da fitorremediação é baseada na seletividade, natural ou desenvolvida, que algumas espécies exibem a determinados tipos de compostos ou mecanismos de ação.” (VIEIRA, G.et al, 2011 p.3). Os elementos mais comuns a serem remediados dessa forma são metais (Pb, Hg, Zn, Cu, Ni), compostos inorgânicos ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), resíduos orgânicos e hidrocarbonetos.

A biorremediação é baseada em um processo tecnológico de remoção da poluição e restauração da qualidade ambiental através da degradação dos poluentes utilizando organismos, tais como plantas, bactérias e fungos (SPÓSITO, 2004). As técnicas de biorremediação desenvolvidas ultimamente podem ser classificadas de acordo com o seu tratamento e a sua fase utilizada.

### 3.3.2 *Técnicas de fitorremediação*

Dentre inúmeros tipos de fitorremediação com base em mecanismos fisiológicos de plantas, apresentam-se os de maior relevância: fitoestabilização, fito volatilização, fito degradação, fito estimulação e fito extração.

- Fitoestabilização

Segundo Pilon-Smits (2005), corresponde à utilização de plantas com a finalidade de estabilizar o poluente do solo, de modo a precaver alguma perda por erosão/lixiviação. Com isto, ocorre a precipitação do contaminante e assim a disponibilidade do mesmo se encontra em menor quantidade.

- Fitovolatilização

Consiste no procedimento em que as plantas e organismos associados a elas auxiliam na remoção dos poluentes do ambiente pela sua volatilização. Há o sequestro e remoção do poluente, que passa para a atmosfera através do vapor de água volatilizado. Esta técnica é bastante utilizada em poluentes como compostos inorgânicos, por exemplo, mercúrio e selênio. Entretanto, como os contaminantes vão para a atmosfera, dependendo de seus níveis, estes podem ser analisados como fontes de risco para poluição do ar (LAMBERT, 2012).

- Fitodegradação

Os contaminantes são quebrados ou degradados dentro de células vegetais através de enzimas produzidas pelas próprias plantas. Interligado a esta função, o conceito de fígado verde, ou “Green Liver Concept” relata a capacidade das plantas de se desintoxicarem, fazendo com que as substâncias tóxicas presentes em seus organismos sejam eliminadas. (SANDERMANN, 1994).

Este processo é realizado em quatro etapas. A etapa 1 consiste na ativação de enzimas oxidases por moléculas de substâncias tóxicas. Na etapa 2 tais moléculas são

combinadas com moléculas totalmente polares, como a glicose. Esta tem a habilidade de alterar as características físico-química, diminuindo, por fim, sua toxicidade. A etapa 3 consiste na exportação de tais moléculas combinadas para regiões da planta, como os cloroplastos. A última etapa engloba a degradação e reações de reciclagem, e para alguns compostos ocorre a compartimentação (FERREIRA, T. C. R., 2009).

- Fitoestimulação

Retrata o processo de degradação de poluentes orgânicos por microrganismos que se proliferam na rizosfera, sendo estes estimulados pelas plantas. Este procedimento pode ser observado na promoção de crescimento vegetal por rizóbios em espécies não leguminosas. Pode-se citar como exemplo notório a fitoestimulação na produção de giberilina por rizóbios na cultura do arroz, culminando em um maior crescimento radicular e aumento na produção de grãos (YANNI et al., 2001).

- Fitoextração

Corresponde à absorção de poluentes pelas raízes das plantas (hiperacumuladoras), sendo estes acumulados e/ou transportados em regiões aéreas das plantas. Como aplicação deste processo, tem-se o trabalho Indução da Fitoextração de chumbo por ácido cítrico em solo contaminado por baterias automotivas (Freitas et al., 2015). Esta pesquisa tinha a finalidade de analisar o desempenho do ácido cítrico utilizado em doses crescentes, total e parceladamente, por meio de procedimento de fitoextração do chumbo em solo contaminado por resquícios de baterias automotivas.

### ***3.3.3. Principais classes de plantas usadas na fitorremediação***

O emprego de plantas aquáticas ou macrófitas aquáticas como meio de reduzir a concentração de compostos orgânicos, metais pesados, fosfato e compostos nitrogenados vem sendo discutido em estudos há anos. Em suma, macrófitas aquáticas são espécies de plantas aquáticas de tamanhos maiores; podem exhibir partes do seu organismo emerso ou podem estar completamente submersas. São conhecidas pela sua importância em ecossistemas aquáticos, pois atua no balanço, equilíbrio e nas atividades que envolvem este ambiente (DEMARCO, 2016).

Segundo ESTEVES (1988), as macrófitas apresentam propriedades: acumulam nitrogênio, fósforo e biomassa, funcionam como substrato para outros organismos, como algas, aumenta a frequência do ciclo de nutrientes no ecossistema, também realizam a atividade de fitorremediação e são bioindicadoras.

Avaliada como a primeira pesquisadora nesta área, Seidel (1966) demonstrou que *Scirpuslacustris*, uma macrófita emersa, conseguia absorver quantidades consideráveis de pentaclorofenol e outros compostos orgânicos.

Vardanyan e Ingole (2006) realizaram um estudo no qual abordaram a importância das macrófitas aquáticas a respeito do acúmulo de metais pesados. Nesta pesquisa, 45 macrófitas, pertencentes a oito famílias foram coletadas e estudadas para avaliar concentrações de diferentes metais. Por fim, constatou-se que as macrófitas aquáticas apresentaram um papel fundamental na remoção de diversos metais do ambiente e conseqüentemente, na redução dos efeitos causados pelas altas concentrações desses elementos. Além disso, a proteção e recuperação da comunidade de macrófitas foram citadas como ações prioritárias para manter a qualidade ambiental da área estudada.

Neste contexto, existem diversos exemplos em que as plantas são utilizadas no processo de remediação. Como exemplo, pode-se citar o trabalho realizado por Vendruscolo (2013), intitulado: Seleção de plantas para fitorremediação de solo contaminado com cobre.

Esta dissertação de mestrado apresenta a seleção de plantas de nove genótipos de cobertura de inverno, as quais são consideradas capazes de atuar em atividades de fitoextração e fitoestabilização do cobre em solos de vinhedos da Serra Gaúcha. Elas foram cultivadas em Cambissolo contendo doses de cobre em ordem crescente. Depois de se desenvolverem e florescerem, as plantas foram recolhidas e em seguida foram analisadas as concentrações de Cu, P, K, Ca, Fe, Zn e N na parte aérea e de Cu no sistema radicular, o fator de bioacumulação e o índice de translocação de Cobre, além da produção de massa seca. O estudo, por fim, concluiu que alguns genótipos possuem potencial para atuar em projetos de fitoestabilização do cobre.

### 3.4 *Spathiphyllum wallisii*

Para a realização do processo de fitorremediação deste trabalho, foi utilizada uma planta paisagística, cujo nome popular é lírio-da-paz. Para assegurar o nome da espécie, uma das amostras da planta foi levada até o Herbário Professor José Badini, localizado na Universidade Federal de Ouro Preto.

Um herbário consiste em um lugar para depósito de espécies de vegetais herborizadas. Isto significa que a planta passa por uma estufa, em um procedimento para que esta seja conservada. Após passar por esta etapa, a amostra é guardada juntamente com informações específicas (por exemplo, se é cultivada ou não, em que período do ano foi coletada, etc.) em exsicatas, um modelo de “envelope” em que a espécie é armazenada cuidadosamente. As exsicatas estão protegidas em cofres, os quais formam um acervo em uma sala climatizada com temperatura ideal para que não ocorra a proliferação de fungos e bactérias.

Para que a espécie seja corretamente identificada, pesquisadores especialistas na família da planta entram em contato com o herbário e vice-versa. Para este trabalho, a espécie identificada é da família *Aracae*, e com base nisto, foi procurado o Dr. Marcus A. Nadruz Coelho, do Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Segundo o especialista, a espécie em questão é *Spatiphyllum wallisii* Regel, sendo o último nome equivalente à pessoa que descobriu e nomeou esta planta.

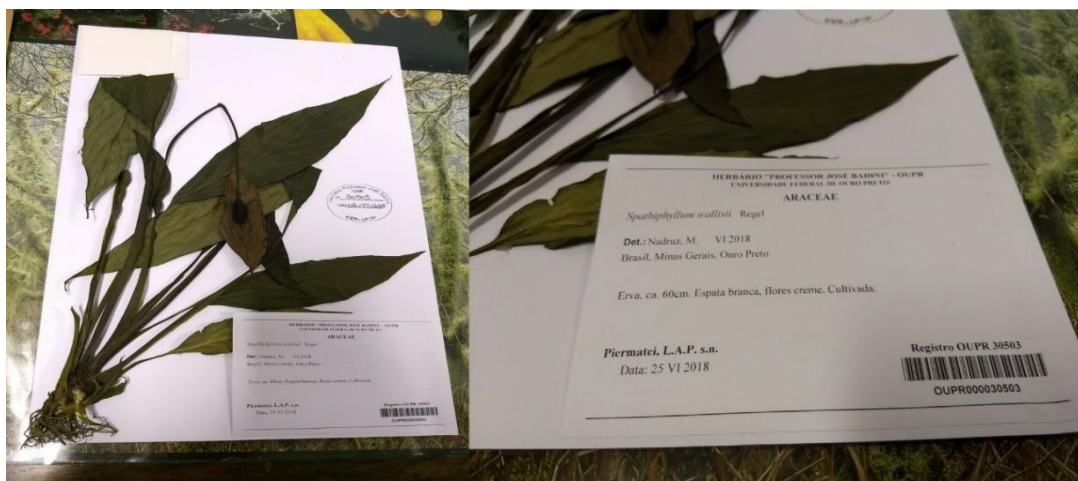
As Figuras 1 e 2 representam o processo em que a planta passou para se obter material testemunho, desde a etapa de antes de ir para estufa, até a preparação da exsicata.

**Figura 1:** *Spathiphyllum wallisii*, com detalhes de folhas e flores.



Fonte: Autoria própria (2018).

**Figura 2:** Preparo das exsicatas.



Fonte: Autoria própria (2018).

A respeito do gênero, *Spathiphyllum* apresenta cerca de 40 espécies de plantas com flores monocotiledóneas, é da família *Araceae*, nativa de regiões tropicais das Américas e também do sudeste da Ásia. Várias espécies deste gênero são populares plantas de interiores. Além disto, é característico deste gênero: purifica, limpa o ar interno de muitos contaminantes ambientais, como benzeno, formaldeído e outros poluentes; vive melhor na sombra e precisa de pouca luz solar para prosperar (KAKOEI e SALEHI, 2013).

Segundo Vilaça (2005), a planta utilizada no trabalho em questão (espécie *Spathiphyllum wallisii*) tem como nome popular lírio-da-paz, bandeira branca ou até

mesmo espatifilo. É herbácea, florífera, ereta, perene. Ela pode ser descrita como uma planta de folhas cor verde escuro de 0,20 m de largura, altura média em torno de 0,40 m, simples. Sua floração ocorre nas estações de primavera/verão e não tolera temperaturas muito baixas. É uma planta de ambientes como jardineiras, canteiros e vasos (Fig. 3).

**Figura 3: *Spathiphyllum wallisii*.**



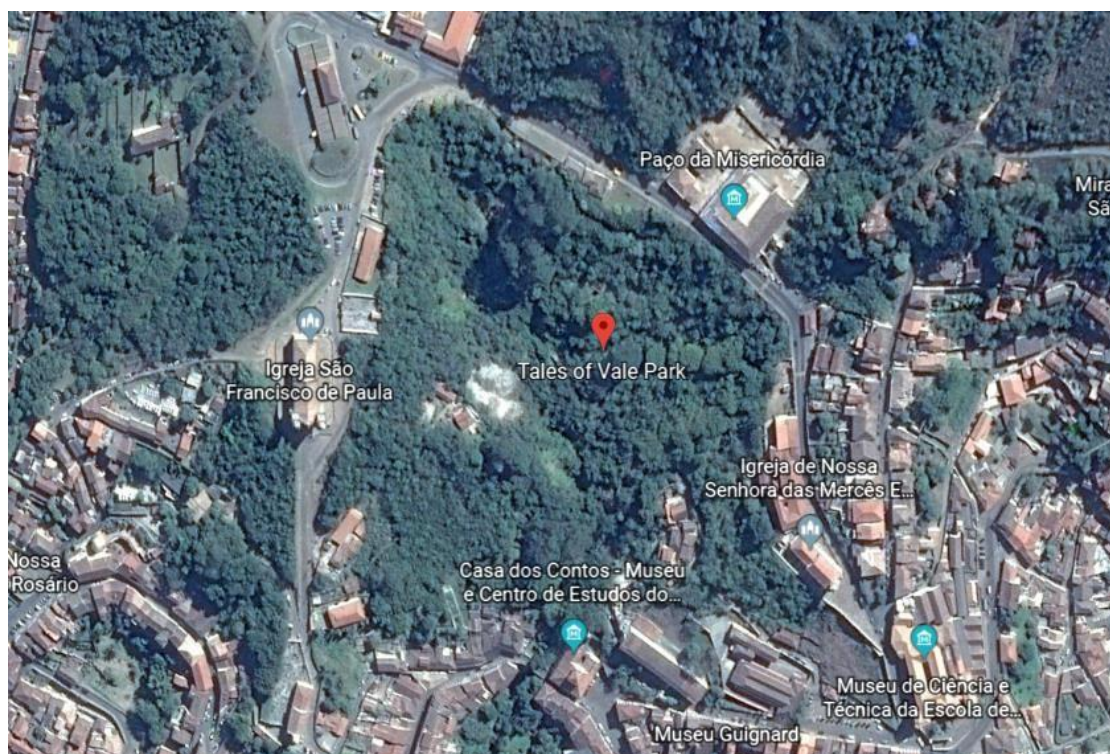
Fonte: Plantas tropicais: guia prático para o novo paisagismo. Vilaça, 2005.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1. Universo do Estudo

O trabalho em questão apresenta por sua localização o município de Ouro Preto-MG, tendo como foco principal o Córrego dos Contos, como fornecedor de amostras para o estudo, situado no Centro Histórico (Fig.4). O Córrego situa-se dentro do Parque Vale dos Contos, local que já foi Horto Botânico de Vila Rica, em que foi idealizado pela Corte Portuguesa para a aclimação de plantas, inaugurado em 1779 (Portal Prefeitura de Ouro Preto, 2018). A sua nascente está próxima da região da antiga Casa de Misericórdia de Ouro Preto, localizada no centro de Ouro Preto.

**Figura 4: Localização do Córrego dos Contos no município de Ouro Preto – MG.**



Fonte: Google Earth (2018).

Para realizar a coleta de amostras, foram selecionados três pontos. O primeiro ponto em que a coleta foi realizada situa-se dentro do antigo Parque Horto dos Contos, atualmente abandonado (Fig.5 e 6).

