



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

FILTRAÇÃO DE ÁGUA ATRAVÉS DO XILEMA DE DIFERENTES ESPÉCIES DE MADEIRA

CAROLINE SCHUTZ WENDLING

LAGES/SC, 2019

CAROLINE SCHUTZ WENDLING

**FILTRAÇÃO DE ÁGUA ATRAVÉS DO XILEMA DE DIFERENTES ESPÉCIES DE
MADEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo da Silveira Nicoloso

Coorientador: Dr. Alexandre Matthiensen

Lages/SC, 2019

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Wendling, Caroline Schutz
Filtração de água através do xilema de diferentes espécies de
madeira / Caroline Schutz Wendling. -- 2019.
140 p.

Orientador: Rodrigo da Silveira Nicoloso
Coorientador: Alexandre Matthiensen
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Lages, 2019.

1. Filtração. 2. Xilema. 3. Madeira. 4. Tratamento de água. I.
Nicoloso, Rodrigo da Silveira . II. Matthiensen, Alexandre. III.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais. IV. Título.

CAROLINE SCHUTZ WENDLING

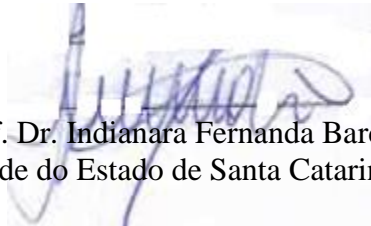
FILTRAÇÃO DE ÁGUA ATRAVÉS DO XILEMA DE DIFERENTES ESPÉCIES DE MADEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

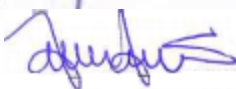
Banca examinadora:



Prof. Dr. Rodrigo da Silveira Nicoloso (Orientador)
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC



Prof. Dr. Indianara Fernanda Barcaroli
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC



Prof. Dr. Gislaine Fongaro
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Lages, 31 de julho de 2019

Aos meus pais *Dolores Beatriz Schutz Wendling* e *Enio Wendling*

Ao meu irmão *Rodrigo Schutz Wendling*

Vocês que foram meu suporte durante esse sonho!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai *Enio Wendling*. Por se reinventar e me permitir viver esse sonho. Não importa o que a vida coloque em nosso caminho, e nem quanto tempo dure, estaremos sempre prontos, e juntos.

A minha mãe *Dolores Schutz Wendling*. A mulher que me inspira a levantar e seguir todos os dias. Na tua superação eu encontro a minha força. Na tua vontade de recomeçar encontro minha motivação. Tua felicidade é a minha.

Ao meu irmão, *Rodrigo Schutz Wendling*, por seu meu lar, minha fortaleza e minha força. Por me fazer sentir muito especial e uma super-heroína. Sempre a minha maior saudade.

Ao meu namorado *Lucas Sprendor Flores*. Encontro em ti, todos os dias, tudo que eu preciso para ser uma boa pessoa. Obrigada por compartilhar a vida comigo.

Ao meu orientador, *Rodrigo da Silveira Nicoloso*, pela oportunidade e acolhimento.

Ao meu coorientador *Alexandre Matthiensen*, por me apresentar a este projeto e embarcar comigo nesta jornada. Por toda gentileza, humanidade e paciência, que contribuíram muito para meu desejo em continuar pesquisando.

À Universidade do Estado de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudos.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, unidade Suínos e Aves – Concórdia/SC, por disponibilizar toda a estrutura necessária para realização desta pesquisa.

Ao pesquisador *Paulo Esteves, Daiane Voss Rech e Tânia Klein*, e a todo o pessoal da Sanidade pelo acolhimento e boa vontade. Por compartilhar conhecimento e o tempo de vocês.

Ao “pessoal da manutenção”. Pelos diversos filtros produzidos, pela preocupação em deixar tudo sempre perfeito, e pelas conversas e risadas.

Aos pesquisadores *Fabiane Goldschmidt Antes e Arlei Coldebella*, por compartilhar seu tempo e conhecimento.

Ao pessoal do Laboratório de Virologia Aplicada (LVA) da Universidade Federal de Santa Catarina, em especial à professora Gislaine Fongaro, por me acolher em sua “segunda casa”, por

compartilhar conhecimento e por não medirem esforços para que eu me sentisse em casa. Um obrigada muito especial.

Ao pessoal do Centro de Divulgação Ambiental – CDA, de Itá, especialmente ao *Jusselei Perin*, pela disponibilidade.

Às minhas companheiras de apartamento, *Beatriz*, *Elis* e *Caroline*. Vocês foram, e sempre serão, a minha família em Concórdia. Obrigada por todas as batatas fritas compartilhadas.

Ao pessoal da “salinha dos estagiários” da EMBRPA – Suínos e Aves. Por compartilharem suas histórias, cafés da manhã, conversas e risadas.

À *Caroline Matias* e *Roger Campos*. Encontrar vocês foi ter a certeza de encontrar amigos para toda vida. Vocês fizeram meu percurso mais bonito e feliz.

Aos membros da banca examinadora pela contribuição e disponibilidade para avaliar este trabalho.

Meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma doaram um pouco de si para que este momento fosse possível.

RESUMO

WENDLING, C. S. **Filtração de água através do xilema de diferentes espécies de madeira.** 2019. 110 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2019.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de diferentes espécies de madeira na filtração de água. Primeiramente, foram selecionadas nove espécies de árvores, entre nativas e exóticas, e analisada sua capacidade de filtração de partículas em suspensão por meio da remoção de turbidez, assim como a análise da estimativa da taxa de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$) de cada espécie. Das nove espécies avaliadas, foram selecionadas três espécies para participação do experimento: *Araucaria angustifolia* (M1), *Psidium cattleianum* (M2) e *Hovenia dulcis* (M3), as quais tiveram suas superfícies caracterizadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para cálculo do diâmetro médio dos poros (mm), área média dos poros (mm^2), porosidade da madeira (%) e densidade dos poros (poro/mm^2), assim como dimensionamento das pontuações presentes na superfície tangencial. Após, as madeiras foram submetidas à ensaios de filtração onde o diâmetro do elemento filtrante foi definido em 1 cm, o comprimento variado de 1 a 10 cm e a pressão aplicada ao sistema foi variada de 1 a 20 psi, com o intuito de definir a combinação comprimento x pressão mais eficiente para filtração de água. A água bruta foi produzida em laboratório com a adição de argila bentonita à água destilada, sendo analisados parâmetros como turbidez, cor aparente, sólidos dissolvidos totais, carbono orgânico total, nitrogênio total, pH, condutividade, densidade aparente (g/cm^3) e estimativa da taxa de filtração diária ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$). Foi observado que, quanto menor o comprimento do elemento filtrante maior foi a remoção de turbidez e, que para comprimentos menores a pressão aplicada ao sistema não influencia de forma determinante na diminuição deste parâmetro, sendo que M1 obteve o melhor desempenho, seguida da M2 e M3, respectivamente. A cor aparente aumentou conforme o aumento do comprimento, assim como os sólidos dissolvidos totais, indicando a incorporação de substâncias químicas à água filtrada pelas madeiras. Assim, foi definido o comprimento de 1 cm e a pressão de 12 psi, e as madeiras M1 e M2 foram testadas para remoção de partículas de *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* – serovar Typhimurium e partículas do Vírus da Doença Infecciosa da Bursa. Não foi observada nenhuma remoção para *E. coli* e Vírus da Doença Infecciosa da Bursa. Por sua vez, para *Salmonella enterica* – serovar Typhimurium M1 obteve remoção de 92,44%, e M2 de 51,02%.

Palavras-chave: Filtração, Xilema, Madeira, Tratamento de água.

ABSTRACT

WENDLING, C. S. **Water filtration through the xylem of different species of wood**. 2019. 110 p. Dissertation (Master's in Environmental Sciences) – State University of Santa Catarina, Agroveterinary Sciences Center, Lages, 2019.

The present study had as objective to evaluate the capacity of different species of wood in the filtration of water. First, nine species of trees, native and exotic, were selected, and their particle filtration capacity was analyzed by turbidity removal, as well as the analysis of the estimated filtration rate ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{day}$) of each species. Three out of nine species were selected to participate in the experiment: *Araucaria angustifolia* (M1), *Psidium cattleianum* (M2) and *Hovenia dulcis* (M3), which had their surfaces characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM), to calculate the mean pore diameter (mm), porosity of the wood (%) and pore density (pore/ mm^2), as well as dimensioning of the spots present on the tangential surface. After that, the wood was subjected to the filtration tests where the diameter of the filter element was defined as 1 cm, the length varied from 1 to 10 cm and the pressure applied to the system was varied from 1 to 20 psi in order to define the most effective length x pressure combination for water filtration. Crude water was produced in the laboratory with the addition of bentonite clay to the distilled water and parameters such as turbidity, apparent color, total dissolved solids, total organic carbon, total nitrogen, pH, conductivity, bulk density (g/cm^3) of the daily filtration rate ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{day}$). It was observed that the smaller the length of the filter element the greater the turbidity removal, and that for smaller lengths the pressure applied to the system does not influence the decrease of this parameter, with M1 obtaining the best performance, followed by M2 and M3, respectively. The apparent color increased as the length increased, as did the total dissolved solids, indicating the incorporation of chemicals into the water filtered by the woods. Thus, the length of 1 cm and the pressure of 12 psi were defined, and the woods M1 and M2 were tested for the removal of particles of *Escherichia coli*, *Salmonella enteric* - serovar Typhimurium and particles of the Infectious Bursal Disease Virus. No removal was observed for *E. coli* and Infectious Bursal Disease Virus. In turn, *Salmonella enteric* - serovar Typhimurium M1 obtained removal of 92.44%, and M2 of 51.02%.

Keywords: Filtration, Xylem, Wood, Water treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Técnicas de separação aplicadas a partículas com diferentes dimensões	33
Figura 2 - Diferença entre os fluxos de filtração frontal e tangencial	34
Figura 3 - Estrutura da madeira.	35
Figura 4 - Planos de corte da madeira	35
Figura 5 - Estrutura de um bloco de madeira gimnosperma.....	37
Figura 6 - Circulação de líquidos através das pontoações.....	37
Figura 7 - Disposição das pontoações nos traqueídeos	37
Figura 8 - Estrutura de um bloco de madeira angiosperma.....	39
Figura 9 - Diferentes tipos de placas de perfuração	39
Figura 10 - Disposição das pontoações nos vasos.....	39
Figura 11 - Características dimensionais de casos e traqueídeos.	43
Figura 12 - Porosidade das membranas de angiospermas e gimnospermas.	44
Figura 13 – Localização das espécies.....	49
Figura 14 - Sistema de filtração em operação	52
Figura 15- Imagens de MEV da M1 no plano transversal.....	59
Figura 16 - Imagens de MEV para a M2 no plano transversal.....	60
Figura 17 - Imagens de MEV da M3 no plano transversal.....	60
Figura 18 - Imagens de MEV da M1 no plano tangencial	62
Figura 19 - Imagens de MEV da M2 no plano tangencial	63
Figura 20 - Imagens de MEV da M2 no plano tangencial	63
Figura 21 – Gráfico de contorno da turbidez (uT) em função do comprimento e da pressão para M1.....	68
Figura 22 - Gráfico de contorno da turbidez (uT) em função do comprimento e da pressão para M2	69
Figura 23 - Gráfico de contorno da turbidez (uT) em função do comprimento e da pressão para M3	69
Figura 24 - Filtros utilizados para a repetição 3	72
Figura 25 - Valores médios observados e curvas ajustadas para cada madeira em função do comprimento do filtro para cor aparente	72

Figura 26 - Gráficos de contorno de SDT (mg/L) em função do comprimento e da pressão para M1.....	74
Figura 27 - Gráficos de contorno de SDT (mg/L) em função do comprimento e da pressão para M2.....	74
Figura 28 - Gráficos de contorno de SDT (mg/L) em função do comprimento e da pressão para M3.....	75
Figura 29 – Valores médios observados e curvas ajustadas para cada madeira em função do comprimento do filtro para COT.....	77
Figura 30 - Valores médios observados e curvas ajustadas para cada madeira em função do comprimento do filtro para NT.....	78
Figura 31 - Valores médios observados e curvas ajustadas para cada madeira em função do comprimento do filtro para pH.....	79
Figura 32 - Valores médios observados e curvas ajustadas para cada madeira em função do comprimento do filtro para condutividade	80
Figura 33 - Gráficos de contorno da taxa de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$) em função do comprimento e da pressão para M1.....	81
Figura 34 - Gráficos de contorno da taxa de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$) em função do comprimento e da pressão para M2.....	82
Figura 35 - Gráficos de contorno da taxa de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$) em função do comprimento e da pressão para M3.....	82
Figura 36 - Valores médios observados e curvas ajustadas para cada madeira em função do comprimento do filtro para densidade aparente	83
Figura 37 - Fotomicrografia eletrônica de E. coli (A) e Salmonella sp. (B)	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Doenças causadas em aves por bactérias patogênicas.....	25
Tabela 2 - Parâmetros de qualidade da água elencados na Portaria de Consolidação Nº 5/2017. 27	
Tabela 3 - Padrões de qualidade para águas de Classe 3, conforme Resolução CONAMA Nº 357/2005.	28
Tabela 4 - Padrões de qualidade para água de consumo animal conforme a Resolução CONAMA Nº 396/2008.....	29
Tabela 5 - Espécies avaliadas nos ensaios de filtração da etapa 1	49
Tabela 6 - Resultados obtidos para os ensaios de filtração com filtros de 1, 3 e 10 cm de comprimento, para a água bruta com turbidez de 34,4 uT.	56
Tabela 7 - Caracterização superficial das madeiras no plano transversal	58
Tabela 8 - Caracterização superficial das madeiras no plano transversal	62
Tabela 9 - Caracterização da água bruta.....	64
Tabela 10 - Níveis descritivos de probabilidade do teste F da análise de superfície de resposta das variáveis avaliadas no experimento e respectivo coeficiente de determinação (R ²).	66
Tabela 11 - Concentração de Salmonella enteric – serovar Typhimurium para amostras de controle e de água filtrada para as 5 repetições realizadas	89
Tabela 12 - Médias e erros-padrão do CT e da quantificação de partículas virais em função do tipo de madeira e da filtragem	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área de filtração
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A_m	Área média dos poros
A_p	Área transversal de cada poro
APHA	American Public Health Association
A_{ps}	Área porosa da superfície
ATCC	American Type Culture Collection
Bar	Barômetro
BSF	Biosand filter
CDC	Center for Disease Control and Prevention
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Cm³	Centímetros cúbicos
Cm²	Centímetros quadrados
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono orgânico total
Cq	Ciclo de quantificação
CRD	Chronic Respiratory Disease
D	Diâmetro do poro
DAP	Diâmetro à altura do peito
DIE	
D_m	Diâmetro médio dos poros
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
G	Gramas
III	Três
IBDV	Doença Infecciosa da Bursa
IUCN	International Union for Conservation of Nature
M1	Madeira 1
M2	Madeira 2
M3	Madeira 3

M4	Madeira 4
M5	Madeira 5
M6	Madeira 6
M7	Madeira 7
M8	Madeira 8
M9	Madeira 9
M	Metros
m³	Metros cúbicos
m²	Metros quadrados
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
mg/L	Miligramas por litro
M_m	Massa da amostra da madeira
mm	Milímetros
n	Porosidade da madeira
Nº	Número
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
nm	Nanômetros
N_p	Número de poros
N_{p/mm2}	Número de poros por milímetro quadrado
NT	Nitrogênio Total
O₂	Oxigênio
PBS	Solução salina fosfatada
pH	Potencial hidrogeniônico
POU	Point of use
Psi	Libra de força por polegada quadrada
Q	Vazão
R²	Coefficiente de determinação
r²	Raio da superfície do filtro elevado ao quadrado
RNA	Ácido ribonucleico
rpm	Rotação por minuto
Rt-qPCR	Transcriptase reversa em tempo real

SAS	Statistical Analysis System
SC	Santa Catarina
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SODIS	Desinfecção solar de água
T	Tempo de filtração
TTEST	Teste T de Student
uC	Unidades de cor
UFC	Unidade formadora de colônia
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América
uT	Unidades de turbidez
V	Volume
V_m	Volume da amostra da madeira
x	Vezes
XXI	21
WHO	World Health Organization
° C	Graus Celcius
%	Porcentagem
μs	MicroSiemens
μL	Microlitro
>	Acima de
<	Abaixo de
≤	Menor ou igual

SUMÁRIO

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	19
CAPÍTULO 1 – CONTEXTUALIZAÇÃO	20
1.1 INTRODUÇÃO GERAL.....	20
1.2 HIPÓTESES	22
1.3 OBJETIVOS	22
1.3.1 Objetivo Geral.....	22
1.3.2 Objetivos Específicos	23
1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
1.4.1 Qualidade da água	23
1.4.2 Legislação destinada à qualidade da água	27
1.4.3 Tratamentos point-of-use.....	30
1.4.4 Processos de filtração	32
1.4.5 Estrutura da madeira	34
1.4.6 Filtração em madeira	40
1.4.7 Espécies estudadas	44
1.4.7.1 Família Araucaraceae: Araucaria angustifolia.....	44
1.4.7.2 Família Myrtaceae: Psidium cattleianum	45
1.4.7.3 Família Rhamnaceae: Hovenia dulcis	46
CAPÍTULO 2 – ESCOLHA, CARACTERIZAÇÃO SUPERFICIAL, E ENSAIOS DE FILTRAÇÃO DE ÁGUA COM AS ESPÉCIES ESTUDADAS	48
2.1 INTRODUÇÃO GERAL.....	48
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	48
2.2.1 Escolha das espécies.....	48
2.2.2 Ensaio de filtração.....	50
2.2.2.1 Água bruta	50
2.2.2.2 Parâmetros avaliados	50
2.2.2.3 Sistema de filtração.....	51
2.2.2.4 Caracterização superficial das espécies selecionadas	52
2.2.3 Delineamento experimental	54

2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
2.3.1	Resultados e discussão para etapa 1.....	54
2.3.1.1	Ensaio de filtração.....	54
2.3.1.2	Caracterização das espécies.....	56
2.3.2	Resultados e discussão para etapa 2.....	64
2.3.2.1	Caracterização da água bruta.....	64
2.3.2.2	Parâmetros avaliados	64
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
CAPÍTULO 3 – ENSAIOS DE FILTRAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS		
	BACTERIANOS E VIRÁIS DE QUALIDADE DA ÁGUA	86
3.1	INTRODUÇÃO GERAL.....	86
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	86
3.2.1	Sistema de filtração.....	86
3.2.2	Análises bacteriológicas.....	86
3.2.3	Análises virais	87
3.2.4	Análises estatísticas.....	88
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	88
3.3.1	Remoção de <i>E. coli</i> e <i>S. enterica</i>.....	88
3.3.2	Remoção do IBDV	91
3.4	CONCLUSÃO.....	92
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
	REFERÊNCIAS	94
	APÊNDICE A – VALORES DE TURBIDEZ (uT) PARA ETAPA 2	108
	APÊNDICE B – VALORES DE pH PARA ETAPA 2	111
	APÊNDICE C – VALORES DE CONDUTIVIDADE ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$) PARA ETAPA 2	114
	APÊNDICE D – VALORES DE COT (mg/L) PARA ETAPA 2.....	117
	APÊNDICE E – VALORES DE NT (mg/L) PARA ETAPA 2.....	121
	APÊNDICE F – VALORES DE SDT (mg/L) PARA ETAPA 2.....	124
	APÊNDICE G – VALORES DE COR APARENTE (uT) PARA ETAPA 2.....	127
	APÊNDICE H – VALORES DE TAXA DE FILTRAÇÃO ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$) PARA ETAPA 2.....	131
	APÊNDICE I – VALORES DE DENSIDADE APARENTE (g/cm^3) PARA ETAPA 2.....	134

APÊNDICE J – RESULTADOS DE RT-qPCR PARA MADEIRA 1	137
APÊNDICE H – RESULTADOS DE RT-qPCR PARA MADEIRA 2	138

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Capítulo 1 – Apresentação da contextualização sobre o tema estudado, expondo objetivo geral e objetivos específicos. Ainda, é explanada a revisão bibliográfica enfatizando os temas centrais da pesquisa como, qualidade da água, legislação destinada à qualidade da água, tratamentos point-of-use, processos de filtração, estrutura da madeira, filtração de água utilizando a madeira como elemento filtrante e caracterização das espécies estudadas.

Capítulo 2 – Neste capítulo foi realizado um ensaio de filtração prévio com nove espécies de madeiras, com o intuito de escolher aquelas com maior capacidade para integrarem o presente estudo. As madeiras testadas nesta etapa foram, *Araucária angustifolia* (araucária), *Psidium cattleianum* (araçá), *Hovenia dulcis* (uva japão), *Campomanesia xanthocarpa* O.Berg (guabiroba), *Cabralea oblongifoliola* (canjerana), *Ocotea puberula* (canela-guaicá), *Cupania vernalis* Cambess (camboatá vermelho), *Spondias tuberosa* (umbuzeiro), e *Quercus coccinea* (carvalho vermelho). Também foi realizada a caracterização da superfície das madeiras selecionadas para as próximas etapas do estudo (*A. angustifolia*, *P. cattleianum*, e *H. dulcis*), através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), permitindo a visualização dos poros presentes na superfície de cada espécie de madeira, assim como o cálculo do diâmetro médio dos poros (mm) e área média dos poros (mm²). Ainda, foram realizados ensaios de filtração com as madeiras selecionadas na etapa anterior, *A. angustifolia*, *P. cattleianum*, e *H. dulcis*, variando a pressão aplicada ao sistema e o comprimento dos filtros. Foram avaliados parâmetros físico-químicos de qualidade da água como, turbidez (uT), pH, condutividade elétrica da água (µs/cm²), carbono orgânico total (mg/L), nitrogênio total (mg/L), sólidos dissolvidos totais (mg/L), assim como a taxa de filtração (m³/m².dia), e realização de cálculo estimativo da densidade aparente (g/cm³) de cada filtro.

Capítulo 3 – Através dos resultados obtidos nos experimentos realizados na etapa anterior (Capítulo 2), foram selecionadas duas espécies de madeira, *A. angustifolia* e *P. cattleianum*, e definido o conjunto pressão do sistema x comprimento de filtro com melhor eficiência para cada madeira, a fim de avaliar a capacidade de remoção de partículas de *Escherichia coli* (ATCC13706) e *Salmonella enterica* – serovar Typhimurium (ATCC 14028) e Vírus da Doença Infecciosa da Bursa - (IBDV), cepa vacinal 228E liofilizada.

CAPÍTULO 1 – CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

A água é um recurso natural, essencial para a existência de todos os seres vivos, sendo fundamental na manutenção das funções biológicas e bioquímicas de todas as espécies. Sua demanda cresce a uma taxa de 1% ao ano, crescendo significativamente nas próximas duas décadas devido ao crescimento populacional, desenvolvimento econômico e das contínuas alterações nos padrões de consumo da sociedade em geral (UNESCO, 2018). Quando este recurso é provido em quantidade e qualidade satisfatórias, atua de forma a auxiliar a sustentabilidade ambiental, crescimento econômico e social, contribuindo para os meios de subsistências de milhares de pessoas (UNESCO, 2017). Desta forma, a manutenção da qualidade da água é de extrema importância, principalmente se tratando dos seus usos mais nobres como água para consumo humano e dessedentação animal (BOUMEDOUS; DJERROU; PACHA, 2017).

Dentre os parâmetros de qualidade da água, a manutenção da qualidade biológica ganha destaque. Por exemplo, na agroindústria, o fornecimento de água sem o tratamento adequado para os animais de produção, pode atuar como mecanismo de transmissão de organismos patogênicos e, por sua vez, atuar como facilitador para o desenvolvimento de doenças de ordem sanitária. Este fato culmina na elevação da taxa de mortalidade, ocasionando prejuízos econômicos aos produtores rurais (SCHOCKEN-ITURRINO et al., 2009). Ainda, pode acarretar na transmissão destes organismos patogênicos aos seres humanos (BOUMEDOUS; DJERROU; PACHA, 2017), por meio do consumo dos produtos derivados da produção destes animais.

A presença de organismos patogênicos na água é causada por meio da contaminação fecal das fontes de abastecimento e, dentre os organismos patogênicos que podem ser transmitidos por veiculação hídrica estão as bactérias, como as do gênero *Escherichia Coli*, *Salmonella spp.*, *Clostridium*, *Vibrio cholerae*, os vírus, como o adenovírus, enterovírus e rotavírus, e os protozoários, como do gênero *Giardia* (MOR; GRIFFITHS, 2011; BOUTILIER et al., 2014; SASÁKOVÁ et al., 2013; DENG et al., 2017).

No Brasil, de forma geral, a água utilizada em propriedades rurais é proveniente de poços rasos e nascentes (AMARAL et al., 2003; CAPOANE et al., 2011; EENIGE; COUNOTTE; NOORDHUIZEN, 2013). Ainda, concomitantemente, a água da chuva também vem sendo

utilizada, por meio de seu armazenamento em cisternas, como forma de garantir o abastecimento hídrico em períodos de estiagem e diminuir a sobrecarga de fontes subterrâneas e superficiais (PALHARES; GUIDONI, 2012; MOURA et al., 2018). No que tange a fontes subterrâneas e superficiais, o risco de contaminação hídrica é alto, principalmente em relação à contaminação microbiológica, que pode ser ocasionada pela captação inadequada da água, poços vedados de forma inapropriada ou por fontes próximas de contaminação, como fossas ou áreas de pastagens de animais (AMARAL et al., 2003). Por sua vez, a qualidade da água da chuva armazenada em cisternas é diretamente dependente de inúmeras variáveis como as condições atmosféricas, qualidade do ar e da presença de contaminantes físicos, químicos ou biológicos presentes na superfície de coleta ou armazenamento da água (MOURA et al., 2018).

Devido a estas questões, é de suma importância que, quando não houver tratamento prévio da água em estações de tratamento, a qualidade deste recurso deve ser adequada no próprio local de consumo, o que é o caso de inúmeras propriedades rurais, residências isoladas e até mesmo comunidades longínquas (SAZAKLI; ALEXOPOULOS; LEOTSINIDIS, 2007). Desta forma o desenvolvimento e aperfeiçoamento de técnicas alternativas de tratamento da água é uma questão importante para o desenvolvimento sustentável, visto que tais métodos precisam ser de baixo custo, com facilidade de operação e manutenção, e adequados as particularidades da região (BROWNELL et al., 2008), atuando de forma eficiente no tratamento de água.

Historicamente, os tratamentos de água point-of-use (tratamentos no ponto de uso) são utilizados em propriedades rurais ou comunidades longínquas que não possuem acesso à água potável pela rede geral de abastecimento (Mc LENNAN et al., 2009; BOUTILIER et al., 2014; LOTHROP et al., 2015; LARSON et al., 2017), podendo também atuar como meio alternativo para realizar o tratamento de recursos hídricos destinados à dessedentação de animais em propriedades rurais. Esses tratamentos são classificados como processos de baixo custo, com facilidade de operação e manutenção, capazes de melhorar significativamente a qualidade física, química e microbiológica da água. Alguns exemplos de tratamentos point-of-use são a cloração, radiação solar, adsorção e processos de filtração lenta (SOBSEY et al., 2008; PETERVARBANETS et al., 2009). Entretanto, para que sejam efetivamente eficazes, a principal condição prévia para sua aplicação é que sejam compatíveis e levem em consideração as particularidades de cada região, como a disponibilidade de recursos, materiais, informações e costumes locais (PETERVARBANETS et al., 2008). Assim, visto que a madeira é um material poroso (DING et

al., 2008), sua utilização como elemento filtrante pode vir a ser um processo point-of-use extremamente interessante para o tratamento de água em regiões com grande diversidade de espécies de madeira.

O processo de filtração em madeira ocorre devido ao desenvolvimento de um vaso condutor no corpo das plantas, denominado xilema, responsável por conduzir fluidos desde as raízes das plantas até suas folhas. O xilema é formado por um material poroso, cujo os poros podem atuar como um sistema de rejeição para corpos estranhos (CHOAT; COBB; JANSEN, 2008). Assim, o presente estudo se justifica baseado na necessidade de utilização de tratamentos point-of-use para melhoria da qualidade da água, levando em consideração as características intrínsecas de cada local, além de a madeira ser um recurso abundante e de baixo custo em inúmeras regiões.

1.2 HIPÓTESES

- Há diferença entre as espécies de madeira quanto a sua caracterização superficial;
- Há diferença entre a capacidade de filtração de água dentre as espécies de madeiras quanto aos parâmetros físico-químicos avaliados e quanto a taxa e filtração;
- A pressão aplicada ao sistema e o comprimento da madeira influenciam na capacidade de filtração das espécies de madeira;
- Há diferença entre a capacidade de filtração das espécies de madeiras quanto a partículas de *Escherichia coli* (ATCC13706), *Salmonella enteric* – serovar Typhimurium (ATCC 14028), e partículas do Vírus da Doença Infecciosa da Bursa - (IBDV), cepa vacinal 228E liofilizada.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar a capacidade de filtração de água pelo xilema de diferentes espécies de madeira.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a superfície das madeiras por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);
- Avaliar a capacidade de filtração das madeiras estudadas com diferentes pressões e comprimentos, por meio de parâmetros físico-químicos como a turbidez (uT), pH, condutividade elétrica da água ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$), carbono orgânico total (mg/L), nitrogênio total (mg/L) e sólidos dissolvidos totais (mg/L);
- Analisar a taxa de filtração estimada ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$) das madeiras utilizadas;
- Avaliar a capacidade de filtração de partículas de *Escherichia coli* (ATCC13706) e *Salmonella enteric* – serovar Typhimurium (ATCC 14028);
- Avaliar a capacidade de filtração de partículas do Vírus da Doença Infecciosa da Bursa - (IBDV), cepa vacinal 228E liofilizada.

1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.4.1 Qualidade da água

A água potável é considerada um nutriente essencial para todos os seres vivos. Este recurso pode ser obtido a partir de diversas fontes, como riachos, rios, lagos, lagoas, poços e através da coleta e armazenamento da água da chuva (EENIGE; COUNOTTE; NOORDHUIZEN, 2013). Sua contaminação pode ocorrer de diversas maneiras, como por exemplo, por meio da descarga de efluentes industriais (VENKATRAMANAN et al., 2014) e efluentes domésticos sem o tratamento adequado, localização de fossas e áreas de pastagens para animais nas proximidades das fontes de captação, uso de agrotóxicos para agricultura, entre outras atividades (DANELUZ; TESSARO, 2015). Desta forma, os problemas relacionados à decadência da qualidade dos recursos hídricos tornaram-se uma das questões mais relevantes acerca do desenvolvimento sustentável (YAN et al., 2015).

Na década de 1970, estima-se que 25% de todos os leitos hospitalares disponíveis em escala mundial, fossem ocupados por pacientes com doenças relacionadas ao consumo de água imprópria. Ainda, até o início dos anos 2000, o abastecimento de água e saneamento básico de má qualidade foram responsáveis por cerca de 800 milhões de casos de diarreia (MOMBA; KALENI, 2001). Desta forma, independentemente da fonte de água, a manutenção da qualidade deste recurso é um

aspecto indispensável, sobretudo no que concerne aos seus principais usos, como o abastecimento humano e animal (SOUZA et al., 2013).

Dentre os parâmetros de qualidade da água – físicos, químicos e biológicos -, destaca-se a extrema importância da qualidade microbiológica da mesma, ou seja, a presença, ou não, de organismos patogênicos (EENIGE; COUNOTTE; NOORDHUIZEN, 2013). No que tange as características físicas e químicas da água, estas são comumente utilizadas com o intuito de escolher o tratamento que melhor se adéqua para a água em questão, visto que a presença de alguns compostos pode inviabilizar o uso de certos tratamentos (DI BERNARDO; PAZ, 2008).

Conforme dados da World Health Organization, no documento intitulado “Guidelines for Drinking-Water Quality”, as doenças infecciosas ocasionadas por bactérias, vírus, protozoários e helmintos patogênicos são consideradas os riscos associados ao consumo de água mais comuns e generalizados para a saúde dos seres vivos (WHO, 2011). Por exemplo, em propriedades rurais, a contaminação microbiológica da água pode causar a infecção de um grande número de animais em um período extremamente curto de tempo, (LEJEUNE et al., 2001), visto que um elevado número de organismos patogênicos pode ser introduzido no mesmo grupo, criando um efeito multiplicador significativo através da cadeia alimentar (OLKOWSKI, 2009). Ainda, para os microrganismos transmitidos por via fecal-oral, a água é apenas um veículo de transmissão, podendo ser repassados por alimentos, via cutânea, utensílios e roupas contaminadas, principalmente quando houver alta deficiência no sistema de saneamento básico local (WHO, 2011).

A manutenção da qualidade da água destinada ao consumo de animais de produção, não garante somente a preservação da saúde animal, mas, conseqüentemente, auxilia na garantia da manutenção da saúde humana (VALENTE-CAMPOS; NASCIMENTO; UMBUZEIRO, 2014), visto que cerca de 75% de todas as novas doenças, emergentes ou reemergentes, responsáveis por causar efeitos adversos nos seres humanos no início do século XXI são zoonóticas, ou seja, transmitidas por animais (USAID, 2017).

Por exemplo, a *Salmonella* é uma bactéria patogênica responsável por, somente nos Estados Unidos da América, causar cerca de 23.000 hospitalizações e 450 mortes todos os anos (CDC, 2019). A salmonelose é uma doença de origem alimentar causada pelo consumo de alimentos, especialmente de origem avícola, contaminados por espécies de *Salmonella*. Na maioria dos casos as salmoneloses são causadas pela *S. enteritidis*, entretanto, a *Salmonella enterica*

serovar Typhimurium (*S. typhimurium*) também é responsável por causar infecções gastrointestinais, cujos sintomas podem ser dor abdominal, diarreia, febre e vômito (SAVI et al., 2011).

No que tange à criação de gado em particular, a água de má qualidade atua como um fator limitante para sua ingestão, e a baixa ingestão deste recurso atua como um severo inibidor da produção rápida de animais (OLKOWSKI, 2009). Dentre os vírus, o enterovírus bovino, por exemplo, é responsável por causar diarreia, doenças respiratórias, reprodutivas e infertilidade (ZHU et al., 2014). Por sua vez, no que concerne à qualidade da água destinada à equinos, a contaminação deste recurso por meio da excreção urinária de roedores contaminados com a bactéria *Leptospira*, causadora da leptospirose, por exemplo, pode acarretar no aborto em éguas e na morte de potros (OLKOWSKI, 2009). Já, na produção de aves, a qualidade biológica da água é um aspecto ainda mais relevante e preocupante visto que, mesmo na produção em pequena escala, centenas de aves tem acesso a este recurso por uma única fonte de água (AMARAL, 2005). A tabela 1 apresenta algumas das doenças causadas a aves por bactérias patogênicas.