**Figura 5: Parque Horto dos Contos em Ouro Preto-MG.**



Fonte: Autoria própria (2018).

**Figura 6: Primeiro ponto de coleta.**



Fonte: Autoria própria (2018).

O segundo ponto de coleta se localiza sob uma pequena ponte próxima ao Centro de Convenções, local comumente conhecido como “Brejo”, situado próximo às repúblicas estudantis (Fig. 7).

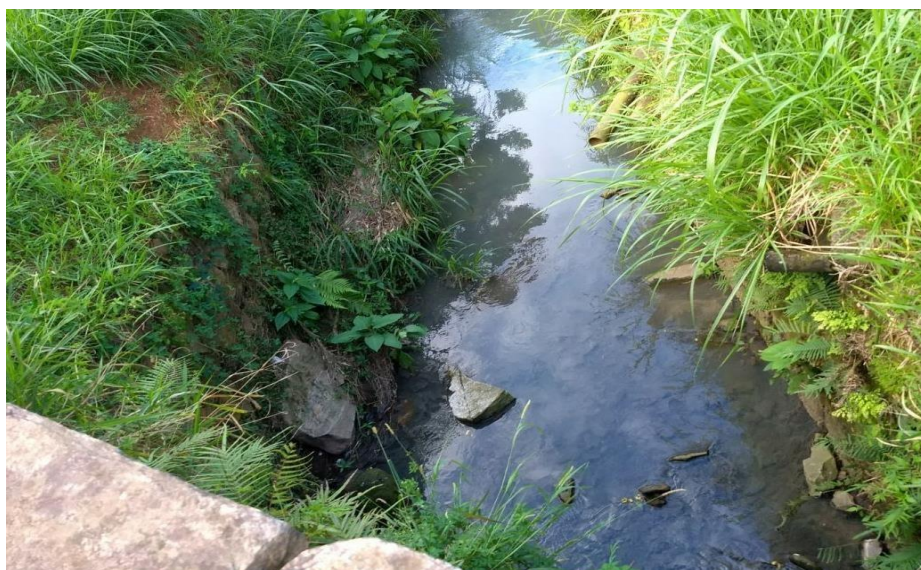
**Figura 7: Segundo ponto de coleta.**



Fonte: Autoria própria (2018).

O último ponto de coleta situa-se em frente ao Centro de Convenções. Neste local é possível visualizar, inclusive, canos de metal para lançamento de efluente sanitário no Córrego em questão, (Fig. 8).

**Figura 8: Terceiro ponto de coleta.**



Fonte: Autoria própria (2018).

## 4.2. Protocolo de avaliação do ambiente

Os Quadros 1 e 2 apresentam um “Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em Trechos de Bacias Hidrográficas”, sendo o primeiro modificado do protocolo da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S. EPA, 1987) e o segundo modificado de Hannaford et.al (1997).

### Quadro 1 - Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em trechos de bacias hidrográficas, modificado do protocolo da Agência de Proteção Ambiental (U.S. EPA, 1987).

Descrição do Ambiente			
Localização:			
Data de coleta: __/__/__		Hora da coleta:	
Tempo (situação do dia):			
Modo de coleta (coletor):			
Tipo de Ambiente: Córrego ( )		Rio ( )	
Largura média:			
Profundidade média:			
Temperatura da água:			
PARÂMETROS	PONTUAÇÃO		
	4 pontos	2 pontos	0 ponto
01. Tipo de ocupação das margens do corpo de água (principal atividade)	Vegetação natural	Campo de pastagem/agricultura/Monocultura	Residencial/Comercial Industrial
02. Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento do seu leito	Ausente	Moderada	Acentuada
03. Alterações antrópicas	Ausentes	Alterações de origem doméstica (esgoto livre)	Alterações de origem industrial, urbana (fábricas, siderurgias, canalização, retificação do curso do rio).
04. Cobertura vegetal do leito	Parcial	Total	Ausente
05. Odor da água	Nenhum	Esgoto (ovo podre)	Óleo/ industrial
06. Oleosidade da água	Ausente	Moderada	Abundante
07. Transparência da água	Transparente	Turva/cor de chá forte	Opaca ou colorida
08. Odor do sedimento (fundo)	Nenhum	Esgoto (ovo podre)	Óleo/industrial
09. Oleosidade do fundo	Ausente	Moderada	Abundante
10. Tipo de fundo	Pedras/cascalhos	Lama/areia	Cimento/ canalizado

A pontuação para o Quadro 1 pode ser explicada da seguinte forma: para um determinado parâmetro, se a pontuação obtida for de 4 pontos, isto significa que, para aquele ponto de amostragem, a situação do corpo d'água se encontra mais próxima da natural. Caso a pontuação dada seja equivalente a 2 ou 0, a situação daquele ponto corresponde a leve ou rigorosamente alterada, respectivamente.

**Quadro 2 - Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em trechos de bacias hidrográficas, modificado do protocolo de Hannaford et al. (1997\*), sendo 5 pontos situação natural; 3, 2 e 0 pontos situações leve ou rigorosamente alteradas.**

PARÂMETROS	PONTUAÇÃO			
	5 pontos	3 pontos	2 pontos	0 ponto
11. Tipos de fundo	Mais de 50% com Habitats diversificados; pedaços de troncos submersos; cascalho, outros habitats estáveis.	30 a 50% de habitats diversificados; habitats adequados para a manutenção das populações de organismos de organismos aquáticos.	10 a 30% de habitats óbvia; substrato rochoso instável para fixação dos organismos.	Menos de 10% de habitats diversificados; ausência de habitats óbvia; substrato rochoso instável para fixação dos organismos.
12. Extensão de rápidos	Rápidos e corredeiras bem desenvolvidas; rápidos tão largos quanto o rio e como comprimento igual ao dobro da largura do rio.	Rápidos com a largura igual do rio, mas com comprimento menor que o dobro da largura do rio.	Trechos rápidos não são tão largos quanto o rio e seu comprimento é menor que o dobro da largura do rio.	Rápidos ou corredeiras inexistentes.
13. Frequência de rápidos	Rápidos relativamente frequentes; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 5 e 7.	Rápidos não frequentes; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 7 e 15.	Rápidas ou corredeiras ocasionais; habitats formados pelos contornos do fundo; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 15 e 25.	Geralmente com lâmina d'água "lisa" ou com rápidos rasos; pobreza de habitats; distância entre rápidos dividida pela largura do rio menor que 25.
14. Tipos de substrato	Seixos abundantes (prevalecendo em nascentes).	Seixos abundantes; cascalho comum.	Fundo formado predominantemente por cascalho; alguns	Fundo pedregoso; seixos ou lamoso.

			seixos presentes.	
15. Deposição de lama	Entre 0 e 25% do fundo coberto de lama	25 e 50% do fundo coberto de lama	Entre 50 e 75% do fundo coberto de lama	Mais de 75% do fundo coberto de lama
16. Depósitos sedimentares	Menos de 5% do fundo com deposição de lama; ausência de deposição nos remansos.	Alguma evidência de modificação no fundo, principalmente como aumento de cascalho, areia ou lama; 5 a 30% do fundo afetado; suave deposição nos remansos.	Deposição moderada de cascalho novo, areia ou lama nas margens; entre 30 a 50% do fundo afetado; deposição moderada nos remansos.	Grandes depósitos de lama, maior desenvolvimento das margens; mais de 50% do fundo modificado. Remansos ausentes devido significativa deposição de sedimentos.
17. Alterações no canal do rio	Canalização (retificação) ou dragagem ausente ou mínima; rio com padrão normal.	Alguma canalização presente, normalmente próxima à construção de pontes; evidência de modificações há mais de 20 anos.	Alguma modificação presente nas duas margens; 40 a 80% do rio modificado.	Margens modificadas; acima de 80% do rio modificado.

Fonte: Callisto et al., 2002.

A pontuação para o Quadro 2 é explicada segundo esta interpretação: para um parâmetro apresentado, se a pontuação obtida for de 5 pontos, isto mostra que, para aquele ponto de coleta, a situação do corpo d'água se encontra mais próxima da natural. Caso a pontuação dada seja de 3, 2 ou 0 pontos, a situação daquele ponto corresponde a leve ou rigorosamente alterada.

### 4.3. Caracterização físico-química

#### 4.3.1. Coleta e análises

As amostras de água do Córrego dos Contos para a realização das análises foram coletadas em frascos de polietileno de aproximadamente 1000 mL. Foram escolhidos três pontos de coleta e recolhidos 3 litros de amostras por ponto selecionado. Após a realização da coleta, os frascos foram fechados e etiquetados com suas respectivas

identificações e armazenados em caixa térmicas até serem transportados para o Laboratório de Qualidade de Águas – LaQuA, Escola de Farmácia, centro histórico. Para cada ponto de coleta, mudas de *Spathifillum wallisii*, foram colocadas na água e mantidas a temperatura ambiente, em local com boa luminosidade, em uma região descoberta no Laboratório de Qualidade de Águas-LaQua, sendo que as análises foram feitas em triplicata e foram oxigenadas por cerca de 10 minutos todos os dias. Após sete dias, foram feitas novas análises dos parâmetros físico-químicos.

Os parâmetros DBO, DQO, pH, turbidez, nitrito, nitrato, fósforo e cloretos foram determinados de acordo com os procedimentos operacionais padrão. O procedimento da determinação da DQO foi validado também de acordo com MEDEIROS, M. A. C. et al., (2006), Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP e os demais procedimentos foram padronizados no Laboratório de Qualidade de Águas – LaQuA, Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, e descritos em PEREIRA, SILVA, GUARDA, 2003. Os autores basearam-se no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater XXX Edição*.

#### **4.4 Materiais e Métodos**

##### **4.4.1 Materiais, reagentes e soluções**

*Para Demanda Bioquímica de Oxigênio:* Solução tampão de fosfato. pH = 7,2; Solução de Sulfato de Magnésio ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ ) 2,25 % SR; Solução de Cloreto de Cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) 2,75% SR; Solução de Cloreto Férrico ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ) 0,0025 % SR; Ácido Clorídrico R (ou 50% SR); Cloreto manganoso 80% SR; Goma de amido 1% SI; Hidróxido de sódio 30% SR; Iodeto de Potássio R (ou 10% SR) KI; Tiosulfato de sódio N 80 SV ou 0,0125 mol/L; Água destilada.

*Demanda Química de Oxigênio:* Dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ); Ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ); Sulfato de mercúrio ( $\text{HgSO}_4$ ); Sulfato de prata ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ); Biftalato de potássio ( $\text{HOCC}_6\text{H}_4\text{COOK}$ ); Água destilada.

\*Composição solução digestora: adicionar em 125 mL de água destilada 2,554 g de dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), previamente seco em estufa a 103°C por 2 horas,

41,75 mL de ácido sulfúrico, 8,325 g de  $\text{HgSO}_4$ . Dissolver, esfriar e completar com água destilada o volume em balão volumétrico de 250 mL.

*Potencial Hidrogeniônico:* Soluções tampão pH 4 e pH 7.

*Turbidez:* Padrões de calibração 0,02 NTU, 10 NTU e 100 NTU.

*Nitrito:* Ácido sulfanílico; Acetato de  $\alpha$ -naftilamina; Ácido acético;  $(\text{KNO}_3)$  - Nitrato de potássio;  $(\text{CHCl}_3)$  – Clorofórmio.

*Nitrato:* Salicilato de sódio a 0,5% m/V; Hidróxido de sódio 0,1 M; Tartarato duplo de sódio e potássio; Nitrato de potássio anidro; Ácido sulfúrico concentrado; Água deionizada.

*Fósforo:* Sol. Ácido sulfúrico conc.; Sol. Ácido nítrico conc.; Sol. Hidróxido de sódio 10%; Sol. Ácido sulfúrico 10M; Sol. Tartarato duplo de antimônio e potássio 0,01 mol/L; Sol. Molibdato de amônio 3% m/v; Sol. Ácido arcóbico 0,3 mol/L; Sol. Padrão esotóquio de fósforo 2mg/L; Sol. Reagente – reagente combinado (desenvolvedora de cor).

*Cloretos:* Solução de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) a 0,0141 M; NaCl 0,0141 M (para padronizar o  $\text{AgNO}_3$ ); Solução de Hidróxido de sódio (NaOH) 1M; Solução de ácido sulfúrico 1M; Solução de cromato de potássio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) % m/v: indicador; Solução de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a 30% v/v; Vermelho de metila.

#### **4.4.2. Equipamentos**

Espectrofotômetro Varian, modelo 50 Conc – UV Visible Spectrophotometer

Estufa DBO Marca Quimis, modelo Q-316M5

Bloco Digestor Marca Alfakit, modelo AT525.

Autoclave Primatec, modelo Vertical CS

Estufa para secagem marca FANEM modelo 515.

#### 4.4.3. Metodologia

##### - DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO):

Metodologia: Separou-se 4 frascos DBO e preencheu-se com água de diluição, marcando os recipientes como 1 e 2 e os outros 2 frascos DBO colocou-se água de diluição até a metade, marcando-os como 3 e 4. Introduziu-se o volume da amostra em 3 e 4 completando o volume com água de diluição. Colocou-se os frascos 1 e 3 na incubadora a 20 °C por 5 dias. Determinou-se imediatamente o “OD” nos frascos 2 e 4. Após 5 dias encontrou-se o “OD” nos frascos 1 e 3.

\*Para a determinação do Oxigênio Dissolvido, adicionou-se cloreto manganoso 80% e hidróxido de sódio 30%, deixando decantar por 5 minutos após homogeneizado. Depois adicionou-se KI, ácido clorídrico e agitou-se. Após, retirou-se alíquotas de 100 mL e transferiu-se para um erlenmeyer. Adicionou-se 1 mL de goma de amido 1%, titulou-se com tiosulfato de sódio (aqui precisa da concentração) até alcançar seu descoramento total.

##### - DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

\***Validação da metodologia:** para os reagentes: - Solução de digestão: adicionou-se em 125 mL de água destilada 2,554 g de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ), previamente seco em estufa a 103°C por 2 horas, 41,75 mL de ácido sulfúrico, 8,325 g de  $HgSO_4$ . Dissolveu-se, esperou-se esfriar e completou com água destilada o volume em balão volumétrico de 250 mL.

- Reagente de ácido sulfúrico: adicionou-se sulfato de prata ( $Ag_2SO_4$ ) em pó em  $H_2SO_4$  na medida de 2,03 g de  $Ag_2SO_4$  para 200 mL de ácido sulfúrico concentrado.

- Solução padrão de Bifalato de potássio: de uma quantidade anterior (cerca de 600 mg) de Bifalato de potássio,  $HOOC_6H_4COOK$ , este secou-se a 120°C por 2 horas, e então pesou-se 425,0 mg e dissolveu-o em 500 ml de água destilada até completar o volume para 1000 ml em balão volumétrico.

- Ácido sulfúrico concentrado: Ácido sulfúrico 20%: dissolveu-se 20 mL de  $H_2SO_4$  concentrado em 100 mL de solução preparada.

Após o preparo soluções citadas anteriormente, foram realizados cálculos com o intuito de estabelecer as concentrações desejadas a passarem pelo espectrofotômetro, sendo estas de: 400 mg/L, 300mg/L; 200 mg/L; 100 mg/L; 50mg/L, além do Branco, utilizando água destilada em vez da água residuária.

Metodologia: Em capela, foram realizados os seguintes passos: colocou-se nos tubos de ensaio de vidro com tampa rosqueável 1,5 mL da solução de digestão; adicionou-se 2,5 mL de amostra de água residuária; adicionou-se 3,5 mL de reagente ácido sulfúrico. Fecharam-se os tubos e os agitaram várias vezes para a homogeneização. Em seguida, colocaram-se os tubos no bloco digestor para fazer a digestão da amostra a 150 °C por 2 horas. Retirou-se os mesmos do bloco digestor esperou-se esfriar, agitou-se e deixou-se sedimentar. Ligou-se o espectrofotômetro, ajustou-se o comprimento de onda para 600 nm e “zerou” com a prova em Branco (substituindo a água residuária por água destilada). Realizou-se a leitura da amostra. O valor obtido no espectrofotômetro já estava em  $mgO_2/L$  de DQO.

#### - POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH):

Metodologia: Ligou-se o aparelho no círculo vermelho e aguardou-se a sua estabilização. Selecionou-se o modo de medição pressionando o botão MODE, retirou-se o eletrodo do tubo de plástico contendo KCl, lavou-o com água destilada e enxugou-se com papel absorvente a sua ponta. Em seguida, colocou-se o eletrodo numa solução tampão de pH igual a 7 e pressionou-se a tecla CALL para sua calibração. Ajustou-se o valor do tampão, utilizando as setas MODE OU MEN. Depois de aparecer no visor READY (o que significa que estava calibrado), lavou-se o eletrodo com água destilada, enxugou-se com papel absorvente a sua ponta. Repetiu-se o mesmo processo com solução tampão de pH = 4, lavou-se o eletrodo com água destilada e enxugou-o suavemente. Repetiu-se o mesmo procedimento com a amostra a ser analisada, esperou-se aparecer READY no visor e anotou-se o valor de pH obtido. Por fim, lavou-se o medidor eletrolítico com água destilada e secou-o com papel absorvente.

### -TURBIDEZ

Metodologia: Ligou-se o estabilizador e o turbidímetro, em seguida pressionou-se o botão no LIGA/LEITURA. Pressionou-se CAL para ajuste de acordo com a faixa (0,02 NTU, 10 NTU e 100 NTU) das amostras pelas setas de indicação. Depois se pressionou o botão CAL até aparecer gravar. Após a calibração, inseriu-se a cubeta com a amostra, fechou-se a tampa do aparelho e pressionou-se o botão LIGA/LEITURA para realização da leitura.

### -NITRITO

Metodologia: A partir de uma solução de 1000 mg/L de nitrito, foram realizadas dissoluções para chegar às concentrações coerentes para fazer a leitura no espectrofotômetro, fazendo também uma solução em branco. No preparo da amostra, retirou-se 100,00mL da amostra e transferiu-se para um béquer de 150 mL. Adicionou-se 2mL de ácido sulfanílico (4'), 2mL de acetato de  $\alpha$ -naftilamina, homogeneizou-se e aguardou-se 15 minutos. Em seguida, fez-se a leitura no espectrofotômetro, no comprimento de onde **543nm**, ambientando a cubeta antes da leitura de cada concentração.

### -NITRATO

Metodologia: A partir de uma solução de 100 mg/L de nitrato, foram realizadas dissoluções para chegar às concentrações coerentes para fazer a leitura no espectrofotômetro, fazendo também uma solução em branco. No preparo da amostra, pipetou-se 50,00 mL da amostra e transferiu-se para uma cápsula de porcelana, alcalinizou-se com uma gota de NaOH 1 molar. Em seguida, adicionou-se 1 mL da solução de salicilato de sódio, colocou-se para evaporar em estufa até secar, esperou-se esfriar. Tratou-se o resíduo com 2 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, derramando-o nas paredes da cápsula de porcelana. Após 10 minutos de repouso, transferiu-se o conteúdo da cápsula para um balão volumétrico de 100,00ml, contendo 25 ml de água deionizada e adicionou-se 15 ml de solução de hidróxido de sódio e tartarato duplo de sódio e

potássio. Completou-se seu volume com água destilada. Quando as soluções esfriaram, fez-se a leitura no espectrofotômetro a **420 nm**, ambientando a cubeta antes das leituras das concentrações.

### -FÓSFORO

Metodologia: Ao preparar as amostras, pipetou-se 50,0 mL da mesma e transferiu-se para um erlenmeyer de 125 mL. Adicionou-se 1 mL de ácido sulfúrico concentrado e, em seguida, 5mL de ácido nítrico concentrado. Com isto, levou-se à autoclave por 1 hora a 127°C e esperou-se esfriar até alcançar temperatura ambiente. Adicionou-se 3 gotas de fenolftaleína e depois neutralizou-se com solução de hidróxido de sódio a 10% p/v. Em seguida, transferiu-se para balão volumétrico de 100,00mL, completou-se o volume com água destilada, pipetou-se 25,0 mL desta solução e transferiu-se para erlenmeyer de 125 ml. Logo após adicionou-se 8 mL da solução reagente e esperou-se o aparecimento da cor azul. Por último, fez-se a leitura em espectrofotômetro a **880nm** e ambientou-se a cubeta antes da leitura de cada concentração.

### -CLORETOS

Metodologia: No preparo da amostra (realizada em triplicata), transferiu-se 3 partes de 100 mL da amostra para erlenmeyers, aferiu-se o pH e ajustou-o entre 6,5 e 10. Logo após adicionou-se 2 ml de cromato de potássio em cada erlenmeyer e titulou-se com solução de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ). Nesta etapa surgiu-se uma coloração de aspecto amarelo turvo até que ficou marrom-avermelhada e formou-se precipitado, que no caso era cromato de prata ( $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ).

## **5- RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats**

Com o intuito de obter uma visão geral sobre a qualidade das águas do Córrego dos Contos assim como o uso e ocupação do solo, aplicou-se o protocolo aos três pontos de amostragem do trabalho.

A Tabela 1 apresenta os resultados alcançados dos Quadros 1 e 2, que retomam os parâmetros do Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em Trechos de bacias hidrográficas modificados do Protocolo da Agência de Proteção Ambiental de Ohio (EPA) e de Hannaford, vistos na metodologia.

Recapitulando para o Quadro 1, as pontuações de 4, 2, 0 pontos equivalem a: 4 pontos (situação natural), 2 e 0 pontos (situações leve ou severamente alteradas). E no Quadro 2, as pontuações de 5, 3, 2, 0 pontos equivalem a: 5 pontos (situação natural), 3, 2 e 0 pontos (situações leve ou severamente alteradas).

As datas de coleta são 18/05/2018 e 11/06/2018; a localização dos pontos já foi abordada na Metodologia; o horário de coleta foi, respectivamente, entre de 08h00min h da manhã e 08h30min da manhã; a situação do dia ou (“tempo”) não variou muito entre as duas coletas, em ambas havia neblina, a estação era outono, exceto que na primeira amostragem choveu, e as temperaturas variavam entre 15°C e 17°C respectivamente para 18/05/2018 e 11/06/2018. Foram realizadas as duas amostragens para confirmação dos resultados obtidos.

**Tabela 1: Protocolo de Trecho de Bacia – Córrego dos Contos**

Parâmetros	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
1	4	0	0
2	2	4	4
3	2	2	2
4	4	4	4
5	4	2	2
6	4	4	4
7	4	4	2
8	4	4	4
9	4	4	4
10	4	4	2
11	5	5	3
12	2	3	0
13	2	3	0
14	0	2	0
15	3	5	2
16	3	3	0
17	3	3	3
18	3	3	2
19	5	0	0
20	3	3	3
21	3	0	0
22	5	2	0
<b>Total</b>	<b>73</b>	<b>64</b>	<b>41</b>

Os dados obtidos indicam que existe degradação ambiental na região situada próxima aos pontos de coleta. Uma vez que, para um determinado parâmetro, a pontuação dada é menor, significa que a condição naquele ponto do Córrego dos Contos se diz como situação rigorosamente alterada, ou seja, mais distante da situação natural. Isto ocorre claramente no ponto 3, em que a pontuação final é a menor obtida. É importante enfatizar a localização dos pontos amostrados, dos quais apenas o ponto 1 situa-se do parque do Horto dos Contos, enquanto que os demais se localizam fora do mesmo.

Portanto, o ponto de amostragem que se enquadra como situação alterada, pois apresenta menor somatória de pontos, é o Ponto 3, situado fora do Parque Horto dos Contos e recebe diretamente efluentes domésticos. Por sua vez, o ponto de coleta que se

encontra em situação natural, pois apresenta maior somatória de pontos, é o Ponto 1, localizado dentro do Parque Horto dos Contos.

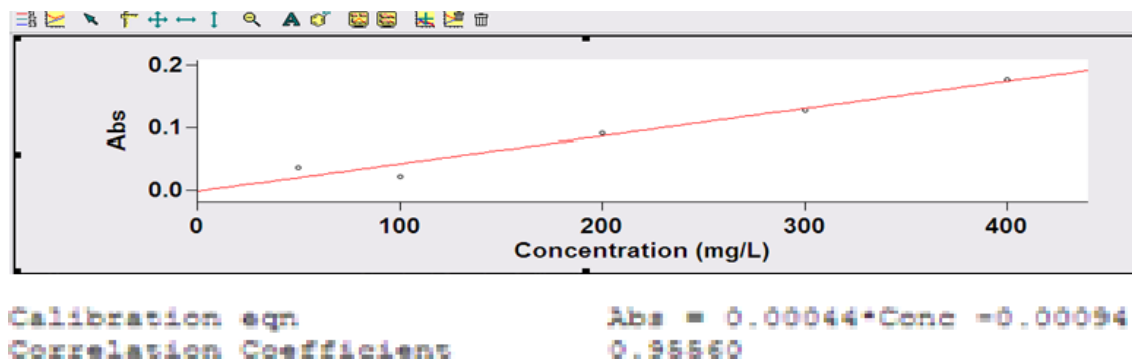
## **5.2. Validação da metodologia aplicada para Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

A metodologia utilizada neste trabalho para análise do parâmetro de Demanda Química de Oxigênio foi baseada em Método Colorimétrico: DR2000 – Curva Padrão Inserida no. 955 Standard Methods 5220 D. Este método é aplicado na disciplina de Química Sanitária e Laboratório de Saneamento II, na UNICAMP.

De acordo com Medeiros et al., 2006, várias metodologias têm sido desenvolvidas para a determinação do conteúdo de matéria orgânica, entre eles aquele que permite determinar a demanda química de oxigênio (DQO), ou seja, quantidade de oxigênio consumido por diversos compostos orgânicos através de uma oxidação química. Na análise da DQO, o oxigênio necessário para oxidar a matéria orgânica contida na água é medido utilizando-se um composto fortemente oxidante como o dicromato de potássio em meio fortemente ácido, fazendo com que oxide até mesmo a matéria orgânica mais resistente à oxidação, transformando-a em dióxido de carbono e água. Em suma, a DQO indica a quantidade de oxigênio que seria consumido por meio de reações químicas de oxidação de compostos orgânicos presentes, sem a atuação de microrganismos, apontando indiretamente qual seria a quantidade de matéria orgânica presente no sistema.

A Figura 9 mostra a curva padrão obtida por espectrofotômetro, após digestão das amostras por 2 horas em bloco digestor a 150 °C.

**Figura 9: Curva padrão obtida para DQO no espectrofotômetro.**



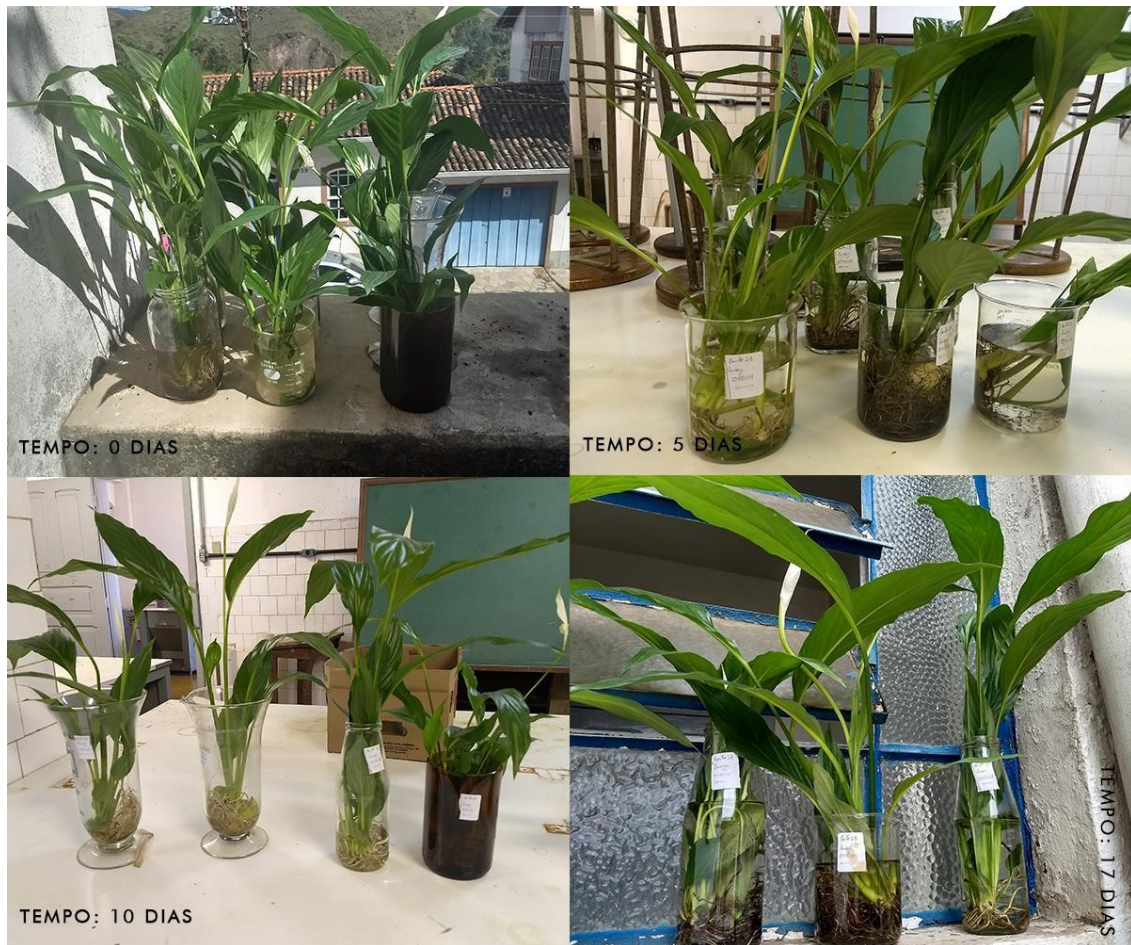
Fonte: Autoria própria (2018).