Tabela 1 - Doenças causadas em aves por bactérias patogênicas

Doença	Agente Etiológico	Sintomas
Colibacilose	<i>E. coli</i>	Ocorre após situações de estresse, promovendo a exacerbação dos sintomas respiratórios;
Doença Respiratória Crônica	<i>Mycoplasma gallisepticum</i>	<i>E. coli</i> não é o agente etiológico, mas pode contribuir para a complicação da CRD, promovendo desconforto respiratório, perda de peso e baixa na produção de ovos;
Tifoide aviária	<i>Salmonella Gallinarum</i>	Diarreia, mortalidade e diminuição da produção;
Colera aviária	<i>Pasteurella multocida</i>	Perda de apetite, diminuição da produção de ovos, alta mortalidade, entre outros;

Fonte: adaptado de AMARAL et al., 2003.

Para análise microbiológica da água são utilizados indicadores específicos, como as bactérias do grupo coliforme, os quais são definidos como indicadores biológicos visto que indicam a contaminação da água com material fecal, de origem humana ou de outros animais de sangue quente. Atualmente, o indicador patogênico de origem fecal mais utilizado é a *Escheríchia coli*, coliforme termotolerante (YAMAGUCHI et al., 2013).

Entretanto, além de atuar como indicador biológico, algumas cepas de *E. coli*, são patogênicas, sendo divididas entre patógenos intestinais, causadores de diarreias, e extraintestinal, responsáveis por uma variedade de infecções em humanos e animais, incluindo infecções do trato urinário (ITU), infecções na corrente sanguínea, e meningite, a qual pode ser associada à infecções secundárias ocasionando lesões neurológicas graves, entre outras (SOUSA, 2006; JAFARI; ASLANI; BOUZARI, 2012; ALLOCATI et al., 2013; YAMAGUCHI et al., 2013).

Ainda se tratando da qualidade microbiológica da água destinada ao consumo de aves de produção, o Vírus da Doença Infecciosa da Bursa - Infectious Bursal Disease Virus (IBDV), popularmente conhecido como vírus de Gumboro, deve ser levado em consideração visto que causa perdas econômicas para a avicultura industrial em todo o mundo, através de perdas diretas e indiretas na cadeia de produção. As perdas diretas estão relacionadas à mortalidade em si, a qual depende da dose e virulência da cepa, idade, raça e presença de imunidade passiva nos animais. Por sua vez, as perdas indiretas ocorrem também devido a interação do IBDV com outros vírus, bactérias ou parasitas, causando o retardamento do crescimento das aves, aumento do uso de antibióticos contra infecções secundárias, (VAN DEN BERG et al., 2000), e redução da capacidade da ave de responder à vacinação (CAMILOTTI et al., 2016).

O IBDV é pertencente ao gênero *Avibirnavirus*, da família *Birnaviridae* (NAGARAJAN; KIBENGE, 1997), cujo genoma é composto por dois segmentos de fita dupla de Ácido Ribonucleico – RNA – (JAHROMI et al., 2018). O IBDV é um vírus não envelopado, com capsídeo de estrutura simples e icosaédrica, com diâmetro entre 58 – 60 nm, o que o torna um vírus muito resistente (VAN DEN BERG et al., 2000), tendendo a persistir no ambiente apesar da utilização de rigorosas medidas de higiene (CAMILOTTI et al., 2016). Existem dois sorotipos do IBDV: o sorotipo 1, o qual é patogênico para aves; e o sorotipo 2, que não é patogênico (VAN DEN BERG et al., 2000; MAHGOUB; BAILEY; KAISER, 2012).

O vírus atinge aves jovens e, após a sua infecção, usualmente por via oral, o vírus é replicado majoritariamente nas células imunes da ave, como os macrófagos e os tecidos linfoides do duodeno. Depois, se espalha pela Bursa de Fabricius (BF), se replicando de forma extensiva e destruindo os linfócitos B imaturos, levando ao comprometimento das respostas imediatas dos anticorpos das aves, aumentando a suscetibilidade a outras doenças infecciosas (JAHROMI et al., 2018).

1.4.2 Legislação destinada à qualidade da água

No Brasil, para água destinada ao consumo humano deve-se observar o descrito na Portaria de Consolidação Nº 5, publicada em 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017), a qual dispõe sobre a “Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde”, elencando inúmeros parâmetros de qualidade da água para consumo humano que devem ser atendidos. Dentre estes parâmetros citados pela norma, os mais relevantes para este estudo são observados na tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Parâmetros de qualidade da água elencados na Portaria de Consolidação Nº 5/2017 de interesse para o presente estudo.

Parâmetro	Valor Máximo Permitido (VMP)
Escherichia coli	Ausência em 100 mL
Coliformes totais	Ausência em 100 mL
Turbidez (filtração rápida)	0,5 uT em 95% das amostras
Turbidez (filtração lenta)	1,0 uT em 95% das amostras
pH	6,0 a 9,5
Cor aparente	15 uC
Sólidos dissolvidos totais	1.000 mg/L

Fonte: Ministério da Saúde, 2017.

Salienta-se que os 5% restantes das amostras que podem apresentar turbidez acima de 1,0 uT para água filtrada por filtração lenta e, 0,5 uT para filtração rápida, devem ter valor menor ou igual a 2,0 uT e 1,0 uT, respectivamente. No que tange a partículas virais, a Portaria recomenda o monitoramento de vírus entéricos nos pontos de captação de água proveniente de mananciais superficiais, porém não define nenhuma concentração máxima permitida.

Por sua vez, a United States Environmental Protection Agency (USEPA), através de suas regulamentações para água de consumo humano, afirma para sistemas com filtração convencional (rápida) ou direta, o valor de turbidez não pode ser superior a 1 uT, sendo que em, no mínimo 95% das amostras a turbidez não pode ultrapassar 0,3 uT. Por sua vez, os sistemas que utilizam filtração lenta devem seguir as normas de cada estado, entretanto, em nenhum momento a turbidez máxima deve ultrapassar 5 uT. Para vírus, requer 99,99% ou 4 log de remoção/inativação. Para coliformes fecais (*E. coli*), a USEPA exige que 95% das amostras analisadas em 1 mês apresentem concentração igual a 0 mg/L, sendo que para sistemas de água que coletam menos de 40 amostras de rotina por mês, não mais que uma amostra pode ser coliforme positiva total por mês (USEPA, 2009).

Já para água de consumo animal, atualmente, o Brasil não possui nenhuma legislação específica responsável por estabelecer os padrões de qualidade da água. Desta forma, para águas superficiais, adota-se o estabelecido pela Resolução N.º 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 2005), a qual estabelece a classificação das águas superficiais segundo sua utilização, definindo parâmetros de qualidade da água a serem atendidos. Desta forma, tal resolução determina que a água destinada ao consumo animal cumpra os padrões determinados na Classe 3, sendo que alguns dos parâmetros a serem observados estão elencados na Tabela 3, a seguir.

Tabela 3 - Padrões de qualidade para águas de Classe 3, conforme Resolução CONAMA N.º 357/2005.

PARÂMETROS	VALOR MÁXIMO
Materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais	Virtualmente ausentes
Óleos e graxas	Virtualmente ausentes
Substâncias que comuniquem gosto ou odor	Virtualmente ausentes
Resíduos sólidos objetáveis	Virtualmente ausentes
Coliformes fecais/termotolerantes	Até 1000 coliformes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral
Oxigênio Dissolvido	Acima de 4 mg/L O ₂ em qualquer amostra
Turbidez	até 100 uT
Cor verdadeira	Até 75 uC

Ph	6,0 a 9,0
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L

Fonte: Adaptado de Resolução CONAMA N° 357/2005.

Por sua vez, quando a água subterrânea for utilizada para consumo animal, deve-se observar o estabelecido na Resolução CONAMA N° 396, de 3 de abril de 2008, a qual dispõe sobre “a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas”. Esta Resolução é majoritariamente direcionada aos parâmetros químicos da água. Ainda, quando for necessário, a norma afirma que os parâmetros de qualidade da água a serem monitorados devem ser elencados conforme o uso específico e outros critérios definidos pelo órgão ambiental competente. Os parâmetros biológicos elencados pela Resolução estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Padrões de qualidade para água de consumo animal conforme a Resolução CONAMA N° 396/2008.

PARÂMETROS	VALOR MÁXIMO
<i>Escheríchia coli</i>	200 UFC/100 mL
Coliformes termotolerantes	200 UFC/100 mL

Fonte: Adaptado de Resolução CONAMA N° 396/2008

Caso a água seja utilizada especialmente para dessedentação de aves de corte ou postura, deve-se, obrigatoriamente, observar a Instrução Normativa N.º 56, de 04 de dezembro de 2007, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2007), a qual estabelece uma série de obrigações para cumprimento dos estabelecimentos avícolas, como por exemplo:

- ✓ A apresentação de documentos comprobatórios da qualidade microbiológica, física e química da água destinada ao consumo, conforme os padrões estabelecidos pela vigilância sanitária, ou atestado de fornecimento de água por serviços públicos;
- ✓ Realização de análises físicas, químicas e bacteriológicas da água, conforme os padrões estabelecidos na Resolução CONAMA N° 357/2005 (CONAMA, 2005).

Quando a água for armazenada em cisternas, deve-se considerar a Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 15.527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas

para fins não potáveis – Requisitos, publicada em 24 de outubro de 2007 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2007). Embora a norma seja destinada aos requisitos necessários para aproveitamento da água da chuva em áreas urbanas, pode ser utilizada também para áreas rurais, visto a falta de legislação específica.

1.4.3 Tratamentos point-of-use

Em inúmeras regiões com baixa densidade demográfica, como as áreas rurais, o fornecimento de água potável pela rede pública de abastecimento ainda é um objetivo à longo prazo, devido ao alto investimento necessário. Assim, surgem abordagens descentralizadas e autossustentáveis, que possibilitam a adequação da qualidade da água (MINTZ et al., 2001) tanto para consumo humano quanto para consumo animal, contribuindo para o desenvolvimento humano e produtividade agrícola.

Os tratamentos realizados no ponto de uso, mundialmente identificados como “point-of-use” (POU), são considerados tecnologias eficientes de tratamento de água, especialmente no que concerne a inativação de microrganismos patogênicos (SONG; MOHSENI; TAGHIPOUR, 2016), visto a grande diversidade de doenças que podem ser transmitidas por veiculação hídrica como a cólera, febre tifoide, disenteria amebiana e bacilar, entre outras (MINTZ et al., 2001).

Existem inúmeros fatores que devem ser considerados na escolha do tratamento POU mais apropriado para desinfecção da água em cada local, como: a eficácia na remoção de patógenos, custo de instalação, de operação e manutenção, a disponibilidade de materiais e equipamentos, a escala de tratamento necessária e a preferência do usuário (BROWNELL et al., 2008). Assim, alguns tratamentos POU vem demonstrando grande capacidade de remoção de microrganismos patogênicos como, por exemplo, cloração, floculação seguida de cloração, desinfecção solar (SODIS), fervura acima de 70° C e processos de filtração (SOBSEY, 2002; BOUTILIER et al., 2014).

Cada um dos métodos POU possuem vantagens e limitações. Por exemplo, embora a desinfecção com cloro seja um método barato, pode acarretar na formação de subprodutos da cloração, como os trihalometanos, clorofórmio, diclorobromometano, dibromoclorometano e bromoformas. Isso faz com que seja necessária a exploração de novas formas de remoção ou inativação de microrganismos patogênicos da água (GOPAL et al., 2007).

No que tange ao método SODIS, este também possui baixo custo, caracterizando-se como uma tecnologia simples de ser utilizada e altamente eficaz na inativação de organismos patogênicos, sem a utilização de produtos químicos (SOBSEY, 2002). Entretanto, possui algumas limitações determinantes, como a dificuldade no tratamento de grandes volumes de água (MINTZ et al., 2001) e a necessidade de concentrações suficientes de radiação solar, visto que a taxa de descontaminação é proporcional à intensidade da radiação e temperatura (MALATO et al., 2009), e a intensidade varia diariamente e também de acordo com a latitude do local (QUELUZ et al., 2014).

Por sua vez, a fervura da água vem sendo utilizada há um longo período para promover sua desinfecção. Embora este método seja eficaz na destruição de todas as classes de agentes patogênicos, em diversas situações não é possível monitorar a temperatura da água para se ter certeza de que temperaturas acima de 60 ° C durante um tempo determinado foram atingidas. Ainda, é recomendado que a água seja armazenada no mesmo recipiente em que foi fervida e que seja consumida poucas horas após a fervura, com o intuito de evitar que haja uma nova contaminação microbiana. Outra limitação deste processo é a grande necessidade de energia, culminando em alto gasto com combustíveis para promover a desinfecção de grandes volumes (SOBSEY, 2002).

Os processos de filtração possuem inúmeros tipos de filtros diferentes, como os filtros de carvão ativado, filtros de membrana e filtros lentos de areia, que podem ou não realizar o processo de desinfecção (BOUTILIER et al., 2014). Entretanto, os filtros de carvão ativado utilizados como POU não são apropriados para remoção de organismos patogênicos, visto que estes organismos colonizam os filtros e se desprendem do material filtrante juntamente com o fluxo de água (GADGIL, 1998). Filtros à base de membranas podem ser de micro ou ultrafiltração, entretanto, no que concerne à microfiltração, os tamanhos de poros disponíveis não permitem a remoção total de bactérias e vírus (PETER-VARBANETS et al., 2009). Ainda, filtros de membranas podem sofrer com incrustações, exigem maior quantidade de energia e possuem custos mais elevados (LOO et al., 2012).

Quanto aos filtros lentos de areia, existem os tradicionais e ainda suas variações, como o BioSand Filter (BSF). O BSF se difere dos filtros lentos tradicionais por possuir fluxo intermitente e operar em menor escala. Entretanto, ambos realizam tratamento biológico da água (AHAMMED; DAVRA, 2011), sem a utilização de produtos químicos. Quanto as limitações, salienta-se que os

filtros lentos tradicionais exigem grandes áreas para serem construídos e, embora o BSF tenha baixo custo de instalação, manutenção e operação, é um processo cuja alta eficiência de tratamento varia diretamente com a manutenção da qualidade da água bruta e, também exige um grande período de aclimação do filtro, antes de realizar o tratamento biológico com eficiência (LOO et al., 2012). Assim, outros tipos de materiais com potencial para filtração de água vêm sendo estudados, como é o caso da madeira (SENS; EMMENDOERFER; MULLER, 2013; BOUTILIER et al., 2014), objeto de discussão dos tópicos a seguir.

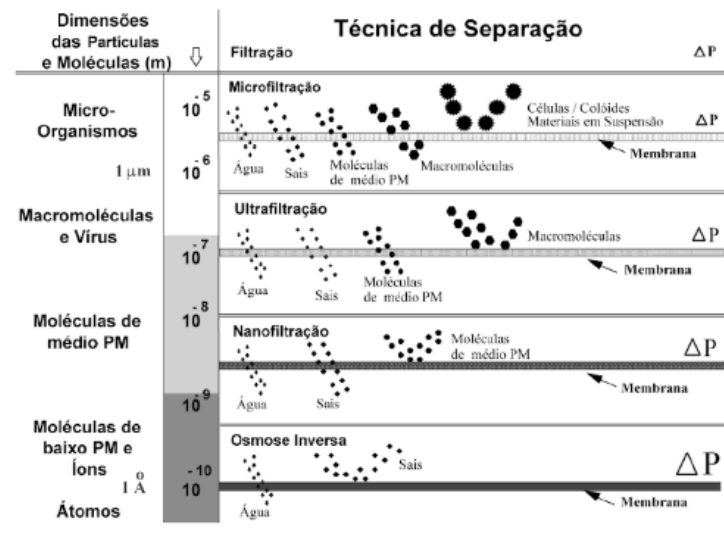
1.4.4 Processos de filtração

A filtração é um processo de separação sólido – líquido, que envolve fenômenos físicos, químicos e, por diversas vezes, biológicos, com o objetivo de remoção de impurezas da água por sua passagem através de um meio poroso (DI BERNARDO; PAZ, 2008). De forma geral, os processos de filtração podem ser divididos em filtração em profundidade ou filtração por membranas.

Nos processos de filtração em profundidade, podem ser utilizados diversos meios filtrantes, como areia, antracito, areia de granada e carvão ativado granular (RICHTER, 1991), sendo que os filtros podem ser compostos por uma ou mais camadas, destes diferentes materiais. A filtração em profundidade também pode ser dividida em filtração rápida e lenta, de acordo com a taxa de filtração (RICHTER; NETTO, 2009). Os filtros lentos possuem uma taxa de filtração de 1 a 7,5 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, com profundidade do meio filtrante entre 1 e 1,5 m, capazes de realizar o tratamento biológico da água. Por sua vez, os filtros rápidos possuem taxas de filtração entre 120 e 480 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, e profundidade do meio filtrante entre 0,5 e 0,7 m, não promovendo o tratamento biológico da água (RICHTER, 1991).

A filtração por membranas surgiu como uma alternativa aos processos de filtração convencionais (em profundidade). Possuem como vantagens a separação extremamente seletiva, sem quaisquer materiais auxiliares, operação contínua e automática em unidades de filtração com tamanhos relativamente pequenos (BOWEN; JENNER, 1995). Estes processos utilizam a diferença de pressão através da membrana como força motriz, sendo divididos em Microfiltração (MF), Ultrafiltração (UF), Nanofiltração (NF) e Osmose Reversa (OR), os quais possuem diferentes tamanhos de poros de acordo com a natureza e o tipo de soluto, e a presença ou não de partículas em suspensão (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006), conforme figura 1 a seguir.

Figura 1 - Técnicas de filtração aplicadas a partículas com diferentes dimensões

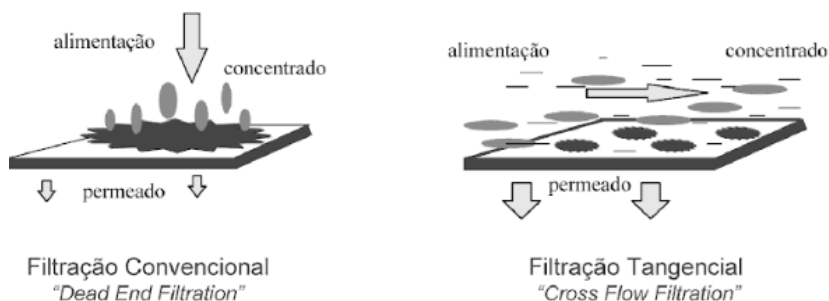


Fonte: Habert; Borges; Nobrega, (2006),

Nos processos de separação por membranas podem ser aplicados dois tipos de escoamento diferentes para o fluxo de alimentação (figura 2): filtração frontal (*dead-end filtration*) e filtração tangencial (*cross-flow filtration*) (BOWEN; JENNER, 1995).

Na filtração frontal, o fluxo passa pelo material filtrante, e as impurezas da água são retidas, acumulando-se na superfície do mesmo, de modo que a concentração de impurezas retidas aumenta com o tempo. Isto faz com que haja uma resistência adicional ao processo de transferência de massa. Por sua vez, na filtração tangencial, o fluxo é bombeado paralelamente à superfície do meio filtrante, enquanto o permeado é transportado transversalmente à mesma. Nesta situação, o escoamento paralelo ao meio filtrante limita o acúmulo de material retido em sua superfície, fazendo com que o fluxo do permeado seja constante com o passar do tempo (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006).

Figura 2 - Diferença entre os fluxos de filtração frontal e tangencial



Fonte: Habert; Borges; Nobrega, (2006),

1.4.5 Estrutura da madeira

Entre os inúmeros materiais com origem biológica, a madeira está entre os mais conhecidos e utilizados, contendo variadas substâncias usadas como matérias primas nos mais diversos processos produtivos (KLOCK et al., 2005).

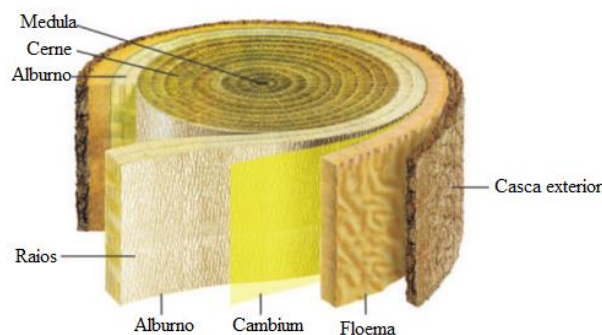
Conforme a figura 3, no que concerne as partes do tronco, o floema é responsável por conduzir a seiva elaborada que é distribuída ao cambium e ao alburno. O Cambium, por sua vez, é o tecido que promove o crescimento diametral do tronco. Por fim, há o xilema, o qual é caracterizado como a madeira em si, composto pela medula, cerne e alburno, responsável por distribuir água e nutrientes à planta (GONZAGA, 2006).

A medula é a parte localizada no centro do tronco, possuindo como função o armazenamento de substâncias nutritivas, e auxiliando na condução ascendente de líquidos em árvores jovens (BURGER; ICHTER, 1991). O cerne é a região mais interna do xilema, que perdeu a função de condução devido a sua impregnação por substâncias químicas, denominadas extrativos. Também é responsável pela cor, cheiro e gosto, característicos das diferentes madeiras (SENAI, 2013). A perda da capacidade de condução de líquidos ocorre visto que o transporte dos líquidos retirados do solo acontece nos anéis de crescimento mais externos do xilema, e o transporte da seiva elaborada se dá somente no floema. O alburno é a parte do xilema que possui maior atividade fisiológica, visto que suas células participam ativamente do transporte ascendente de líquidos ao longo de toda a árvore. Ainda, os anéis de crescimento ilustrados pelo corte transversal do tronco ilustram a alternância entre lenho inicial, camada formada durante a

primavera (faixas mais claras) e lenho tardio, formado no outono (faixas mais escuras) (BURGER e RICHTER, 1991).

As células da madeira possuem forma e função diferentes, estando dispostas de forma distinta em sua estrutura tridimensional. Desta maneira, são definidos três planos de corte relacionados ao eixo do tronco ou galho, conforme ilustrado na figura 4. A superfície transversal é exposta no sentido perpendicular ao eixo longitudinal do tronco ou galho, permitindo a observação dos anéis de crescimento. Por sua vez, a superfície longitudinal (ou radial) é aquela exposta quando ocorre o corte paralelo ao eixo longitudinal do tronco ou galho. Enfim, a superfície tangencial é aquela que vai tangenciando os anéis de crescimento, também exposta no corte paralelo ao eixo longitudinal do tronco ou galho (SENAI, 2013).

Figura 3 - Estrutura básica da madeira.



Fonte: Gonzaga, 2006.

Figura 4 - Planos de corte da madeira.



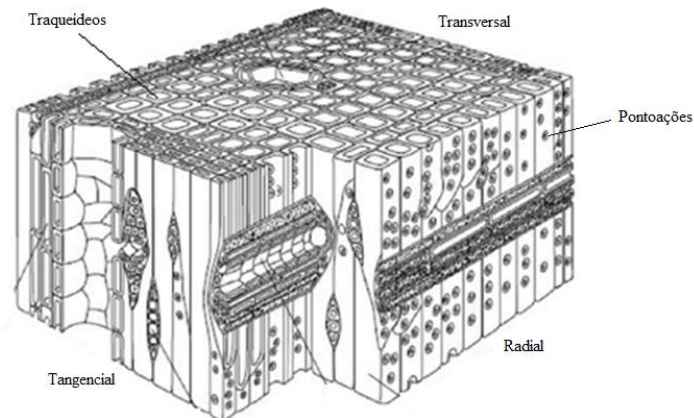
Fonte: SENAI, 2013.

As árvores são divididas entre angiospermas e gimnospermas. As angiospermas compreendem a subdivisão Anthophyta. Por sua vez, as gimnospermas são subdivididas em Cycadophyta, Ginkgophyta, Coniferophyta e Gnetophyta (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 1996), sendo que as árvores estão na ordem das coníferas (GONZAGA, 2006). A capacidade das plantas em extrair água do solo e transportá-la pelo xilema, até a superfície das folhas é diretamente dependente de um sistema extremamente compartimentalizado (CHOAT; COBB; JANSEN, 2008), através de condutos, funcionando em paralelo, que formam o xilema (BOUTILIER et al., 2014).

Em termos estruturais, a organização da madeira nas gimnospermas é relativamente mais simples, sendo composta, quase que em sua totalidade, por um único tipo de célula alongada, as quais são denominadas de traqueídeos, conforme a figura 5. Estes, são caracterizados como células estreitas e alongadas longitudinalmente, correspondendo entre 90% e 95% do volume da madeira, responsáveis pela condução de líquidos e pela sustentação da árvore (SENAI, 2013), cujo diâmetros na faixa de 80 μm (BOUTILIER et al., 2014) e comprimento médio de 2 a 5 mm, podendo chegar a comprimentos extremos, como na *Araucaria angustifolia*, de 11 mm (BURGER; RICHTER, 1991).

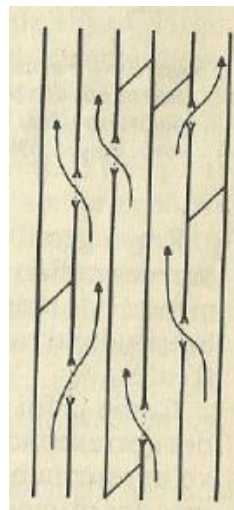
Visto que possuem suas extremidades fechadas, a condução dos líquidos pelos traqueídeos é realizada pelas pontoações, localizadas nas paredes longitudinais, as quais interconectam os traqueídeos uns aos outros, conforme é observado na figura 6 (SENAI, 2013). Além de seu comprimento variar com a espécie, este também é influenciado conforme a idade da árvore e a sua localização no tronco ou galho. Conforme a figura 7, as pontoações podem estar dispostas de três maneiras nos traqueídeos: (A) Unisseriadas; (B) Multisseriadas opostas; (C) Multisseriadas alternas (BURGER; RICHTER, 1991).

Figura 5 - Estrutura de um bloco de madeira do grupo das gimnospermas.



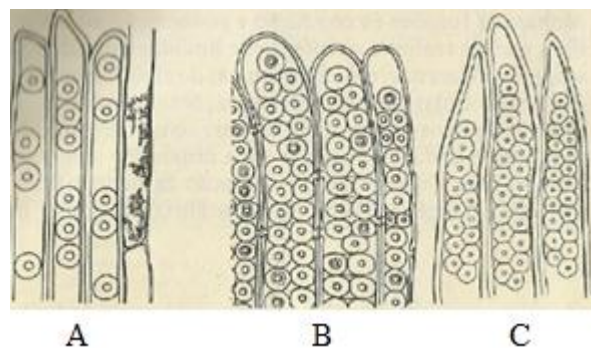
Fonte: SENAI, 2013

Figura 6 - Circulação de líquidos através das pontuações presentes nas gimnospermas.



Fonte: Burger e Richter, 1991.

Figura 7 - Disposição das pontuações nos traqueídeos presentes nas gimnospermas.



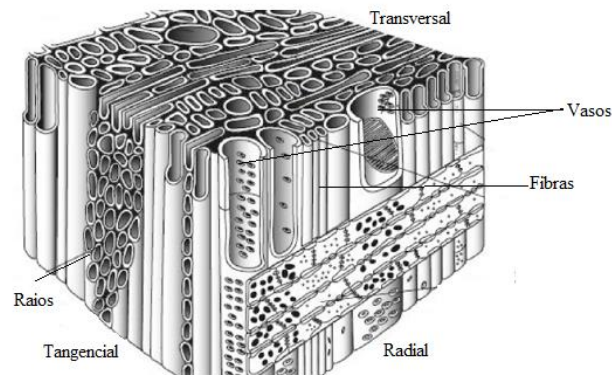
Fonte: Burger e Richter, 1991.

Por sua vez, as angiospermas possuem maior diversidade em sua organização celular, conforme ilustrado pela figura 8, sendo encontrados três tipos básicos de tecidos: os que compõem os vasos, as fibras e as chamadas células do raio, as quais constituem o parênquima radial das plantas (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 1996), responsável por armazenar e conduzir a seiva transversalmente (GONZAGA, 2006).

As fibras são responsáveis pela sustentação do tronco ou galho. Já os vasos são responsáveis pela condução de líquidos, possuindo diâmetro de até 0,5 mm e medindo de alguns milímetros até vários metros (BOUTILIER et al., 2014). Ao contrário dos traqueídeos, os vasos são células perfuradas, que se interligam uns com os outros por meio de aberturas em suas extremidades superior e inferior, denominadas de placas de perfuração. Usualmente, as placas de perfuração dos vasos podem ter diferentes formas: (A) e (B) Múltiplas escalariformes; (C) Múltiplas reticuladas; (D) Múltiplas foraminadas; (E) Simples, conforme figura 9. O tipo da placa de perfuração e as características dos vasos estão relacionados ao estágio evolutivo da madeira e das condições ambientais de desenvolvimento da mesma (BURGER; RICHTER, 1991).

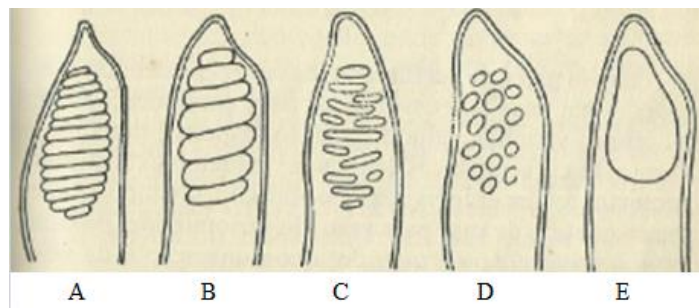
Apesar de que nas angiospermas o fluxo ascendente de líquidos por entre os vasos ocorre majoritariamente pelas placas de perfuração localizadas nas extremidades dos condutos, estes também possuem pontoações intervasculares em suas paredes laterais, permitindo a comunicação com os vasos laterais, em menor escala do que nas gimnospermas. A disposição, tamanho e formato das pontoações variam entre as espécies de madeira, podendo ser (A) Alternas; (B) Opostas; (C) Escalariformes, conforme ilustrado na figura 10. Ainda, o formato também pode variar, podendo ser arredondadas, poligonais e ovaladas (BURGER e RICHTER, 1991).

Figura 8 - Estrutura de um bloco de madeira do grupo das angiospermas.



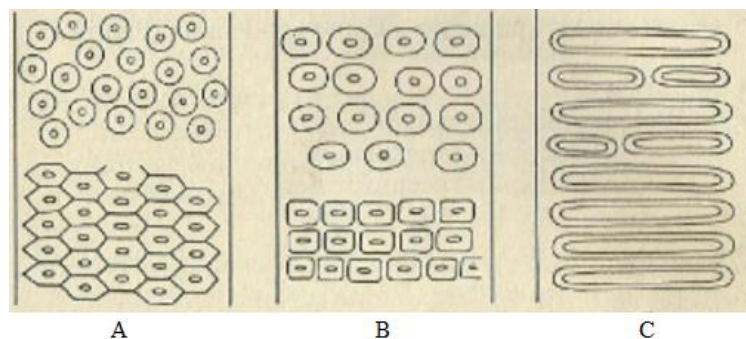
Fonte: SENAI, 2013.

Figura 9 - Diferentes tipos de placas de perfuração presentes nos vasos das angiospermas.



Fonte: Burger e Richter, 1991.

Figura 10 - Disposição das pontoações presentes nos vasos das angiospermas.



Fonte: Burger e Richter, 1991.

Tanto para as gimnospermas, quanto para as angiospermas, as pontoações possuem membranas com porosidade variando de alguns nanômetros até algumas centenas de nanômetros, responsáveis por impedir a ocorrência da cavitação (BOUTILIER et al., 2014). A cavitação ocorre

quando uma fase de vapor é introduzida na coluna de água do xilema, criando bolhas de gás, as quais consistem em vapor de água, ficando presas nos condutos do mesmo, fato que limita o fluxo de água e, conseqüentemente, reduz a capacidade da planta em fornecer água para todas as suas extremidades (MEINZER et al., 2001). Este é o caso das angiospermas, visto que, embora os vasos sejam extremamente eficientes na condução da água, são mais suscetíveis à danos, especialmente à cavitação, caso sujeitos a um estresse hídrico (JUDD et al., 2009).

No Brasil, existem duas famílias nativas de gimnospermas coníferas: Podocarpaceae e Araucariaceae. A primeira possui o gênero *Podocarpus* e três espécies: *Podocarpus brasiliensis*, *Podocarpus lambertii* e *Podocarpus selowii*, com características muito semelhantes, ocorrendo nas regiões Sudeste e Sul. Por sua vez, a família Araucariaceae possui apenas um gênero com uma espécie: a *Araucaria angustifolia* a qual ocorre em toda a região sul e parte da região sudeste do Brasil. No que concerne as angiospermas, espécies dominantes das florestas brasileiras, estas são subdivididas em monocotiledôneas e dicotiledôneas. As monocotiledôneas são aquelas nas quais o fruto não possui a semente dividida. Já as dicotiledôneas, também chamadas de folhosas, possuem as sementes divididas em dois cotilédones (GONZAGA, 2006).

1.4.6 Filtração em madeira

A escolha da madeira como um elemento filtrante caracteriza-se como um processo sustentável, visto que se trata de um material natural, renovável, biodegradável e de fácil obtenção nos mais distintos ambientes. Ainda, este sistema de tratamento atua com baixo custo de instalação e operação (SENS; EMMENDOERFER; MULLER, 2013), podendo atuar somente com pressão gravitacional (BOUTILIER et al., 2014), ou com baixas pressões, de até 40 psi (SENS; EMMENDOERFER; MULLER, 2013). Por estes motivos, o desenvolvimento de pesquisas acerca da utilização de filtros a partir do xilema das plantas pode, potencialmente, levar ao seu uso generalizado, reduzindo a incidência de doenças infecciosas transmitidas pela água (BOUTILIER et al., 2014).

Na seção transversal, tanto os traqueídeos como os vasos são caracterizados como os poros da madeira, sendo que sua distribuição, abundância, tamanho e agrupamento são características importantes para identificação das espécies, assim como dos seus variados aspectos como a massa específica, por exemplo (BURGER; RICHTER, 1991), possuindo influência direta sob a densidade, permeabilidade, estabilidade e resistência da madeira (DING et al., 2008).

Assim, no que tange à utilização da madeira como elemento filtrante, a determinação da porosidade e densidade aparente é de suma importância, visto que influenciam significativamente em propriedades como o fluxo por entre o material. Ainda, evidencia-se uma relação inversa entre estes dois parâmetros, onde a porosidade total diminui com o aumento da densidade aparente (PLÖTZE; NIEMZ, 2011), e, quanto menor a densidade aparente, maior é a permeabilidade por entre a madeira (SENS; EMMENDOERFER; MULLER, 2013).

Os vasos das angiospermas, por exemplo, devido à sua grande extensão (grande diâmetro), caracterizam-se como estruturas fracas, influenciando na resistência mecânica da madeira. Naturalmente, a densidade da madeira pode variar nas diferentes espécies de 0,13 a 1,4 g/cm³ (BURGER; RICHTER, 1991), sendo que valores de densidade aparente na faixa de 0,50 g/cm³ e porosidade em cerca de 40% mostram significância, favorecendo o tratamento da água por filtração em madeira (SENS; EMMENDOERFER; MULLER, 2013).

A densidade é definida como um reflexo da quantidade de matéria lenhosa por unidade de volume, ou também, inversamente, como o volume de espaços vazios (poros) existentes na madeira, (MORESCHI, 2012).