### 5.3. Desenvolvimento da *Spatiphyllum wallisii*

Para a realização do processo de fitorremediação neste trabalho, utilizou-se a planta *Spatiphyllum wallisii*. No dia seguinte à primeira amostragem, em 19/05, retirou-se a *S. wallisii* dos vasos em que foi cultivada, separou-a da terra e a colocou em frascos de vidro contendo 500 mL da água dos pontos de coleta. Depois de decorridos sete dias, retirou-se esta água para as análises físico-químicas e para que a planta não sofresse consequências, completou-se o volume para 500 mL com água “normal”, retirada da torneira.

Na data da segunda amostragem, em 11/06, retirou-se a água da primeira coleta dos frascos e trocou-se por 750 mL da água desta nova amostragem. O volume da amostra nos frascos foi aumentado baseado no volume necessário para a realização das análises. O desenvolvimento da planta desde 19/05 é exposto a partir das Figuras 10 a 13.

**Figura 10: *S. wallisii* com água coletada na primeira amostragem, em tempo de 0 a 17 dias.**



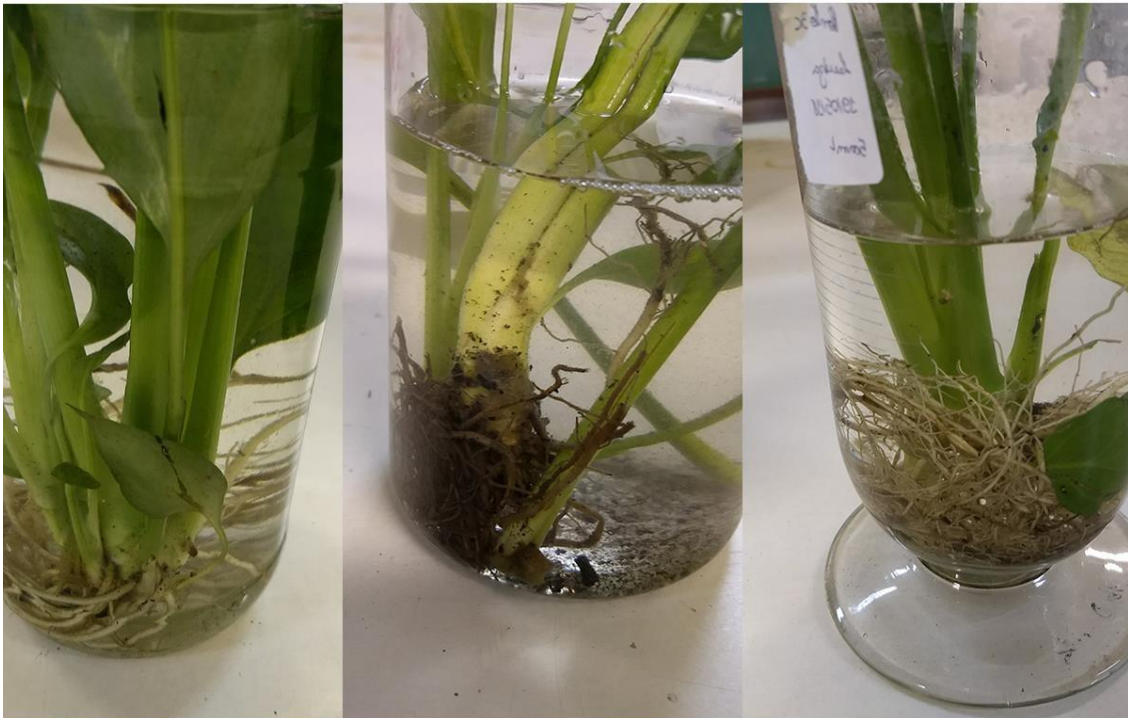
Fonte: Autoria própria (2018).

**Figura 11: *S. wallisii* com água coletada na segunda amostragem, em tempo de 0 a 9 dias**



Fonte: Autoria própria (2018).

**Figura 12: Raízes da *S. wallisii* dos pontos de coleta 1, 2, 3, da esquerda para direita, com água da primeira amostragem no tempo de 10 dias**



Fonte: Autoria própria (2018).

**Figura 13: Flores da *S. wallisii* no tempo de 17 e 33 dias, equivalentes aos últimos dias com água coletada na primeira e segunda amostragem, respectivamente**



Fonte: Autoria própria (2018).

Ao analisar as fotos, é notório que, com o passar do tempo, a planta cresceu de forma regular, não apresentando alterações morfológicas. As imagens destacam algumas partes da planta que se desenvolveram muito bem. As raízes, por exemplo, continuaram a crescer; inclusive, começaram a nascer outros “ramos” da *S. wallisii*. As suas flores apresentaram um desempenho de crescimento notável, em que se pode destacar, antes, não havia nenhuma e ao fim dos 33 dias de trabalho, já existiam várias. Avaliando cronologicamente, as folhas também se desenvolveram, apresentaram um

aumento em seu tamanho pelo comprimento e não se modificaram com o passar dos dias, continuou esverdeada e com viço.

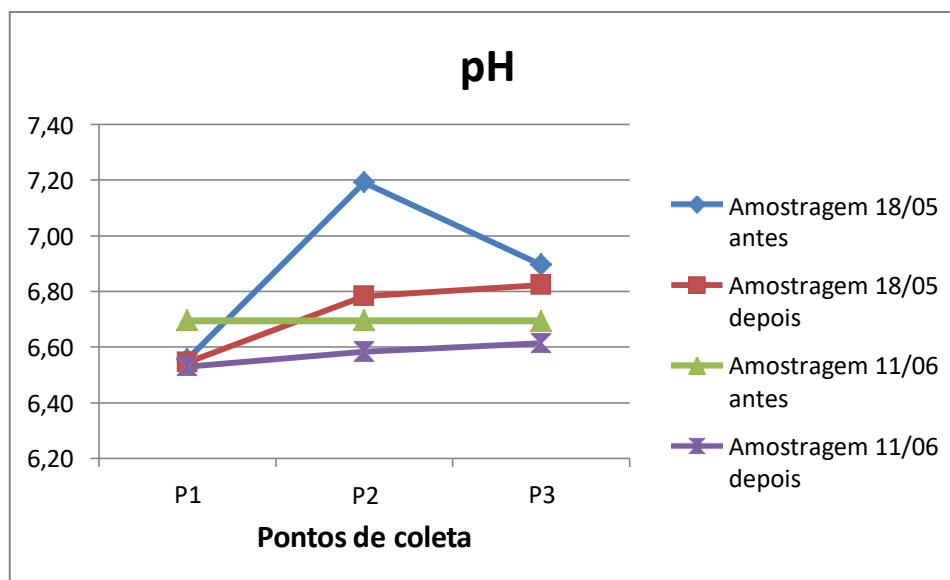
#### 5.4. Resultados comparativos dos parâmetros químicos de Qualidade da Água, antes e após o processo de fitorremediação por *Spathiphyllum wallisii*

Os parâmetros avaliados foram: pH, turbidez, cloretos, Nitrogênios de Nitrato e Nitrito, Fosfatos, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), cujos resultados estão apresentados adiante.

##### 5.4.1. Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os valores médios de pH estão apresentados no Gráfico 1, para as duas campanhas de amostragem, antes e após passar pelo processo de fitorremediação.

**Gráfico 1 : Valores médios de pH, em duas amostragens**



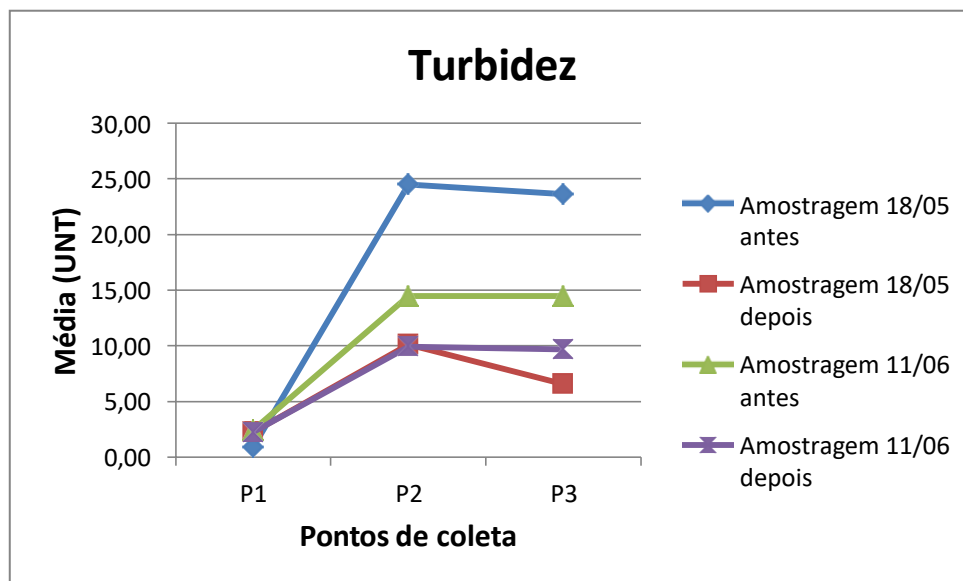
Fonte: Autoria própria (2018).

De acordo com a Resolução CONAMA n° 357/2005, os valores para pH devem estar inseridos no intervalo correspondente entre 6,0 a 9,0. Como pode ser observado no Gráfico 1, os valores médios (6,53 a 7,19) indicam que mesmo após a realização do procedimento de fitorremediação, o pH não sofreu variações expressivas. Devido ao fato de que estes valores se encontram abaixo de sete, a interpretação dos resultados corresponde às condições ácidas, segundo SPERLING (2005). Provavelmente, devido a algum poluente, visto que normalmente as águas naturais são alcalinas. Entretanto, como estes dados ainda assim são próximos de sete, pode-se inferir que o potencial hidrogeniônico apresenta condição semelhante à de neutralidade. Pode-se afirmar que após a realização da fitorremediação, os valores apresentaram uma leve redução, porém, ainda permaneceram dentro do intervalo permitido pela resolução, (Fig. 12). E essa redução é benéfica, pois as águas mais puras apresentam um pH ligeiramente ácido.

#### 5.4.2. Turbidez

Os valores médios de turbidez variaram entre 2,23 a 14,44 UNT dependendo do ponto de coleta, na primeira amostragem, e de 0,90 a 24,50 na segunda amostragem (Gráfico 2), antes e após passar pelo processo de fitorremediação.

**Gráfico 2: Valores médios de turbidez em UNT**



Fonte: Autoria própria (2018).

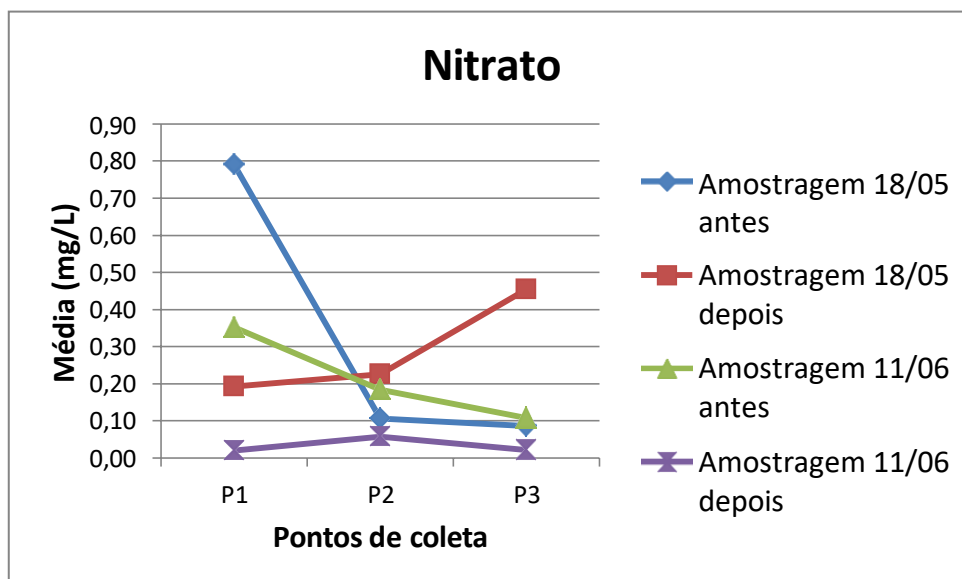
Analisando os valores de turbidez encontrados (Gráfico 2) pode-se afirmar que estes obedecem aos limites especificados pela Resolução CONAMA 357/2005, o qual equivale a 100 UNT (unidade nefelométrica de turbidez). No entanto, o ponto 1 apresenta uma turbidez menor, quando comparada à turbidez dos pontos 2 e 3, que apresentaram valores muito próximos. No ponto de amostragem 1, o córrego se encontra dentro do Horto dos Contos, enquanto que os outros dois pontos se localizam fora deste, sendo que é possível visualizar o lançamento de efluente doméstico diretamente no Córrego dos Contos. E dentro do Horto há uma rede coletora de esgoto.

A respeito da diminuição deste parâmetro após o período de sete dias em que a planta utilizada (*S. wallisii*) permanecia dentro da água, demonstra o potencial desta planta na redução deste parâmetro. E como a poluição é aparentemente originária de esgoto inatura, a planta retira do mesmo o seu nutriente.