Para habilitar a comparação entre diferentes densidades é de extrema importância que as amostras possuam teores iguais de umidade, visto que qualquer alteração deste parâmetro gera aumento ou diminuição de peso e, abaixo do ponto de saturação das fibras (28% de umidade), culmina na modificação do peso e volume da madeira, sendo que, assim, são definidos teores fixos de umidade – 0%, 12% e 15%. O primeiro corresponde à madeira seca em estufa. O segundo corresponde ao teor de umidade de equilíbrio da madeira seca em condições climáticas padronizadas, 20 °C e 65% de umidade do ar. Por sua vez, o terceiro corresponde ao teor de umidade de equilíbrio da madeira, o qual ocorre espontaneamente (MORESCHI, 2012).

Ainda, deve-se observar a existência de variações de densidade consideráveis ao longo do tronco, sendo que seu valor máximo é obtido em sua base, decrescendo em direção à copa da árvore (KLOCK et al., 2005), fato que ocorre visto a presença de tecidos rígidos de sustentação na base do tronco (MORESCHI, 2012).

No que concerne à durabilidade da madeira, salienta-se que aquelas que possuem massa específica mais alta são mais resistentes à agentes como alta umidade, por exemplo, visto que apresentam uma estrutura mais fechada e elevado teor de substâncias que impregnam as paredes das células, como a sílica, que promove alta durabilidade em meio úmido. Usualmente, a elevada

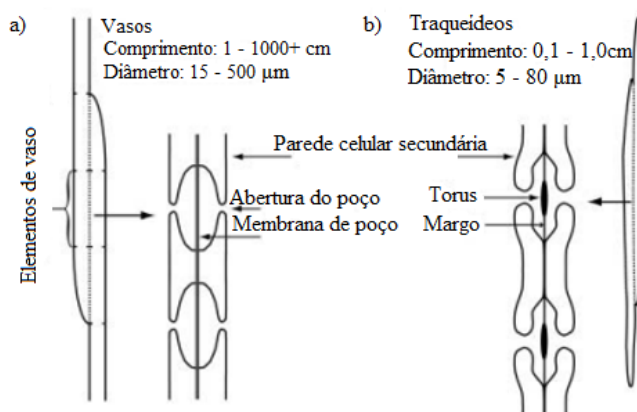
concentração destas substâncias causa uma coloração acentuada na madeira, assim, geralmente madeiras mais escuras possuem maior durabilidade que as madeiras de cor clara (BURGER; RICHTER, 1991).

Quanto a permeabilidade, geralmente, madeiras com densidade alta são mais resistentes a passagem de líquidos, pois apresentam um volume menor de espaços vazios. A maior penetração de líquidos se dá, obviamente pelos elementos estruturais que desempenham a função de condução: traqueídeos (gimnospermas) e vasos (angiospermas). Para as angiospermas, aspectos anatômicos como o tamanho, abundância e distribuição dos vasos possuem grande influência na permeabilidade da madeira, visto que existem mais tipos de células. Já nas gimnospermas, o estado das pontuações das paredes dos traqueídeos influenciam muito na passagem de líquido, visto que estas constituem as vias naturais de passagem de líquidos de célula para célula. Ainda, para ambos os grupos, o lenho inicial é mais permeável do que o lenho tardio (BURGER; RICHTER, 1991).

As membranas presentes nas pontuações dos condutos do xilema, especialmente nos traqueídeos, são denominadas de torus e são identificadas como as unidades funcionais onde o processo de filtração ocorre de fato (CROMBIE; HIPKINS; MILBURN, 1985; BOUTILIER et al., 2014). Ainda, ao redor do torus, se encontra o margo, que também é uma membrana porosa que facilita a passagem de água e nutrientes, e impedem a passagem de corpos estranhos (CROMBIE; HIPKINS; MILBURN, 1985), como os microrganismos patogênicos e as bolhas de ar, formadas pelo processo de cavitação (CHOAT et al., 2003; CHOAT; COBB; JANSEN, 2008).

No que concerne à diferença da capacidade de filtração entre as angiospermas e as gimnospermas, salienta-se que, o primeiro grupo possui vasos de xilema com um diâmetro maior do que as gimnospermas, conforme a figura 11, tendo maior capacidade na condução de líquidos, porém fazendo com que o tecido do xilema ocupe uma fração menor da área transversal da madeira (BOUTILIER et al., 2014). Além de que o fluxo majoritário de líquidos nas angiospermas seja pelas placas de perfuração, os vasos também possuem maior comprimento, visto sua natureza multicelular (CHOAT; COBB; JANSEN, 2008). Este fato faz com que haja a necessidade de um maior comprimento de tecido de xilema para realizar o processo de filtração quando a água passa pelas membranas das pontuações, visto que esta característica permite apenas que a água flua pelos vasos, sem ser filtrada pelas membranas, fato que prejudica a efetividade na remoção de patógenos (BOUTILIER et al., 2014).

Figura 11 - Características dimensionais dos vasos nas angiospermas (a) e dos traqueídeos nas gimnospermas (b).

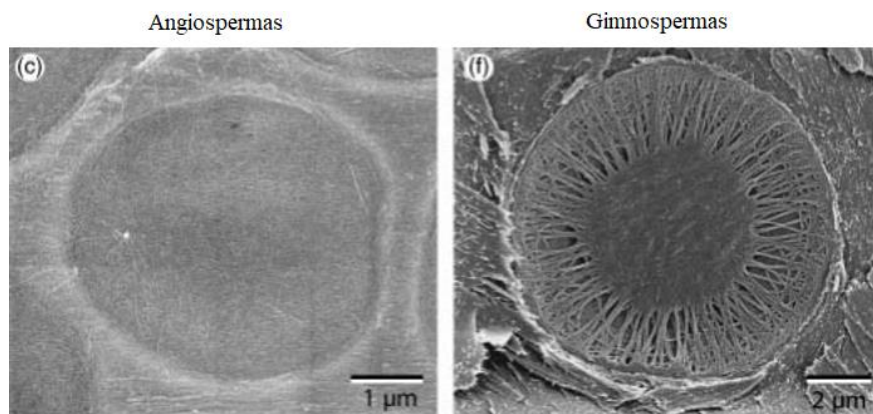


Fonte: adaptado de Choat; Cobb; Jansen, 2008.

Por outro lado, as gimnospermas possuem condutos de xilema mais curtos, os quais, obrigatoriamente, fazem com que a água flua por meio das membranas, mesmo para pequenos comprimentos de tecidos de xilema, inferiores a 1 cm. Embora os traqueídeos possuam diâmetros inferiores e sejam mais curtos, consequentemente oferecendo maior resistência ao fluxo de água, uma fração maior da seção transversal do caule é formada por tecido de xilema, favorecendo o processo de filtração. Esta abordagem leva a conclusão de que, de forma geral, o tecido de xilema presente nas gimnospermas é mais adequado para utilização em dispositivos de filtração de água, principalmente no que concerne à remoção de bactérias, protozoários e outros agentes patogênicos (BOUTILIER et al., 2014).

No que tange à estrutura das membranas, também existe diferença entre as gimnospermas e as angiospermas. Na grande maioria das gimnospermas a parte exterior da membrana possui uma porosidade maior, a qual permite a transferência de água entre os traqueídeos com baixa resistência, enquanto a parte central da membrana possui porosidade menor, caracterizando-se como quase impermeável. Em comparação, as membranas da maioria das angiospermas são quase que homogêneas, com disposição dos poros de maneira uniforme em todas as regiões da membrana (CHOAT; COBB; JANSEN, 2008). Tais características estão ilustradas na figura 12.

Figura 12 - Porosidade das membranas presentes nas pontoações nos vasos (angiospermas) e das pontoações nos traqueídeos (gimnospermas).



Fonte: adaptado de Choat; Cobb; Jansen, 2008.

1.4.7 Espécies estudadas

1.4.7.1 Família Araucaraceae: *Araucaria angustifolia*

A *Araucaria angustifolia* é uma espécie pertencente ao grupo das gimnospermas, na família Araucariaceae (LORENZI, 2002), nativa do sul do Brasil, (SANTOS; PIRES; CANTELLI, 2011), sendo representativa das regiões serranas frias e úmidas (WREGE et al., 2017), cuja presença foi identificada em regiões com altitude acima de 500 m (LORENZI, 2002). Originalmente, a mata de araucárias se estendia por cerca de 200 mil Km², sendo distribuída de forma contínua por entre os estados da região Sul do país, sendo que, atualmente, o território de ocupação desta espécie corresponde a cerca de 1% de sua área original (EMBRAPA, 2014).

A *Araucaria angustifolia* é uma planta dioica, as quais produzem apenas frutos femininos ou masculinos, nunca ambos em um mesmo indivíduo. Quando adultas, possuem entre 20 e 50 metros de altura, com tronco retilíneo de diâmetro entre 90 e 180 centímetros (LORENZI, 2002). Das espécies nativas do Brasil, está entre as que possuem maior crescimento e potencial de ganho genético (WREGE et al., 2017). A espécie ocorre naturalmente em uma variedade de solos com profundidade variando entre rasos à alta profundidade e, com alta e baixa drenagem (WREGE et al., 2009). Entretanto, atualmente, a *Araucaria angustifolia* integra, oficialmente, a Lista Vermelha de espécies ameaçadas da IUCN, como espécie criticamente em perigo (THOMAS, 2013). Também integra a lista das espécies da flora brasileira que estão ameaçadas de extinção,

classificada como espécie em perigo, com exploração proibida (BRASIL, 2006). Ainda, em nível estadual, integra a lista de espécies em extinção nos estados de Santa Catarina, como espécie criticamente em perigo, Paraná, Rio Grande do Sul e Minas Gerais como espécie vulnerável (MINAS GERAIS, 1997; RIO GRANDE DO SUL, 2002; PARANÁ, 2008; SANTA CATARINA, 2014).

Em relação às características da madeira, esta é classificada como excelente (WREGE et al., 2017), possuindo densidade média de $0,55 \text{ g/cm}^3$ (LORENZI, 2002), com grande importância econômica (WREGE et al., 2017). As principais utilizações da madeira da espécie concentram-se na obtenção de tabuados, vigamentos, pranchões, móveis, compensados, pasta mecânica e celulose, entre outros (JACINTO et al., 2016).

1.4.7.2 Família Myrtaceae: *Psidium cattleianum*

Popularmente conhecida como Araçá, esta espécie de angiosperma ocorre de forma nativa no Brasil, desde a Bahia até o estado do Rio Grande do Sul, em áreas de mata pluvial atlântica e mata de altitude, principalmente em locais úmidos (LORENZI, 2002) como banhados, bordas de corpos de água e restingas litorâneas. Se desenvolve em climas tropicais e subtropicais, (CORADIN; SIMINSKI; REIS, 2011), podendo atingir entre 3 e 6 metros de altura e 15 a 25 centímetros de diâmetro. Sua copa possui forma irregular e rala, e seu tronco é tortuoso com casca lisa e descamante. Suas folhas são coriáceas glabras e possuem de 5 a 10 centímetros de comprimento e 3 a 6 centímetros de largura (LORENZI, 2002). Produz frutos abundantes e suculentos, extremamente atraentes para aves e mamíferos (HUENNEKE; VITOUSEK, 1990), podendo ser consumido in natura ou na forma de sucos, geleias, sorvetes, frutos cristalizados e licores (CORADIN; SIMINSKI; REIS, 2011).

É considerada uma espécie de madeira extremamente densa, com densidade igual a $1,12 \text{ g/cm}^3$, compacta, elástica e resistente, apropriada para obras de torno, cabos de ferramentas e confecção de peças que exijam resistência (LORENZI, 2002). Ainda, é considerado como excelente opção para compor e enriquecer agroflorestas, visto seus múltiplos usos e sua apreciação pela avifauna. Também pode ser utilizada na recuperação de áreas degradadas desde que o solo tenha fertilidade suficientemente adequada e boa drenagem (CORADIN; SIMINSKI; REIS, 2011).

1.4.7.3 Família Rhamnaceae: *Hovenia dulcis*

A espécie *H. dulcis*, popularmente conhecida no Brasil como “Uva do Japão” é uma angiosperma pertencente à família *Rhamnaceae*. Originária da China, Japão e Coréia, foi introduzida em outros países como o Brasil, Argentina, Paraguai, Uruguai, Estados Unidos da América, Cuba, e regiões do Sul da Europa e da África. No Brasil, sua introdução se deu na década de setenta devido à doação de sementes realizada pela Academia Chinesa de Silvicultura para a EMBRAPA (MAIEVES et al., 2015).

Esta espécie se desenvolve preferencialmente em altitudes de até 2000 m, tanto em solos arenosos como em solos argilosos, preferencialmente em regiões ensolaradas, aparecendo de forma isolada ou em pequenos grupos (HYUN et al., 2010). É uma árvore caducifólia, com DAP entre 20 e 40 cm. Sua regeneração é natural e intensa devido as sementes produzidas, fazendo com que ela esteja presente em grande quantidade na Floresta Ombrófila Mista (mata de araucárias). Quanto ao regime pluviométrico, a espécie possui capacidade de sobrevivência desde regimes uniformes de precipitação, até precipitações estacionais, com chuvas concentradas no verão, tendo déficit hídrico leve a moderado (CARVALHO, 1994).

No Brasil, é utilizada principalmente para fins ornamentais e para a produção de madeira (SANTINI et al., 2016). Sua madeira possui densidade média entre 0,50 a 0,72 g/cm³ (a 15% de umidade), tendo coloração amarelada no alburno e amarelo à castanho-escuro ou avermelhado no cerne. É caracterizada como uma madeira resistente e fácil de trabalhar (CARVALHO, 1994).

Ainda, a *H. dulcis* possui alto potencial invasor nas florestas na América do Sul e na Tanzânia (REJMÁNEK; RICHARDSON, 2013), possuindo crescimento rápido, com altura variando entre 10 a 25 metros (CARVALHO, 1994). Já na década de 70 a espécie estava difundida em várias regiões do estado, utilizada para uso madeireiro (JONHSTON; SOARES, 1972), arborização de culturas, pastagens, cerca viva, uso em serraria e produção de energia (CARVALHO, 1994). Pelo seu alto potencial invasor, atualmente, a espécie consta na lista oficial de espécies exóticas invasoras dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Paraná, 2009; Santa Catarina, 2012; Rio Grande do Sul, 2013). No Rio Grande do Sul, encontra-se na categoria 1, ficando proibidos seu transporte, criação, soltura ou translocação, cultivo, propagação, comércio, doação ou aquisição intencional sob qualquer forma. Por sua vez, no estado do Paraná e em Santa Catarina, foi enquadrada na categoria 2, o que significa que sua criação ou cultivo são

permitidos sob condições controladas, estando sujeitas a normas e condições específicas a serem definidas pelos órgãos ambientais competentes.

CAPÍTULO 2 – ESCOLHA, CARACTERIZAÇÃO SUPERFICIAL, E ENSAIOS DE FILTRAÇÃO DE ÁGUA COM AS ESPÉCIES ESTUDADAS

2.1 INTRODUÇÃO GERAL

Este capítulo está dividido em duas etapas:

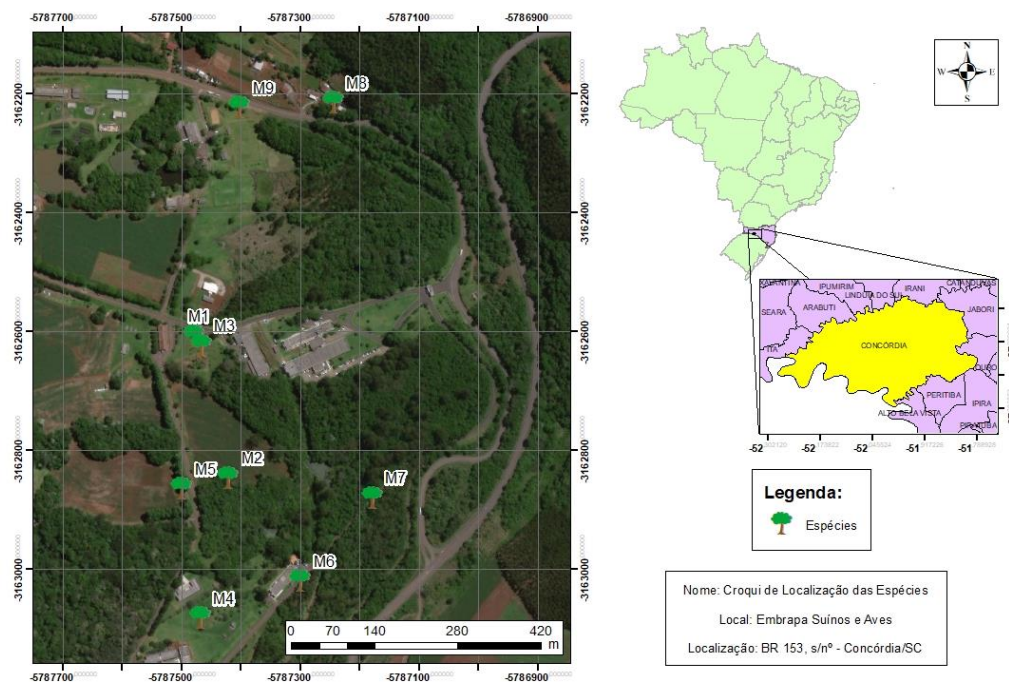
- Etapa 1: escolha das madeiras participantes da etapa 2 através de ensaios prévios de filtração, e caracterização superficial das espécies selecionadas. Nesta etapa foram selecionadas nove espécies de madeira, com diferentes densidades aparentes, as quais foram submetidas a ensaios de filtração prévios com o intuito de se escolher aquelas com maior capacidade de filtração. Após a escolha, a superfície das madeiras selecionadas foi caracterizada por meio da MEV.
- Etapa 2: ensaios de filtração com as madeiras selecionadas na etapa 1, denominadas de M1, M2 e M3, para análise de parâmetros físico-químicos de qualidade de água. O diâmetro dos elementos filtrantes foi mantido em 1 cm, o comprimento variado de 1 a 10 cm, e a pressão aplicada ao sistema variou de 5 a 20 psi. Os parâmetros de qualidade da água analisados foram turbidez (uT), cor aparente (uC), sólidos dissolvidos totais (mg/L), carbono orgânico total (mg/L), nitrogênio total (mg/L), pH e condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$), assim como estimada a densidade aparente (g/cm^3) dos elementos filtrantes e a taxa de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$).

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Escolha das espécies

Durante a etapa 1, foram elencadas nove espécies de árvores, nativas e exóticas, localizadas nas dependências da EMBRAPA Suínos e Aves, no município de Concórdia/SC, cujas localizações estão ilustradas na figura 13. Ainda, a tabela 5 traz as espécies listadas de 1 a 9, assim como a densidade aparente média de cada espécie (g/cm^3).

Figura 13 – Localização das espécies selecionadas para etapa 1 dentro do território da EMBRAPA – Suínos e Aves.



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Tabela 5 – Espécies de madeiras avaliadas nos ensaios de filtração da etapa 1.

Nome Científico	Nome Popular	Densidade aparente média (g/cm ³)
<i>Araucaria angustifolia</i> (M1)	Araucária	0,55
<i>Psidium cattleianum</i> (M2)	Araçá	1,12
<i>Hovenia dulcis</i> (M3)	Uva Japão	0,58
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O.Berg (M4)	Guabiroba	0,86
<i>Cabralea oblongifoliola</i> (M5)	Canjerana	0,69
<i>Ocotea puberula</i> (M6)	Canela-guaicá	0,45
<i>Cupania vernalis</i> Cambess (M7)	Camboatá Vermelho	0,57
<i>Spondias tuberosa</i> (M8)	Umbuzeiro	0,61
<i>Quercus coccínea</i> (M9)	Carvalho Vermelho	0,85

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

2.2.2 Ensaios de filtração

2.2.2.1 Água bruta

Para a etapa 1, a água bruta utilizada foi coletada em lago artificial localizado nas dependências da EMBRAPA Suínos e Aves.

Por sua vez, para a etapa 2, a água bruta utilizada foi preparada em laboratório, cuja metodologia foi baseada no trabalho de Paterniani et al. (2010) e Arantes et al. (2014), efetuada por meio do equipamento Jar-Test. Para cada repetição foram preparados 2 L de água bruta, sendo adicionados 1 L de água destilada juntamente com 80 mg de argila bentonita em cada jarro do equipamento, com intuito de obter uma turbidez média de 25 uT. A velocidade de rotação do aparelho foi fixada em 220 rpm, durante um tempo de 30 minutos. Após a agitação, a água foi acondicionada em reservatório e mantida em repouso durante 24h, sendo que, ao término deste período, o sobrenadante foi recolhido para que fosse utilizado nos ensaios de filtração.

2.2.2.2 Parâmetros avaliados

Na etapa 1, tanto a água bruta como a água filtrada foram caracterizadas por meio da turbidez (uT) para a seleção das espécies a participar dos ensaios de filtração. Ainda, através do cálculo da área dos elementos filtrantes (m^2), e da vazão (m^3/dia), foi possível estimar a taxa de filtração ($m^3/m^3.dia$) para cada elemento filtrante, sem levar em consideração o processo de colmatação do mesmo, conforme descrito nas equações a seguir.

Por sua vez, na etapa 2 os parâmetros de qualidade da água analisados nesta etapa foram turbidez (uT), cor aparente (uC), sólidos dissolvidos totais (mg/L), carbono orgânico total (mg/L), nitrogênio total (mg/L), pH e condutividade ($\mu s/cm^2$), tanto para água bruta quanto para água filtrada. Todos os equipamentos utilizados foram devidamente calibrados e as análises foram realizadas em triplicatas, sendo a metodologia de análise conforme o descrito pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

A densidade aparente (g/cm^3) foi calculada através da relação entre massa (g) e volume dos elementos filtrantes (cm^3), conforme descrito na equação 1, a seguir. Ainda, o cálculo da taxa de filtração diária ($m^3/m^2.dia$), foi realizado conforme exposto no capítulo 2, pelas equações 2, 3 e 4.

$$\phi = \frac{M_m}{V_m} \quad (1)$$

Onde: ϕ – Densidade aparente (g/m³); M_m – Massa da amostra de madeira (g) e V_m – Volume da amostra de madeira (m³).

$$A = \pi * r^2 \quad (2)$$

Onde: A – Área de filtração (m²) e r – Raio da superfície filtrante (m).

$$Q = \frac{V}{T} \quad (3)$$

Onde: Q – Vazão (m³/s); V – Volume filtrado (m³) e T – Tempo de filtração (s).

$$V = \frac{Q}{A} \quad (4)$$

Onde: V – Velocidade (m/s); Q – vazão (m³/s) e A – Área de filtração (m²).

2.2.2.3 Sistema de filtração

Nas duas etapas, após a coleta das espécies, as madeiras foram descascadas com estilete e submetidas à um esmerilho para que sua superfície ficasse retilínea e para atingir o diâmetro estipulado. Após este processo, os filtros foram imersos em água destilada durante todo o período precedente aos ensaios de filtração, visto que quanto mais seca a madeira estiver no momento da filtração, menor será sua capacidade de conduzir o fluxo de água dentro dos condutos do xilema (BOUTILIER et al., 2014).

O sistema de filtração, ilustrado na figura 14, utilizado nas duas etapas, foi adaptado conforme a metodologia utilizada por Sens; Emmendoerfer; Muller (2013), e Boutilier et al. (2014), de modo que a água bruta passasse pelos poros do elemento filtrante com o auxílio da pressão proporcionada por uma bomba de ar. Compuseram o sistema:

- ✓ Bomba de pressão a vácuo;

- ✓ Mangueira para adição de água bruta;
- ✓ Elemento filtrante (madeira);
- ✓ Braçadeiras de metal;
- ✓ Béquer para coleta da água filtrada.

Figura 14 - Sistema de filtração utilizado em operação.



Fonte: acervo da autora, 2019.

Na etapa 1, o diâmetro dos elementos filtrantes foi fixado em 1 cm e o comprimento dos mesmos variado em 1, 3 e 10 cm, sendo que os filtros foram confeccionados a partir de galhos das árvores, cujo diâmetro já era próximo ao estabelecido.

Por fim, na etapa 2, o diâmetro dos elementos filtrantes foi mantido em 1 cm, o comprimento variado de 1 a 10 cm, e a pressão aplicada ao sistema foi variada de 5 a 20 psi.

2.2.2.4 Caracterização superficial das espécies selecionadas

A preparação das amostras para a execução da MEV, efetuada na etapa 1, foi realizada conforme metodologia descrita por Sens; Emmendoerfer; Muller (2013). Foram extraídas, do

interior das madeiras selecionadas, amostras em formato cilíndrico, com dimensões aproximadas de 1 cm de diâmetro e 1 cm de comprimento. Para o ressecamento, as amostras foram mantidas a uma temperatura média de 50 ° C durante 26 horas. Após, foram cobertas com ouro, visto que não se tratam de amostras metálicas e não possuem a capacidade de conduzir eletricidade.

Foram adquiridas imagens com aproximações de 50x, 250x, 500x e 2000x. A análise das imagens da MEV foi possibilitada por meio da escala presente nas mesmas, sendo que em cada imagem foi estabelecida uma área retangular e, então, a contagem de poros de cada espécie foi realizada, com o intuito de calcular o diâmetro médio dos poros (mm), a área média dos poros (mm²), porosidade da madeira (%), densidade dos poros (poro/mm²), conforme as equações descritas a seguir.

$$D_m = \frac{\sum D}{N_p} \quad (5)$$

Onde: D_m – Diâmetro médio dos poros (mm); D – Diâmetro do poro (mm); N_p – Número de poros.

$$A_m = \frac{\sum A_p}{N_p} \quad (6)$$

Onde: A_m – Área média dos poros (mm²); A_p – Área transversal de cada poro (mm²); N_p – Número de poros.

$$N_{p/mm^2} = \frac{N_p}{A_t} \quad (7)$$

Onde: N_{p/mm^2} – Número de poros por mm²; N_p – Número de poros; A_t – Área da superfície das amostras (mm²).

$$n = \frac{A_{ps}}{A_t} * 100 \quad (8)$$

Onde: n – Porosidade da madeira (%); A_{ps} – Área porosa da superfície (mm²); A_t – Área da superfície das amostras (mm²).

2.2.3 Delineamento experimental

Na etapa 2 o experimento foi executado num delineamento em blocos inteiramente ao acaso, com tratamentos arranjos em esquema fatorial composto central (considerando pressão e comprimento) dentro de cada espécie de madeira testada, sendo realizadas cinco repetições de cada experimento. Os dados obtidos foram analisados por meio da metodologia de análise de superfície de resposta, considerando os fatores bloco, madeira, efeitos lineares e quadráticos de comprimento da madeira e pressão, bem como o efeito cruzado entre eles e suas interações com o efeito de madeira. Todas as análises estatísticas foram realizadas através do software SAS (2012).

Para o detalhamento da análise sempre que o teste F detectou efeito significativo ($p \leq 0,05$) de madeira, a comparação das madeiras duas a duas foi realizada por meio do cálculo de teste F específico para isso. Devido à heterogeneidade de variâncias detectada, a análise foi realizada pelo método de mínimos quadrados ponderados pelo inverso da variância de cada combinação de madeira, pressão e comprimento.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Resultados e discussão para etapa 1

2.3.1.1 Ensaios de filtração

Conforme já fora mencionado, foram selecionadas espécies nativas e exóticas. As espécies nativas foram escolhidas visto que, caso comprovada a capacidade de filtração da água, estudos posteriores podem ser desenvolvidos com o intuito de averiguar a viabilidade econômica e prática do sistema, atuando na promoção de sistemas de reflorestamento com espécies nativas, auxiliando em sua preservação, especialmente daquelas ameaçadas e vulneráveis. No que concerne às espécies exóticas, estas foram selecionadas visto a possibilidade de promover uma destinação ambientalmente adequada para estas espécies invasoras. Ainda, optou-se por estudar espécies de angiospermas e gimnospermas, visto a diferença entre suas estruturas organizacionais no que concerne ao transporte de água internamente (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 1996), conforme

mencionado anteriormente. A densidade média da madeira também foi levada em consideração, optando-se por madeiras com densidades leves até aquelas com densidades altas.

Os resultados obtidos para turbidez estão descritos nas tabela 6, a seguir. A água bruta utilizada teve turbidez média igual a 34,4 uT. Salienta-se que os filtros confeccionados para o Umbuzeiro (M8) não foram utilizados nos ensaios, visto que a árvore desta espécie disponível para coleta de madeira é extremamente jovem, cuja madeira, por ser nova, é especialmente mole, dificultando a confecção e o manuseio dos filtros. Ainda, a espécie Canjerana (M5) foi descartada nesta etapa visto que sua madeira não apresentou nenhuma durabilidade quando conservada em meio aquoso, se desintegrando facilmente.

A espécie Canela G. (M6) não apresentou potencial de redução de turbidez para nenhum comprimento. Por sua vez, ainda que as espécies Guabiroba (M4), Camboatá V. (M7) e Carvalho V. (M9) tenham demonstrado potencial para a filtração de água, quando comparadas com as madeiras Araucária (M1), Araçá (M2) e Uva Japão (M3), as três primeiras tem potencial de remoção de turbidez visualmente mais baixos, assim como filtram menor volume de água pela área de filtro, visto que são mais densas, conforme a estimativa da taxa de filtração apresentada na tabela 6. Desta forma, as espécies selecionadas para compor a etapa 2 foram: Araucária (M1), Araçá (M2), Uva Japão (M3).

Tabela 6 - Resultados obtidos para os ensaios de filtração com filtros de 1, 3 e 10 cm de comprimento, para a água bruta com turbidez de 34,4 uT.

Espécies de madeira	Comprimento (cm)	Pressão (psi)	Turbidez média (uT)	Taxa de filtração (m³/m².d)
Araucária (M1)	1	18	1,60	162,97
Araçá (M2)	1	18	4,53	108,23
Uva Japão (M3)	1	18	9,90	174,43
Guabiroba (M4)	1	18	34,23	14,58
Canjerana (M5)	1	18	7,53	164,25
Canela G. (M6)	1	18	27,27	155,34
Camboatá V. (M7)	1	18	8,23	2,78
Umbuzeiro (M8)	1	18	-	-
Carvalho V. (M9)	1	18	7,00	11,08
Araucária (M1)	3	18	1,43	128,60
Araçá (M2)	3	18	6,37	68,25
Uva Japão (M3)	3	18	7,23	19,86
Guabiroba (M4)	3	18	8,33	10,84
Canjerana (M5)	3	18	7,87	68,75
Canela G. (M6)	3	18	20,53	93,58
Camboatá V. (M7)	3	18	13,03	2,85
Umbuzeiro (M8)	3	18	-	-
Carvalho V. (M9)	3	18	20,80	8,73
Araucária (M1)	10	20	3,37	109,50
Araçá (M2)	10	18	6,70	62,39
Uva Japão (M3)	10	20	6,43	22,92
Guabiroba (M4)	10	18	9,47	8,02
Canjerana (M5)	10	18	6,83	33,10
Canela G. (M6)	10	5	18,27	24,19
Camboatá V. (M7)	10	15	13,67	1,91
Umbuzeiro (M8)	10	18	-	-
Carvalho V. (M9)	10	5	10,08	5,60

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

2.3.1.2 Caracterização das espécies

A tabela 7 e as figuras 15, 16 e 17 ilustram a caracterização das madeiras no plano transversal, possibilitando, através da MEV, a visualização dos poros, circulados em vermelho, assim como o dimensionamento dos mesmos.

Devido ao corte realizado, a visualização dos poros das madeiras M1 e M2 foi prejudicada, sendo possível a visualização somente de alguns poros distribuídos de forma aleatória por suas superfícies, ao contrário da M3, na qual foi possível visualizar uma grande quantidade de poros distribuídos de maneira uniforme.

Na seção transversal, tanto os traqueídeos como os vasos são caracterizados como os poros da madeira (BURGER e RICHTER, 1991). Na literatura há inúmeros relatos sobre o dimensionamento dos traqueídeos nas gimnospermas. Sperry et al. (2006) encontraram, para gimnospermas, diâmetros na faixa de 0,01 a 0,042 mm para madeira de caule, e diâmetro de 0,05 a 0,065 mm para madeira próxima a raiz da árvore, ilustrando que no mesmo indivíduo podem existir diâmetros distintos de acordo com a parte da árvore analisada. Ainda, Osterkamp et al. (2018) encontraram diâmetro médio dos traqueídeos igual a 0,032 mm para *Araucaria angustifolia*, 0,038 mm para *Araucaria bidwillii*, e 0,01 mm para *Araucaria columnaris*. Conforme a tabela 7, M1 (*Araucaria angustifolia*), única gimnosperma presente neste estudo, apresentou um diâmetro médio dos poros consideravelmente inferior ao exposto pelos autores, com valor igual a 0,0012 mm.

Entretanto, embora a literatura traga diâmetros médios, é necessário levar em consideração que o diâmetro dos traqueídeos é uma característica que pode variar conforme diferentes espécies, diferentes indivíduos da mesma espécie, conforme o tempo de vida da árvore e a posição da amostra analisada diante da árvore como um todo. Ainda, é importante salientar que embora os traqueídeos dimensionados na superfície de M1 tenham valor de diâmetro parecido, o valor encontrado para o diâmetro médio dos poros (0,0012 mm) pode não refletir o valor real deste parâmetro, visto que o corte realizado prejudicou a aparição da maioria dos poros.

Por sua vez, para as angiospermas, foi constatado diâmetro médio dos poros (vasos) de 0,0009 mm para M2 e 0,054 mm para M3. Assim como M1, o corte realizado em M2 prejudicou a aparição da maioria dos poros e, aqueles que puderam ser dimensionados demonstraram valor extremamente inferior ao diâmetro máximo dos poros para angiospermas reportado na literatura, de, no máximo, 0,5 mm. Entretanto, o valor encontrado para M3, 0,054 mm, corrobora com os valores encontrados na literatura e, quando comparado com o valor de M1, ilustra a diferença

existente entre o diâmetro de vasos e traqueídeos (BOUTILIER et al., 2014), visto que os poros de M3 são visíveis, de forma clara, já na aproximação de 50x. Ainda, embora M3 tenha a grande maioria dos poros com diâmetros semelhantes, é possível visualizar na figura 17, que a mesma possui alguns poros, distribuídos de forma aleatória, com tamanhos extremamente maiores do que a maioria, chegando à um diâmetro de 0,15 mm, fato que acaba facilitando a passagem de partículas presentes na água.

Em comparação com o diâmetro médio dos poros de diferentes espécies de angiospermas, M3 demonstra ter um valor semelhante, visto que para a espécie *Aspidosperma polyneuron*, popularmente conhecida como Peroba, foram encontrados traqueídeos com diâmetro entre 0,05 a 0,1 mm. Já a espécie *Enterolobium contortisiliquum*, de nome popular Timbaúva, possui vasos maiores, com diâmetro entre 0,1 e 0,2 mm. (MELO JUNIOR, 2017).