#### 5.4.3. Nitrogênios de Nitrato e Nitrito

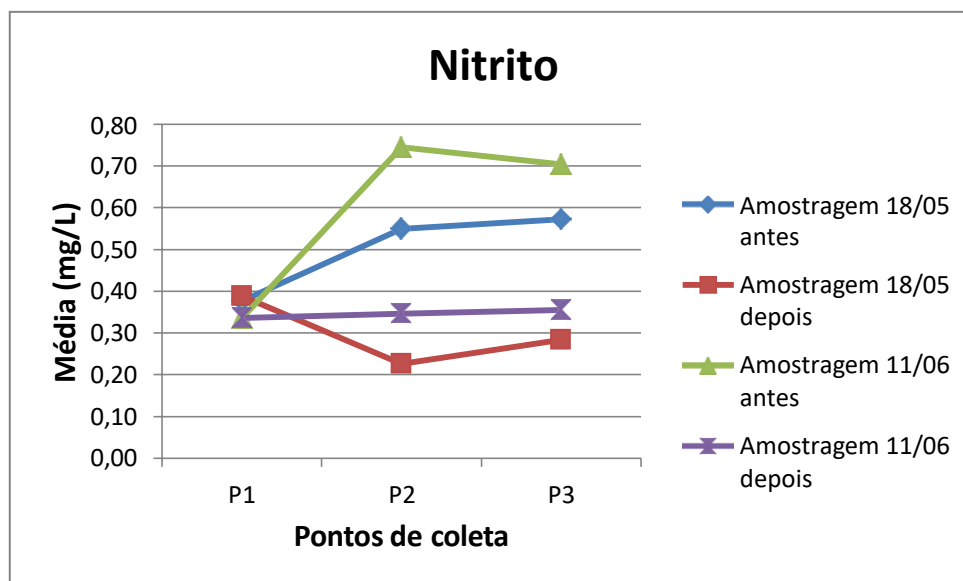
Os resultados obtidos para a determinação de nitrogênio de nitrato e de nitrito estão apresentados nos Gráficos 3 e 4, respectivamente, antes e após passar pelo processo de fitorremediação.

**Gráfico 3: Valores de Nitrogênio de nitrato (mg/L)**



Fonte: Autoria própria (2018).

**Gráfico 4: Valores de Nitrogênio de nitrito (mg/L)**



Fonte: Autoria própria (2018).

Segundo a Resolução CONAMA 357/2005, os valores permitidos para estes parâmetros são 10,0 mg/L e 1,0 mg/L de nitrogênios nitrato e de nitrito, respectivamente. Os valores médios para os dois parâmetros apresentam-se abaixo de seus limites especificados pela CONAMA 357/2005, (Gráficos 3 e 4).

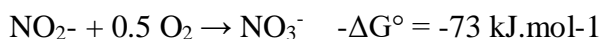
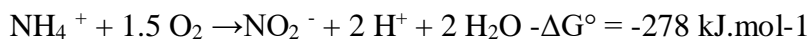
Quando se trata de águas residuais, o nitrogênio é considerado como o contaminante mais relevante. Com isto, para analisar as alternativas tecnológicas mais usuais para o seu tratamento biológico, é imprescindível ter conhecimento a respeito do ciclo deste elemento, o qual aborda os processos de **nitrificação e desnitrificação** (PHILIPS, 2008).

A **nitrificação** equivale à primeira etapa do procedimento de remoção biológica de nitrogênio, no qual a amônia é oxidada a nitrito e este é oxidado a nitrato (METCALF & EDDY, 2003).

Essa fase é fundamentada na oxidação biológica do nitrogênio amoniacal realizada em parte por conta das bactérias oxidadoras de amônio e de nitrito, AOB e NOB, respectivamente. Estas se caracterizam por obter sua energia para se desenvolverem a partir da oxidação de compostos inorgânicos ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_2^-$ ), usando o

carbono inorgânico (CO<sub>2</sub>) como fonte de carbono e o oxigênio (O<sub>2</sub>) como receptor de elétrons (BELTRAN, 2008).

As reações a seguir representam o processo de nitrificação e sua condição energética:



A nitrificação condiz em um procedimento limitado pela concentração de oxigênio dissolvido e pela temperatura e pode ser inibido por meio concentração de amônia e ácido nitroso. Em suma, se pode afirmar que o pH, a temperatura e a concentração de oxigênio dissolvido podem interferir sobre a ativação ou desativação do metabolismo das AOBs e NOBs. Isto salienta a importância de ter um controle permanente no sistema de tratamento de águas e efluentes, principalmente de pH e oxigênio dissolvido como uma forma de otimizar o processo de nitrificação (ZOPPAS et al., 2016).

A respeito do processo de remoção biológica do nitrato a óxido nítrico, óxido nitroso e gás nitrogênio é nomeado **desnitrificação**. É um processo respiratório anóxico, realizado por bactérias heterotróficas. A capacidade de desnitrificar está interligada com a quantidade de substrato biodegradável presente (relação carbono orgânico/nitrogênio) (LIU et al., 2010). De modo geral, nos tratamentos biológicos de efluentes, a presença de substrato facilmente degradável é baixa.

É difícil controlar a dosagem exata de matéria orgânica na desnitrificação que deve ser fornecida ao sistema para que o processo seja eficiente e não prejudicial à primeira etapa, a nitrificação. Dentre os inúmeros problemas que podem ocorrer se sobressaem os seguintes: o acúmulo de nitrito e nitrato quando a fonte de carbono é insuficiente (ZOPPAS, 2012); resíduos orgânicos em excesso, quando a fonte de carbono está em demasia.

As concentrações médias de nitrito na água nas amostragens (em maio e junho), eram mais altas antes do processo de fitorremediação, em comparação com os valores médios de concentrações do mesmo parâmetro após passar pelo período de sete dias em contato com a planta. (Gráficos 3 e 4).

A presença de nitrito é indício de contaminação recente, o qual é proveniente de material orgânico, tanto vegetal quanto animal. O nitrito pode ser encontrado na água como resultado da decomposição biológica, por motivos de terem bactérias ou outros microorganismos atuando sobre o nitrogênio amoniacal, ou ainda pode ser procedente de ativos inibidores de corrosão em instalações industriais (GADELHA et al., 2005). Analisando por pontos de amostragem, é notória a diferença de concentrações médias entre o segundo ponto e os demais. Uma justificativa para tal resultado se baseia no fato de que são lançados efluentes domésticos próximos a este ponto. Este fato é ilustrado na fotografia da Figura 14 e é percebido pelo aspecto da água; e em ambos os dias de coleta, a água apresentou odor característico de despejo de esgoto.

**Figura 14: Aspecto da água no segundo ponto de amostragem**



Fonte: Autoria própria (2018).

Analisando-o juntamente com o nitrito, nota-se que as concentrações médias de nitrato na água nas duas amostragens (em maio e junho), eram mais altas antes do

processo de fitorremediação, em comparação com os valores médios de concentrações do mesmo parâmetro após passar pelo período de sete dias em contato com a planta.

Tratando-se de valores médios de concentrações, quando estes são acima de 0,2mg/L de  $\text{NO}_3^-$ , ocorre o processo de proliferação de plantas. Em lagos, isto afeta o nível de oxigênio dissolvido, a temperatura e a passagem de luz. Além disto, o aumento de cargas e nutrientes nas águas, ocasionado pela urbanização e remoção de florestas, favorece o processo de eutrofização, cuja principal consequência é floração de algas tóxicas. Quantidades excessivas de nitrato na água podem desencadear efeito tóxico para animais de sangue quente, uma vez que, há transformação do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) para nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ). A quantidade natural de nitrato em águas superficiais de modo geral é baixa (<1mg/L) (Embrapa, 2018).

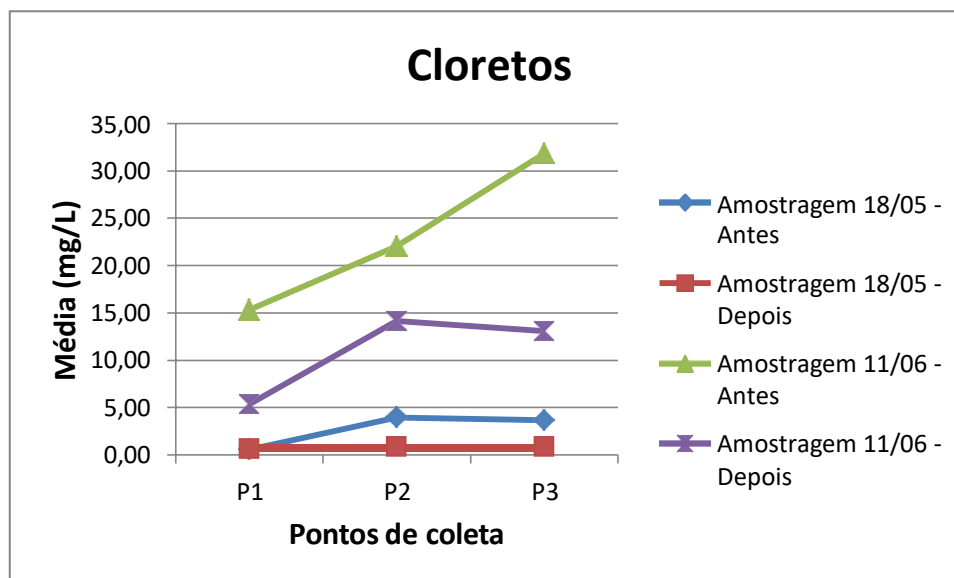
Ao avaliar os valores obtidos de nitrogênios de nitrato e de nitrito observa-se uma diminuição deste parâmetro após o período de sete dias em que a planta utilizada (*S. wallisii*) permanecia com a água das amostras, tanto na primeira amostragem em maio quanto na segunda em junho, este aspecto indica o potencial desta planta na redução deste parâmetro.

Por ser um estado intermediário do nitrogênio, ao se analisar de modo geral os valores médios de ambos, estes diminuem, porém, com nitrito apresentando valores de concentrações médias maiores que nitrato.

#### 5.4.4. Cloretos

Os valores médios de cloretos estão apresentados no Gráfico 5, para as duas campanhas de amostragem, antes e após passar pelo processo de fitorremediação.

**Gráfico 5 : Valores médios de Cloretos, em ambas as campanhas (mg/L)**



Fonte: Autoria própria (2018).

Segundo a Resolução CONAMA 357/2005, os valores limites da concentração de cloretos é de 250 mg/L. Os valores médios para este parâmetro apresentam-se dentro do permitido ao analisar as concentrações obtidas tanto na primeira quanto na segunda amostragem, e antes e depois do processo de fitorremediação, (Gráfico 5).

Dentre os ânions encontrados em águas e efluentes, os cloretos são íons importantes nas águas subterrâneas e superficiais, podendo ser de origem antrópica e geológica, sendo a lixiviação de rochas, esgotos domésticos e industriais as suas fontes principais (USEPA, 2015). Segundo a CETESB (2012), uma pessoa expele pela urina cerca de 4 g de cloretos por dia. Ele é um íon essencial na produtividade dos ecossistemas aquáticos, está inserido em processos fisiológicos de grande importância, como a troca e/o transporte de outros íons para os meios intracelular e extracelular.

Existe uma diferença notória entre a concentração de cloretos nos pontos de amostragem assim como para as datas de coleta. Isto possivelmente se dá pelo

lançamento de efluentes industriais ou domésticos, como sintetiza a CETESB (2012), os efluentes também conduzem significativas quantidades de cloretos dependendo do tipo de beneficiamento industrial e até mesmo a proximidade do despejo de efluentes domésticos.

Como é retratado no Gráfico 5, as concentrações médias de cloretos da primeira amostragem são inferiores aos valores médios da segunda amostragem. Uma possível justificativa para tal comportamento é o lançamento de efluente doméstico diretamente em um dos pontos de coleta, sendo tal despejo registrado na data da segunda amostragem, conforme registro nas Figuras 15a e 15b.

**Figura 15: Despejo de efluentes domésticos (15a-direita) no terceiro ponto de coleta ocorrido na segunda amostragem (15b-esquerda)**



Fonte: Autoria própria (2018).

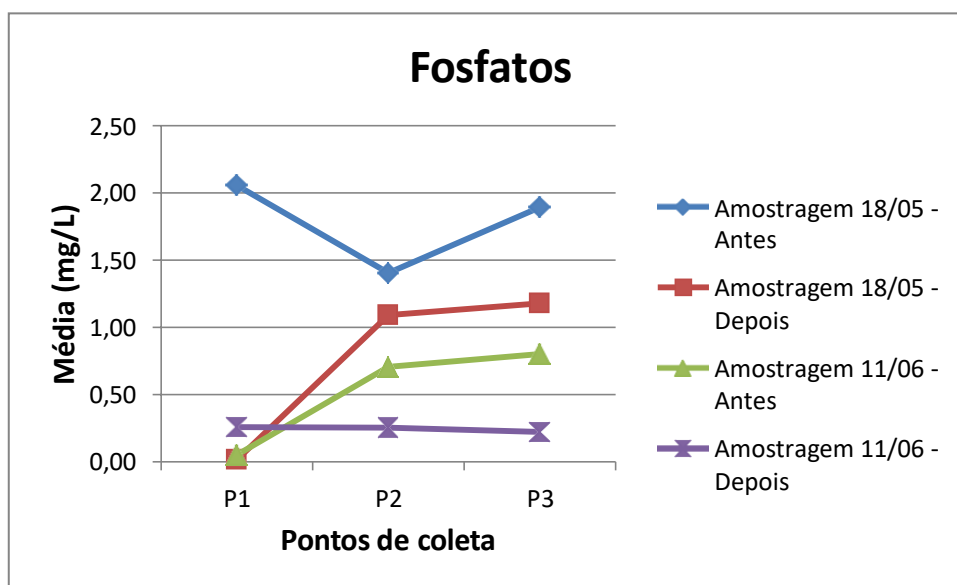
A respeito da diminuição deste parâmetro após o período de sete dias em que a planta utilizada (*S. wallisii*) permanecia com a água das amostras ao longo dos dias, pode-se inferir pela importância dos cloretos para as plantas. Os cloretos se associam a outros elementos, formando compostos como cloreto de potássio, cloreto de sódio. Estes liberam os principais nutrientes para as plantas, os quais são essenciais para o seu

desenvolvimento (AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA, 2017).

#### 5.4.5. Fosfatos

Os resultados obtidos na primeira data de amostragem e na segunda, tanto antes quanto depois da realização do procedimento de fitorremediação estão apresentados no Gráfico 6.

**Gráfico 6: Valores médios de Fosfatos em ambas as campanhas (mg/L)**



Fonte: Autoria própria (2018).

A respeito do elemento fósforo, este é essencial para plantas e animais. Este nutriente é utilizado em larga escala em áreas de cultivo, entretanto, quando é aplicado no solo de modo exagerado, possui potencial poluidor, atingindo principalmente as águas superficiais. Mas a legislação brasileira não o identifica desta forma, com este potencial. Quando este é contaminante pode ocasionar eutrofização das águas e morte de peixes (KLEIN, 2012).

Quando se procura uma referência para este parâmetro em valor limite permitido no Brasil, a Resolução CONAMA 357/2005 apenas aborda polifosfatos e fosfato total.

Com isso, buscou-se outra fonte para embasar a discussão dos resultados alcançados para os fosfatos.

Para que haja uma melhor compreensão do que ocorre com este parâmetro, torna-se necessária a abordagem do ciclo do fósforo. Este envolve as plantas, os animais e os microorganismos. Neste sistema são incluídos processos de absorção pelas plantas, reciclagem pelos resíduos das mesmas e de animais, reciclagem biológica pelos processos de mineralização-imobilização, dentre outros (STEVENSON, 1994).