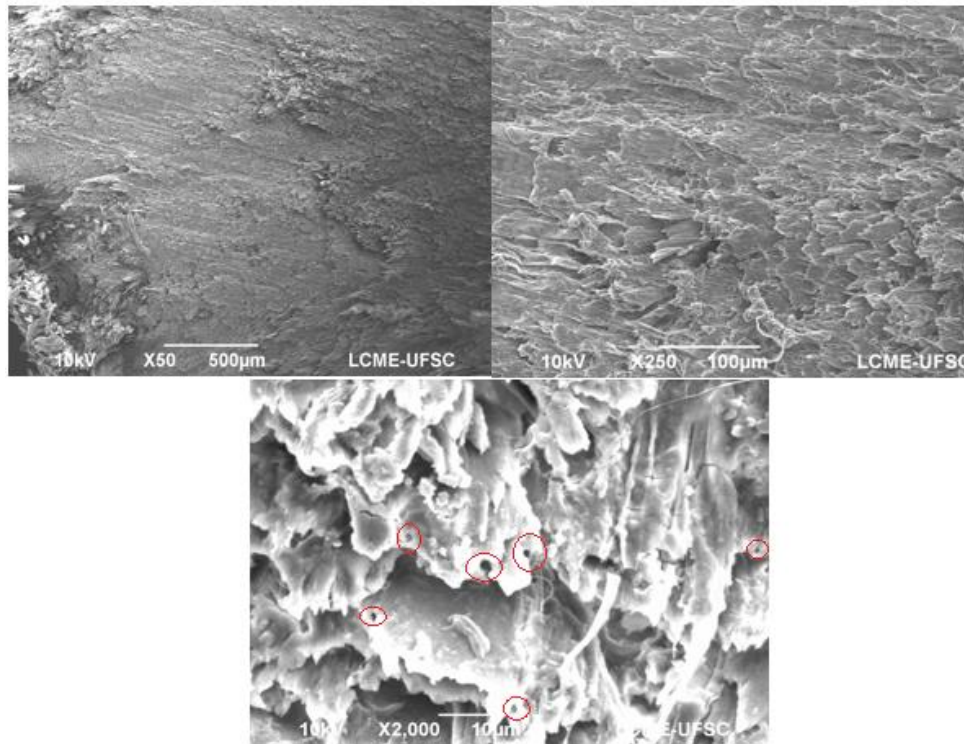
Através do dimensionamento dos poros também foi possível determinar a faixa de filtração que se classificam as madeiras. Desta forma, foi constatado que o diâmetro médio dos poros das madeiras M1 e M2 são compatíveis com o processo de filtração por membranas, se encaixando na microfiltração, visto que os valores se encontram na faixa de 0,0001 a 0,01 mm (KOYUNCU et al., 2015). Salienta-se que para M1 e M2 não foram calculados o número de poros por mm² e a porosidade da madeira, visto a má qualidade dos cortes. Por sua vez, foi constatado que M3 possui 196,7 poros por mm², com uma porosidade igual a 48%, sendo que, segundo Sens; Emmendoerfer; Muller (2013), valores de porosidade na faixa de 40% favorecem o tratamento da água por filtração em madeira.

Tabela 7 - Caracterização superficial das madeiras no plano transversal (dimensionamento dos poros).

Parâmetros	M1	M2	M3
D _m – Diâmetro médio dos Poros	0,0012 mm	0,0009 mm	0,054 mm
A _m – Área média dos poros	1,21 x 10 ⁻⁶ mm ²	8,5 x 10 ⁻⁷ mm ²	0,0024 mm ²
N _{p/mm²} – Número de poros por mm ²	-	-	196,7 poros/mm ²
n – Porosidade da madeira	-	-	48%

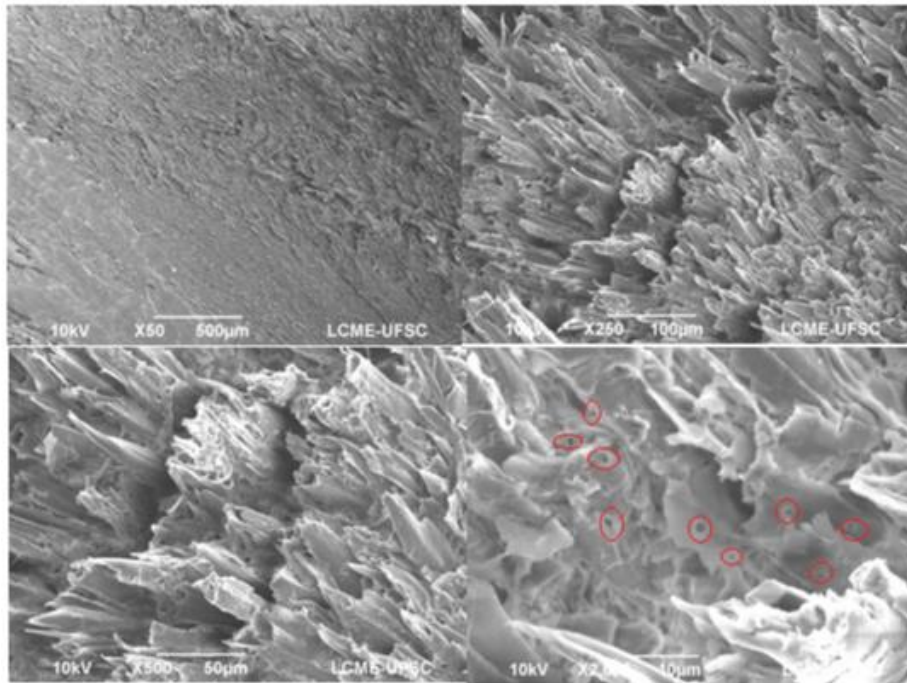
Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Figura 15- Imagens de MEV de M1 no plano transversal (poros).



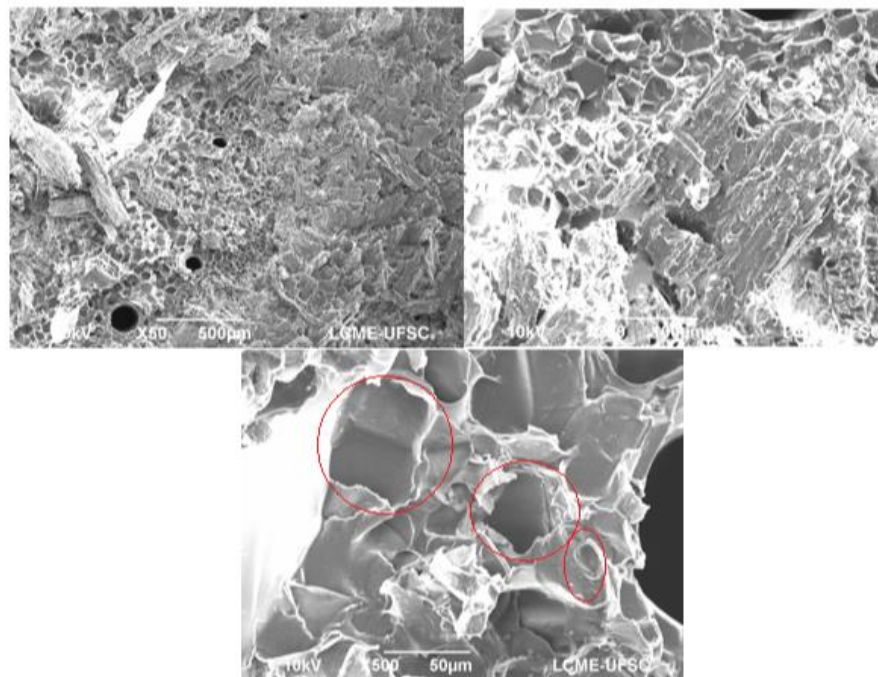
Fonte: acervo da autora, 2019.

Figura 16 - Imagens de MEV para M2 no plano transversal (poros).



Fonte: acervo da autora, 2019.

Figura 17 - Imagens de MEV de M3 no plano transversal (poros).



Fonte: acervo da autora, 2019.

Por sua vez, a tabela 8, traz o dimensionamento das pontoações presentes no plano tangencial dos traqueídeos (M1) e dos vasos (M2 e M3), assim como as figuras 18, 19 e 20 ilustram as pontoações circuladas em vermelho. Conforme já fora mencionado anteriormente, as pontoações são formadas pelo torus e pelo margo, membranas porosas que protegem os traqueídeos e vasos contra a entrada de bolhas de ar na planta (ALBUQUERQUE, 2000; HACKE et al., 2015) e, no caso da filtração de água em madeira é considerada a unidade funcional que retém as partículas presentes na água (BOUTILIER et al., 2014).

Salienta-se que neste estudo o torus e o margo dos traqueídeos não foram dimensionados, nem as membranas das pontoações das angiospermas. Entretanto, no que concerne às gimnospermas, a existência de poros largos na região do margo foi confirmada através de experimentos de perfusão de partículas, realizado por Liese; Johann (1954), demonstrando que os poros localizados no margo possuem geralmente cerca de 0,0002 mm (200 nm) de diâmetro. Por sua vez, para as angiospermas Choat; Cobb; Jansen (2008), afirmam que o diâmetro dos poros das membranas pode variar de 0,00005 a 0,0007 mm (70 a 500 nm). Também não foram calculados o número de pontoações por mm², visto que as imagens de MEV possibilitaram somente a visualização de algumas pontoações distribuídas ao longo de alguns traqueídeos e vasos e, não a distribuição geral das mesmas ao longo de todos os traqueídeos e vasos existentes na imagem.

Através do cálculo do diâmetro médio das pontoações, foi verificado que este parâmetro é consideravelmente menor para as madeiras M1 e M2, quando comparadas com M3, fato que influencia diretamente no tamanho da área média das pontoações. Desta maneira, M3 apresentou o maior tamanho de poros e de pontoações, quando comparada com M1 e M2, sendo que as pontoações de M3 são ainda maiores do que os poros de M1 e M2.

Apesar de as madeiras M2 e M3 serem angiospermas, nas quais, geralmente, não há grande presença de pontoações no plano tangencial, foi possível visualizar a presença das mesmas, principalmente nas imagens obtidas para M2, onde fica visível a disposição das mesmas de maneira uniforme ao longo do vaso.

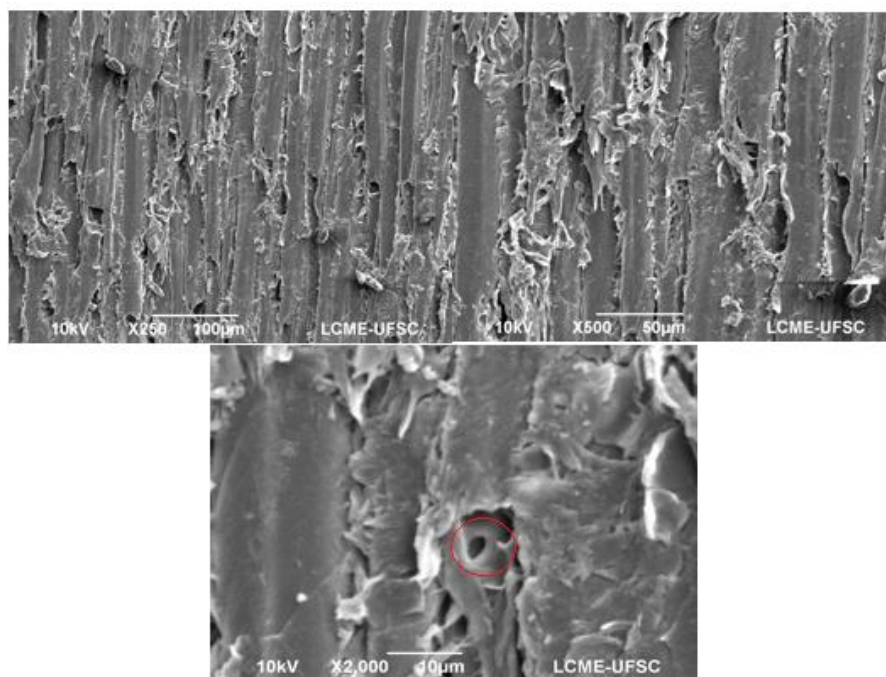
Ainda, a disposição das pontoações também se difere entre as madeiras. Enquanto que na M1 as pontoações estão dispostas de maneira semelhante à disposição unisseriada, em M2 possuem características próximas a disposição alternada em forma arredondada e em M3 disposição oposta com formato poligonal (BURGER e RICHTER, 1991).

Tabela 8 - Caracterização superficial das madeiras no plano transversal (dimensionamento das pontoações).

Parâmetros	M1	M2	M3
D_m – Diâmetro médio das Pontoações	0,0031 mm	0,0016 mm	0,018 mm
A_m – Área média das pontoações	$54 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$	$2,03 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$	$0,00028 \text{ mm}^2$

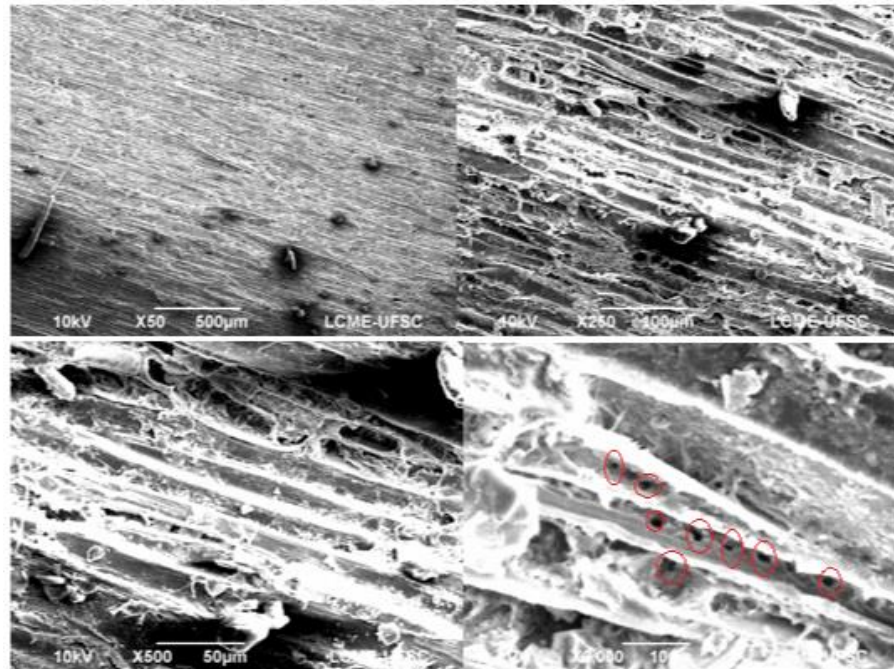
Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Figura 18 - Imagens de MEV de M1 no plano tangencial (pontoações).



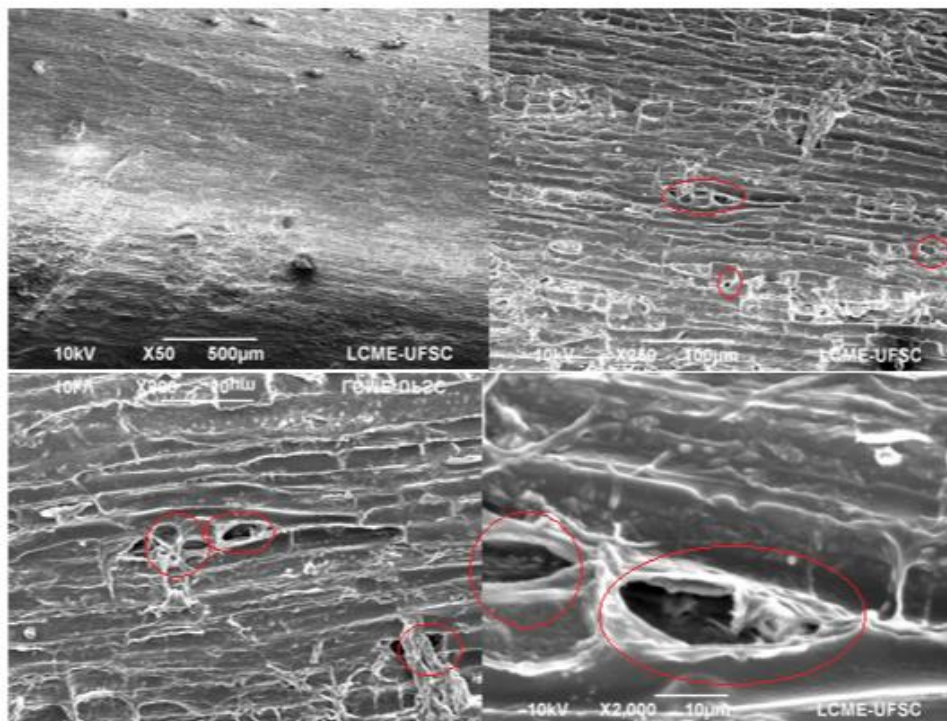
Fonte: acervo da autora, 2019

Figura 19 - Imagens de MEV de M2 no plano tangencial (pontoações).



Fonte: acervo da autora, 2019.

Figura 20 - Imagens de MEV de M2 no plano tangencial (pontoações).



Fonte: acervo da autora, 2019.

2.3.2 Resultados e discussão para etapa 2

2.3.2.1 Caracterização da água bruta

A tabela 9 ilustra a caracterização da água bruta para cada repetição realizada, 5 no total, assim como a média final considerando todas as repetições. Conforme mencionado anteriormente a água bruta utilizada foi produzida em laboratório, com a utilização de água destilada e argila bentonita, no intuito de obter uma turbidez próxima a 25 uT, fato que pode ser visualizado na tabela 9 através da turbidez média total com valor igual a 26,40 uT e ao baixo desvio padrão entre as amostras.

No que tange a cor aparente, pode-se afirmar que a cor presente na água bruta é proveniente de partículas em suspensão, visto que a adição de argila bentonita confere à água, em sua grande maioria, somente partículas em suspensão, conforme comprovado pela baixa concentração de SDT, e de condutividade, visto que esta última depende diretamente de sais dissolvidos ou ionizados presentes na água. Por sua vez, a baixa quantidade de COT e NT já era esperado por se tratar de água destilada, indicando a baixa concentração destes compostos na argila bentonita.

Tabela 9 - Caracterização da água bruta utilizada na etapa 2.

Repetição	Turbidez (uT)	Cor aparente (uC)	SDT (mg/L)	COT (mg/L)	NT (mg/L)	pH	Condutividade ($\mu\text{s}/\text{cm}^2$)
1	25,00	15,00	18,50	3,32	0,00	8,30	46,50
2	27,20	15,00	10,50	0,30	0,00	8,63	21,00
3	28,15	20,00	20,00	2,29	0,35	7,26	40,00
4	26,95	20,00	12,50	2,72	0,46	7,71	26,00
5	24,85	20,00	11,00	3,10	0,52	8,00	31,00
Média Total	26,43	18,00	14,50	2,35	0,27	7,98	32,90
Desvio Padrão	1,45	2,74	4,43	1,21	0,25	0,53	10,35

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

2.3.2.2 Parâmetros avaliados

A tabela 10 ilustra os níveis descritivos de probabilidade do teste F da análise de superfície de resposta. Observa-se que houve efeito significativo, $p \leq 0,05$, de bloco para COT, condutividade, cor aparente, densidade aparente, NT e SDT, ao passo que os efeitos principais de madeira e comprimento foram observados para todas variáveis.

O efeito da interação entre madeira e comprimento foi observado para COT, densidade aparente e NT, enquanto o componente quadrático de comprimento só teve efeito na densidade aparente. A pressão, por sua vez, só teve influência significativa sobre SDT, taxa de filtração e turbidez.

Tabela 10 - Níveis descritivos de probabilidade do teste F da análise de superfície de resposta das variáveis avaliadas no experimento e respectivo coeficiente de determinação (R²).

Causa de Variação	COT	Condutividade	Cor	Densidade	NOT	SDT	Taxa de		pH
			Aparente	Aparente			filtração	Turbidez	
Bloco	0,0061	0,0080	0,0002	0,0004	0,0062	<0,0001	0,4214	0,3953	0,5004
Madeira	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,0004	<0,0001	<0,0001	0,0052
Comprimento	0,0183	<0,0001	0,0102	<0,0001	0,0110	<0,0001	0,0044	<0,0003	0,0359
Pressão	0,0605	0,8985	0,2762	0,6093	0,1378	0,3419	0,0065	0,7481	0,4810
Comprimento×Madeira	0,0003	0,1446	0,0775	0,0051	<0,0001	0,4825	0,1073	0,7891	0,8289
Pressão×Madeira	0,6536	0,4888	0,8894	0,3684	0,6855	0,4951	0,2817	0,3385	0,8523
Comprimento×Pressão	0,3159	0,4379	0,8144	0,5132	0,4402	0,7784	0,1812	0,4877	0,5146
Comprimento ²	0,4829	0,4136	0,7237	<0,0006	0,8254	0,7937	0,0758	0,9914	0,4123
Pressão ²	0,5556	0,4764	0,6827	0,3248	0,1772	0,0213	0,1539	0,1549	0,7019
Madeira×Comprimento	0,3256	0,7932	0,8678	<0,0001	0,6143	0,9295	0,1531	0,6510	0,5912
2									
Madeira×Pressão ²	0,5903	0,1535	0,8689	0,2121	0,6841	0,4611	0,5307	0,4022	0,8428
Madeira×Comprimento	0,8595	0,1801	0,7019	0,0935	0,2887	0,1465	0,7669	0,0412	0,9758
×Pressão									
Desvio de Regressão	0,9580	0,6678	0,9084	0,3829	0,9807	0,3564	0,0656	0,7254	0,7771
R ²	0,9613	0,9652	0,9448	0,9792	0,9695	0,9419	0,8804	0,9231	0,8036

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

As figuras 21, 22 e 23 ilustram os gráficos de superfície de resposta para o parâmetro turbidez, para M1, M2 e M3, respectivamente.

Conforme demonstrado pela tabela 10, para o caso da turbidez, existe interação entre madeira, pressão e comprimento. Foi observado que, em comprimentos mais baixos a pressão tem pouca influência no resultado da turbidez, diferente de comprimentos mais altos. Em geral, foi observado que a turbidez aumenta em função do aumento do comprimento.

O resultado de que a remoção de turbidez é mais alta para comprimentos mais baixos, e que a pressão não possui grande influência na remoção de turbidez para esses comprimentos, é um fato positivo para a filtração em madeira. Isto ocorre visto que a pressão necessária do sistema é uma variável econômica de extrema importância para qualquer sistema de filtração, principalmente para sistemas que tratam um volume menor de água, como para pequenas comunidades ou residências, visto que a exigência de pressões maiores acaba consumindo maior energia para a tratamento de água.

Salienta-se também que pressões muito altas podem prejudicar a capacidade da madeira como elemento filtrante, visto que as membranas das pontoações são formadas pelo torus e margo, estruturas porosas que podem acabar se rompendo caso a água passe com pressão alta pelas mesmas. Em comparação com processos de filtração por membranas, as pressões utilizadas no presente estudo estão dentro do normal, visto que para a microfiltração, tipo de filtração por membranas em que os poros de M1 e M2 se encaixam, a faixa de pressão comumente utilizada é 1,5 a 43,5 psi – 0,1 a 3 bar – (KOYUNCU et al., 2015). Entretanto, deve-se considerar que este experimento foi realizado em escala laboratorial, levando em consideração que, para o tratamento de água por filtração em madeira em maior escala, por exemplo, a pressão de trabalho do sistema pode ser diferente.

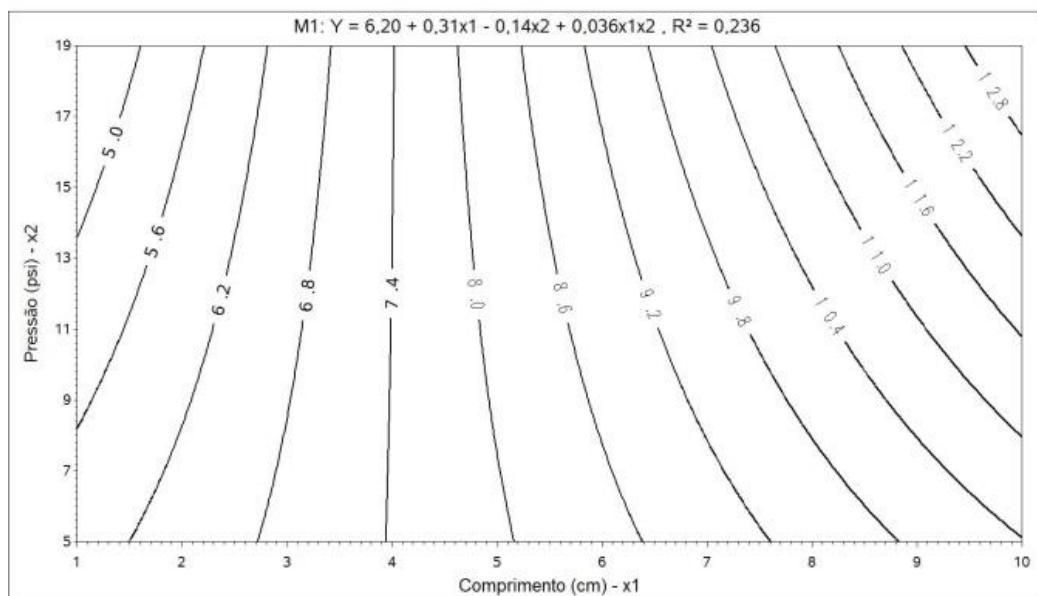
No que tange a M1, observa-se pela figura 21 que, no gráfico, o ponto mínimo de turbidez foi de 5,0 uT para a pressão em torno de 16 psi e comprimento de cerca de 1,4 cm. Entretanto, como, de forma geral, a turbidez diminui conforme menor for o comprimento do filtro, pode-se dizer que o melhor comprimento para remoção de turbidez foi 1 cm, visto que não foram testados comprimentos inferiores a este. Ainda, através do gráfico é possível perceber também que a taxa de crescimento da turbidez é igual a 0,6 uT para cada 1,2 cm de elemento filtrante.

Por sua vez, para a M2, conforme ilustrado pela figura 22, o ponto de turbidez mínima ocorre em pressão próxima a 18 psi e comprimento próximo a 1,3 cm. Entretanto, assim como para a M1 e, conforme tendência geral observada nos gráficos, de que quanto menor o comprimento, menor é a turbidez, pode-se dizer que, para a M2 o melhor comprimento para

remoção de turbidez também é de 1 cm e que, a taxa de aumento de turbidez para M2 é de 0,9 uT a cada 1,4 cm.

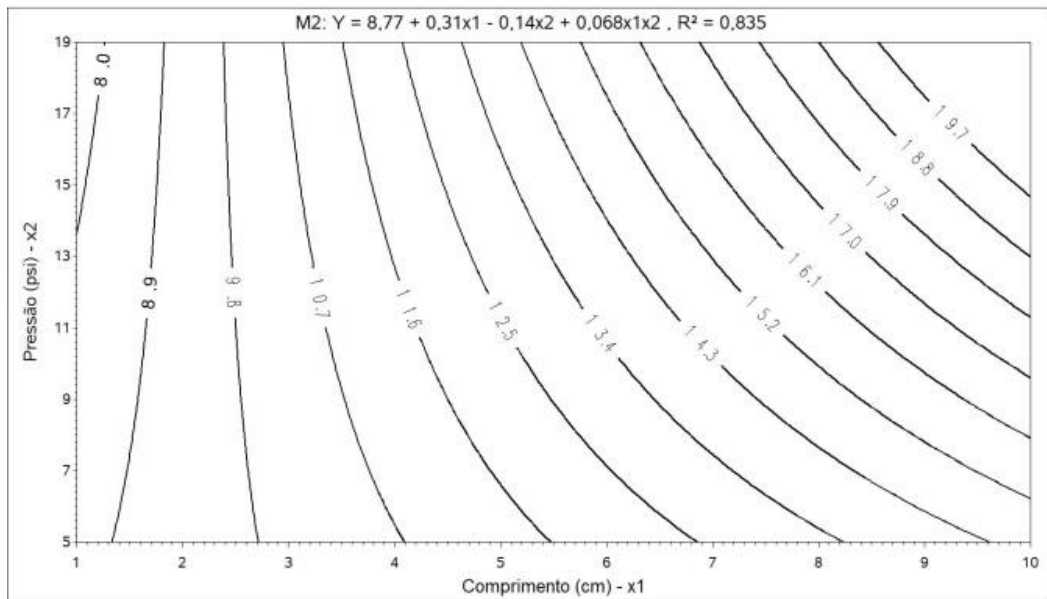
Por fim, a M3 foi a madeira que apresentou a menor capacidade de remoção de turbidez, conforme pode ser observado na figura 23. O valor mínimo de turbidez ilustrado no gráfico foi de 14,5 uT para uma pressão em torno de 15 psi e um comprimento de filtro de 1,3 cm. Desta forma, assim como para M1 e M2, o melhor comprimento para remoção de turbidez pode ser definido como 1 cm.

Figura 21 – Gráfico de contorno da turbidez (uT) em função do comprimento e da pressão para M1.



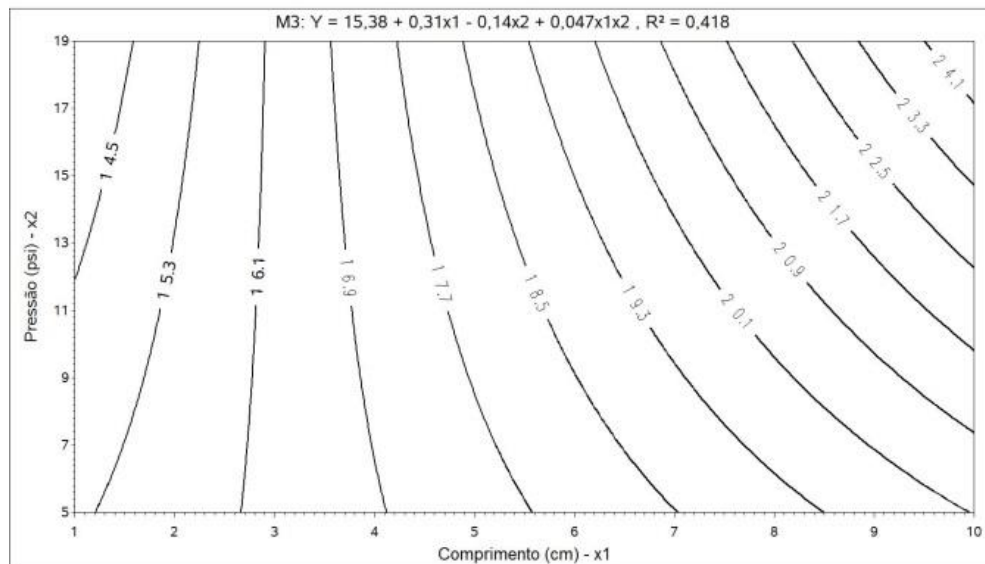
Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Figura 22 - Gráfico de contorno da turbidez (uT) em função do comprimento e da pressão para M2.



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Figura 23 - Gráfico de contorno da turbidez (uT) em função do comprimento e da pressão para M3.



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Em termos de comparação entre as madeiras, considerando todo o desenho experimental, o teste F detectou diferenças significativas entre todas as madeiras para remoção

de turbidez, sendo que M1 obteve o melhor desempenho, conforme visualizado nas figuras 21, 22 e 23 acima.

Entretanto, considerando somente o comprimento de 1 cm, o percentual médio de remoção de turbidez para M1 e M2 é extremamente semelhante, praticamente idênticos, sendo que o percentual de M1 é de 64,1 e de M2 é de 64,4%, enquanto M3 removeu, em média, 43,7% para o mesmo comprimento. Este fato pode ser atribuído ao maior diâmetro médio dos poros – 0,054 mm –, e das pontoações – 0,018 mm – encontrados para M3, enquanto que os valores encontrados para M1 foram de 0,0012 mm para o diâmetro médio dos poros, e 0,0031 mm para o diâmetro médio das pontoações, e para M2 foi de 0,0009 para diâmetro médio dos poros e de 0,0016 mm para o diâmetro médio das pontoações. Em termos de remoção máxima, para o comprimento de 1 cm tem-se 85,04% para M1, 89,58% para M2, e 90,91% para M3. Este fato demonstra a importância de se analisar o experimento como um todo, levando em consideração a remoção média das madeiras, visto que picos isolados de remoção podem afetar a interpretação dos dados.

Ainda, analisando o comprimento de 10 cm, maior comprimento analisado, tem-se uma remoção média de 60,80% para M1, 26,7% para M2, e um aumento, em vez de remoção, igual a 39,80% na turbidez para a M3. Levando em consideração que a turbidez da água filtrada aumenta com o aumento do comprimento do elemento filtrante, estes dados demonstram que a M1 é a madeira que obteve os dados mais uniformes, com decaimento de remoção média de 3,3% entre os comprimentos 1 e 10 cm, sendo que a M2 teve um decaimento de 37,7% e a M3 proporcionou um aumento de turbidez na água igual a 39,80%. Sens; Emmendoerfer; Muller (2013), conduziram um estudo analisando a combinação da coagulação com a filtração em madeira utilizando a espécie *Pinus elliottii*, com diâmetro médio de poros igual a 0,026 mm, atingindo percentual de remoção de 75% de turbidez para água bruta com 12 NTU com pressão de entrada igual a 40 psi. Os autores analisaram também a filtração em madeira tangencial helicoidal, onde obteve remoção média de 93% para turbidez, com água bruta com as mesmas características.

Embora que o tamanho dos poros de M1 e M2 estejam dentro da faixa de porosidade de membranas utilizadas em sistemas de microfiltração, quando os resultados obtidos no presente estudo são comparados com estudos que utilizaram membranas para a filtração da água, percebe-se que as membranas de microfiltração propriamente ditas possuem uma eficiência mais alta. Isto indica, que tanto para M1 como para M2, devem haver poros com maior diâmetro, o que contribui para o decaimento da qualidade da água filtrada. No estudo realizado por Manouchehri; Kargari (2017), os autores utilizaram membranas de celulose com diâmetro

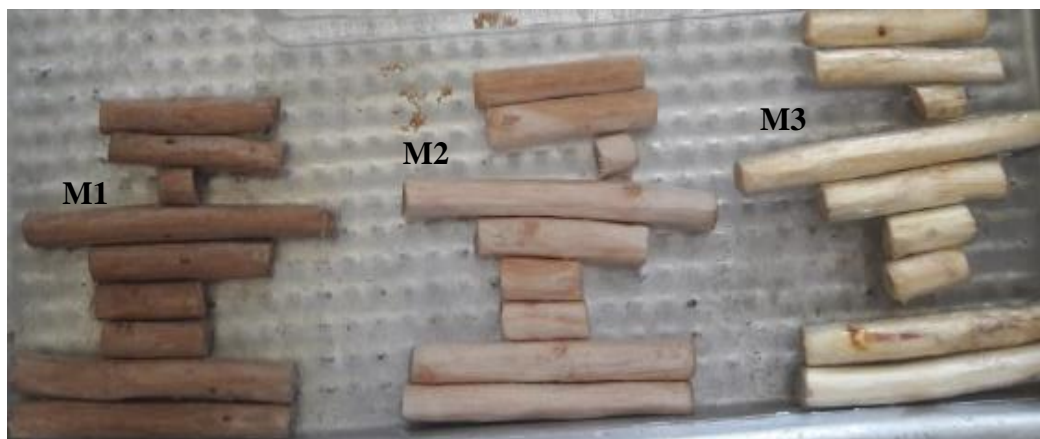
de poros igual a 0,00022 mm, em um sistema de microfiltração operando com pressão igual a 22 psi, obtendo um percentual de remoção de turbidez de 99,2% para água com turbidez igual a 360 uT. Ainda, Wang et al. (2017) conduziram um experimento de microfiltração com membrana com diâmetro de poros igual a 0,00022 mm e pressão de sistema igual a 3 psi, onde a turbidez da água bruta era de 74 uT e da água após a filtração foi inferior a 2,1 uT.

A cor aparente representa a cor causada pela presença de partículas em suspensão – turbidez – somada as partículas dissolvidas na água. Através da figura 25 foi constatado que, assim como a turbidez, a cor aparente aumenta com o aumento do comprimento. Em termos de comparação entre as madeiras, salienta-se que M2 apresentou o menor resultado para este parâmetro, seguido de M3 e, por último M1, madeira que obteve a menor capacidade de remoção da água.

Em termos percentuais, para o comprimento de 1 cm, salienta-se que M2 teve remoção média de 55,56%, M3 de 22,22%, ao passo que M1 aumentou a cor aparente média da água bruta em 27,78%, passando de 18 para 23 uC. Ainda para o mesmo comprimento, todas as madeiras obtiveram remoção máxima de 72,22%, diminuindo a cor aparente de 18 para 5 uC. Em comparação, para o comprimento de 10 cm, todas as madeiras aumentaram a cor aparente média da água bruta, sendo que M2 aumentou 177% (50 uC), M3 aumentou 27,78% (23 uC) e M1 aumentou 144% (44 uC). O fato de a cor aparente aumentar com o aumento do comprimento do elemento filtrante deixa claro que, quanto maior for o filtro, mais substâncias químicas são incorporadas à água filtrada, sendo que no caso de M1, mesmo o menor comprimento testado (1 cm), já é capaz de promover a incorporação dessas substâncias.

Conforme citado por Burger; Richter (1991), a variação natural da cor da madeira ocorre devido a impregnação de diversas substâncias orgânicas nas células e nas paredes celulares, como taninos, resinas, sílica, etc., depositadas de forma mais acentuada no cerne, o que é o caso de M1, madeira que apresentou maior coloração visual, dentre as três analisadas, conforme figura 24, abaixo.

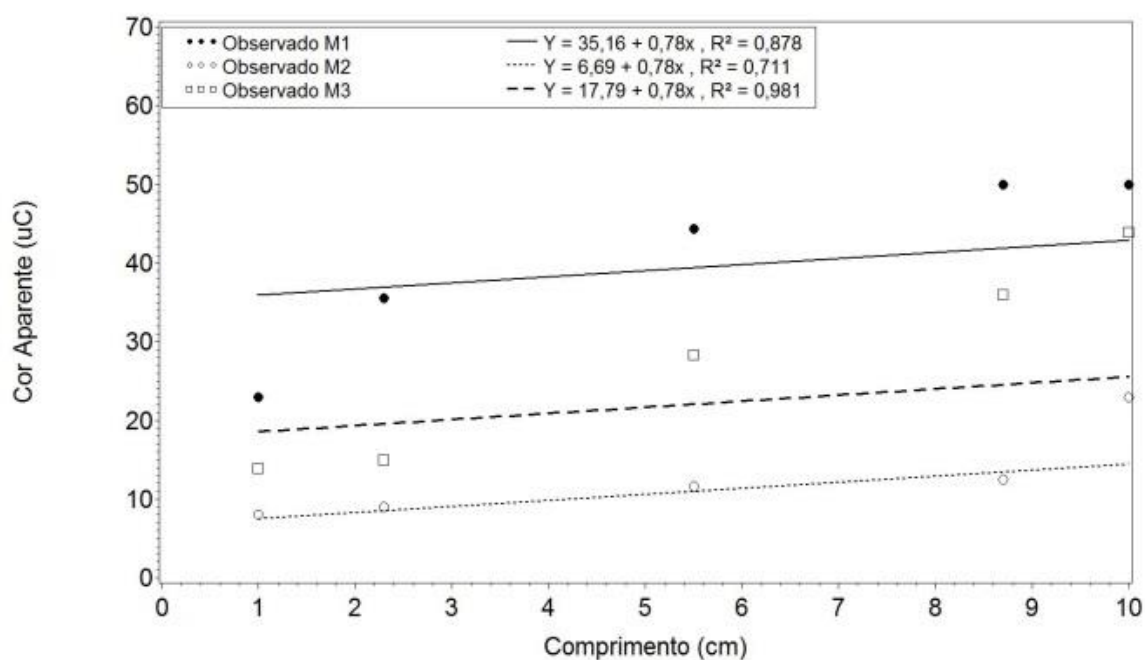
Figura 24 - Filtros utilizados para a repetição 3 na etapa 2 do experimento.



Fonte: acervo da autora, 2019.

Em comparação ao estudo realizado por Sens; Emmendoerfer; Muller (2013), a combinação da coagulação com a filtração frontal em madeira utilizando a espécie *Pinus elliottii*, com diâmetro médio de poros igual a 0,026 mm, atingiu percentual de remoção igual a 49% de cor, para água bruta com 45 uC, com pressão de entrada igual a 40 psi. Ainda, os autores apresentam também uma remoção média de 70% para o sistema de filtração com escoamento tangencial helicoidal.

Figura 25 - Valores médios observados e curvas ajustadas para cada madeira em função do comprimento do filtro para cor aparente (uC).



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

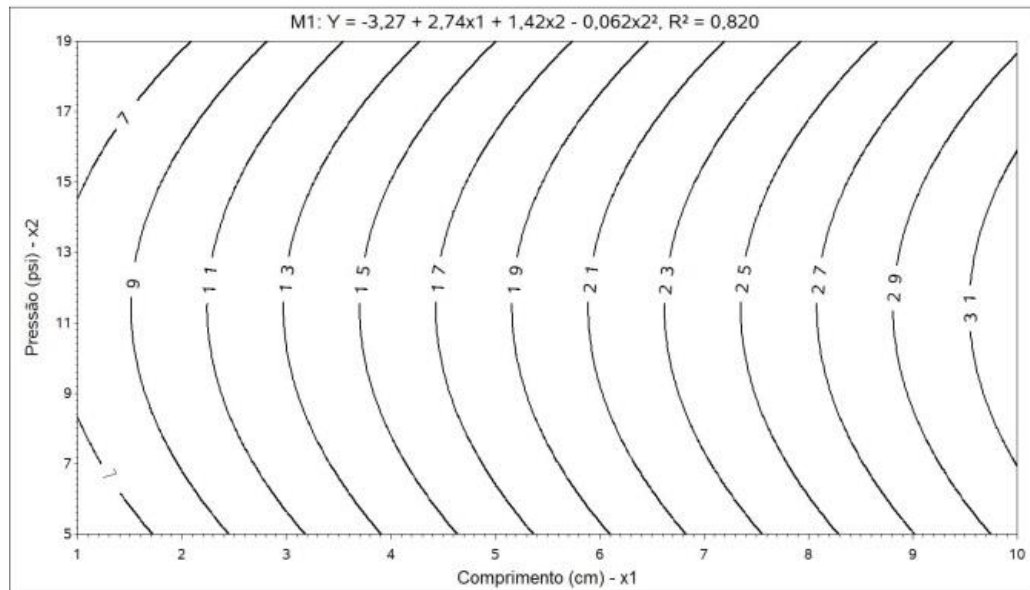
Os resultados obtidos para SDT estão ilustrados nas figuras 26, 27 e 28. Observa-se que, para este parâmetro, além dos efeitos de madeira e comprimento, existe um efeito quadrático de pressão, sendo que o ponto de mínimo dessa variável é estimado na pressão 12 psi para todas as situações. O comprimento afeta linearmente essa variável, sendo que para cada unidade de aumento de comprimento, tem-se um aumento de 2,74 mg/L de SDT. M1 apresentou maior SDT do que M2 ($p \leq 0,05$) e, por sua vez, M3 apresentou resultados intermediários e não diferiu ($p > 0,05$) das outras duas.

Para SDT também foi observado que o valor de R^2 para M3, igual a 0,325, é significativamente inferior aos valores obtidos para M1, igual a 0,820 e M2, igual a 0,813, demonstrando que para SDT, assim como para o parâmetro turbidez, os dados obtidos para M3 possuem uma variação maior do que os dados obtidos para M1 e M2.

Como há um aumento de SDT conforme maior é o comprimento do elemento filtrante, pode-se dizer que o melhor comprimento para remoção deste parâmetro é 1 cm – menor comprimento testado. Considerando somente o comprimento de 1 cm, temos uma remoção média de 60,00% para M1, 69,66% para M2 e, 56,55% para M3. Por sua vez, ao analisar o comprimento de 10 cm – maior comprimento testado – tem-se um aumento na concentração de SDT igual a 240,69% para M1, 119,31% para M2 e, 107,59% para M3. Manouchehri; Kargari (2017) utilizaram um sistema de microfiltração com membrana de celulose com diâmetro médio de poros igual a 0,00022 mm para uma água bruta com concentração de SDT igual a 5190 mg/L, conseguindo uma remoção de, somente, 17,3% para este parâmetro. Este fato indica que as membranas de microfiltração – faixa de porosidade em que se encontram M1 e M2 – não são indicadas para remoção de SDT.

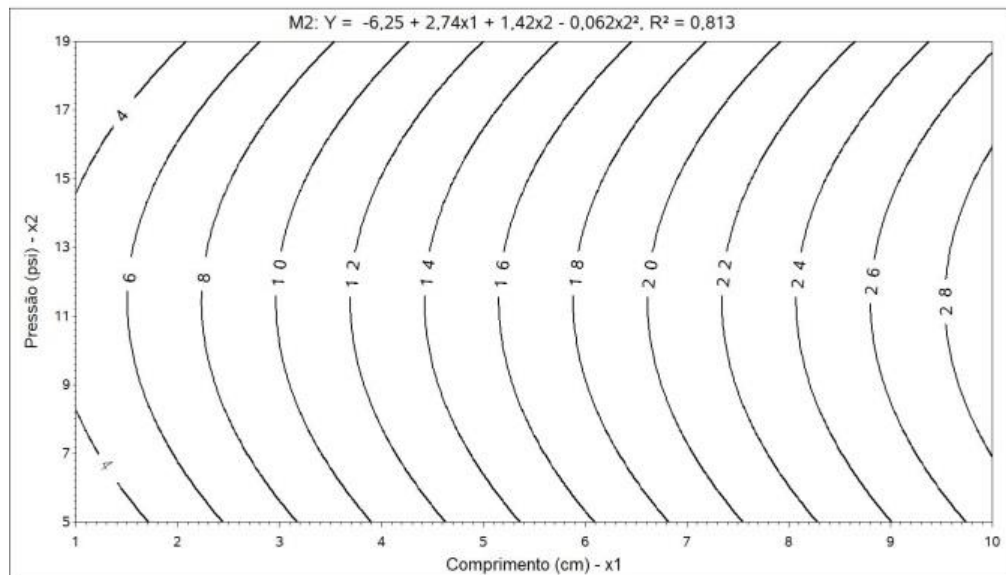
Uma alternativa para aumentar a eficiência da remoção de SDT é a adição do processo de coagulação anteriormente ao processo de filtração da água. Isto ocorre visto que o processo de coagulação permite a agregação de grande parte do material dissolvido em fração particulada, facilitando sua remoção por processos de filtração, minimizando, ainda, o processo de colmatação dos filtros (VIDAL; CAMPOS, 2009). Para pequenas comunidades ou sistemas domiciliares de filtração, podem ser utilizados coagulantes naturais, como a *Moringa Oleífera Lam*, planta que vem sendo extremamente utilizada em regiões carentes de sistemas de abastecimento de água, visto sua capacidade de coagulação das partículas presentes (ARANTES et al., 2014; BAPTISTA et al., 2017; ADESINA et al., 2019; VUNAIM et al., 2019).

Figura 26 - Gráficos de contorno de SDT (mg/L) em função do comprimento e da pressão para M1.



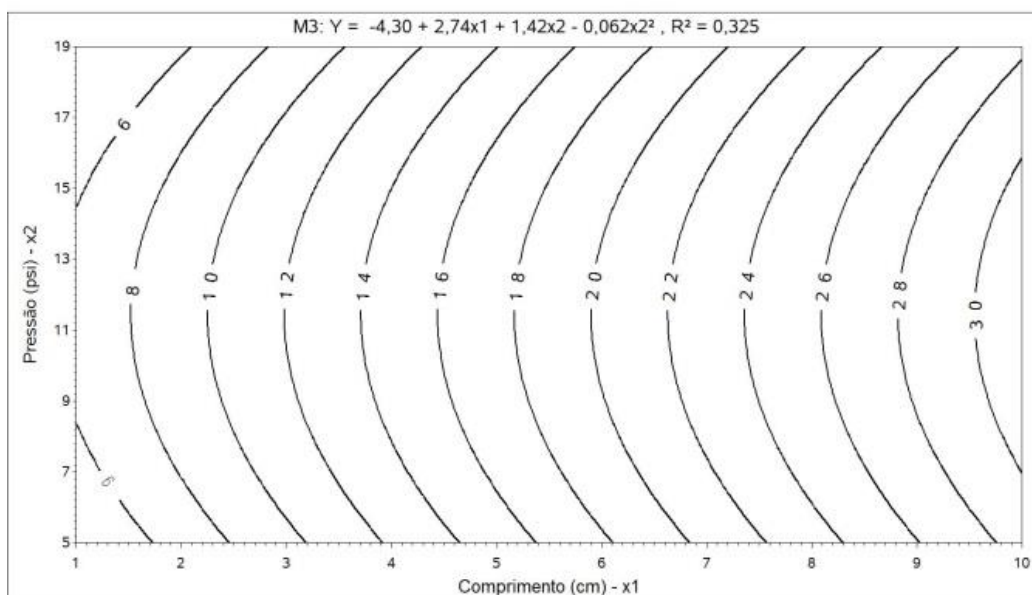
Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Figura 27 - Gráficos de contorno de SDT (mg/L) em função do comprimento e da pressão para M2.



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Figura 28 - Gráficos de contorno de SDT (mg/L) em função do comprimento e da pressão para M3.



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

O resultado do teste F para o parâmetro COT demonstrou haver diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as três madeiras avaliadas, sendo que, conforme observado na figura 29, o comprimento não influencia no COT para M2; para M1 o COT aumenta em função do comprimento do elemento filtrante e, para M3, há uma diminuição do COT em função do comprimento, sendo que o valor de R^2 encontrado para M3, inferior aos valores deste parâmetro para M1 e M2, demonstram novamente dados mais variáveis para esta espécie de madeira. Entretanto, quando considerado que a concentração média de COT para água bruta foi de 2,34 mg/L, percebe-se, através da figura 29, que houve um aumento deste parâmetro para todas as madeiras.

A composição química elementar da madeira não possui diferenças consideráveis quando se fala em diferentes espécies, sendo que os principais elementos existentes são Carbono (49 – 50%), Oxigênio (44 – 45%), Hidrogênio (6%) e Nitrogênio (0,1 – 1%). Pela alta concentração de carbono presente, esperava-se que, para todas as madeiras, o COT aumentasse com o aumento do elemento filtrante, fato que só foi observado para M1. Ainda, M1 obteve um aumento de 27,78% para o parâmetro cor aparente já no comprimento igual a 1 cm, em relação à cor aparente da água bruta, fato que evidencia a relação entre cor aparente da água filtrada e a presença de substâncias orgânicas na madeira. Além dos elementos citados, encontram-se

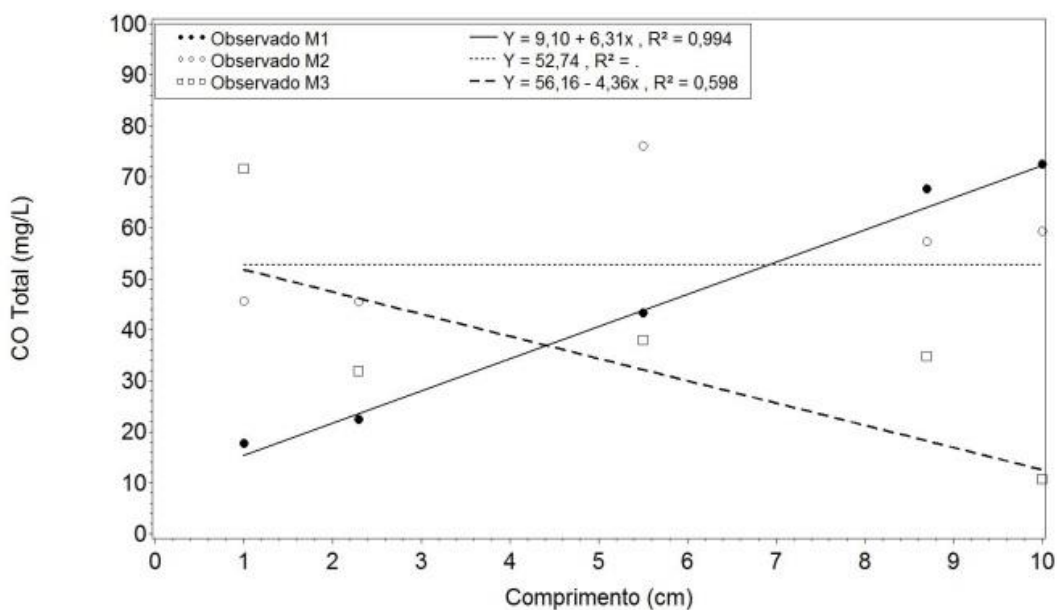
ainda pequenas quantidades de cálcio, potássio, magnésio, entre outros, constituindo as substâncias minerais existentes na madeira (KLOCK et al., 2005).

Ainda, os principais componentes macromoleculares da madeira são a celulose, polioses e lignina. A celulose é o componente majoritário da madeira, sendo caracterizada como um polímero linear de alto peso molecular constituído exclusivamente de β -D-glucose. Devido a suas propriedades químicas e físicas, bem como à sua estrutura supramolecular, preenche sua função como o principal componente da parede celular dos vegetais. Por sua vez, as polioses são associadas à celulose na parede celular. Seus principais constituintes, açúcares, são as glucoses, manose, galactose, xilose e arabinose. As cadeias moleculares são muito mais curtas que a de celulose, podendo existir grupos laterais e ramificações em alguns casos. A lignina tem suas moléculas constituídas por um sistema aromático composto de unidades de fenilpropano. Durante o desenvolvimento das células, a lignina é incorporada como o último componente na parede, interpenetrando as fibrilas e assim fortalecendo, enrijecendo as paredes celulares (KLOCK et al., 2005; SJOSTROM, 2013).

Também são encontradas na composição química das árvores as substâncias poliméricas secundárias, em pequenas quantidades, como amidos e substâncias pécicas. Proteínas somam pelo menos 1% das células parenquimáticas da madeira, mas são principalmente encontradas nas partes não lenhosas do tronco, como o câmbio e casca interna (KLOCK et al., 2005).

Salienta-se também que, diante do aumento da concentração de COT para as três madeiras, quando comparado à concentração de COT presente na água bruta, é importante frisar que a cloração não é indicada para aplicação na desinfecção da água filtrada por estes três tipos de madeira, visto a provável formação de subprodutos da desinfecção, os chamados trihalometanos (GOPAL et al., 2007).

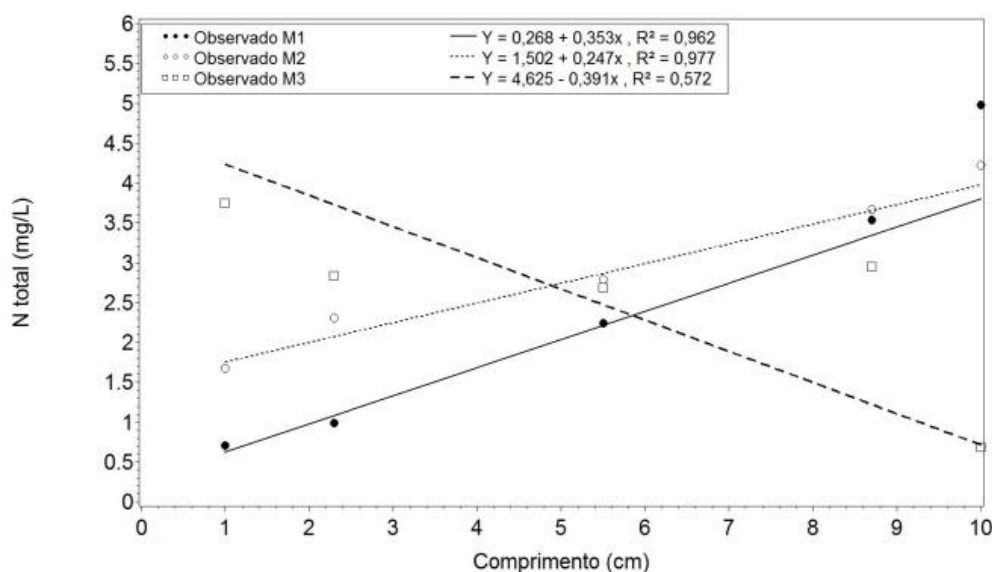
Figura 29 – Valores médios observados e curvas ajustadas para cada madeira em função do comprimento do filtro para COT (mg/L).



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

A concentração média para NT para água bruta foi extremamente baixa, igual a 0,27 mg/L, sendo que para as três madeiras houve um pequeno acréscimo para este parâmetro na água filtrada, conforme pode ser visualizado na figura 30, já no comprimento de 1 cm, com concentração média de 0,71 mg/L para M1, 1,68 mg/L para M2 e, 3,75 mg/L para M3. Este pequeno aumento era esperado, visto que nas madeiras, em geral, o nitrogênio está presente em baixas concentrações, entre 0,1 a 1% da composição total da madeira (KLOCK et al., 2005). Ainda, a figura 30 demonstra que M1 e M2 aumentam o conteúdo de NT em função do aumento do comprimento, ao passo que a M3 reduz a concentração deste parâmetro com o aumento do comprimento.

Figura 30 - Valores médios observados e curvas ajustadas para cada madeira em função do comprimento do filtro para NT (mg/L).

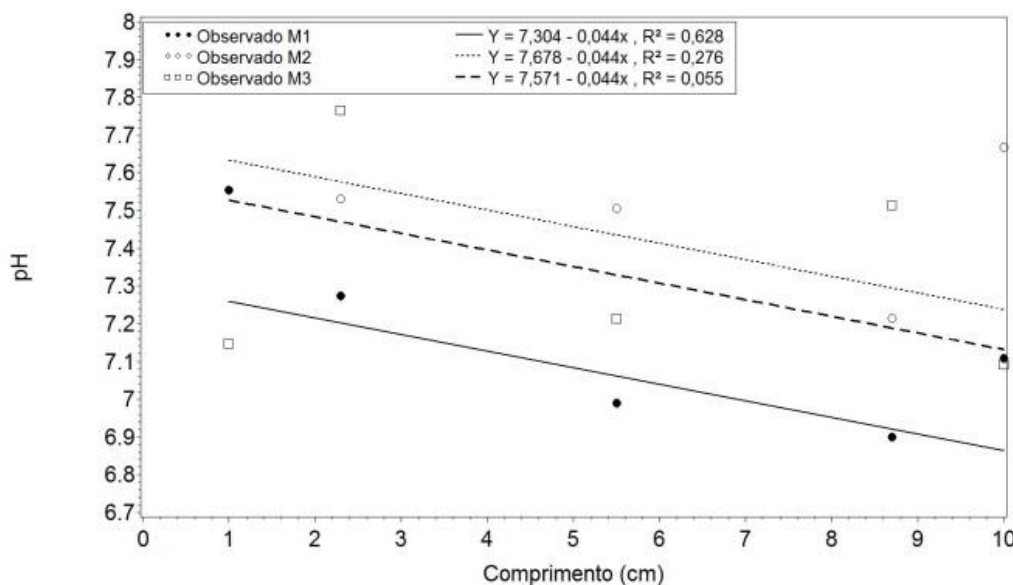


Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Em relação ao pH, a figura 31 ilustra que há uma redução significativa ($p \leq 0,05$) para este parâmetro com o aumento do comprimento, sendo que M1 apresentou pH significativamente inferior à M2 e, M3 apresentou pH intermediário, não diferindo das outras duas madeiras. Os valores de R^2 foram de 0,628 para M1, 0,216 para M2, e 0,055 para M3, demonstrando que para as três espécies de madeira os dados obtidos variaram bastante, com uma precisão não tão exata. Entretanto, embora o pH diminua com o aumento do comprimento, salienta-se que seu intervalo de variação entre o comprimento 1 a 10 cm foi baixo, sendo que, para todas as madeiras, o pH médio da água filtrada ficou dentro do intervalo de 6,7 a 8,0, conforme escala exposta no eixo y do gráfico na figura 31.

Assim, no que concerne ao tratamento de água, pode-se dizer que, caso a água bruta já tenha um pH favorável, como é o caso do pH da água bruta deste estudo, que foi igual a 7,88, as três madeiras estudadas não alteraram significativamente este parâmetro.

Figura 31 - Valores médios observados e curvas ajustadas para cada madeira em função do comprimento do filtro para pH.



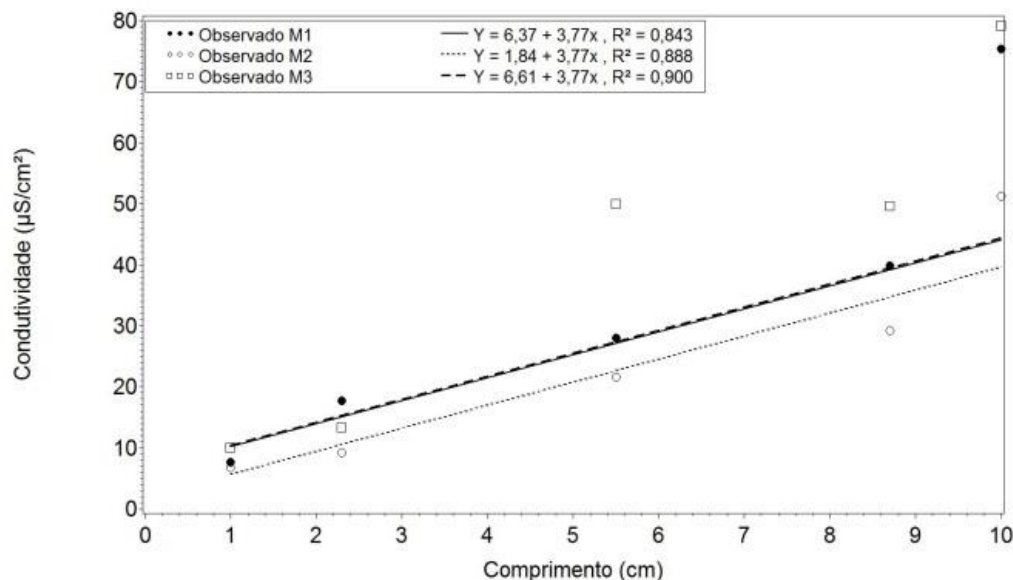
Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Quanto a condutividade, a figura 32 ilustra que este parâmetro sofre um aumento conforme aumenta o comprimento do elemento filtrante, sendo que M2 apresentou condutividade significativamente inferior às outras duas madeiras, as quais não diferiram entre si. O comprimento de 1 cm, para as três madeiras, proporcionou uma diminuição média de 76,60% para M1, 79,33% para M2 e, 69,33% para M3, valores de condutividade considerados baixos, visto que a condutividade média da água bruta foi igual a $32,90 \mu\text{S}/\text{cm}^2$. Por sua vez, o comprimento de 10 cm proporcionou grande aumento deste parâmetro para as três madeiras, igual a 129,18% de aumento para M1, 55,62% para M2 e, 140,73% para M3. Embora sejam aumentos consideráveis, estes valores médios ainda são considerados níveis normais para condutividade da água, visto que, segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2009), águas com concentrações superiores a $100 \mu\text{S}/\text{cm}^2$ indicam, geralmente, ambientes impactados. Nesse caso, a modificação na composição da água é consequência, particularmente, de sua concentração mineral.

A condutividade pode ser definida como a medida para a capacidade da água em conduzir corrente elétrica, estando diretamente relacionada com a concentração de sais dissolvidos em água, ou seja, a concentração de SDT (IYASELE; IDIATA, 2015). Esta relação fica evidenciada visto que, no presente estudo, tanto a condutividade como os SDT sofrem uma remoção para o comprimento de 1 cm, quando comparados com ambas as concentrações da

água bruta, e têm suas concentrações aumentadas conforme o aumento do comprimento, evidenciando também, a passagem de substância presente na madeira para a água filtrada.

Figura 32 - Valores médios observados e curvas ajustadas para cada madeira em função do comprimento do filtro para condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$).



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

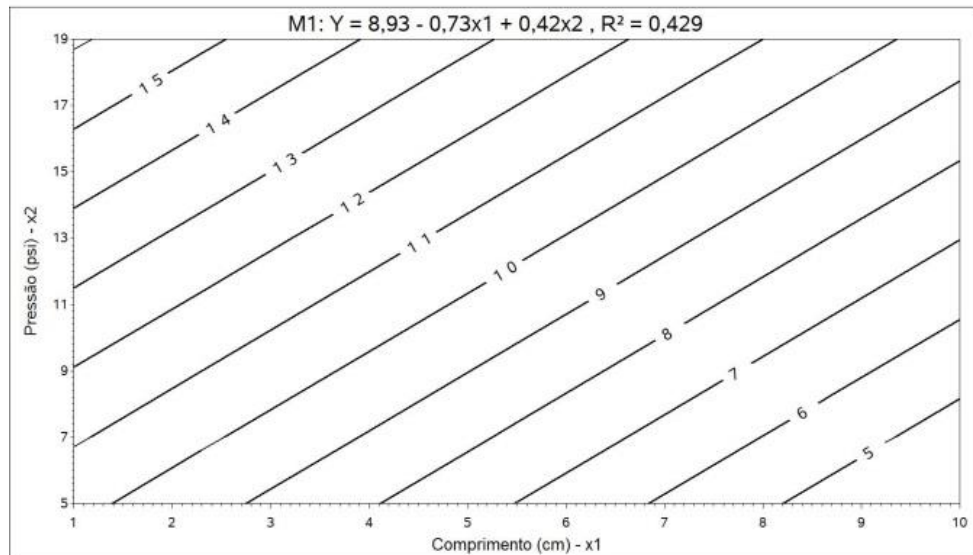
A taxa de filtração para as três madeiras, ilustradas nas figuras 33, 34 e 35, é uma estimativa realizada a partir do volume filtrado para cada amostra, não considerando a colmatagem dos elementos filtrantes. Sendo assim, é a taxa de filtração máxima que cada madeira pode atingir. Desta forma, os baixos valores para R^2 para as três madeiras demonstram que os dados obtidos não tiveram um bom ajuste, possivelmente visto a não consideração da colmatagem dos elementos filtrantes.

Independentemente da madeira, a taxa de filtração reduz linearmente com o aumento do comprimento do elemento filtrante e, pelo contrário, aumenta linearmente com o aumento da pressão. A redução da taxa de filtração com o aumento do comprimento, provavelmente, ocorre devido ao aumento da perda de carga e consequente redução da velocidade do fluido no elemento filtrante. Além disso, no decorrer da carreira de filtração, também há a tendência de redução da taxa de filtração que ocorre devido a colmatagem do elemento filtrante.

As madeiras M1 e M2 apresentaram as maiores taxas de filtração, diferindo significativamente ($p \leq 0,05$) da M3, fato inesperado, visto que a M3 foi a madeira que apresentou maior diâmetro médio de poros e, também, menor densidade aparente média,

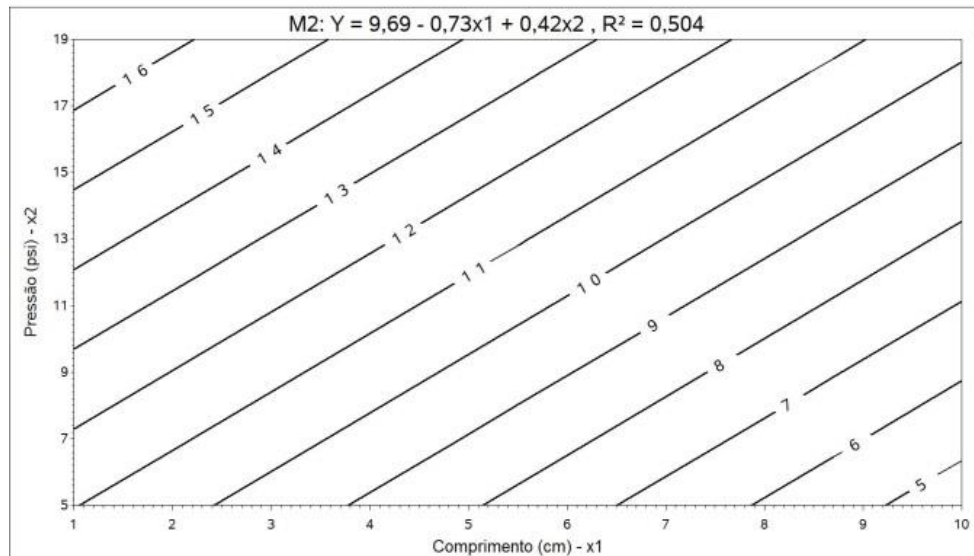
conforme a figura 36, a seguir. Em um exemplo prático, se considerarmos um consumo médio de 162,6 L de água por pessoa por dia (SNIS, 2013), e uma taxa de filtração baixa, conforme as figuras 33, 34 e 35, de 5000 L de água por m² de filtro por dia (5 m³/m².dia), os elementos filtrantes poderiam prover água para cerca de 30 pessoas diariamente. Boutilier et al. (2014) obtiveram maior vazão ao aplicar a madeira de pinus conservada em água, quando comparada a madeira seca e posteriormente umedecida, porém a vazão foi determinada aplicando-se água deionizada, ou seja, não foi realizada a análise com água que pudesse promover a colmatação do elemento filtrante, conseguindo uma taxa de filtração de 40 m³/m².d.

Figura 33 - Gráficos de contorno da taxa de filtração (m³/m².d) em função do comprimento e da pressão para M1.



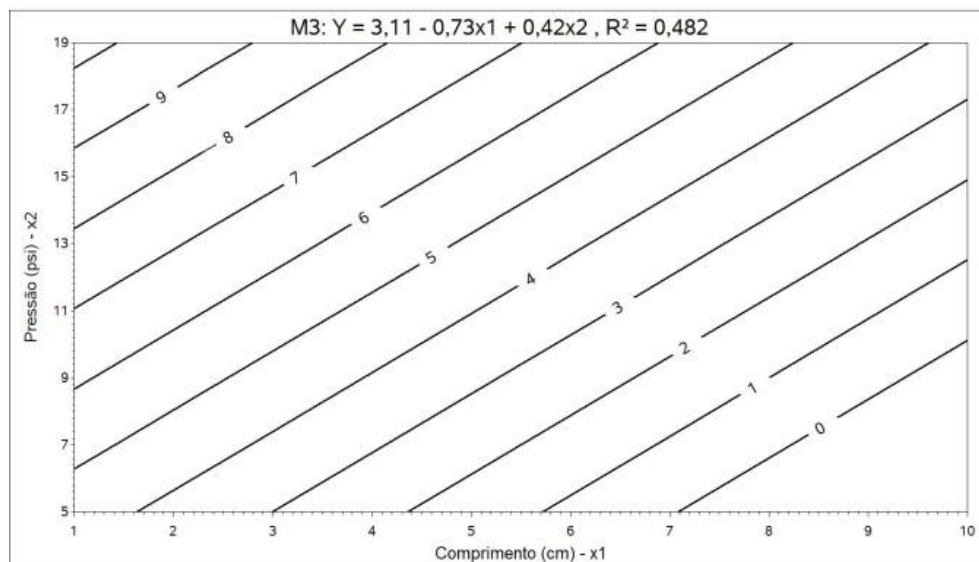
Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Figura 34 - Gráficos de contorno da taxa de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$) em função do comprimento e da pressão para M2.