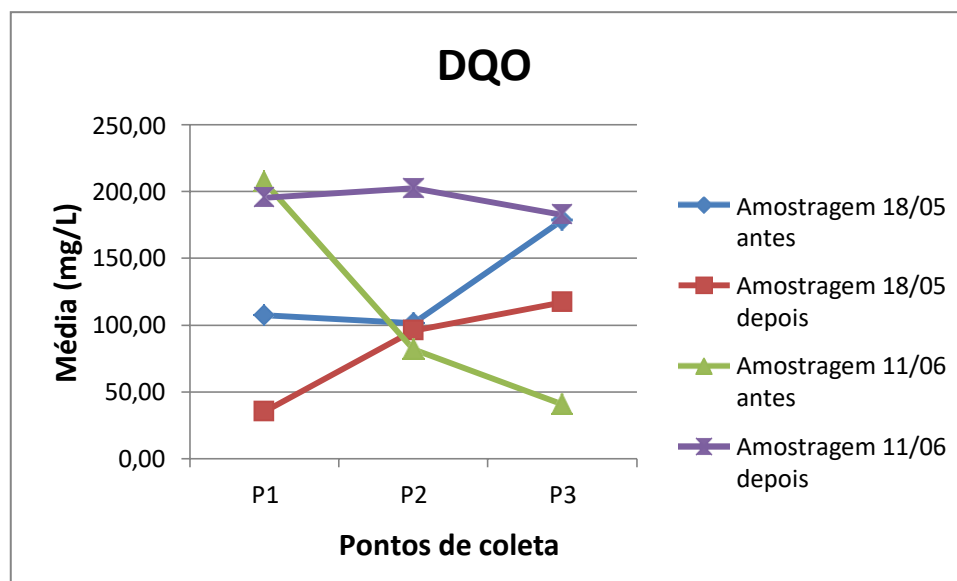
O ciclo do fósforo pode ser sintetizado da seguinte forma: o intemperismo das rochas por longos períodos é a fonte de grande parcela do fósforo na forma de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) presente no solo como solução. Em seguida ocorre a liberação do P, proveniente de tecidos mortos pela decomposição feita por microorganismos, os quais convertem fósforo orgânico em íons fosfatos. Dessa forma, as plantas assimilam fósforo como íons fosfatos do solo ou água. Os animais eliminam o excesso através da excreção de sais de fosfato pela urina (ROSA et al., 2003).

Pode-se inferir que o fosfato encontrado na água de coleta apresenta uma redução considerada devido, inicialmente, ao fato de esta forma de Fósforo (P) ser solúvel principalmente em água e conseqüentemente, como já foi abordado anteriormente, por ser um nutriente essencial para o desenvolvimento de plantas e animais. Logo, ao passar pelo processo de fitorremediação por um período de sete dias, observa-se que a planta utilizada no trabalho em questão absorveu os íons fosfatos contidos na água, o que provavelmente favoreceu ao seu crescimento, o qual será abordado mais adiante.

#### 5.4.6. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Os resultados da determinação da demanda química de oxigênio estão apresentados no Gráfico 7, antes e após passar pelo processo de fitorremediação.

**Gráfico 7: Valores de DQO em mg/L de Oxigênio**



Fonte: Autoria própria (2018).

Com base na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01 de 05 de Maio de 2008, no Capítulo V: Das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes a remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) é apresentada, a qual deverá ter eficiência de no mínimo 55%. A respeito de valores da DQO, seu limite permitido perante esta Deliberação é equivalente a 180 mg/L.

Como é possível visualizar no gráfico acima, ainda após o processo de fitorremediação pela *S. walisii*, alguns valores de concentrações médias se encontram acima do estabelecido pela DN COPAM/CERH-MG N° 01/2008.

A respeito do tratamento com fitorremediação verifica-se no Gráfico 7 uma redução nos valores de concentrações médias de DQO principalmente, no ponto 1, após passar pelo processo.

Os resultados alcançados neste trabalho foram submetidos ao cálculo de eficiência de remoção, utilizando a Equação 1:

$$E = \frac{Ca - Cd}{Ca} * 100$$

[1]

em que:

E = eficiência de remoção (%);

Ca = concentração antes;

Cd = concentração depois.

Desta forma, foi possível obter os valores de eficiência de remoção em porcentagem, conforme apresentação da Tabela 2:

**Tabela 2: Eficiência de Remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

Amostragem 1 (18/05)	% Remoção	Amostragem 2 (11/06)	% Remoção
P1	67,224	P1	5,763
P2	5,333	P2	-146,951
P3	34,352	P3	-349,692

Fonte: Autoria própria (2018).

Com isto, nota-se que apenas no primeiro ponto de coleta da amostragem 1 (18/05) atingiu-se a eficiência estabelecida pela DN COPAM/CERH-MG N° 01/2008, o que equivale a acima de 55% de remoção.

Uma possível justificativa para este comportamento após o procedimento de fitorremediação poderia ser a maior quantidade de efluente no meio, uma vez que o mesmo apresenta carga orgânica, aumentando a DQO (SPÓSITO, 2012). A quantificação dos poluentes deve ser apresentada em termos de carga, a qual é expressa em termos de massa por unidade de tempo (SPERLING, 2005).

Uma segunda consideração é que as plantas foram distribuídas de maneira heterogênea, nas amostras. A massa de planta não foi igual para todos os pontos. E

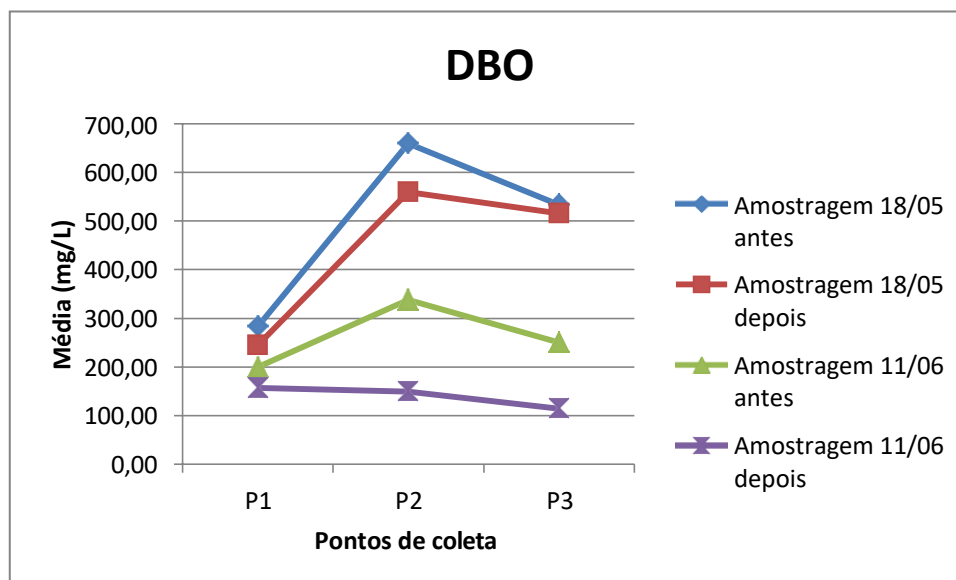
como foram utilizadas as mesmas plantas nos 2 experimentos, pode ter ocorrido um excesso de nutrientes e assim, a planta deixou de assimilar.

Um terceiro ponto a se destacar é a planta poderia ter adsorvido na primeira amostragem e na segunda coleta, desorvido, uma vez que existem duas maneiras de remediar: por absorção e adsorção.

#### 5.4.7. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Os resultados da determinação da demanda química de oxigênio estão apresentados no Gráfico 8, antes e após passar pelo processo de fitorremediação.

**Gráfico 8: Valores Médios de Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L de O<sub>2</sub>)**



Fonte: Autoria própria (2018).

O limite de concentração estabelecido para DBO pela Resolução CONAMA 430/11 é de 120 mg/L de Oxigênio. Como pode ser evidenciado pelo Gráfico 8, os valores médios das concentrações estão acima do que é determinado pela mesma resolução.

Ao calcular a eficiência de remoção da DBO, usou-se a mesma fórmula para obter a porcentagem de remoção do parâmetro DQO (Equação 1). Os percentuais de remoção estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3: Eficiência de Remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

Amostragem 1 (18/05)	% Remoção	Amostragem 2 (11/06)	% Remoção
P1	13,59	P1	21,71
P2	15,10	P2	55,84
P3	3,25	P3	54,54

Fonte: Autoria própria (2018).

A Resolução CONAMA 430/11 apresenta como o mínimo de redução deste parâmetro um valor igual a 60%. Analisando os valores de remoção obtidos, (Tabela 3), nota-se que a porcentagem de remoção obtida na primeira amostragem não alcança nem a metade do valor exigido de 60%. Mas, na segunda campanha de amostragem realizada no mês de junho, o nível de remoção melhorou e obteve-se uma eficiência de redução da DBO bem próxima do valor requerido.

Destaca-se também que na mesma resolução é instituído o valor limite de concentração de DBO para 120 mg/L. Ao observar os valores encontrados depois da realização do procedimento de fitorremediação com a *S. wallisii*, foi determinado que no último ponto de coleta (P3) da segunda amostragem, em 11/06, a concentração média de DBO de 114,0 mg/L, se encontra em acordo com a CONAMA 430/11.

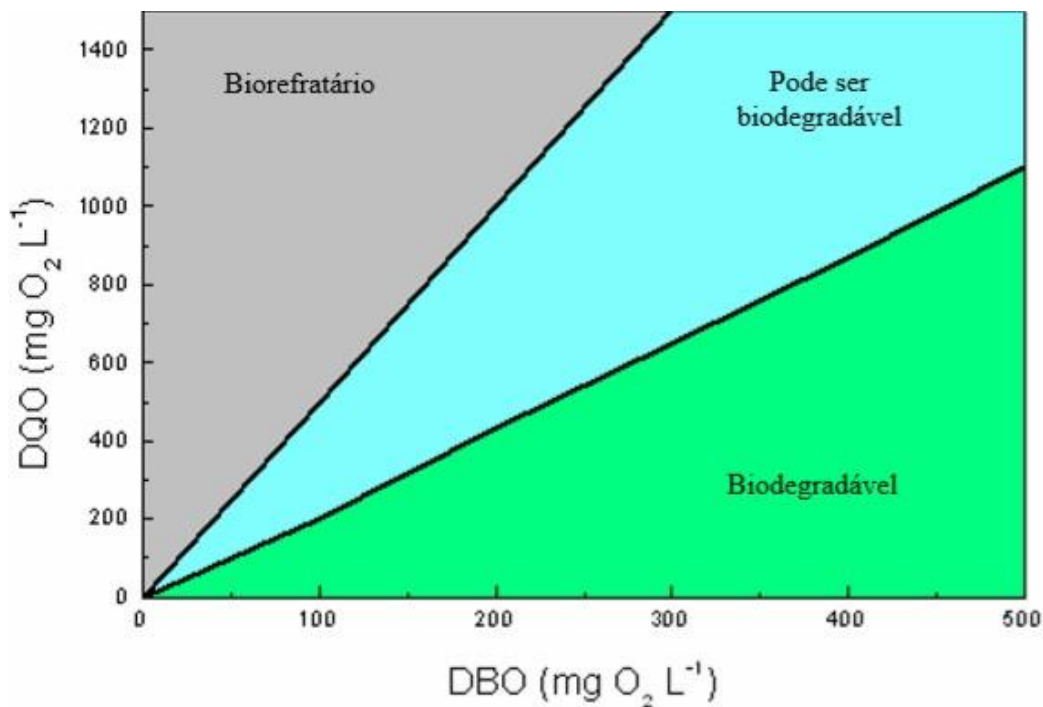
Os demais pontos possuem valores médios muito próximos ao estabelecido nesta resolução. Isto pode indicar que, para este parâmetro, mesmo apresentando grande parte dos valores fora do que é convencionado pela legislação brasileira, pouco se falta para atingir a meta definida.

Uma provável justificativa sobre porque não se atingiu em nenhuma etapa da pesquisa o valor de redução mínima da DBO é devido à variação do inóculo, ou neste caso, da amostra em questão, contendo assim, menor quantidade de microrganismos naturalmente presentes na água inicialmente. Além disto, a eficiência na remoção da matéria orgânica não depende somente das plantas utilizadas em questão, mas dos microrganismos que estão presentes na água e de suas relações também (LOPES et al., 2016).

#### 5.4.8. Relação DQO/DBO

A relação entre os parâmetros DQO/DBO é baseada, a princípio, no gráfico apresentado na Figura 16.

**Figura 16: Relação entre DQO/DBO**



Fonte: Jardim e Canela, Unicamp, 2004.

Ao abordar a tratabilidade biológica de um efluente, deve-se considerar que, por mais que a oxidação da matéria orgânica intercedida por microrganismos seja uma das melhores formas de degradar os poluentes no meio ambiente, nem sempre é possível utilizar essa tecnologia. Para isto, a tratabilidade biológica avalia a Demanda Bioquímica de Oxigênio e a Demanda Química de Oxigênio, parâmetros que levam em conta, respectivamente, a instabilidade biológica dos compostos orgânicos e a persistência da carga orgânica por meio de oxidação da matéria orgânica. Deste modo, a proporção entre as duas variáveis citadas acima apresenta um grande significado sobre o potencial da oxidação da matéria orgânica em vista da degradação da matéria orgânica (JARDIM e CANELA, 2004).

Neste contexto, calculou-se a relação DQO/DBO para as duas amostragens utilizando os valores de concentrações médias em mg/L. A Tabela 4 exhibe os resultados determinados para esta proporção antes e após passar pelo processo de fitorremediação.

**Tabela 4: Relação DQO/DBO**

Amostragem 1 (18/05)	Relação DQO/DBO		Amostragem 2 (11/06)	Relação DQO/DBO	
	Antes	Depois		Antes	Depois
P1	0,380	0,144	P1	1,04	1,25
P2	0,154	0,171	P2	0,24	1,36
P3	0,335	0,227	P3	0,16	1,60

Fonte: Autoria própria (2018).

Antes – Amostra inatura

Depois – Amostra que sofreu processo de fitorremediação por 7 dias

De acordo com Jardim e Canela (2004), as relações entre DQO/DBO sugerem o tipo de tratamento que pode ser mais bem empregado, em razão das faixas de valores: se a relação  $DQO/DBO < 2,5$ , o efluente é facilmente biodegradável, ou seja, o tratamento biológico apresentará grandes chances de sucesso. Se a relação  $5,0 < DQO/DBO < 2,5$ , é necessário escolher as opções de tratamento biológico para ter uma boa eficiência na remoção da carga orgânica. se a relação  $DQO/DBO > 5,0$ , isto significa que a opção por um tratamento químico é melhor do que um tratamento biológico, uma vez que, por obter maiores valores de DQO, a oxidação química apresenta um maior potencial de remoção da carga orgânica. (Fig. 14).

Os dados encontrados para a relação DQO/DBO situam-se abaixo de 2,5. Dessa forma, pode-se afirmar com base em análise conjunta da Tabela 4 e da Fig. 16 que o efluente apresenta a característica de ser biodegradável. Isto indica que para o amostrado, a escolha de um tratamento biológico é ideal.

Neste contexto, é possível inferir que o processo de fitorremediação utilizado no trabalho em questão pode ser visto como uma ótima opção de tratamento biológico para o caso do Córrego dos Contos, tendo em vista que há lançamento de efluentes domésticos neste corpo d'água.

É importante destacar que todos os resultados obtidos estão compilados nas Tabelas de 1ª Amostragem e 2ª Amostragem, situadas nos Apêndices.

## 6- CONCLUSÕES

Este trabalho se destinou a estudar o processo de fitorremediação utilizando *Spathiphyllum wallisii* com água coletada do Córrego dos Contos, o qual percorre boa parte do centro da cidade histórica de Ouro Preto-MG, situado em uma região de lazer e turismo o parque Horto dos Contos. Através da realização deste trabalho, foi possível detectar pontos críticos, como o último local de coleta que recebe lançamento de efluentes domésticos frequentemente.

Dos parâmetros analisados, foram observadas alterações nas duas campanhas de amostragens. Nas análises físico-químicas, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) apresentaram valores médios acima do limite permitido pela legislação vigente. Ainda assim, pode-se inferir que a *Spathiphyllum wallisii* apresenta boa capacidade fitorremediadora, visto que esta foi eficiente na remoção de alguns parâmetros analisados, além do fato extra de fornecer um bom cenário estético com as suas florações.

Além disto, as análises do Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em Trechos de bacias hidrográficas, modificado do Protocolo de Hannaford, podem ser importantes para a determinação de como está a situação dos três pontos de coleta (situação natural, leve ou severamente alterada).

Este estudo identificou a fitorremediação com *Spathiphyllum wallisii* como uma boa proposta na melhoria da qualidade da água no Córrego dos Contos. É válido apresentar que este método de tratamento pode, futuramente, ser exposto aos representantes de um Comitê de Bacias Hidrográficas, tendo em vista a sua interferência no gerenciamento e fiscalização de ações voltadas para a melhoria da qualidade da água na bacia. Porém, é fundamental que, para que haja uma melhoria significativa na qualidade da água, as autoridades sanitárias suprimissem o lançamento de dejetos diretamente nesse corpo d'água.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13894:

Tratamento no solo (landfarming), Rio de Janeiro, 1997, 10 p.

Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Corretivos e adubos. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cenoura/arvore/CONT000gnhfy7ha02wx5ok0edacxlc3wvowi.html>>. Acesso em 25 de junho de 2018.

Agência Nacional de Águas (ANA). INDICADORES DE QUALIDADE - ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA). Disponível em: <[portalpnqa.ana.gov.br](http://portalpnqa.ana.gov.br)>. Acesso em 18 de maio de 2018.

Apostila de Saneamento Ambiental – Metodologia de análises de águas e efluentes líquidos – UFAL (Universidade Federal de Alagoas). Disponível em:<<http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/DQO.%20QA2.2008.pdf>> . Acesso em 24 de abril de 2018.

ARAÚJO, J. Carlos de. SANTAELLA, S. Tédde. Gestão das águas princípios e práticas. 2 edição, Porto Alegre, ABRH, 2003.

BELTRAN, C.A.E. (2008) Aplicación de un sistema de control supervisor de pH y OD en la operación continua de un reactor nitrificante de disco rotatório. Departamento de Ingeniería Química, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

BRAGA, Benedito; HESPANHOL, Ivanildo; CONEJO, João Lotufo. Introdução à engenharia ambiental. 2ª ed. São Paulo: Prentice Hall, 2010, 336p.

BRANCO, S.M. & ROCHA, A. A. (1979). Poluição, proteção e usos múltiplos de represas. São Paulo, Ed. Edgard Blücher. 185 p.

BRASIL. Lei N° 6938, de 31 de agosto de 1981. Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

BRASIL. Portaria N° 2914 de 12 de dezembro de 2011. Ministério da Saúde. Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

BRASIL, Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional.

BRASIL, Resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011. Ministério do Meio Ambiente. Condições e padrões de lançamento de efluentes.

BROOKE, D. RIBEIRO, D. RODRIGUES, L. CAMPOS, M. MENDES, R. **ALGAS E SEUS IMPACTOS EM SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS PARA ABASTECIMENTO: ESTUDO DE CASO SISTEMA GUARAPIRANGA.**

Universidade de São Paulo – USP Escola Politécnica - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária – PHD. São Paulo, 2008.

CALIJURI, M. C., CUNHA, D. G. F. Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão. 1ª ed. Elsevier Brasil – Campus, 2013, 832 páginas.

CARNEIRO. D.A e GARIGLIO. L.P. A biorremediação como ferramenta para a descontaminação de ambientes terrestres e aquáticos. Revista Tecer - Belo Horizonte – vol. 3, nº 4, maio 2010.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. IQA: Índice de qualidade das águas. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/ÁguasSuperficiais/42-Índice-de-Qualidade-das-Águas-\(iqa\)](http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/ÁguasSuperficiais/42-Índice-de-Qualidade-das-Águas-(iqa))>. Acesso em: 28 de junho de 2018.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguasinteriores/variaveis/aguas/variaveis\\_quimicas/demanda\\_quimica\\_de\\_o\\_xigenio.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguasinteriores/variaveis/aguas/variaveis_quimicas/demanda_quimica_de_o_xigenio.pdf)>. Acesso em: 23 de abril de 2018.

DEMARCO, C. F. **Seleção de macrófitas aquáticas com potencial de fitorremediação no arroio Santa Bárbara, município de Pelotas/RS.** 2016. 52p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS.

DI BERNARDO, L.; DI BERNANRDO, A.; CENTURIONE FILHO, P.L. Ensaios de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. Rima: São Carlos, 2002.

Embrapa Nitrate. Disponível em: <<http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/ecoagua/eco/nitrato.html>>. Acesso em 26 de junho de 2018.

ESTEVES, Francisco de Assis. Fundamentos de Limnologia. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência. 1998, 226p.

FEDERAL REMEDIATION TECHNOLOGIES ROUNDTABLE. Treatment perspectives. Disponível em: <[http://www.frtr.gov/matrix2/section3/sec3\\_int.html](http://www.frtr.gov/matrix2/section3/sec3_int.html)> Acesso em 09/02/2010.

FERNANDES, Fermiano Martins; ALCÂNTARA, Giseli Zamberlan. Biorremediação de solos – Estado da arte. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia C. P. Manual prático para a compostagem de biossólidos. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 1999.

FERREIRA, T. C. R. Macrófitas aquáticas na remoção de microcistinas. 2009. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto - MG.

FIGUEIRÊDO, A. C. **Avaliação e diagnóstico da qualidade da água do açude de apipucos, Recife-PE.** 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE.

Floresta Água do Norte. Disponível em: <<http://files.florestaaguadonorte.webnode.com.br/20028614281261821ff/L%C3%8DRIO%20A%C3%87UCENA%20BRANCA,%20Lilium%20candidum,%20LILIACEAE,%20Floresta%20%C3%81gua%20do%20Norte,%20Celcoimbra%202%20b.jpg>>. Acesso em 20 de abril de 2018.

Freitas, E. V. S.; Nascimento C. W. A.; Silva A. J; Duda, G. P. INDUÇÃO DA FITOEXTRAÇÃO DE CHUMBO POR ÁCIDO CÍTRICO EM SOLO

CONTAMINADO POR BATERIAS AUTOMOTIVAS. R. Bras. Ci. Solo, 33:467-473, 2009.

GADELHA, C. L. M.; WATANABE, T.; SILANS, A. M. P. Liberação de nutrientes inorgânicos durante o processo de decomposição de *Ludwigia natans* (EII) (Dicotiledônea: Onagraceae) e de *Salvinia auriculata* (Aubl) (Pterodophyta: Salvinácea) Acta Limnol. Brasil; v. 3, p. 633-652, 1990.

GASPAROTTO, F.A. **Avaliação ecotoxicológica e microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba- SP.** 2011, 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Biologia na Agricultura e Meio Ambiente) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GAYLARD, Christine Claire; BELLINASSO, Maria de Lourdes; MANFIO, Gilson Paulo. Aspectos biológicos e técnicas da biorremediação de xenobióticos. Revista digital: Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento. Disponível em: <<http://www.biotecnologia.com.br/edicoes/ed34.php>> Acesso em 10 de março de 2018.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <[https://earth.google.com/web/@-20.38267604,43.50527554,1149.0390689a,929.22602268d,35y,0h,0t,0r/data=ClcaVRJPCiMweGE0MGIxZTRmYjQ4MjBiOjB4OGQ3OGEyZGVhOWM0MDNiNhlaIQLu4mE0wCH\\_1\\_Nv8BFwCoWUGFycXVIIIFZhbGUgZG9zIENvbnRvcxgCIAE](https://earth.google.com/web/@-20.38267604,43.50527554,1149.0390689a,929.22602268d,35y,0h,0t,0r/data=ClcaVRJPCiMweGE0MGIxZTRmYjQ4MjBiOjB4OGQ3OGEyZGVhOWM0MDNiNhlaIQLu4mE0wCH_1_Nv8BFwCoWUGFycXVIIIFZhbGUgZG9zIENvbnRvcxgCIAE)>. Acesso em 20 de abril de 2018.

JARDIM, W. F., CANELA, M. C. Fundamentos da oxidação química no tratamento de efluentes e remediação de solos. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, 2004.

Jerônimo, C. E. M., Fernandes, H. G., Melo H. N. S. e Sousa J. F. Universidade Potiguar. Universidade Federal do R. G. do Norte – DEQ. BIOAUMENTAÇÃO PARA DEGRADAÇÃO DE EFLUENTES DO PROCESSAMENTO DA CASTANHA DE CAJU. HOLOS, Ano 28, Vol 3. 2012.

KAKOEI, F.; SALEHI, H. Effects of Different Pot Mixtures on *spathiphyllum* (*Spathiphyllum wallisii* Regel) Growth and Development. European Agriculture, 2013, 14(2), p.140-148.

KAMPBELL, D. H. WIEDEMEIER, T. H.; SWANSON, M. A.; MOUTOUX, D. E.; GORDON, E. K.; WILSON, J. T.; WILSON, B. H.; HAAS, P. E.; MILLER, R. N.; HANSEN, J. E.; CHAPELLE, F. H. Technical protocol for evaluating natural attenuation of chlorinated solvents in ground water. Washington, DC.: Usepa, 1998. (EPA/600/R-98/128).

KERN, P.; CORSEUIL, H. X.; NUNES, C. C. **APLICAÇÃO DO MODELO SCBR NO GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS: ANÁLISE DA FUNCIONALIDADE “ÁREAS REATIVAS” PARA SIMULAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE BIOESTIMULAÇÃO.** UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. ENS – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, 2016.

LAMBERT, L. F. M. **O USO DA FITORREMEDIAÇÃO PARA RECUPERAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR PETRÓLEO.** III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Goiânia/GO – 19 a 22/11/2012. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais.

LIU, J.; ZUO, J.E.; YANG, Y.; ZHU, S.; KUANG, S.; WANG, K. (2010a). An autotrophic nitrogen removal process: short-cut nitrification combined with ANAMMOX for treating diluted effluent from an UASB reactor fed by landfill leachate. *Journal of Environmental Sciences (China)*, v. 22, n. 5, p. 777-783.

LOPES, A. E.; DUARTE, N. F. **O TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS ATRAVÉS DE SISTEMAS UTILIZANDO AGENTES DE FITORREMEDIAÇÃO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA.** *R. gest. sust. ambient.*, Florianópolis, v. 6, n. 1, p. 432 - 441, abr./set. 2017. Florianópolis, 2017.

MACEDO, Jorge. A. B. **Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas.** 2ª ed., CRQ/MG, 2001.

MANCERA-LÓPEZ, M.E.; et al.. Bioremediation of an aged hydrocarboncontaminated soil by a combined system of biostimulation-bioaugmentation with filamentous fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2007.

MARIANO, Adriano Pinto. Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2006.

METCALF & EDDY. (2003) Wastewater engineering: treatment and reuse. Boston: McGraw-Hill.

MEYBECK M. et al. Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. UNEP/WHO, 1996, 383p.

Organização das Nações Unidas no Brasil/ ONU-BR. Conheça os novos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/>>. Acesso em 30 de junho de 2018.

PEREIRA, D. SILVA, F. C. GUARDA, V. L. M. Apostila de Qualidade de Águas, Laboratório de Qualidade de Águas-LaQua. Universidade Federal de Ouro Preto, 2003.

PHILIPS, A.M.L. (2008) Utilização de reator de biodiscos para tratamento de efluentes com altas concentrações de nitrogênio. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal De Santa Catarina. Florianópolis.

PILON-SMITS, E. Phytoremediation. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v.56, p.15-39, 2005.

Portal Prefeitura de Ouro Preto. Disponível em: <<http://www.ouropreto.mg.gov.br/index.php?page=searchpage&q=horto%20dos%20contos>>. Acesso em 30 de junho de 2018.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORM, S. E. (1996). Plantas vasculares. *Biologia Vegetal*. Editora Guanabara Koogan S. A.A. pp. 297-327.

RIBEIRO, Celso Bandeira de Melo, Apostila de Mananciais e Qualidade da água. Disciplina Mananciais e Qualidade da água. UFJF. Juiz de Fora, 2010.

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

Sandermann H Jr. **Higher plant metabolism of xenobiotics: the 'green liver' concept.** Pharmacogenetics. 1994, Oct; 4(5):225-41. Review. PMID:7894495.

SANTOS, Renata M; RIZZO, Andréia C. L; SOBRAL, Luiz G.S. Remediação de solo contaminado por petróleo em biopilhas – escala piloto. Campinas: Centro de tecnologia mineral CETEM, 2007.

Seidel H. F.; Morrow, D. P. Passage of Mandatory Certification Bill by Iowa State Legislature. Water Pollution Control, Des Moines, Iowa. 1966.

SPERLING, Marcos von. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Volume 1, 3ª Edição. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

Spósito, T. H. N.; Pinaffi, C. D.; Scandelai, A. P. J.; Santos, C. H. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE EFLUENTE DE ETE DOMÉSTICA MANEJADO COM *Eichhornia crassipes*. Colloquium Agrariae, vol. 12, n. Especial, Jul–Dez, 2016, p. 61-67. ISSN: 1809-8215. DOI: 10.5747/ca.2016.v12.nesp.000172.

TAVARES, S. R. L. **FITORREMEDIAÇÃO EM SOLO E ÁGUA DE ÁREAS CONTAMINADAS POR METAIS PESADOS PROVENIENTES DA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2009, 77 p.