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Figura 35 - Gráficos de contorno da taxa de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$) em função do comprimento e da pressão para M3.

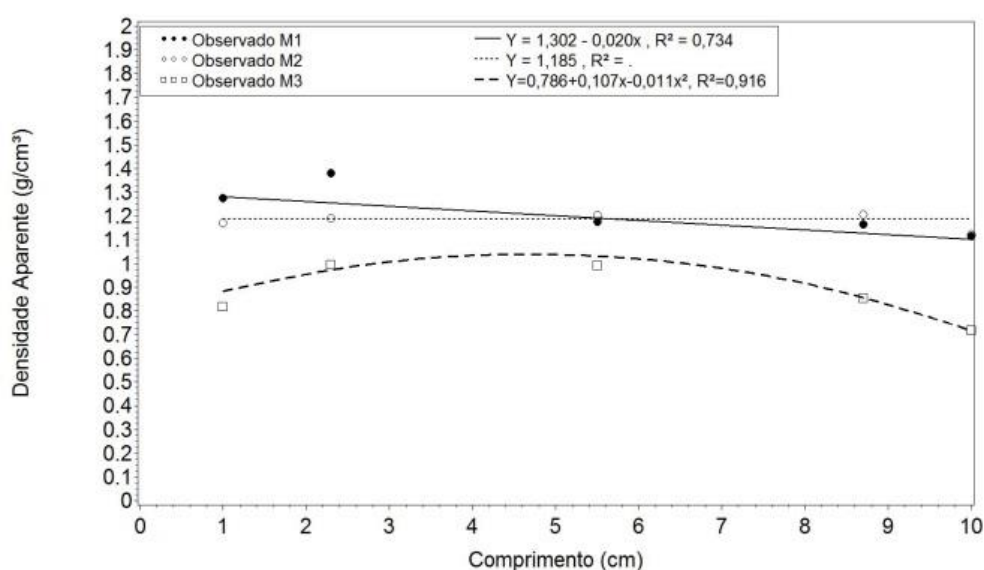


Fonte: elaborado pela autora, 2019.

A densidade aparente, tem seu comportamento ilustrado na figura 36, podendo ser observado que este parâmetro reduz significativamente ($p \leq 0,05$) com o aumento do comprimento no caso de M1 e M2, as quais não diferiram entre si. Por outro lado, a madeira

M3 apresentou um comportamento quadrático para essa variável, com ponto de máximo no comprimento em torno de 5 cm. Para o comprimento de 1 cm, M1 apresentou densidade aparente média igual a 1,28, g/cm³, para M2 igual a 1,17 g/cm³ e para M3 igual a 0,82 g/cm³. Estes valores diferem consideravelmente da densidade aparente média de cada espécie encontrada na literatura, de 0,55 para M1, 0,58 para M2 e 1,12 para M3.

Figura 36 - Valores médios observados e curvas ajustadas para cada madeira em função do comprimento do filtro para densidade aparente (g/cm³).



Fonte: elaborado pela autora, 2019

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme observado a partir dos resultados obtidos na etapa 1, das nove espécies de madeiras pré-selecionadas, as espécies Araucária (M1), Araçá (M2) e Uva Japão (M3), sendo a primeira espécie de gimnosperma e as outras angiospermas, foram selecionadas para as etapas posteriores do presente estudo por apresentarem potencial de remoção de turbidez e uma maior taxa de filtração (m³/m².dia) estimada.

Através da caracterização da superfície dos elementos filtrantes pode ser observado a presença de poros e pontoações, nas três espécies de madeiras estudadas, sendo que para M1 e M2 a visualização da superfície foi prejudicada pelo corte das madeiras. Foi observado que, dentre as três madeiras, M3 possui maior diâmetro médio de poros, de 0,054 mm, sendo para M1 igual a 0,0012 mm e para M2 de 0,0009 mm. Ainda, quanto a caracterização das

pontoações, foi encontrado diâmetro médio de 0,0031 mm para M1, 0,0016 para M2 e 0,018 para M3.

Por sua vez, para a etapa 2, no que concerne ao melhor comprimento para filtração, observou-se a unanimidade do comprimento de 1 cm para todas as madeiras. Quanto à pressão, assim como para a turbidez, em baixos comprimentos, esta variável não influencia de forma expressiva neste parâmetro, para as próximas etapas deste estudo, optou-se por utilizar a pressão igual a 12 psi, visto que este valor propiciou maior redução para o parâmetro SDT. Desta maneira, quando levado em consideração somente a remoção de turbidez, o sistema de filtração pode utilizar pressões ainda mais baixas, culminando em um menor gasto de energia.

Assim, as madeiras M1 e M2 foram escolhidas para avaliação de parâmetros microbiológicos na água, visto seu maior desempenho na remoção de turbidez, com comprimento e diâmetro de 1 cm e pressão igual a 12 psi.

No que concerne à legislação vigente para água de consumo humano, dentre os parâmetros avaliados, o pH, a cor aparente e os SDT se enquadraram no exigido pela Portaria de Consolidação Nº 5 (BRASIL, 2017). O pH se manteve dentro do intervalo exigido, que é de 6 a 9,5 para todas as madeiras. A cor aparente para M3 e M2 no comprimento de 1 cm, ficou com valor médio para M3 de 14 uC e para M2 igual a 8 uC, sendo que a Portaria exige cor aparente de até 15 uC. Ainda, para os SDT, a Portaria tem um limite máximo de 1000 mg/L, entretanto, a água bruta já estava abaixo deste valor.

Ainda, no que concerne a legislação de água para consumo animal, o parâmetro SDT se enquadrou dentro do exigido pela Resolução CONAMA Nº 357/2005 (BRASIL, 2005) para águas de Classe III, de até 500 mg/L, a água bruta, o valor de SDT já estava abaixo do exigido. O mesmo ocorre para o parâmetro turbidez, onde a Resolução exige no máximo 100 uT, e a turbidez da água bruta já está abaixo deste valor. Por fim, o pH também se manteve dentro do intervalo mencionado, de 6 a 9 para todas as madeiras.

CAPÍTULO 3 – ENSAIOS DE FILTRAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS BACTERIANOS E VIRAIS DE QUALIDADE DA ÁGUA

3.1 INTRODUÇÃO GERAL

Neste capítulo foi estudada a utilização das espécies *Araucaria angustifolia* (M1) e *P. cattleianum* (M2) como elemento filtrante para retenção de *Escherichia coli* (ATCC13706), *Salmonella enterica* – serovar Typhimurium (ATCC 14028) e Vírus da Doença Infecciosa da Bursa - (IBDV), cepa vacinal 228E liofilizada. O diâmetro e comprimento dos elementos filtrantes foram mantidos, ambos, em 1 cm, e a pressão aplicada ao sistema foi igual a 12 psi.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Sistema de filtração

A coleta das espécies, preparação dos elementos filtrantes e a confecção do sistema de filtração (figura 13), foram realizados conforme já exposto no capítulo 2. Para as duas madeiras analisadas, M1 e M2, o diâmetro e comprimento dos elementos filtrantes foi mantido em 1 cm, e a pressão aplicada ao sistema foi igual a 12 psi.

3.2.2 Análises bacteriológicas

A confecção do meio de cultura para *Salmonella enterica* – serovar Typhimurium (ATCC 14028) foi realizada com a adição de 58 g de Ágar XLT4 em 1 L de água destilada, homogeneizando a amostra até o Ágar estar completamente dissolvido. Após, a mistura foi acondicionada em um Erlenmeyer e levada à chapa de aquecimento, em temperatura abaixo de 100 °C, até a que a mistura ficasse mais espessa. Então, foram adicionados 4,6 mL de Tergitol4, complemento líquido do Ágar e, por fim, o meio de cultura foi adicionado nas placas de petri.

Por sua vez, para confeccionar o meio de cultura para *Escherichia coli* (ATCC13706), foram adicionados 55,3g de MacConky Ágar Median em 1 L de água destilada, homogeneizando a amostra até que a solução estivesse bem homogênea. Após a mistura, o meio de cultura foi encaminhado para autoclave por 15 minutos e, então adicionado nas placas de petri. A solução contendo as bactérias, água bruta, foi preparada através da adição de 10 mL de *Escherichia coli* (ATCC13706) + 90 mL de água destilada e, 10 mL de *Salmonella enterica* –

serovar Typhimurium (ATCC 14028) + 90 mL de água destilada, e feita a homogeneização da amostra.

Para cada repetição, sendo 5 no total, foi separado um volume de amostra denominado controle, que ficou exposto no mesmo ambiente de filtração durante o tempo em que sua respectiva repetição foi filtrada. Este processo foi realizado com o intuito de se ter um maior controle sob a concentração de bactérias presentes na água. Após o processo de filtração, o controle e a amostra filtrada, foram armazenados na geladeira.

Após a realização do experimento de filtração, as amostras foram inoculadas nas placas, com diluições de 100 µL e 10 µL. Para cada amostra de água filtrada e de seu controle, foram inoculadas quatro placas, duas para *E. coli* (ATCC13706) e duas para *S. enterica* e, então, encaminhadas para estufa com temperatura igual a 37 ° C durante dois dias e, posteriormente, realizadas as contagens das Unidades Formadoras de Colônias (UFC).

3.2.3 Análises virais

Foram adicionados 20 mL de uma suspensão salina fosfatada tamponada (PBS) do IBDV em 180 mL de água destilada, atingindo uma concentração final de $10^{3,4}$ DIE₅₀/mL.

A água contaminada – água bruta – foi fracionada em 20 alíquotas distintas, com 10 mL cada, visto que foram realizadas 10 repetições do processo de filtração para cada madeira (M1 e M2). Do volume de água contaminada separado para cada repetição foi retirado 1,5 mL, separado em três microtubos, com 500 µL cada, para análise em triplicata da água bruta. O volume restante de cada alíquota, foi adicionado ao sistema de filtração, separadamente, sendo que, do volume filtrado para cada repetição, também foram coletadas três alíquotas de 500 µL cada, para análise em triplicata da água filtrada.

Assim, as alíquotas de água bruta e filtrada, para cada repetição, foram encaminhadas para quantificação viral pela técnica de reação em cadeia da polimerase *por transcriptase reversa em tempo real* (RT-qPCR). O RNA foi obtido por extração automatizada (MagMax™ Express Magnetic Particle Processors, Applied Biosystems, USA) com kit comercial (5X MagMax™ viral RNA Isolation Kit, Ambion, USA) e desnaturado com 25% de DMSO à 92°C por 3 min.

As amostras foram testadas individualmente por RT-qPCR para amplificação de fragmento do gene codificador da proteína VP1, localizada no segmento B do IBDV (VOSS-RECH et al., 2017). As análises foram realizadas no equipamento 7500 ABI RT-PCR (Applied Biosystems, USA), utilizando kit comercial (AgPath-ID™ One-Step RT-PCR Kit, Ambion,

USA) e perfil térmico de 50° por 30 min, 95° C por 10 min, seguida de 40 ciclos de 95° C por 15 segundos e 60° C por 45 segundos. Uma curva padrão com número de cópias conhecido de IBVD foi incluída no ensaio para estimativa do número de cópias de RNA nas amostras teste por regressão linear. As amostras foram consideradas positivas quando o valor do Quantification Cycle (Cq) foi ≤ 36 .

3.2.4 Análises estatísticas

Para realização das análises as quantificações de partículas virais e das bactérias foram transformadas para a escala logarítmica. Posteriormente, para as partículas virais, foram calculadas as médias dos CTs e das quantificações para cada repetição antes e depois de passar pelo filtro. Então, tanto para as partículas virais como para as bactérias, foram realizadas duas análises estatísticas, sendo a primeira o teste t pareado para avaliar o efeito da passagem pelo filtro e a segunda, o teste t para dados não pareados para avaliar o efeito das madeiras sobre a diferença entre antes e depois da passagem pelo filtro. As análises foram realizadas por meio dos procedimentos TTEST do SAS (2012).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Remoção de *E. coli* e *S. enterica*

No que concerne à remoção de bactérias, salienta-se que não foi realizada a contagem para *E. coli*, visto que, visualmente, não foi detectada nenhuma diferença entre os controles e a água filtrada, ou seja, não houve remoção. Este fato difere-se do encontrado por Boutilier *et al.* (2014), onde os autores encontraram remoção de, aproximadamente, 99,9% de *E. coli*, com diâmetro de 1 μ m, com filtros de 1 cm confeccionados a partir da árvore *Pinus strobus*.

Por sua vez, para a *S. enterica*, a comparação entre as amostras de controle e amostras filtradas mostrou diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste t pareado para M1 e M2, porém, M1 demonstrou maior capacidade de filtração ($p < 0,05$) quando comparada a M2. Em termos de porcentagem, M1 alcançou uma remoção média igual a 92,44%, e M2 51,02%. A tabela 11, a seguir, ilustra os valores obtidos para controle e água filtrada para cada repetição para M1 e M2.

Embora ambas as madeiras tenham conseguido certo percentual de remoção, com destaque para M1, com remoção de mais de 90%, o sistema de filtração não é considerado

eficiente segundo a USEPA, visto que esta exige que 95% das amostras analisadas apresentem concentração igual a 0 mg/L, ou somente uma amostra positiva para coliformes para sistemas que colem menos de 40 amostras por mês. Também não atingiu o exigido pela Portaria de Consolidação Nº 5 (BRASIL, 2017), a qual exige ausência em 100 mL para *E. coli*, e, pela CONAMA 396/2008 (BRASIL, 2008), a qual exige até 200 UFC/100 mL para *E. coli*. Tais dados demonstram a necessidade de um tratamento secundário para remoção/inativação das bactérias.

Tabela 11 - Concentração de *Salmonella enteric* – serovar Typhimurium para amostras de controle e de água filtrada para as 5 repetições realizadas.

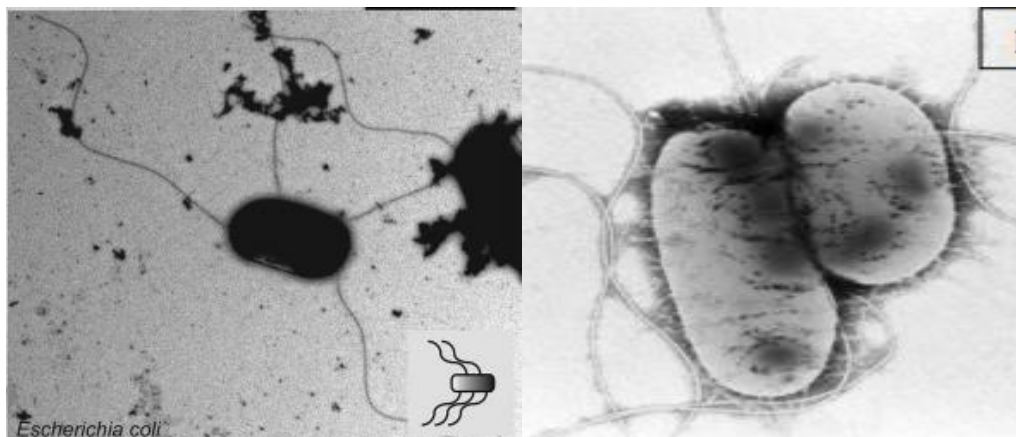
M1		M2	
Controle (UFC/mL)	Filtrada (UFC/mL)	Controle (UFC/mL)	Filtrada (UFC/mL)
1,3 x 10 ⁶	1,8 x 10 ⁵	4,4 x 10 ⁵	1,8 x 10 ⁵
2,1 x 10 ⁶	1,3 x 10 ⁴	3,4 x 10 ⁵	1,2 x 10 ⁵
1,1 x 10 ⁶	1,2 x 10 ⁵	2,4 x 10 ⁵	1,3 x 10 ⁵
2,3 x 10 ⁶	1,6 x 10 ⁵	1,4 x 10 ⁵	1,6 x 10 ⁵
2,1 x 10 ⁶	2,0 x 10 ⁵	3,1 x 10 ⁵	1,3 x 10 ⁵

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Aparentemente, diferenças morfológicas entre as bactérias avaliadas não são significativas a ponto de explicar tamanha diferença na capacidade de remoção. Ambas possuem forma de bastonete, sendo que *E. coli* possui diâmetro entre 0,25 a 1,0 µm, e comprimento em torno de 2 µm (0,002 mm) (ZORILA et al., 2017). Por sua vez, as bactérias do gênero *Salmonella* possuem diâmetro entre 0,7 a 1,5 µm (0,0007 a 0,0015 mm) e comprimento variando de 2,0 a 5,0 µm (0,002 a 0,005 mm). Ainda, ambas possuem flagelos peritríquios, ou seja, inúmeros flagelos distribuídos por toda a superfície das bactérias (LEVINSON, 2014, cujo comprimento gira em torno de 10 µm e o diâmetro de 20 nm (WANG et al., 2012; HAIKO; WESTERLUND-WIKSTRÖM, 2013), conforme ilustrado na figura 37.

A maior capacidade de retenção de bactérias do gênero *Salmonella* pela M1, indica que esta madeira possui diâmetro médio dos poros e pontuações mais uniformes do que M2. Ainda, a presença dos flagelos e o seu grande comprimento é um aspecto que pode auxiliar na retenção das bactérias pela superfície das madeiras.

Figura 37 - Fotomicrografia eletrônica de *E. coli* (A) e *Salmonella* sp. (B).



Fonte: adaptado de Schuhmacher *et al.* (2015) e Wray; Wray, 2000.

No que concerne à comparação entre o tamanho das bactérias, o tamanho dos poros e pontoações das madeiras, salienta-se que M1 tem diâmetro médio dos poros de 1,2 μm e das pontoações igual a 3,1 μm . Por sua vez, M2 tem diâmetro médio dos poros igual a 0,9 μm e das pontoações 1,6 μm . Assim, pode ser observado que ambas as bactérias possuem faixa de diâmetro, em sua grande maioria, inferior ao diâmetro médio dos poros e das pontoações. Ao contrário do comprimento das bactérias, cujos valores são superiores ao diâmetro médio dos poros e pontoações das madeiras.

Assim, levando em consideração os aspectos morfológicos extremamente semelhantes entre as duas bactérias, e o seu menor diâmetro, quando comparado com o diâmetro médio dos poros e pontoações, sugere-se que a *S. enterica* – serovar Typhimurium possui uma maior capacidade de inativação durante o processo de filtração. Entretanto, salienta-se que neste experimento não foram aprofundadas possíveis formas de inativação das bactérias por ambas as madeiras. Ainda assim, embora que no capítulo anterior a este (capítulo 2) foi definido, com base em parâmetros físicoquímicos, o melhor comprimento para utilização de ambas as madeiras como elemento filtrante, se tratando somente de bactérias, pode ser interessante testar a filtração em madeira com um comprimento maior de filtros, com o intuito de verificar se ambas as madeiras conseguem aumentar o percentual de retenção.

Conforme Collin (2009), os processos de filtração podem ocorrer de maneiras distintas. A mais comum é a retenção das partículas através da superfície do elemento filtrante, quando as mesmas possuem diâmetro maior do que os poros, processo estudado nesta pesquisa. Ainda, a filtração pode ocorrer pela sedimentação das partículas, processo que depende da velocidade de sedimentação da partícula e a carga de água adicionada ao filtro. Por fim, a filtração pode ser realizada por impacto inercial, força centrífuga, força de Van der Waals, forças eletrostáticas

e eletrocinéticas de atração e difusão, as quais puxam as partículas contaminantes presentes na água para entrar em contato com o elemento filtrante, fazendo com que estas fiquem aderidas ao mesmo.

No caso da filtração de organismos patogênicos como bactérias e vírus, os quais em sua maioria possuem tamanho inferior aos poros da madeira, a filtração através de forças eletrostáticas, por exemplo, pode ser uma opção interessante. Para tal, é importante determinar o ponto de carga zero do elemento filtrante, sendo definido como ponto isoelétrico, ou seja, corresponde ao pH no qual a superfície do adsorvente possui densidade de carga elétrica nula (HRISTOVA e ZHIVKOV, 2019). Em solução aquosa, com valor de pH inferior do que o pH de ponto de carga zero, ocorre preferencialmente a adsorção de ânions, visto que a superfície está positivamente carregada. Por sua vez, pH superior que o pH de ponto de carga zero ocorre preferencialmente a adsorção de cátions, visto que a superfície está carregada negativamente (SALLEH *et al.*, 2011).

Uma característica da membrana externa de bactérias Gram-negativas é que a face externa contém lipopolissacarídeos. Os lipopolissacarídeos contêm carga aniônica, devido aos grupos carboxil e fosforil, que conferem à superfície celular uma densidade de carga negativa (ARAÚJO *et al.*, 2010). Desta forma, a adsorção de bactérias gram-negativas seria potencializada em pH's inferiores ao pH de ponto de carga zero do elemento filtrante (adsorvente), neste caso a madeira, consistindo em informações interessantes a serem exploradas em próximos estudos.

3.3.2 Remoção do IBDV

No que tange à remoção das partículas virais do IBDV, salienta-se que, a comparação entre o antes e o depois da passagem pelo filtro, mostrou diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste t pareado apenas para M1. Entretanto, quando comparadas as concentrações de partículas virais entre a água bruta e filtrada pela M1, foi observado um pequeno aumento na concentração viral para água filtrada, conforme ilustrado pela tabela 12. Ainda, a comparação das duas madeiras sobre as diferenças de capacidade de filtração não mostrou diferença significativa ($p > 0,05$). Tais resultados estão extremamente distantes do exigido pela USEPA para partículas virais, que é igual a 99,99% ou 4 log de remoção/inativação, visto que, no presente estudo, todas as amostras apresentaram resultado positivo para IBDV.

Levando em consideração o diâmetro médio dos poros e das pontoações de M1 e M2, os resultados obtidos fazem sentido, pois no presente estudo foi considerado somente a

capacidade de retenção física das partículas virais pelas madeiras, e não a inativação das mesmas durante o processo. Desta forma, visto que as partículas virais do IBDV possuem diâmetro entre 55 e 65 nm (VAN DEN BERG et al., 2000; NISHIZAWA et al., 2007), cerca de 0,000055 a 0,000065 mm, valores extremamente inferiores ao diâmetro médio dos poros, de 0,0012 para M1 e 0,0009 para M2, e das pontoações, que para M1 é de 0,0031 mm e para M2 é igual a 0,0016 mm.

Tabela 12 - Médias e erros-padrão do CT e da quantificação de partículas virais em função do tipo de madeira e da filtração.

Madeira	Filtragem			Pr> t ^a
	Antes	Depois	Diferença	
CT				
1 (n = 9)	20,171±0,081	20,481±0,081	-0,310±0,109	0,0219
2 (n = 8)	21,464±0,311	22,011±0,300	-0,547±0,411	0,2248
Pr> t			0,5927	
Log (quantificação)				
1	8,550±0,022	8,465±0,022	0,086±0,030	0,0219
2	8,175±0,090	8,022±0,085	0,153±0,115	0,2262
Pr> t ^b			0,5891	

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

^a Níveis descritivos de probabilidade do teste t para dados pareados; ^b Níveis descritivos de probabilidade do teste t para dados não pareados.

3.4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para a utilização de ambas as madeiras, M1 e M2, como elemento filtrante para filtração das bactérias *E. coli* e *Salmonella enteric* – serovar Typhimurium, sugerem que, apesar, de ambas as madeiras atingirem certo percentual de remoção, para a bactéria *S. enterica*, de 92,44% para M1 e 51,02% para M2, esta remoção não torna o sistema eficiente, necessitando de um tratamento secundário. Ainda, embora para a remoção de turbidez tenha sido observado que, quanto menor o comprimento, menor é a turbidez da água filtrada, seria interessante testar comprimentos maiores para remoção de bactérias, afim de analisar se o comportamento segue o mesmo padrão.

Por sua vez, quanto a remoção de partículas do IBDV, ambas as madeiras mostraram nenhuma capacidade de filtração das partículas virais. Entretanto, salienta-se que não foi considerada e estudada a capacidade de inativação do IBDV ao longo do processo de filtração, não tendo conhecimento se as partículas virais que passaram estão inativadas ou não.

Uma questão importante quando se trata de organismos patogênicos, é a destinação dos filtros visto a retenção destes organismos, neste caso *E. coli* e *S. enterica* – serovar Typhimurium, na madeira. Como estes organismos vão morrendo naturalmente no ambiente, uma alternativa é a investigação do tempo necessário para que este processo ocorra nos elementos filtrantes, para sua posterior disposição no meio ambiente, visto sua natureza biodegradável. Outra alternativa é a sua reutilização como fonte de energia, como a queima em caldeiras, por exemplo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Das três espécies estudadas, M1 e M2 mostraram maior potencial para filtração de água, sendo definido 1 cm e 12 psi como melhor comprimento e pressão, respectivamente, conforme os parâmetros físico-químicos avaliados. Desta forma, visto que M1 e M2 são espécies nativas brasileiras, o manejo sustentável com a utilização de galhos para filtração de água, pode trazer benefícios na promoção da preservação de ambas. Desta maneira, indica-se a realização de estudos posteriores para averiguar a viabilidade econômica e prática deste sistema trabalhando em maior escala, assim como a avaliação das taxas de filtração considerando a colmatção dos filtros.

O maior diâmetro médio dos poros e pontoações encontrados para M3, quando comparada com M1 e M2, justificam a menor capacidade de filtração da água para M3. Ainda, considerando a importância das membranas presentes no torus e margo das pontoações, indica-se a realização do dimensionamento das mesmas em estudos posteriores, com análise de sua estrutura antes e após o processo de filtração, com o intuito de averiguar se pressões mais altas podem prejudicar a estrutura das membranas.

Foi observado que, menores comprimentos possuem maior potencial de remoção de turbidez. Como o menor comprimento testado foi igual a 1 cm, este fato indica que a remoção das partículas em suspensão na água ocorre nos primeiros milímetros à 1 cm da madeira. Embora tenha se escolhido uma pressão de trabalho igual a 12 psi para remoção de partículas virais e de bactérias visto ser a melhor pressão para remoção de SDT, como a pressão não possui grande influência na remoção de turbidez da água em comprimentos de filtros menores, podem ser usadas pressões ainda mais baixas. A utilização de comprimentos de filtros menores assim como de pressões mais baixas é uma questão positiva para o sistema de filtração, visto a menor utilização de madeira e energia pelo sistema.

Ainda, conforme indicado pelos parâmetros cor aparente, sólidos dissolvidos, condutividade, NT e COT (para M1), há uma tendência de passagem de substâncias químicas presentes na madeira para a água filtrada. Desta maneira, sugere-se a necessidade da realização de um estudo mais aprofundado de quais substâncias exatamente são adicionadas à água, visto que, no meio ambiente as espécies de árvores podem ter contato com produtos químicos, como agrotóxicos.

No que tange ao tratamento microbiológico da água, salienta-se que, embora M1 tenha alcançado um percentual de remoção de *Salmonella enterica* relativamente alto (92, 44%), ainda seria necessário a adição de um tratamento secundário da água, como o SODIS, por exemplo. Neste estudo não foram estudadas a capacidade das madeiras de inativar as bactérias e as partículas virais, sendo interessante o aprofundamento destas questões. Ainda, recomenda-se a variação do pH da madeira em solução aquosa e a determinação do ponto de carga zero da madeira, afim de maximizar a retenção de organismos patogênicos.

De forma geral, sugere-se a realização de ensaios para remoção de organismos patogênicos com água proveniente de ambiente natural, como rio e lagos, visto que, as concentrações de organismos patogênicos utilizados no presente estudo foram extremamente altas e, sendo que em ambiente natural a presença destes patógenos é acompanhada por sólidos em suspensão presentes na água, fato que pode auxiliar na retenção dos mesmos pelos elementos filtrantes.

Ainda, sugere-se para estudos posteriores testar a durabilidade e frequência de troca dos filtros, assim como as necessidades frente a manutenção do sistema. Também, a investigação da influência da idade da madeira e as diferentes partes da árvore é de suma importância visto as mudanças de densidade da madeira. Por sua vez, como a confecção dos filtros é relativamente simples, com baixo custo e de material biodegradável, o desenvolvimento de mais pesquisas acerca de seu uso para o tratamento de água em maior escala pode, eventualmente, levar à sua utilização efetiva em pequenas comunidades ou como tratamentos residenciais.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.

ADESINA, O. A. et al. Response Surface Methodology Approach to Optimization of Process Parameter for Coagulation Process of Surface Water using Moringa oleifera Seed. **South African Journal of Chemical Engineering**. v. 28, p. 46-51, 2019.

AHAMMED, M. M.; DAVRA, K. Performance evaluation of biosand filter modified with iron oxide-coated sand for household treatment of drinking water. **Desalination**. v. 276, p. 297-293, 2011.

ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito da secagem a 100 °C em membranas de pontoações de Pinus taeda L. **Floresta e Ambiente**. v. 7, p. 129–136, 2000.

ALLOCATI, N. et al. Escherichia coli in Europe: An Overview. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. v. 10, p. 6235-6254, 2013.

AMARAL, L. A. et al. Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. **Revista Saúde Pública**. v. 37, n. 4, p. 510-514, 2003.

AMARAL, L. A. Drinking water as a risk factor to poultry health. **Brazilian Journal of Poultry Scienc**. v. 6, n. 4, p. 191-199, 2005.

ARANTES, C. C. et al. Use of natural coagulants based on moringa oleifera and tannin as filter aids for non-woven synthetics fabrics. **Revista Engenharia Agrícola**. v. 34, n. 4, p. 780-788, 2014.

ARAÚJO, E. A. et al. Aspectos coloidais da adesão de micro-organismos. **Revista Química Nova**. V. 33, n. 9, p. 1940-1948, 2010.

APHA. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**, 22 ed. American Public Health Association, Washington, 1360 p. 2012.

BAPTISTA, A. T. A. et al. Protein fractionation of seeds of Moringa oleifera lam and its application in superficial water treatment. **Separation and Purification Technology**. v. 180, p. 114–124, 2017.

BOUMEDOUS, C.; DJERROU, Z.; PACHA, Y. H. Impact of drinking water treatment on poultry health and performances: an experimental study. **Journal of Biological Sciences**. v. 17, n. 1, p. 1-6, 2017.

BOUTILIER, M. S. H. et al. Water filtration using plant xylem. **Plos One**. v. 9, n. 2, p. 1-8, 2014.

BOWEN, W. R.; JENNER, F. Theoretical descriptions of membrane filtration of colloids and fine particles: an assessment and review. **Advances in Colloid and Interface Science Journal**. v. 56, p. 141-200, 1995.

BRASIL. **Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. 2005. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 07 de abril de 2018.

BRASIL. **Lei Nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 22 de dez de 2006. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/11428.htm>. Acesso em: 08 de abril de 2018.

BRASIL. **Instrução Normativa Nº 56, DE 04 DE DEZEMBRO DE 2007**. Estabelece os Procedimentos para Registro, Fiscalização e Controle de Estabelecimentos Avícolas de Reprodução e Comerciais. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2007. Disponível em: < https://www.avisite.com.br/legislacao/anexos/IN_56_04-12-07.pdf>. Acesso em: 08 de abril de 2018.

BRASIL. **Resolução Nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. 2005. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 08/04/2018.

BRASIL, Ministério da saúde. **Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Disponível em: < <http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida----o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>>. Acesso em: 03/02/2019.

BROWNELL, S. A. et al. Assessment of a low-cost, point-of-use, ultraviolet water disinfection technology. **Journal of Water and Health**. v. 6, n. 1, p. 53-65, 2008.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo. Livraria Nobel. 1991.

CAMILOTTI, E. et al. Infectious Bursal Disease: Pathogenicity and Immunogenicity of Vaccines. **Brazilian Journal of Poultry Science**. v. 18, n. 2, p. 303-308, 2016.

CAPOANE, V. et al. Água para consumo humano em propriedades rurais de um assentamento de reforma agrária. **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**. v. 7, n. 12, p. 55-66, 2011.

CARVALHO, P. E. R. Ecologia, Silvicultura e usos da Uva-do-Japão (*Hovenia dulcis* THUNBERG). **Circular Técnica Nº 23**. EMBRAPA Florestas. Colombo- Paraná, 1994.

CDC. CENTER FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. Questions and Answers about Salmonella. **Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Emerging and Zoonotic Infectious Diseases (NCEZID), Division of Foodborne, Waterborne, and Environmental Diseases**. 2019. Disponível em: < <https://www.cdc.gov/salmonella/general/index.html>>. Acesso em: 04 de abril de 2019.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade das águas doces do estado de São Paulo. Apêndice E: Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf>>. Acesso em: 05/05/2019.

CHOAT, B. et al. Pit membrane porosity and water stress-induced cavitation in four co-existing dry rainforest tree species. **Plant Physiology**. v. 131, p. 41-48, 2003.

CHOAT, B.; COBB, A. R.; JANSEN, S. Structure and function of bordered pits: new discoveries and impacts on whole-plant hydraulic function. **New Phytologist**. v. 177, p. 608-626, 2008.

COLLIN, C. BioSand Filtration of High Turbidity Water: modified filter design and safe filtrate storage. Jun, 2009. 154p. **Dissertation** (Master of Engineering in Civil and Environmental Engineering)-University of Sydney. 2009.

CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro – região Sul**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2011. 934 p. ISBN: 978-85-7738-153-1. Disponível em: <

http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf2008_dcbio/_ebooks/regiao_sul/Regiao_Sul.pdf>. Acesso em: 17/03/2018.

CROMBIE, D. S.; HIPKINS, M. F.; MILBURN, J. A. Gas Penetration of Pit Membranes in the Xylem of *Rhododendron* as the Cause of Acoustically Detectable Sap Cavitation. **Australian Journal of Plant Physiology**. v. 12, p. 445-453, 1985.

DANELUZ, D.; TESSARO, D. Padrão físico-químico e microbiológico da água de nascentes e poços rasos de propriedades rurais da região sudoeste do Paraná. **Revista Arquivos do Instituto Biológico**. v. 82, p. 1-5, 2015.

DENG, K. et al. Survival of *Cloristidium* difficile spores at low water activity. **Food Microbiology**. v. 66, p. 274-278, 2017.

DI BERNARDO, L., PAZ, L. P. S. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. São Carlos: Editora LDIBE LTDA, 868 p. 2008.

DING, W. et al. Relationship between wood porosity, wood density and methyl methacrylate impregnation rate. **Wood Material Science & Engineering**. v. 3, p. 62-70, 2008.

EENIGE, M. J. V.; COUNOTTE, G. H.; NOORDHUIZEN J. Drinking water for daily cattle: always a benefit or a microbiological risk? **Tijdschrift voor diergeneeskunde**. v. 138, n. 2, p. 86-97, 2013.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Florestas e Silvicultura: pesquisa pode reverter ameaça de extinção da araucária**. 2014. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1656125/pesquisa-pode-reverter-ameaca-de-extincao-da-araucaria>>. Acesso em: 05/04/2018.

FIGUERAS, M. J., BORREGO, J. J. New Perspectives in Monitoring Drinking Water Microbial Quality. **International Journal of Environmental Res. Public Health**. v. 7, p. 4179-4202, 2010.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. **Processos de separação por membranas**. E-papers Serviços Editoriais Ltda, 2006. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=P-7kje1EincC&pg=PA116&lp=PA116&dq=diferen%C3%A7a+entre+tangencialmente+e+paralelamente&source=bl&ots=0GJ6f5y3v5&sig=ZMT93Ht5g8PmvCxSQldktUFIOgM&hl=pt-PT&sa=X&ved=0ahUKEwj9H1mP7aAhWDHJAKHXzfBHcQ6AEIODAD#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 02/02/2018.

HACKE, U. G. et al. The Hydraulic Architecture of Conifers. In: Functional and Ecological Xylem Anatomy. **Cham: Springer International Publishing**. v. 31, p. 39–75, 2015.

HAIKO, J.; WESTERLUND-WIKSTRÖM, B. The Role of the Bacterial Flagellum in Adhesion and Virulence. **Biology**. v. 2, p. 1242-1267, 2013.

HUENNEKE, L. F.; VITOUSEK, P. M. Seedling and clonal recruitment of the invasive tree **Psidium cattleianum**: implications for management of native Hawaiian forests. **Biological Conservation**. v. 53, p. 199-211, 1990.

HRISTOVA, S. H.; ZHIVKOV, A. M. Electrooptical determination of the isoelectric point of globular proteins: Cytochrome c adsorbed on montmorillonite nanoplates. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 176, p. 480–487, 2019.

HYUN, T. K. et al. Hovenia dulcis – An Asian Traditional Herb. **Planta Medica**. V. 76, p. 943–949, 2010.

GADGIL, A. Drinking water in developing countries. **Annual Review Energy Environmental**. v. 23, p. 253-286, 1998.

GONZAGA, A. L. **Madeira: uso e conservação**. Programa Monumenta: Cadernos Técnicos. Brasília/DF: IPHAN/MONUMENTA. 246 p. 2006.

GOPAL, K. et al. Chlorination byproducts, their toxicodynamics and removal from drinking water. **Journal of Hazardous Materials**. v. 140, p. 1-6, 2007.

IYASELE, J.U.; IDIATA, D. J. Investigation of the Relationship between Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids for Mono-Valent, Di-Valent and TriValent Metal Compounds. **International Journal of Engineering Research and Reviews**. v. 3, n. 1, p. 40-48, 2015.

JACINTO, R. C. et al. Análise da qualidade energética da falha de pinhão para a produção de briquetes. **Scientia Forestalis**. v. 44, n. 112, p. 821-829, 2016.

JAFARI, A.; ASLANI, M. M.; BOUZARI, S. Escherichia coli: a brief review of diarrheagenic pathotypes and their role in diarrheal diseases in Iran. **Iranian Journal of Microbiology**. v. 4, n. 3, p. 102-117, 2012.

JAHROMI, M. Z. et al. Differential activation of intraepithelial lymphocyte-natural killer cells in chickens infected with very virulent and vaccine strains of infectious bursal disease vírus. **Developmental and Comparative Immunology**. v. 87, p. 116-123, 2018.

JONHSTON, M. C.; SOARES, M. A. F. **Ramnáceas**. In: Reitz, P. R. (ed). Flora Ilustrada Catarinense. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1972. 50 p.

JUDD, W. S. et al. **Sistemática vegetal: um enfoque filogenético**. 3ª Edição. Editora Artmed, Porto Alegre. 632 p., 2009.

KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. 3a. ed. Curitiba, PR: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 2005.

KOYUNCU, I., et al. Chapter 3: Advances in water treatment by microfiltration, ultrafiltration, and nanofiltration. **Advances in Membrane Technologies for Water Treatment**, p. 83–128, 2015.

LARSON, K. L. et al. Acceptance and impact of point-of-use water filtration systems in rural Guatemala. **Journal of Nursing Scholarshi** v. 49, n. 1, p. 96-102, 2017.

LEJEUNE, J. T. et al. Livestock drinking water microbiology and the factors influencing the quality of drinking water offered to cattle. **Journal of Dairy Science**. v. 84, p. 1856-1862, 2001.

LEVINSON, W. **Microbiologia Médica e Imunologia**. Porto Alegre. 12ª Edição. 2014.

LIESE W.; JOHANN I. 1954. Experimentelle Untersuchungen über die Feinstruktur der Hoftüpfel bei den Koniferen. *Naturwissenschaften* 41: 579–579.

LOO, S. et al. Emergency water supply: a review of potencial technologies and selection criteria. **Water Research**. v. 46, p. 3125-3151, 2012.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: maual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum, 2002.

LOTHROP, N. et al. Home water treatment habits and effectiveness in a rural Arizona Community. **Water**. v. 7, n. 3, p. 1217-1231, 2015.

MAIEVES, H. A. et al. Antioxidant phytochemicals of *Hovenia dulcis* Thunb. peduncles in different maturity stages. **Journal of Functional Foods**. v. 18 p. 1117-1124, 2015.

MAHGOUB, H. A., BAILEY, M., KAISER, P., 2012. An overview of infectious bursal disease. *Archives of Virology*, 157(11), 2047–2057.

MALATO, S. et al. Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: recent overview and trends. **Catalysis Today**. v. 147, p. 1-59, 2009.

MANOUCHEHRI, M.; KARGARI, A. Water recovery from laundry wastewater by the cross flow microfiltration process: A strategy for water recycling in residential buildings. **Journal of Cleaner Production**. v. 168, p. 227-238, 2017.

MARANHO, L. T. et al. Variação dimensional das traqueídes ao longo do caule de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl., Podocarpaceae. **Acta Botanica Brasilica**. v. 20, n. 3, p.633-640, 2006.

Mc LENNAN, S. D. et al. Comparison of Point-of-Use Technologies for Emergency Disinfection of Sewage-Contaminated Drinking Water. **Applied and Environmental Microbiology**. v. 75, n. 22, p. 7283-7286, 2009.

MEINZER, F. C.; CLEARWATER, M. J.; GOLDSTEIN, G. Water transport in trees: current perspectives, new insights and some controversies. **Environmental and Experimental Botany**. v. 45, p. 239-262, 2001.

MELO JR. J. C. F. Historic timbers in naval carpentry of whaling canoes of the Santa Catarina coast. **Rodriguésia**. v. 68, n. 4, p. 1241-1255, 2017.

MINAS GERAIS. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM. **Deliberação COPAM nº 85, de 21 de outubro de 1997**. Aprova a lista das espécies ameaçadas de extinção da flora do Estado de Minas Gerais. Minas Gerais, 30 de outubro de 1997. Disponível em: < <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5483>>. Acesso em: 05/04/2018.

MINTZ, E. et al. Not just a drop in the bucket: expanding access to point-of-use water treatment systems. **American Journal of Public Health**. v. 91, n. 10, p. 1565-1570, 2001.

MOMBA, M. N. B.; KALENI, P. Regrowth and survival of indicator microorganisms on the surfaces of household containers used for the storage of drinking water in rural communities of South Africa. **Water Research**. v. 36, p. 3023–3028, 2002.

MOR, S. M.; GRIFFITHS, J. K. Water-related diseases in the developing world. **Tufts University School of Medicine**. 2011.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. 4ª. ed. Curitiba/PR: Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná, 2012.

MOURA, T. de O. et al., Inorganic and organic contaminants in drinking water stored in polyethylene cisterns. **Food Chemistry**. 2018

NAGARAJAN, M. M.; KIBENGE, F. Infectious bursal disease virus: a review of molecular basis for variations in antigenicity and virulence. *Canadian Journal of Veterinary Research*, v. 61, n. 2, 1997.

NISHIZAWA, M. et al. Evaluation of anatomopathological, serological, immunological responses and protection in broilers vaccinated with live infectious bursal disease vaccines. **Arquivos do Instituto Biológico**. v. 74, n. 3, p. 219-226, 2007.

OLKOWSKI, A. A. **Livestock water quality: a field guide for cattle, horses, poultry, and swine**. University of Saskatchewan, Canadá. 2009. Acesso em: 07/03/2018. Disponível em: <http://www5.agr.gc.ca/resources/prod/doc/terr/pdf/lwq_guide_e.pdf> .

OSTERKAMP, I. C. et al. Changes of wood anatomical characters of selected species of *Araucaria* during artificial charring: implications for palaeontology. **Acta Botanica Brasilica**. v. 32, n. 2, p. 198-211, 2018.

PALHARES, J. C. P.; GUIDONI, A. L. Qualidade da água de chuva armazenada em cisterna utilizada na dessedentação de suínos e bovinos de corte. **Revista Ambiente e Água**. v. 7, n. 1, p. 244-254, 2012.

PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA. **Lista oficial de espécies da flora ameaçadas de extinção no Paraná**. 2008. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Atividades/POP5_LISTA_OFICIAL_ESPECIES_EXTINCAO.pdf>. Acesso em: 05/04/2018.

PARANÁ. **Portaria IAP nº 125, em 07 de agosto de 2009**.
http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/PORTARIAS/PORTARIA_IAP_125_2009_ESPECIES_EXOTICAS.pdf. Acesso em 22 de outubro de 2014.

PATERNIANI, J. E. S. et al. Water treatment by sedimentation and slow fabric filtration using *Moringa oleifera* seeds. **African Journal of Agricultural Research**. v. 5, n. 11, p. 1256-1263, 2010.

PETER-VARBANETS, M. et al. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. **Water Research**. v. 43, n. 2, p. 245-265, 2009.

PLÖTZE, M.; NIEMZ, P. Porosity and pore size distribution of different wood types as determined by mercury intrusion porosimetry. *European Journal of Wood and Wood Products*. v. 69, p. 649-657, 2011.

QUELUZ, J. G. T.; ALVES, T. R.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M. Desinfecção solar: uma solução de baixo custo para o tratamento de águas residuárias. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**. v. 8, n. 3, p. 199-208, 2014.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 5a. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996.

REJMÁNEK, M.; RICHARDSON, D. M. Trees and shrubs as invasive species - 2013 update on the global database. **Diversity and Distributions**, v. 19, p. 1093-1094, 2013.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Editora Blucher, 332 p., 1991.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Editora Blucher, 333 p., 2009.

RIO GRANDE DO SUL. Fundação Zoobotânica (FZB). **Reavaliação da Lista da Flora Ameaçada de Extinção do RS**. Apoio: Secretaria do Estado do Meio Ambiente. Disponível em: <
http://www.fzb.rs.gov.br/upload/20141208161010anexo_i_taxons_da_flora_nativa_do_estado_rio_grande_do_sul_ameacadas_de_extincao_1_.pdf>. Acesso em: 05/04/2018.

RIO GRANDE DO SUL. **Portaria SEMA nº 79, em 31 de outubro de 2013**. Diário Oficial do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, p. 44, 2013.

SALLEH, M. A. M. *et al.* Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review. **Desalination**, v. 280, p. 1-13, 2011.

SANTA CATARINA. **Resolução CONSEMA n° 8, em 14 de setembro de 2012.** Diário Oficial de Santa Catarina, Florianópolis, SC, no 19.429, p. 4, 02 out 2012.

SANTA CATARINA. Resolução CONSEMA N° 51, de 05 de dezembro de 2014: **Reconhece a Lista Oficial das Espécies da Flora Ameaçada de Extinção no Estado de Santa Catarina e dá outras providências.** 2014. Disponível em: <<http://www.fatma.sc.gov.br/upload/Flora/resconsema51.pdf>>. Acesso em: 10 de outubro de 2018.

SANTINI, E. J. et al. Drying rate and quality of Hovenia dulcis wood. **Scientia Agraria Paranaensis**. v. 15, n. 4, p. 460-463, 2016.

SANTOS, F. A. D.; PIRES, M. J. R.; CANTELLI, M. Tratamento de efluente de galvanoplastia por meio da biossorção de cromo e ferro com escamas da pinha da Araucaria angustifolia. **Revista Escola de Minas**. v. 64, n. 4, p. 499-504, 2011.

SAS INSTITUTE INC. System for Microsoft Windows, Release 9.4, Cary, NC, USA, 2002-2012. (cd-rom).

SASÁKOVÁ, N. et al. Contamination of individual sources of drinking water located in environmentally polluted central Spiš region (Slovakia). **Journal of Microbiology, Biotechnology, and Food Science**. v. 3, p. 262-265, 2013.

SAVI, G. D. et al. Elimination of Salmonella enterica serovar Typhimurium in artificially contaminated eggs through correct cooking and frying procedures. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 31, n. 2, p. 492-496, 2011.

SAZAKLI, E.; ALEXOPOULOS, A.; LEOTSINIDIS, M. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. **Water Research**. v. 41, n. 9, p. 2039-2047, 2007.

SCHOCKEN-ITURRINO, R. P. et al. Clostridium perfringens em rações e águas fornecidos a frangos de corte em granjas avícolas do interior paulista – Brasil. **Revista Ciência Rural**. v. 40, n. 1, p. 197-199, 2010.

SCHUHMACHER, J. S et al. How bacteria maintain location and number of flagella. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 39, p. 812–822, 2015.

SENS, M. L.; EMMENDOERFER, M. L.; MULLER, L. C. Water filtration through wood with helical cross-flow. **Desalination and Water Treatment**. v. 53, p. 15-26, 2013.

SENAI. SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM. **Celulose**. SENAI-SP Editora. 352p. 2013.

SJOSTROM, E. Wood Chemistry. **Academic Press**. 2nd Edition. 2013.

SNIS. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. Brasília: **MCIDADES-SNSA**. 2013. Disponível em: <<http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/municipio/index#>>. Acesso em: 03/05/2019.

SOBSEY M. D. Managing water in the home: accelerated health gains from improved water supply. **World Health Organization**. Geneva, Switzerland, 2002.

SOBSEY M. D. et al. Point of use household drinking water filtration: a practical, effective solution for providing sustained access to safe drinking water in the developing world. **Environmental Science & Technology**. v. 42, n. 12, p. 4261-4267, 2008.

SONG, K.; MOHSENI, M.; TAGHIPOUR, F. Application of ultraviolet light-emitting diodes (UV-LEDs) for water disinfection: a review. **Water Research**. v. 94, p. 341-349, 2016.

SOUSA C. P. The versatile strategies of Escherichia coli pathotypes. **Journal of Venomous Animals and Toxins**. v.12, n.3, p. 363-373, 2006.

SOUZA, J. R. et al. A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **Revista Eletrônica do Prodem**. v.8, n.1, p. 26-45, 2014.

SPERRY, J. S. et al. Size and function in conifer tracheids and angiosperm vessels. **American Journal of Botany**. v. 93, n. 10, p. 1490–1500, 2006.

THOMAS, P. Araucaria angustifolia. **The IUCN Red List of Threatened Species**. 2013. ISSN 2307-8235. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T32975A2829141.en>>. Acesso em: 05/04/2018.

UNESCO - WWDR (The United Nations World Water Development Report). **Wastewater: The untapped resource**. Paris: UNESCO, 198 p., 2017. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002471/247153e.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

UNESCO - WWDR (The United Nations World Water Development Report). **Nature-based solutions for water**. Paris: UNESCO, 154 p., 2018. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261424>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

USAID. UNIDET STATE AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT. **Emerging pandemic threats 2 program (EPT-2)**. 2017. Disponível em: <<https://www.usaid.gov/what-we-do/global-health/pandemic-influenza-and-other-emerging-threats/programs>>. Acesso em: 30/03/2018.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **National Primary Drinking Water Regulations**. 2009. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-06/documents/npwdr_complete_table.pdf>. Acesso em: 12/04/2019.

VALENTE-CAMPOS, S.; NASCIMENTO, E. S.; UMBUZEIRO, G. A. Water quality criteria for livestock watering – a comparison among different regulations. **Acta Scientiarum**. v. 36, n. 1, p. 1-10, 2014.

VAN DEN BERG, T. P. et al. Infectious bursal disease (Gumboro disease). **Rev. Sci. Tech.** v. 19, n. 2, p. 527-543, 2000.

VENKATRAMANAN, S. et al. Assessment of river water quality via environmentric multivariate statistical tools and water quality index: a case study of nakdong river basin, Korea. **Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences**. v. 9, n. 2, p. 125 – 132, 2014.

VIDAL, C. M. S., CAMPOS, J. R. Coagulation associated with microfiltration for the advanced treatment of sewage. **Ambiência**. V. 5, n. 1, p. 101 – 114, 2009.

VOSS-RECH, D. et al. Impact of treatments for recycled broiler litter on the viability and infectivity of microorganisms. **Vet. Microbiol.** v. 203, p. 308-314, 2017.

VUNAIM, E. et al. Evaluation of coagulating efficiency and water borne pathogens reduction capacity of Moringa oleifera seed powder for treatment of domestic wastewater from Zomba, Malawi. **Environmental Chemical Engineering**. v. 7, n. 3, p. 103-118, 2018.

YAMAGUCHI, M. U. et al. Microbiological quality of human consumption water in a school in Maringá-PR. **Revista O Mundo da Saúde**. V. 37, n. 3, p. 312-320, 2013.

YAN, C. et al. Assessment of Water Quality and Identification of Polluted Risky Regions Based on Field Observations & GIS in the Honghe River Watershed, China. **PlosOne**. v. 10, n. 5, p. 1-13, 2015.

WANG, W. et al. Three Mutations in Escherichia coli That Generate Transformable Functional Flagella. **Journal of Bacteriology**. v. 194, p. 5856-5863, 2012.

WANG, X. et al. Removal of Cu(II) ions from contaminated waters using a conducting microfiltration membrane. **Journal of Hazardous Materials**. v. 339, p. 182-190, 2017.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality**. Fourth edition. WHO Graphics, Switzerland. 2011. Disponível em: <
https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44584/9789241548151_eng.pdf;jsessionid=57A26F507BDD9A6918C3A27D809F83EB?sequence=1>. Acesso em: 04 de abril de 2019.

WRAY, C., WRAY A. **Salmonella in Domestic Animals**. Editora Biddles Ltd. 2000.

WREGE, M. S. et al. Distribuição natural e habitat da araucária frente às mudanças climáticas globais. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 37, n. 91, p. 331-346, 2017.

ZHU, L. et al. Identification of a novel enterovirus E isolates HY12 from cattle with severe respiratory and enteric diseases. **PlosOne**. v. 9, n. 5, p. 1-9, 2014.

ZORILA, L. et al. Atomic Force Microscopy study of morphological modifications induced by different decontamination treatments on Escherichia coli. **Ultramicroscopy**. v. 182, p. 226-232, 2017.

APÊNDICE A – VALORES DE TURBIDEZ (uT) PARA ETAPA 2

Madeira	Comprimento (cm)	Pressao (psi)	Repetição	Turbidez (uT)
M1	8,7	18	1	26,20
M1	8,7	7	1	4,05
M1	2,3	18	1	1,63
M1	2,3	7	1	12,35
M1	5,5	13	1	27,25
M1	10,0	13	1	5,85
M1	1,0	13	1	18,55
M1	5,5	20	1	5,40
M1	5,5	5	1	16,40
M1	8,7	18	2	5,35
M1	8,7	7	2	5,85
M1	2,3	18	2	2,05
M1	2,3	7	2	2,20
M1	5,5	13	2	3,70
M1	10,0	13	2	3,95
M1	1,0	13	2	4,40
M1	5,5	20	2	2,85
M1	5,5	5	2	5,50
M1	8,7	18	3	16,35
M1	8,7	7	3	12,40
M1	2,3	18	3	4,35
M1	2,3	7	3	8,75
M1	5,5	13	3	31,10
M1	10,0	13	3	12,85
M1	1,0	13	3	3,95
M1	5,5	20	3	7,50
M1	5,5	5	3	16,80
M1	8,7	18	4	18,75
M1	8,7	7	4	7,65
M1	2,3	18	4	4,95
M1	2,3	7	4	3,34
M1	5,5	13	4	5,25
M1	10,0	13	4	20,65
M1	1,0	13	4	15,30
M1	5,5	20	4	9,70
M1	5,5	5	4	11,80
M1	8,7	18	5	7,90
M1	8,7	7	5	4,60
M1	2,3	18	5	6,35

M1	2,3	7	5	5,25
M1	5,5	13	5	8,73
M1	10,0	13	5	8,45
M1	1,0	13	5	5,30
M1	5,5	20	5	11,25
M1	5,5	5	5	8,05
M2	8,7	18	1	22,25
M2	8,7	7	1	3,15
M2	2,3	18	1	6,80
M2	2,3	7	1	5,16
M2	5,5	13	1	20,35
M2	10,0	13	1	13,45
M2	1,0	13	1	6,85
M2	5,5	20	1	17,80
M2	5,5	5	1	3,65
M2	8,7	18	2	39,45
M2	8,7	7	2	26,35
M2	2,3	18	2	29,15
M2	2,3	7	2	28,05
M2	5,5	13	2	20,81
M2	10,0	13	2	43,10
M2	1,0	13	2	26,00
M2	5,5	20	2	29,15
M2	5,5	5	2	37,35
M2	8,7	18	3	27,15
M2	8,7	7	3	25,25
M2	2,3	18	3	5,95
M2	2,3	7	3	4,35
M2	5,5	13	3	3,45
M2	10,0	13	3	19,20
M2	1,0	13	3	6,85
M2	5,5	20	3	7,45
M2	5,5	5	3	4,40
M2	8,7	18	4	14,75
M2	8,7	7	4	14,90
M2	2,3	18	4	4,55
M2	2,3	7	4	11,20
M2	5,5	13	4	8,05
M2	10,0	13	4	13,95
M2	1,0	13	4	4,60
M2	5,5	20	4	5,85
M2	5,5	5	4	3,15
M2	8,7	18	5	7,35

M2	8,7	7	5	2,70
M2	2,3	18	5	2,30
M2	2,3	7	5	2,40
M2	5,5	13	5	3,20
M2	10,0	13	5	7,05
M2	1,0	13	5	2,75
M2	5,5	20	5	3,30
M2	5,5	5	5	6,35
M3	8,7	18	1	25,40
M3	8,7	7	1	38,05
M3	2,3	18	1	17,40
M3	2,3	7	1	7,60
M3	5,5	13	1	26,65
M3	10,0	13	1	96,10
M3	1,0	13	1	25,05
M3	5,5	20	1	26,55
M3	5,5	5	1	30,00
M3	8,7	18	2	4,80
M3	8,7	7	2	7,70
M3	2,3	18	2	21,40
M3	2,3	7	2	3,00
M3	5,5	13	2	6,25
M3	10,0	13	2	31,99
M3	1,0	13	2	7,30
M3	5,5	20	2	7,50
M3	5,5	5	2	15,00
M3	8,7	18	3	9,45
M3	8,7	7	3	7,40
M3	2,3	18	3	17,65
M3	2,3	7	3	13,80
M3	5,5	13	3	22,15
M3	10,0	13	3	12,55
M3	1,0	13	3	16,70
M3	5,5	20	3	3,30
M3	5,5	5	3	4,25
M3	8,7	18	4	28,80
M3	8,7	7	4	30,95
M3	2,3	18	4	20,55
M3	2,3	7	4	9,60
M3	5,5	13	4	25,85
M3	10,0	13	4	15,40
M3	1,0	13	4	2,40
M3	5,5	20	4	27,70

M3	5,5	5	4	27,60
M3	8,7	18	5	22,90
M3	8,7	7	5	29,50
M3	2,3	18	5	21,70
M3	2,3	7	5	18,85
M3	5,5	13	5	21,60
M3	10,0	13	5	28,50
M3	1,0	13	5	23,30
M3	5,5	20	5	23,35
M3	5,5	5	5	17,65

APÊNDICE B – VALORES DE pH PARA ETAPA 2

Madeira	Comprimento (cm)	Pressão (psi)	Repetição	pH
M1	8,7	18	1	6,29
M1	8,7	7	1	6,19
M1	2,3	18	1	7,55
M1	2,3	7	1	9,77
M1	5,5	13	1	7,13
M1	10,0	13	1	6,24
M1	1,0	13	1	7,25
M1	5,5	20	1	6,45
M1	5,5	5	1	6,33
M1	8,7	18	2	8,33
M1	8,7	7	2	7,76
M1	2,3	18	2	7,91
M1	2,3	7	2	7,45
M1	5,5	13	2	7,15
M1	10,0	13	2	6,83
M1	1,0	13	2	7,19
M1	5,5	20	2	6,93
M1	5,5	5	2	6,81
M1	8,7	18	3	6,62
M1	8,7	7	3	6,52
M1	2,3	18	3	7,08
M1	2,3	7	3	6,00
M1	5,5	13	3	6,56
M1	10,0	13	3	8,39
M1	1,0	13	3	8,57
M1	5,5	20	3	7,60
M1	5,5	5	3	7,20

M1	8,7	18	4	6,76
M1	8,7	7	4	6,59
M1	2,3	18	4	6,46
M1	2,3	7	4	6,61
M1	5,5	13	4	6,50
M1	10,0	13	4	6,47
M1	1,0	13	4	7,70
M1	5,5	20	4	6,69
M1	5,5	5	4	6,95
M1	8,7	18	5	7,13
M1	8,7	7	5	6,82
M1	2,3	18	5	7,00
M1	2,3	7	5	6,94
M1	5,5	13	5	7,64
M1	10,0	13	5	7,64
M1	1,0	13	5	7,08
M1	5,5	20	5	7,65
M1	5,5	5	5	7,29
M2	8,7	18	1	7,80
M2	8,7	7	1	6,30
M2	2,3	18	1	7,80
M2	2,3	7	1	7,72
M2	5,5	13	1	7,88
M2	10,0	13	1	6,95
M2	1,0	13	1	8,10
M2	5,5	20	1	7,65
M2	5,5	5	1	6,83
M2	8,7	18	2	8,71
M2	8,7	7	2	7,86
M2	2,3	18	2	7,76
M2	2,3	7	2	7,29
M2	5,5	13	2	6,62
M2	10,0	13	2	8,90
M2	1,0	13	2	6,90
M2	5,5	20	2	6,15
M2	5,5	5	2	7,04
M2	8,7	18	3	6,58
M2	8,7	7	3	6,79
M2	2,3	18	3	7,24
M2	2,3	7	3	7,49
M2	5,5	13	3	7,32
M2	10,0	13	3	8,23
M2	1,0	13	3	8,38

M2	5,5	20	3	8,85
M2	5,5	5	3	9,08
M2	8,7	18	4	6,73
M2	8,7	7	4	7,02
M2	2,3	18	4	8,10
M2	2,3	7	4	7,91
M2	5,5	13	4	7,90
M2	10,0	13	4	8,19
M2	1,0	13	4	8,87
M2	5,5	20	4	8,97
M2	5,5	5	4	8,68
M2	8,7	18	5	7,05
M2	8,7	7	5	7,34
M2	2,3	18	5	7,00
M2	2,3	7	5	7,04
M2	5,5	13	5	6,51
M2	10,0	13	5	6,08
M2	1,0	13	5	7,24
M2	5,5	20	5	6,67
M2	5,5	5	5	6,48
M3	8,7	18	1	6,62
M3	8,7	7	1	7,35
M3	2,3	18	1	6,61
M3	2,3	7	1	8,05
M3	5,5	13	1	7,94
M3	10,0	13	1	7,28
M3	1,0	13	1	6,58
M3	5,5	20	1	7,53
M3	5,5	5	1	7,72
M3	8,7	18	2	8,91
M3	8,7	7	2	7,36
M3	2,3	18	2	8,24
M3	2,3	7	2	7,83
M3	5,5	13	2	6,05
M3	10,0	13	2	7,14
M3	1,0	13	2	6,72
M3	5,5	20	2	6,16
M3	5,5	5	2	6,74
M3	8,7	18	3	6,82
M3	8,7	7	3	7,03
M3	2,3	18	3	7,49
M3	2,3	7	3	7,22
M3	5,5	13	3	7,29

M3	10,0	13	3	6,75
M3	1,0	13	3	7,14
M3	5,5	20	3	7,21
M3	5,5	5	3	7,06
M3	8,7	18	4	6,83
M3	8,7	7	4	6,61
M3	2,3	18	4	7,30
M3	2,3	7	4	7,19
M3	5,5	13	4	6,44
M3	10,0	13	4	6,57
M3	1,0	13	4	7,06
M3	5,5	20	4	6,88
M3	5,5	5	4	6,87
M3	8,7	18	5	8,96
M3	8,7	7	5	8,68
M3	2,3	18	5	8,99
M3	2,3	7	5	8,78
M3	5,5	13	5	8,37
M3	10,0	13	5	7,75
M3	1,0	13	5	8,24
M3	5,5	20	5	8,08
M3	5,5	5	5	7,93

APÊNDICE C – VALORES DE CONDUTIVIDADE ($\mu\text{s}/\text{cm}^2$) PARA ETAPA 2

Madeira	Comprimento (cm)	Pressão (psi)	Repetição	Condutividade ($\mu\text{s}/\text{cm}^2$)
M1	8,7	18	1	65,00
M1	8,7	7	1	21,50
M1	2,3	18	1	12,00
M1	2,3	7	1	37,50
M1	5,5	13	1	32,00
M1	10,0	13	1	103,50
M1	1,0	13	1	9,50
M1	5,5	20	1	30,00
M1	5,5	5	1	28,00
M1	8,7	18	2	49,50
M1	8,7	7	2	42,00
M1	2,3	18	2	6,00
M1	2,3	7	2	7,50
M1	5,5	13	2	25,50
M1	10,0	13	2	18,00

M1	1,0	13	2	5,00
M1	5,5	20	2	12,00
M1	5,5	5	2	12,50
M1	8,7	18	3	38,00
M1	8,7	7	3	74,00
M1	2,3	18	3	13,50
M1	2,3	7	3	38,00
M1	5,5	13	3	21,00
M1	10,0	13	3	153,00
M1	1,0	13	3	17,00
M1	5,5	20	3	34,50
M1	5,5	5	3	35,50
M1	8,7	18	4	27,50
M1	8,7	7	4	22,50
M1	2,3	18	4	20,00
M1	2,3	7	4	26,50
M1	5,5	13	4	49,50
M1	10,0	13	4	51,50
M1	1,0	13	4	3,00
M1	5,5	20	4	33,50
M1	5,5	5	4	39,50
M1	8,7	18	5	26,00
M1	8,7	7	5	32,50
M1	2,3	18	5	11,00
M1	2,3	7	5	5,50
M1	5,5	13	5	33,50
M1	10,0	13	5	51,00
M1	1,0	13	5	4,00
M1	5,5	20	5	13,50
M1	5,5	5	5	19,50
M2	8,7	18	1	11,50
M2	8,7	7	1	29,50
M2	2,3	18	1	21,00
M2	2,3	7	1	9,50
M2	5,5	13	1	4,50
M2	10,0	13	1	61,50
M2	1,0	13	1	11,00
M2	5,5	20	1	32,50
M2	5,5	5	1	20,00
M2	8,7	18	2	24,50
M2	8,7	7	2	62,50
M2	2,3	18	2	5,50
M2	2,3	7	2	6,50

M2	5,5	13	2	27,50
M2	10,0	13	2	46,50
M2	1,0	13	2	6,00
M2	5,5	20	2	27,50
M2	5,5	5	2	24,50
M2	8,7	18	3	18,50
M2	8,7	7	3	31,00
M2	2,3	18	3	6,50
M2	2,3	7	3	5,00
M2	5,5	13	3	17,50
M2	10,0	13	3	35,00
M2	1,0	13	3	7,00
M2	5,5	20	3	10,00
M2	5,5	5	3	17,00
M2	8,7	18	4	45,00
M2	8,7	7	4	46,50
M2	2,3	18	4	9,50
M2	2,3	7	4	8,50
M2	5,5	13	4	19,00
M2	10,0	13	4	25,50
M2	1,0	13	4	5,50
M2	5,5	20	4	21,50
M2	5,5	5	4	29,50
M2	8,7	18	5	16,00
M2	8,7	7	5	7,50
M2	2,3	18	5	12,50
M2	2,3	7	5	7,00
M2	5,5	13	5	30,50
M2	10,0	13	5	87,50
M2	1,0	13	5	4,50
M2	5,5	20	5	16,50
M2	5,5	5	5	25,50
M3	8,7	18	1	103,50
M3	8,7	7	1	130,50
M3	2,3	18	1	29,50
M3	2,3	7	1	38,50
M3	5,5	13	1	186,00
M3	10,0	13	1	260,50
M3	1,0	13	1	15,50
M3	5,5	20	1	94,50
M3	5,5	5	1	81,50
M3	8,7	18	2	37,00
M3	8,7	7	2	83,50

M3	2,3	18	2	4,50
M3	2,3	7	2	12,00
M3	5,5	13	2	83,50
M3	10,0	13	2	56,50
M3	1,0	13	2	7,50
M3	5,5	20	2	92,00
M3	5,5	5	2	56,50
M3	8,7	18	3	12,00
M3	8,7	7	3	13,50
M3	2,3	18	3	7,50
M3	2,3	7	3	10,50
M3	5,5	13	3	10,50
M3	10,0	13	3	25,50
M3	1,0	13	3	8,50
M3	5,5	20	3	10,50
M3	5,5	5	3	14,00
M3	8,7	18	4	45,00
M3	8,7	7	4	31,81
M3	2,3	18	4	9,50
M3	2,3	7	4	14,50
M3	5,5	13	4	68,50
M3	10,0	13	4	38,00
M3	1,0	13	4	14,50
M3	5,5	20	4	26,00
M3	5,5	5	4	15,00
M3	8,7	18	5	22,00
M3	8,7	7	5	18,00
M3	2,3	18	5	3,00
M3	2,3	7	5	4,50
M3	5,5	13	5	4,50
M3	10,0	13	5	15,50
M3	1,0	13	5	4,50
M3	5,5	20	5	4,50
M3	5,5	5	5	3,50

APÊNDICE D – VALORES DE COT (mg/L) PARA ETAPA 2

Madeira	Comprimento (cm)	Pressão (psi)	Repetição	COT (mg/L)
M1	8,7	18	1	94,41
M1	8,7	7	1	187,5
M1	2,3	18	1	10,89

M1	2,3	7	1	41,36
M1	5,5	13	1	43,23
M1	10,0	13	1	234,4
M1	1,0	13	1	9,14
M1	5,5	20	1	59,81
M1	5,5	5	1	118
M1	8,7	18	2	69,6
M1	8,7	7	2	13,62
M1	2,3	18	2	23,1
M1	2,3	7	2	44,15
M1	5,5	13	2	87,67
M1	10,0	13	2	11,85
M1	1,0	13	2	40,75
M1	5,5	20	2	46,21
M1	5,5	5	2	17,44
M1	8,7	18	3	48,91
M1	8,7	7	3	59,6
M1	2,3	18	3	13,28
M1	2,3	7	3	10,06
M1	5,5	13	3	26,32
M1	10,0	13	3	73,89
M1	1,0	13	3	8,68
M1	5,5	20	3	23,17
M1	5,5	5	3	24,58
M1	8,7	18	4	51,45
M1	8,7	7	4	66,18
M1	2,3	18	4	9,61
M1	2,3	7	4	10,54
M1	5,5	13	4	24,67
M1	10,0	13	4	27,45
M1	1,0	13	4	6,63
M1	5,5	20	4	22,59
M1	5,5	5	4	40,38
M1	8,7	18	5	62,63
M1	8,7	7	5	22,75
M1	2,3	18	5	18,67
M1	2,3	7	5	42,01
M1	5,5	13	5	65,38
M1	10,0	13	5	15
M1	1,0	13	5	23,12
M1	5,5	20	5	31,95
M1	5,5	5	5	17,73
M2	8,7	18	1	34,81