TORTORA, Gerard J; FUNKE, Berdell R; CASE, Christine L. Microbiologia. 8ª.ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2005.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency - USEPA. Secondary maximum contaminant levels: a strategy for drinking water quality and consumer acceptability. 2015. Disponível em: <http://www.waterrf.org/PublicReportLibrary/4537.pdf>. Acesso em: 26 de junho de 2018.

VARDANYAN, L. G.; INGOLE, B. S. Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake systems. Environment International, v. 32, p. 208-218, 2006.

VENDRUSCOLO, D. **SELEÇÃO DE PLANTAS PARA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM COBRE.** Dissertação de Mestrado - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO. Santa Maria-RS, Brasil, 2013, 58 p.

Vieira, G. E. G.; Silveira C. R.; Cutrim, J.; Ribeiro, J. AVALIAÇÃO DOS PRINCIPAIS ASPECTOS DA FITORREMEDIAÇÃO APLICADOS NA REDUÇÃO DA POLUIÇÃO NO SOLO E ÁGUA. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 2, p. 182-192, abr./jun. 2011.

VILAÇA, J. Plantas tropicais: guia prático para o novo paisagismo. Editora Nobel, São Paulo, 2005.

YANNI, Y.G.; RIZK, R.Y.; ABD EL-FATTAH, F.K. et al. The beneficial plant growth-promoting association of *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* with rice roots. *Funct Plant Biol*, 28:845–870, 2001.

ZOPPAS, F.M. (2012) Estudo da remoção de nitrogênio em efluentes por nitrificação e desnitrificação simultânea. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Zoppas, F.M.; Bernardes, A.M.; Meneguzzi, A. **Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea.** Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/esa/v21n1/1413-4152-esa-21-01-00029.pdf>>. Acesso em 22 de junho de 2018. Publicado em Eng Sanit Ambient | v.21 n.1 | jan/mar 2016 | 29-42 páginas.

## APÊNDICES

A seguir, estão listadas as Tabelas correspondentes à 1ª Amostragem e à 2ª Amostragem com dados da primeira e segunda amostragem, sendo que antes seriam as análises com a água in natura e depois com a água após o processo de fitorremediação. É válido destacar que os dados em vermelho foram desconsiderados para a obtenção dos resultados. Além disto, foram obtidos o Desvio Padrão e o Coeficiente de Variância (CV) para os resultados obtidos.

1ª Amostragem (18/05/2018):

TURBIDEZ										
ANTES	A	B	C	MÉDIA	DEPOIS	A	B	C	MÉDIA	
P1		0,8	1	0,9	0,90	P1	2,21	2,28	2,27	2,25
P2		20,7	27,5	25,3	24,50	P2	4,34	11,1	9,12	10,11
P3		24,5	22,9	23,5	23,63	P3	5,71	7,44	2,93	6,58

pH										
ANTES	A	B	C	MÉDIA	DEPOIS	A	B	C	MÉDIA	
P1		6,52	6,56	6,59	6,56	P1	5,79	6,56	6,53	6,55
P2		7,5	7,07	7	7,19	P2	6,61	6,78	6,96	6,78
P3		6,97	6,91	6,81	6,90	P3	6,92	6,82	6,73	6,82

NITRITO										
ANTES	A	B	C	MÉDIA	DEPOIS	A	B	C	MÉDIA	
P1		0,376	0,374	0,382	0,38	P1	0,389	0,41	0,365	0,39
P2		0,545	0,562	0,54	0,55	P2	0,2409	0,0392	0,2117	0,23
P3		0,586	0,573	0,56	0,57	P3	0,2896	0,3032	0,2783	0,28

NITRATO										
ANTES	A	B	C	MÉDIA	DEPOIS	A	B	C	MÉDIA	
P1		0,8019	0,7912	0,7787	0,79	P1	0,027	0,1645	0,22	0,19
P2		0,1235	0,1117	0,0832	0,11	P2	0,2409	0,0392	0,2117	0,23
P3		0,0901	0,0869	0,0832	0,09	P3	0,45	1,14	0,458	0,45

DQO										
ANTES	A	B	C	MÉDIA	DEPOIS	A	B	C	MÉDIA	
P1		10	91,7	123,5	107,60	P1	43,6	31,5	30,7	35,27
P2		107,7	145,8	94,8	101,25	P2	61,6	102,6	89,1	95,85
P3		195,7	160,9	129,2	178,30	P3	14,5	114,4	119,7	117,05

FOSFATOS									
ANTES	A	B	C	MÉDIA	DEPOIS	A	B	C	MÉDIA
P1	0,001	0,012	0,019	0,02	P1	2,553	1,558	0,833	2,06
P2	1,129	1,031	1,115	1,09	P2	1,351	1,459	4,127	1,41
P3	1,113	1,27	1,151	1,18	P3	0,906	3,616	1,159	1,89

CLORETOS									
ANTES	A	B	C	MÉDIA	DEPOIS	A	B	C	MÉDIA
P1	0,7629	0,3814	0,5722	0,57	P1	0,6189	0,8253	0,4126	0,62
P2	4,3866	3,8144	3,623	3,94	P2	0,619	1,0316	0,8253	0,83
P3	3,4323	3,9903	3,6237	3,68	P3	0,8253	1,0317	0,6189	0,83

DBO									
ANTES	A	B	C	MÉDIA	DEPOIS	A	B	C	MÉDIA
P1	245,70	320,70	589,60	283,20	P1	233,70	147,30	255,70	244,70
P2	660,30	840,70	658,00	659,15	P2	520,00	561,00	558,30	559,65
P3	606,00	197,00	460,03	533,02	P3	446,70	584,70	788,00	515,70

DQO/DBO (MÉDIA)			
ANTES	DEPOIS		
P1	0,38	P1	0,14
P2	0,15	P2	0,17
P3	0,33	P3	0,23

Desvio padrão TURBIDEZ			
antes	depois		
P1	0,08164	P1	0,575
P2	2,83314	P2	0,99
P3	0,6599	P3	0,865

CV % TURBIDEZ			
antes	depois		
P1	9,071111	P1	25,51775
P2	11,56384	P2	9,792285
P3	2,792243	P3	13,15589

Desvio padrão pH			
antes	depois		
P1	0,02867	P1	0,015
P2	0,2211	P2	0,1429
P3	0,06599	P3	0,0776

CV % pH			
antes	depois		
P1	0,437265	P1	0,229183
P2	3,075104	P2	2,106634
P3	0,956839	P3	1,137274

Desvio padrão NITRITO			
antes	depois		
p1	0,00399	p1	0,01838
p2	0,009416	p2	0,0146
p3	0,01062	p3	0,00565

CV % NITRITO			
antes	depois		
P1	1,05742	P1	4,737113
P2	1,715118	P2	6,451613
P3	1,853403	P3	1,989787

Desvio padrão NITRATO			
antes		depois	
P1	0,00948	P1	0,02775
P2	0,01692	P2	0,0146
P3	0,00282	P3	0,004

CV % NITRATO			
antes		depois	
P1	1,199089	P1	14,43433
P2	15,94221	P2	6,451613
P3	3,251345	P3	0,881057

Desvio padrão DQO			
antes		depois	
P1	15,90	P1	5,90
P2	6,45	P2	6,75
P3	17,40	P3	2,65

CV % DQO			
antes		depois	
P1	14,77695	P1	16,73535
P2	6,37037	P2	7,042254
P3	9,758833	P3	2,26399

Desvio padrão FOSFATOS			
antes		depois	
P1	0,0035	P1	0,4975
P2	0,0106	P2	0,054
P3	0,0669	P3	0,1265

CV % FOSFATOS			
antes		depois	
P1	22,58065	P1	24,20336
P2	0,970992	P2	3,843416
P3	5,679117	P3	6,680162

Desvio padrão CLORETOS			
antes		depois	
P1	0,1557	P1	0,1685
P2	0,3244	P2	0,1684
P3	0,2315	P3	0,1686

CV % CLORETOS			
antes		depois	
P1	27,21235	P1	27,22426
P2	8,230717	P2	20,4047
P3	6,287173	P3	20,42893

Desvio padrão DBO			
antes		depois	
P1	37,5	P1	11
P2	1,15	P2	18,724
P3	72,985	P3	69

CV % DBO			
antes		depois	
P1	13,24153	P1	4,4953
P2	0,174467	P2	3,345662
P3	13,69286	P3	13,37987

## 2ª amostragem (11/06):

pH										
Antes	A	B	C	Média	Depois	A	B	C	Média	
P1		6,66	6,71	6,72	6,70	P1	6,43	6,57	6,59	6,53
P2		6,69	6,7	6,7	6,70	P2	6,56	6,61	6,58	6,58
P3		6,73	6,67	6,68	6,69	P3	6,64	6,59	6,61	6,61

Turbidez										
Antes	A	B	C	Média	Depois	A	B	C	Média	
P1		2,43	2,4	2,49	2,44	P1	2,23	2,16	2,32	2,24
P2		14,5	14,5	14,4	14,47	P2	9,8	10,2	9,7	9,90
P3		14,3	14,5	14,6	14,47	P3	9,3	9,6	10,1	9,67

Nítrito										
Antes	A	B	C	Média	Depois	A	B	C	Média	
P1		0,341	0,331	0,337	0,34	P1	0,315	0,378	0,317	0,34
P2		0,721	0,733	0,78	0,74	P2	0,356	0,348	0,334	0,35
P3		0,706	0,701	0,704	0,70	P3	0,346	0,376	0,344	0,36

Nitrato										
Antes	A	B	C	Média	Depois	A	B	C	Média	
P1		0,2228	0,3507	0,3533	0,35	P1	0,0211	0,0202	0,0198	0,02
P2		0,1526	0,2146	0,0771	0,18	P2	0,0689	0,0536	0,0486	0,06
P3		0,2088	0,1048	0,1098	0,11	P3	0,0233	0,0193	0,0218	0,02

Fosfatos										
Antes	A	B	C	Média	Depois	A	B	C	Média	
P1		0,056	0,061	0,032	0,05	P1	0,278	0,252	0,242	0,26
P2		0,61	0,759	0,748	0,71	P2	0,191	0,302	0,271	0,25
P3		0,866	0,76	0,78	0,80	P3	0,181	0,248	0,24	0,22

DBO										
Antes	A	B	C	Média	Depois	A	B	C	Média	
P1		220,41	118,63	179,51	199,96	P1	149,48	163,61	313,09	156,55
P2		233,13	332,04	344,77	338,41	P2	74,71	135,09	163,79	149,44
P3		249,41	275,85	252,09	250,75	P3	104,39	123,61	168,36	114,00

Cloretos										
Antes	A	B	C	Média	Depois	A	B	C	Média	
P1		14,6904	12,8542	18,3632	15,30	P1	2,9225	5,8445	7,3063	5,36
P2		22,0356	20,1994	23,8722	22,04	P2	10,2287	13,1512	18,9962	14,13
P3		27,5446	31,2172	36,7262	31,83	P3	11,6899	17,3498	10,2287	13,09

DQO										
Antes	A	B	C	Média	Depois	A	B	C	Média	
P1	54,6	164,8	249,9	207,35	P1	117,7	198,8	192	195,40	
P2	82,1	141	81,9	82,00	P2	200	205	175,3	202,50	
P3	10,2	35,3	45,8	40,55	P3	181,6	183,1	142,8	182,35	

DQO/DBO (MÉDIA)			
ANTES		DEPOIS	
P1	1,04	P1	1,25
P2	0,24	P2	1,36
P3	0,16	P3	1,60

Desvio padrão pH			
Antes		Depois	
P1	0,0263	P1	0,0263
P2	0,0047	P2	0,0205
P3	0,0263	P3	0,0262

CV % pH			
Antes		Depois	
P1	0,392733	P1	0,402757
P2	0,070184	P2	0,311392
P3	0,392928	P3	0,396169

Desvio padrão Turbidez			
Antes		Depois	
P1	0,0374	P1	0,0374
P2	0,04714	P2	0,0471
P3	0,1247	P3	0,3299

CV % Turbidez			
Antes		Depois	
P1	1,532787	P1	1,672131
P2	0,325853	P2	0,475758
P3	0,861982	P3	3,412759

Desvio padrão Nitrito			
Antes		Depois	
P1	0,0041	P1	0,0292
P2	0,0255	P2	0,0091
P3	0,00205	P3	0,0146

CV % Nitrito			
Antes		Depois	
P1	1,219029	P1	8,673267
P2	3,424351	P2	2,630058
P3	0,291331	P3	4,108818

Desvio padrão Nitrato			
Antes		Depois	
P1	0,0013	P1	0,000543
P2	0,031	P2	0,00863
P3	0,0025	P3	0,00165

CV % Nitrato			
Antes		Depois	
P1	0,369318	P1	2,666121
P2	16,88453	P2	15,1315
P3	2,329916	P3	7,686335

Desvio padrão Fosfatos			
Antes		Depois	
P1	0,01266	P1	0,0152
P2	0,0678	P2	0,0467
P3	0,04599	P3	0,0298

CV % Fosfatos			
Antes		Depois	
P1	25,48993	P1	5,906736
P2	9,607936	P2	18,3377
P3	5,734414	P3	13,36323

Desvio padrão DBO			
Antes		Depois	
P1	20,45	P1	7,065
P2	6,365	P2	14,35
P3	1,34	P3	9,61

CV % DBO			
Antes		Depois	
P1	10,22705	P1	4,513079
P2	1,880882	P2	9,602516
P3	0,534397	P3	8,429825

Desvio padrão Cloretos			
Antes		Depois	
P1	2,2903	P1	1,8225
P2	1,4994	P2	3,6449
P3	3,7733	P3	3,0711

CV % Cloretos			
Antes		Depois	
P1	14,96674	P1	34,01604
P2	6,804403	P2	25,80393
P3	11,85479	P3	23,46238

Desvio padrão DQO			
Antes		Depois	
P1	42,55	P1	3,4
P2	0,1	P2	2,5
P3	5,25	P3	0,75

CV % DQO			
Antes		Depois	
P1	20,52086	P1	1,74002
P2	0,121951	P2	1,234568
P3	12,94698	P3	0,411297



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
Universidade Federal de Ouro Preto –  
UFOP

**Escola de Farmácia**

### **CERTIFICADO DE CORREÇÃO**

Certifico que Luiza de Abreu Pereira Piermatei realizou todas as correções requeridas pela comissão avaliadora na monografia de trabalho de Conclusão de curso: Avaliação da planta de paisagismo *Spatiphyllum wallisii* em fitorremediação de águas residuárias e que estou de acordo com a versão final.

Ouro Preto, 19/07/18

A handwritten signature in blue ink, reading 'V. Guarda'.

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vera Lúcia de Miranda Guarda  
NUCAT - UFOP, orientadora