M2	8,7	7	1	36,45
M2	2,3	18	1	17,12
M2	2,3	7	1	52,57
M2	5,5	13	1	40,83
M2	10,0	13	1	19,28
M2	1,0	13	1	78,27
M2	5,5	20	1	69,73
M2	5,5	5	1	27,11
M2	8,7	18	2	72,2
M2	8,7	7	2	18,16
M2	2,3	18	2	35,5
M2	2,3	7	2	69,26
M2	5,5	13	2	54,04
M2	10,0	13	2	7,62
M2	1,0	13	2	76,95
M2	5,5	20	2	16,9
M2	5,5	5	2	42,78
M2	8,7	18	3	133,1
M2	8,7	7	3	180,3
M2	2,3	18	3	24,83
M2	2,3	7	3	58,78
M2	5,5	13	3	69,16
M2	10,0	13	3	155,9
M2	1,0	13	3	24,9
M2	5,5	20	3	132,9
M2	5,5	5	3	149,3
M2	8,7	18	4	5,26
M2	8,7	7	4	71,22
M2	2,3	18	4	84,05
M2	2,3	7	4	77,07
M2	5,5	13	4	159,4
M2	10,0	13	4	105,3
M2	1,0	13	4	32,49
M2	5,5	20	4	114,7
M2	5,5	5	4	162,8
M2	8,7	18	5	9,09
M2	8,7	7	5	12,46
M2	2,3	18	5	6,61
M2	2,3	7	5	28,86
M2	5,5	13	5	66,15
M2	10,0	13	5	8,64
M2	1,0	13	5	15,95
M2	5,5	20	5	16,17

M2	5,5	5	5	19,34
M3	8,7	18	1	34,02
M3	8,7	7	1	60,77
M3	2,3	18	1	29,99
M3	2,3	7	1	32,16
M3	5,5	13	1	63,8
M3	10,0	13	1	17,61
M3	1,0	13	1	12,61
M3	5,5	20	1	28,81
M3	5,5	5	1	64,63
M3	8,7	18	2	132,8
M3	8,7	7	2	72,95
M3	2,3	18	2	6,65
M3	2,3	7	2	210
M3	5,5	13	2	51,3
M3	10,0	13	2	24,98
M3	1,0	13	2	328,7
M3	5,5	20	2	226,1
M3	5,5	5	2	
M3	8,7	18	3	5,38
M3	8,7	7	3	3,52
M3	2,3	18	3	3,72
M3	2,3	7	3	4,07
M3	5,5	13	3	4,27
M3	10,0	13	3	4,83
M3	1,0	13	3	3,05
M3	5,5	20	3	4,17
M3	5,5	5	3	3,33
M3	8,7	18	4	8,28
M3	8,7	7	4	4,1
M3	2,3	18	4	3,87
M3	2,3	7	4	12,58
M3	5,5	13	4	5,17
M3	10,0	13	4	1,92
M3	1,0	13	4	6,4
M3	5,5	20	4	6,3
M3	5,5	5	4	38,38
M3	8,7	18	5	20,95
M3	8,7	7	5	6,03
M3	2,3	18	5	6,52
M3	2,3	7	5	9,75
M3	5,5	13	5	21,06
M3	10,0	13	5	4,74

M3	1,0	13	5	7,63
M3	5,5	20	5	8,76
M3	5,5	5	5	6,85

APÊNDICE E – VALORES DE NT (mg/L) PARA ETAPA 2

Madeira	Comprimento (cm)	Pressão (psi)	Repetição	NT (mg/L)
M1	8,7	18	1	5,5
M1	8,7	7	1	11,18
M1	2,3	18	1	0,42
M1	2,3	7	1	1,78
M1	5,5	13	1	2,19
M1	10,0	13	1	18,9
M1	1,0	13	1	0,53
M1	5,5	20	1	3,56
M1	5,5	5	1	6,47
M1	8,7	18	2	4,65
M1	8,7	7	2	0,59
M1	2,3	18	2	1,1
M1	2,3	7	2	2,29
M1	5,5	13	2	5,2
M1	10,0	13	2	0,86
M1	1,0	13	2	1,49
M1	5,5	20	2	2,01
M1	5,5	5	2	1,38
M1	8,7	18	3	1,58
M1	8,7	7	3	2,48
M1	2,3	18	3	0,82
M1	2,3	7	3	0,42
M1	5,5	13	3	1,17
M1	10,0	13	3	3,83
M1	1,0	13	3	0,43
M1	5,5	20	3	1,03
M1	5,5	5	3	0,98
M1	8,7	18	4	3,18
M1	8,7	7	4	2,79
M1	2,3	18	4	0,48
M1	2,3	7	4	0,64
M1	5,5	13	4	1,03
M1	10,0	13	4	0,78
M1	1,0	13	4	0,31

M1	5,5	20	4	1,14
M1	5,5	5	4	1,11
M1	8,7	18	5	2,69
M1	8,7	7	5	0,75
M1	2,3	18	5	0,73
M1	2,3	7	5	1,17
M1	5,5	13	5	2,96
M1	10,0	13	5	0,51
M1	1,0	13	5	0,79
M1	5,5	20	5	1,21
M1	5,5	5	5	2,23
M2	8,7	18	1	1,32
M2	8,7	7	1	1,68
M2	2,3	18	1	0,41
M2	2,3	7	1	0,73
M2	5,5	13	1	2,82
M2	10,0	13	1	0,93
M2	1,0	13	1	1,05
M2	5,5	20	1	2,3
M2	5,5	5	1	0,73
M2	8,7	18	2	4,43
M2	8,7	7	2	0,96
M2	2,3	18	2	1,16
M2	2,3	7	2	2,89
M2	5,5	13	2	1,81
M2	10,0	13	2	0,45
M2	1,0	13	2	3,5
M2	5,5	20	2	0,81
M2	5,5	5	2	5,8
M2	8,7	18	3	10,95
M2	8,7	7	3	8,99
M2	2,3	18	3	0,93
M2	2,3	7	3	4,83
M2	5,5	13	3	2,81
M2	10,0	13	3	14,71
M2	1,0	13	3	1,17
M2	5,5	20	3	2,88
M2	5,5	5	3	2,48
M2	8,7	18	4	1,55
M2	8,7	7	4	5,29
M2	2,3	18	4	7,05
M2	2,3	7	4	1,59
M2	5,5	13	4	3,16

M2	10,0	13	4	4,34
M2	1,0	13	4	0,84
M2	5,5	20	4	1,48
M2	5,5	5	4	1,52
M2	8,7	18	5	0,79
M2	8,7	7	5	0,73
M2	2,3	18	5	0,36
M2	2,3	7	5	3,15
M2	5,5	13	5	9,12
M2	10,0	13	5	0,7
M2	1,0	13	5	1,82
M2	5,5	20	5	2,06
M2	5,5	5	5	2,07
M3	8,7	18	1	5,05
M3	8,7	7	1	3,22
M3	2,3	18	1	1,72
M3	2,3	7	1	5,42
M3	5,5	13	1	5
M3	10,0	13	1	1,2
M3	1,0	13	1	0,78
M3	5,5	20	1	5,98
M3	5,5	5	1	4,86
M3	8,7	18	2	15,6
M3	8,7	7	2	1,37
M3	2,3	18	2	0,41
M3	2,3	7	2	17,37
M3	5,5	13	2	6,29
M3	10,0	13	2	0,8
M3	1,0	13	2	16,25
M3	5,5	20	2	7,84
M3	5,5	5	2	
M3	8,7	18	3	0,33
M3	8,7	7	3	0,36
M3	2,3	18	3	0,51
M3	2,3	7	3	0,87
M3	5,5	13	3	0,61
M3	10,0	13	3	0,88
M3	1,0	13	3	0,59
M3	5,5	20	3	0,26
M3	5,5	5	3	0,4
M3	8,7	18	4	0,39
M3	8,7	7	4	0,48
M3	2,3	18	4	0,2

M3	2,3	7	4	0,61
M3	5,5	13	4	0,47
M3	10,0	13	4	0,27
M3	1,0	13	4	0,72
M3	5,5	20	4	0,4
M3	5,5	5	4	1,57
M3	8,7	18	5	2,41
M3	8,7	7	5	0,3
M3	2,3	18	5	0,41
M3	2,3	7	5	0,88
M3	5,5	13	5	2,59
M3	10,0	13	5	0,29
M3	1,0	13	5	0,42
M3	5,5	20	5	0,49
M3	5,5	5	5	0,87

APÊNDICE F – VALORES DE SDT (mg/L) PARA ETAPA 2

Madeira	Comprimento (cm)	Pressão	Repetição	SDT (mg/L)
M1	8,7	18	1	40,50
M1	8,7	7	1	10,50
M1	2,3	18	1	7,50
M1	2,3	7	1	25,00
M1	5,5	13	1	22,00
M1	10,0	13	1	72,50
M1	1,0	13	1	12,50
M1	5,5	20	1	10,00
M1	5,5	5	1	22,50
M1	8,7	18	2	32,00
M1	8,7	7	2	26,50
M1	2,3	18	2	4,00
M1	2,3	7	2	4,50
M1	5,5	13	2	17,00
M1	10,0	13	2	11,50
M1	1,0	13	2	3,50
M1	5,5	20	2	6,50
M1	5,5	5	2	9,50
M1	8,7	18	3	25,00
M1	8,7	7	3	48,00
M1	2,3	18	3	8,00
M1	2,3	7	3	24,50

M1	5,5	13	3	13,50
M1	10,0	13	3	97,50
M1	1,0	13	3	9,50
M1	5,5	20	3	21,50
M1	5,5	5	3	22,00
M1	8,7	18	4	22,00
M1	8,7	7	4	13,50
M1	2,3	18	4	14,00
M1	2,3	7	4	16,50
M1	5,5	13	4	31,50
M1	10,0	13	4	33,00
M1	1,0	13	4	1,50
M1	5,5	20	4	21,50
M1	5,5	5	4	25,00
M1	8,7	18	5	16,50
M1	8,7	7	5	20,50
M1	2,3	18	5	6,50
M1	2,3	7	5	3,00
M1	5,5	13	5	21,50
M1	10,0	13	5	32,50
M1	1,0	13	5	2,00
M1	5,5	20	5	8,50
M1	5,5	5	5	12,00
M2	8,7	18	1	7,00
M2	8,7	7	1	10,00
M2	2,3	18	1	29,00
M2	2,3	7	1	5,00
M2	5,5	13	1	29,50
M2	10,0	13	1	35,50
M2	1,0	13	1	10,50
M2	5,5	20	1	21,00
M2	5,5	5	1	10,00
M2	8,7	18	2	15,50
M2	8,7	7	2	39,50
M2	2,3	18	2	3,50
M2	2,3	7	2	3,50
M2	5,5	13	2	17,50
M2	10,0	13	2	29,50
M2	1,0	13	2	2,50
M2	5,5	20	2	15,50
M2	5,5	5	2	15,50
M2	8,7	18	3	11,50
M2	8,7	7	3	19,50

M2	2,3	18	3	4,00
M2	2,3	7	3	3,00
M2	5,5	13	3	11,00
M2	10,0	13	3	22,50
M2	1,0	13	3	4,00
M2	5,5	20	3	6,00
M2	5,5	5	3	10,50
M2	8,7	18	4	28,50
M2	8,7	7	4	30,00
M2	2,3	18	4	5,50
M2	2,3	7	4	4,50
M2	5,5	13	4	12,00
M2	10,0	13	4	16,00
M2	1,0	13	4	3,00
M2	5,5	20	4	13,50
M2	5,5	5	4	18,50
M2	8,7	18	5	10,00
M2	8,7	7	5	4,50
M2	2,3	18	5	7,50
M2	2,3	7	5	4,00
M2	5,5	13	5	19,50
M2	10,0	13	5	55,50
M2	1,0	13	5	2,50
M2	5,5	20	5	10,50
M2	5,5	5	5	16,00
M3	8,7	18	1	78,50
M3	8,7	7	1	90,00
M3	2,3	18	1	17,50
M3	2,3	7	1	19,00
M3	5,5	13	1	120,50
M3	10,0	13	1	64,00
M3	1,0	13	1	10,00
M3	5,5	20	1	188,00
M3	5,5	5	1	51,50
M3	8,7	18	2	23,50
M3	8,7	7	2	52,00
M3	2,3	18	2	2,50
M3	2,3	7	2	7,50
M3	5,5	13	2	54,00
M3	10,0	13	2	36,50
M3	1,0	13	2	4,50
M3	5,5	20	2	59,50
M3	5,5	5	2	38,50

M3	8,7	18	3	7,00
M3	8,7	7	3	8,00
M3	2,3	18	3	4,50
M3	2,3	7	3	6,50
M3	5,5	13	3	6,50
M3	10,0	13	3	15,50
M3	1,0	13	3	5,00
M3	5,5	20	3	6,50
M3	5,5	5	3	8,50
M3	8,7	18	4	28,50
M3	8,7	7	4	40,00
M3	2,3	18	4	5,00
M3	2,3	7	4	9,00
M3	5,5	13	4	44,50
M3	10,0	13	4	25,00
M3	1,0	13	4	9,50
M3	5,5	20	4	18,00
M3	5,5	5	4	9,50
M3	8,7	18	5	13,50
M3	8,7	7	5	11,50
M3	2,3	18	5	1,00
M3	2,3	7	5	2,50
M3	5,5	13	5	2,00
M3	10,0	13	5	9,50
M3	1,0	13	5	2,50
M3	5,5	20	5	2,50
M3	5,5	5	5	1,50

APÊNDICE G – VALORES DE COR APARENTE (uT) PARA ETAPA 2

Madeira	Comprimento (cm)	Pressão (psi)	Repetição	Cor Aparente (uT)
M1	8,7	18	1	10,00
M1	8,7	7	1	10,00
M1	2,3	18	1	5,00
M1	2,3	7	1	10,00
M1	5,5	13	1	10,00
M1	10,0	13	1	5,00
M1	1,0	13	1	10,00
M1	5,5	20	1	5,00
M1	5,5	5	1	10,00

M1	8,7	18	2	5,00
M1	8,7	7	2	5,00
M1	2,3	18	2	5,00
M1	2,3	7	2	5,00
M1	5,5	13	2	5,00
M1	10,0	13	2	5,00
M1	1,0	13	2	5,00
M1	5,5	20	2	5,00
M1	5,5	5	2	5,00
M1	8,7	18	3	100,00
M1	8,7	7	3	100,00
M1	2,3	18	3	15,00
M1	2,3	7	3	100,00
M1	5,5	13	3	50,00
M1	10,0	13	3	100,00
M1	1,0	13	3	70,00
M1	5,5	20	3	100,00
M1	5,5	5	3	100,00
M1	8,7	18	4	100,00
M1	8,7	7	4	100,00
M1	2,3	18	4	100,00
M1	2,3	7	4	100,00
M1	5,5	13	4	100,00
M1	10,0	13	4	100,00
M1	1,0	13	4	20,00
M1	5,5	20	4	100,00
M1	5,5	5	4	100,00
M1	8,7	18	5	30,00
M1	8,7	7	5	40,00
M1	2,3	18	5	10,00
M1	2,3	7	5	5,00
M1	5,5	13	5	30,00
M1	10,0	13	5	40,00
M1	1,0	13	5	10,00
M1	5,5	20	5	30,00
M1	5,5	5	5	15,00
M2	8,7	18	1	10,00
M2	8,7	7	1	20,00
M2	2,3	18	1	10,00
M2	2,3	7	1	5,00
M2	5,5	13	1	15,00
M2	10,0	13	1	80,00
M2	1,0	13	1	5,00

M2	5,5	20	1	5,00
M2	5,5	5	1	30,00
M2	8,7	18	2	15,00
M2	8,7	7	2	15,00
M2	2,3	18	2	20,00
M2	2,3	7	2	20,00
M2	5,5	13	2	20,00
M2	10,0	13	2	10,00
M2	1,0	13	2	20,00
M2	5,5	20	2	20,00
M2	5,5	5	2	20,00
M2	8,7	18	3	15,00
M2	8,7	7	3	10,00
M2	2,3	18	3	5,00
M2	2,3	7	3	5,00
M2	5,5	13	3	5,00
M2	10,0	13	3	10,00
M2	1,0	13	3	5,00
M2	5,5	20	3	5,00
M2	5,5	5	3	5,00
M2	8,7	18	4	15,00
M2	8,7	7	4	15,00
M2	2,3	18	4	10,00
M2	2,3	7	4	5,00
M2	5,5	13	4	5,00
M2	10,0	13	4	10,00
M2	1,0	13	4	5,00
M2	5,5	20	4	5,00
M2	5,5	5	4	15,00
M2	8,7	18	5	5,00
M2	8,7	7	5	5,00
M2	2,3	18	5	5,00
M2	2,3	7	5	5,00
M2	5,5	13	5	5,00
M2	10,0	13	5	5,00
M2	1,0	13	5	5,00
M2	5,5	20	5	5,00
M2	5,5	5	5	15,00
M3	8,7	18	1	100,00
M3	8,7	7	1	55,00
M3	2,3	18	1	5,00
M3	2,3	7	1	5,00
M3	5,5	13	1	15,00

M3	10,0	13	1	95,00
M3	1,0	13	1	5,00
M3	5,5	20	1	20,00
M3	5,5	5	1	10,00
M3	8,7	18	2	40,00
M3	8,7	7	2	100,00
M3	2,3	18	2	15,00
M3	2,3	7	2	70,00
M3	5,5	13	2	100,00
M3	10,0	13	2	95,00
M3	1,0	13	2	45,00
M3	5,5	20	2	100,00
M3	5,5	5	2	100,00
M3	8,7	18	3	10,00
M3	8,7	7	3	5,00
M3	2,3	18	3	10,00
M3	2,3	7	3	10,00
M3	5,5	13	3	15,00
M3	10,0	13	3	5,00
M3	1,0	13	3	10,00
M3	5,5	20	3	5,00
M3	5,5	5	3	5,00
M3	8,7	18	4	15,00
M3	8,7	7	4	10,00
M3	2,3	18	4	5,00
M3	2,3	7	4	5,00
M3	5,5	13	4	15,00
M3	10,0	13	4	10,00
M3	1,0	13	4	5,00
M3	5,5	20	4	15,00
M3	5,5	5	4	10,00
M3	8,7	18	5	15,00
M3	8,7	7	5	10,00
M3	2,3	18	5	10,00
M3	2,3	7	5	15,00
M3	5,5	13	5	5,00
M3	10,0	13	5	15,00
M3	1,0	13	5	5,00
M3	5,5	20	5	5,00
M3	5,5	5	5	5,00

APÊNDICE H – VALORES DE TAXA DE FILTRAÇÃO (m³/m².dia) PARA ETAPA 2

Madeira	Comprimento (cm)	Pressão (psi)	Repetição	TF (m³/m².dia)
M1	8,7	18	1	23,56
M1	8,7	7	1	5,88
M1	2,3	18	1	29,44
M1	2,3	7	1	2,14
M1	5,5	13	1	17,73
M1	10,0	13	1	7,03
M1	1,0	13	1	30,79
M1	5,5	20	1	5,56
M1	5,5	5	1	3,13
M1	8,7	18	2	9,75
M1	8,7	7	2	5,18
M1	2,3	18	2	26,60
M1	2,3	7	2	0,92
M1	5,5	13	2	9,62
M1	10,0	13	2	4,06
M1	1,0	13	2	20,85
M1	5,5	20	2	14,64
M1	5,5	5	2	7,97
M1	8,7	18	3	21,32
M1	8,7	7	3	5,42
M1	2,3	18	3	113,32
M1	2,3	7	3	39,37
M1	5,5	13	3	2,55
M1	10,0	13	3	11,50
M1	1,0	13	3	7,31
M1	5,5	20	3	1,72
M1	5,5	5	3	3,32
M1	8,7	18	4	10,45
M1	8,7	7	4	1,76
M1	2,3	18	4	10,56
M1	2,3	7	4	0,95
M1	5,5	13	4	2,00
M1	10,0	13	4	18,00
M1	1,0	13	4	11,88
M1	5,5	20	4	2,46
M1	5,5	5	4	1,52
M1	8,7	18	5	35,26
M1	8,7	7	5	4,37

M1	2,3	18	5	13,51
M1	2,3	7	5	14,35
M1	5,5	13	5	19,56
M1	10,0	13	5	18,33
M1	1,0	13	5	9,40
M1	5,5	20	5	11,87
M1	5,5	5	5	3,78
M2	8,7	18	1	37,37
M2	8,7	7	1	5,42
M2	2,3	18	1	2,84
M2	2,3	7	1	1,80
M2	5,5	13	1	19,66
M2	10,0	13	1	0,96
M2	1,0	13	1	20,75
M2	5,5	20	1	86,28
M2	5,5	5	1	1,57
M2	8,7	18	2	13,73
M2	8,7	7	2	1,37
M2	2,3	18	2	34,53
M2	2,3	7	2	1,09
M2	5,5	13	2	2,86
M2	10,0	13	2	1,02
M2	1,0	13	2	46,67
M2	5,5	20	2	8,22
M2	5,5	5	2	1,88
M2	8,7	18	3	21,32
M2	8,7	7	3	5,42
M2	2,3	18	3	10,34
M2	2,3	7	3	3,94
M2	5,5	13	3	2,21
M2	10,0	13	3	11,50
M2	1,0	13	3	6,96
M2	5,5	20	3	3,32
M2	5,5	5	3	1,72
M2	8,7	18	4	11,38
M2	8,7	7	4	6,28
M2	2,3	18	4	5,73
M2	2,3	7	4	21,72
M2	5,5	13	4	4,23
M2	10,0	13	4	5,99
M2	1,0	13	4	20,76
M2	5,5	20	4	10,68
M2	5,5	5	4	16,55

M2	8,7	18	5	7,63
M2	8,7	7	5	11,16
M2	2,3	18	5	8,93
M2	2,3	7	5	4,22
M2	5,5	13	5	8,38
M2	10,0	13	5	13,11
M2	1,0	13	5	10,30
M2	5,5	20	5	12,04
M2	5,5	5	5	9,32
M3	8,7	18	1	2,00
M3	8,7	7	1	0,89
M3	2,3	18	1	2,95
M3	2,3	7	1	0,97
M3	5,5	13	1	9,26
M3	10,0	13	1	0,84
M3	1,0	13	1	60,04
M3	5,5	20	1	2,23
M3	5,5	5	1	6,68
M3	8,7	18	2	1,66
M3	8,7	7	2	1,42
M3	2,3	18	2	3,48
M3	2,3	7	2	2,94
M3	5,5	13	2	33,06
M3	10,0	13	2	1,23
M3	1,0	13	2	4,49
M3	5,5	20	2	2,44
M3	5,5	5	2	2,02
M3	8,7	18	3	5,68
M3	8,7	7	3	1,25
M3	2,3	18	3	61,93
M3	2,3	7	3	1,46
M3	5,5	13	3	6,52
M3	10,0	13	3	1,52
M3	1,0	13	3	3,23
M3	5,5	20	3	2,87
M3	5,5	5	3	3,74
M3	8,7	18	4	25,17
M3	8,7	7	4	1,12
M3	2,3	18	4	94,68
M3	2,3	7	4	1,66
M3	5,5	13	4	2,93
M3	10,0	13	4	1,23
M3	1,0	13	4	3,72

M3	5,5	20	4	2,07
M3	5,5	5	4	4,88
M3	8,7	18	5	2,64
M3	8,7	7	5	0,98
M3	2,3	18	5	2,92
M3	2,3	7	5	1,18
M3	5,5	13	5	3,21
M3	10,0	13	5	1,14
M3	1,0	13	5	2,92
M3	5,5	20	5	2,40
M3	5,5	5	5	4,19

APÊNDICE I – VALORES DE DENSIDADE APARENTE (g/cm³) PARA ETAPA 2

Madeira	Comprimento (cm)	Pressão (psi)	Repetição	DA (g/cm³)
M1	8,7	18	1	0,92
M1	8,7	7	1	1,23
M1	2,3	18	1	1,36
M1	2,3	7	1	1,32
M1	5,5	13	1	1,20
M1	10,0	13	1	1,14
M1	1,0	13	1	1,40
M1	5,5	20	1	1,14
M1	5,5	5	1	1,19
M1	8,7	18	2	0,94
M1	8,7	7	2	1,21
M1	2,3	18	2	1,47
M1	2,3	7	2	1,29
M1	5,5	13	2	1,23
M1	10,0	13	2	1,13
M1	1,0	13	2	1,46
M1	5,5	20	2	1,21
M1	5,5	5	2	1,23
M1	8,7	18	3	0,95
M1	8,7	7	3	1,28
M1	2,3	18	3	1,31
M1	2,3	7	3	1,23
M1	5,5	13	3	1,18
M1	10,0	13	3	1,16
M1	1,0	13	3	1,25
M1	5,5	20	3	1,12

M1	5,5	5	3	1,17
M1	8,7	18	4	1,13
M1	8,7	7	4	1,13
M1	2,3	18	4	1,19
M1	2,3	7	4	0,97
M1	5,5	13	4	1,11
M1	10,0	13	4	0,88
M1	1,0	13	4	0,92
M1	5,5	20	4	1,03
M1	5,5	5	4	1,07
M1	8,7	18	5	1,36
M1	8,7	7	5	1,48
M1	2,3	18	5	1,89
M1	2,3	7	5	1,77
M1	5,5	13	5	1,38
M1	10,0	13	5	1,26
M1	1,0	13	5	1,35
M1	5,5	20	5	1,12
M1	5,5	5	5	1,26
M2	8,7	18	1	1,21
M2	8,7	7	1	1,10
M2	2,3	18	1	1,11
M2	2,3	7	1	1,10
M2	5,5	13	1	1,26
M2	10,0	13	1	1,09
M2	1,0	13	1	1,22
M2	5,5	20	1	1,04
M2	5,5	5	1	1,15
M2	8,7	18	2	1,23
M2	8,7	7	2	1,12
M2	2,3	18	2	1,05
M2	2,3	7	2	1,09
M2	5,5	13	2	1,30
M2	10,0	13	2	1,08
M2	1,0	13	2	1,26
M2	5,5	20	2	1,07
M2	5,5	5	2	1,18
M2	8,7	18	3	1,20
M2	8,7	7	3	1,12
M2	2,3	18	3	1,09
M2	2,3	7	3	1,10
M2	5,5	13	3	1,31
M2	10,0	13	3	1,07

M2	1,0	13	3	1,03
M2	5,5	20	3	1,09
M2	5,5	5	3	1,13
M2	8,7	18	4	1,17
M2	8,7	7	4	1,15
M2	2,3	18	4	1,19
M2	2,3	7	4	1,10
M2	5,5	13	4	1,15
M2	10,0	13	4	1,09
M2	1,0	13	4	0,96
M2	5,5	20	4	1,08
M2	5,5	5	4	1,09
M2	8,7	18	5	1,39
M2	8,7	7	5	1,39
M2	2,3	18	5	1,53
M2	2,3	7	5	1,55
M2	5,5	13	5	1,44
M2	10,0	13	5	1,29
M2	1,0	13	5	1,38
M2	5,5	20	5	1,44
M2	5,5	5	5	1,31
M3	8,7	18	1	0,88
M3	8,7	7	1	0,90
M3	2,3	18	1	1,06
M3	2,3	7	1	1,02
M3	5,5	13	1	0,84
M3	10,0	13	1	0,74
M3	1,0	13	1	0,84
M3	5,5	20	1	1,20
M3	5,5	5	1	1,00
M3	8,7	18	2	0,89
M3	8,7	7	2	0,54
M3	2,3	18	2	1,06
M3	2,3	7	2	1,09
M3	5,5	13	2	1,32
M3	10,0	13	2	0,64
M3	1,0	13	2	0,92
M3	5,5	20	2	1,01
M3	5,5	5	2	1,02
M3	8,7	18	3	0,92
M3	8,7	7	3	0,93
M3	2,3	18	3	0,95
M3	2,3	7	3	1,01

M3	5,5	13	3	0,82
M3	10,0	13	3	0,73
M3	1,0	13	3	0,69
M3	5,5	20	3	1,15
M3	5,5	5	3	0,99
M3	8,7	18	4	0,86
M3	8,7	7	4	0,81
M3	2,3	18	4	1,00
M3	2,3	7	4	1,00
M3	5,5	13	4	1,10
M3	10,0	13	4	0,69
M3	1,0	13	4	0,71
M3	5,5	20	4	1,04
M3	5,5	5	4	1,05
M3	8,7	18	5	0,91
M3	8,7	7	5	0,91
M3	2,3	18	5	0,85
M3	2,3	7	5	0,91
M3	5,5	13	5	0,82
M3	10,0	13	5	0,78
M3	1,0	13	5	0,93
M3	5,5	20	5	0,71
M3	5,5	5	5	0,81

APÊNDICE J – RESULTADOS DE RT-qPCR PARA MADEIRA 1

Madeira	Tempo	Repetição	C _T	C _T Mean	C _T SD	Quantity	Quantity Mean	Quantity SD
1	Antes	1	20,12	20,16	0,06	367742560	357613792	14324241
1	Antes	1	20,21	20,16	0,06	347485024	357613792	14324241
1	Antes	2	20,16	19,93	0,23	358661536	418441056	60704920
1	Antes	2	19,92	19,93	0,23	416630720	418441056	60704920
1	Antes	2	19,70	19,93	0,23	480030880	418441056	60704920
1	Antes	3	20,27	19,85	0,38	332984128	443276448	99939136
1	Antes	3	19,73	19,85	0,38	469019648	443276448	99939136
1	Antes	3	19,55	19,85	0,38	527825568	443276448	99939136
1	Antes	4	19,86	20,10	0,24	433845024	373833472	57486176
1	Antes	4	20,34	20,10	0,24	319259008	373833472	57486176
1	Antes	4	20,11	20,10	0,24	368396384	373833472	57486176
1	Antes	5	21,13	20,31	0,71	192843920	345682272	132457880
1	Antes	5	19,92	20,31	0,71	417059712	345682272	132457880
1	Antes	5	19,88	20,31	0,71	427143168	345682272	132457880
1	Antes	6	19,91	19,95	0,05	420499904	410349760	14354471

1	Antes	6	19,98	19,95	0,05	400199616	410349760	14354471
1	Antes	7	19,75	20,51	0,74	464910752	308255584	143770560
1	Antes	7	20,56	20,51	0,74	277512992	308255584	143770560
1	Antes	7	21,22	20,51	0,74	182342928	308255584	143770560
1	Antes	8	20,48	20,51	0,04	292347296	285763552	7159972
1	Antes	8	20,51	20,51	0,04	286802464	285763552	7159972
1	Antes	8	20,56	20,51	0,04	278140864	285763552	7159972
1	Antes	9	20,27	20,22	0,27	333598464	347320544	61427968
1	Antes	9	20,47	20,22	0,27	293914048	347320544	61427968
1	Antes	9	19,93	20,22	0,27	414449088	347320544	61427968
1	Depois	1	20,43	20,35	0,14	301898880	317238496	29596272
1	Depois	1	20,44	20,35	0,14	298460992	317238496	29596272
1	Depois	1	20,19	20,35	0,14	351355648	317238496	29596272
1	Depois	2	20,53	20,28	0,27	281972640	335568352	57178132
1	Depois	2	20,29	20,28	0,27	328975168	335568352	57178132
1	Depois	2	20,00	20,28	0,27	395757280	335568352	57178132
1	Depois	3	20,20	20,36	0,20	349381248	315760352	38753144
1	Depois	3	20,58	20,36	0,20	273375840	315760352	38753144
1	Depois	3	20,31	20,36	0,20	324523968	315760352	38753144
1	Depois	4	20,47	20,54	0,10	293656704	281136928	18396338
1	Depois	4	20,49	20,54	0,10	289738624	281136928	18396338
1	Depois	4	20,66	20,54	0,10	260015456	281136928	18396338
1	Depois	5	20,41	20,91	0,53	304219776	229603712	74191680
1	Depois	5	21,46	20,91	0,53	155843824	229603712	74191680
1	Depois	5	20,86	20,91	0,53	228747568	229603712	74191680
1	Depois	6	20,23	20,80	0,50	342706336	246709248	83636880
1	Depois	6	21,16	20,80	0,50	189570368	246709248	83636880
1	Depois	6	21,01	20,80	0,50	207851008	246709248	83636880
1	Depois	7	20,54	20,53	0,20	280211360	284574720	36597048
1	Depois	7	20,72	20,53	0,20	250354944	284574720	36597048
1	Depois	7	20,32	20,53	0,20	323157824	284574720	36597048
1	Depois	8	20,49	20,38	0,16	289066656	312017152	32456880
1	Depois	8	20,26	20,38	0,16	334967616	312017152	32456880
1	Depois	9	20,05	20,18	0,18	383247360	354868192	38966224
1	Depois	9	20,38	20,18	0,18	310440640	354868192	38966224
1	Depois	9	20,10	20,18	0,18	370916512	354868192	38966224
1	Depois	10	20,52	20,49	0,03	284148992	290830592	5792885
1	Depois	10	20,47	20,49	0,03	294444480	290830592	5792885
1	Depois	10	20,47	20,49	0,03	293898336	290830592	5792885

APÊNDICE H – RESULTADOS DE RT-qPCR PARA MADEIRA 2

Madeira	Tempo	Repetição	Ct	Ct Mean	Ct SD	Quantity	Quantity Mean	Quantity SD
2	Antes	1	20,80	20,44	0,31	238503008	303438336	56537916
2	Antes	1	20,23	20,44	0,31	341744576	303438336	56537916
2	Antes	1	20,29	20,44	0,31	330067392	303438336	56537916
2	Antes	2	19,82	20,42	0,99	444344576	339476864	167954832
2	Antes	2	19,88	20,42	0,99	428326048	339476864	167954832
2	Antes	2	21,57	20,42	0,99	145759952	339476864	167954832
2	Antes	3	21,73	21,34	0,37	124839256	163715968	37974004
2	Antes	3	21,00	21,34	0,37	200717808	163715968	37974004
2	Antes	3	21,29	21,34	0,37	165590832	163715968	37974004
2	Antes	4	21,36	21,58	0,36	158532448	140172208	30027984
2	Antes	4	21,38	21,58	0,36	156464736	140172208	30027984
2	Antes	4	21,99	21,58	0,36	105519432	140172208	30027984
2	Antes	5	21,44	21,56	0,46	150957456	143435888	39830296
2	Antes	5	22,06	21,56	0,46	100381048	143435888	39830296
2	Antes	5	21,18	21,56	0,46	178969136	143435888	39830296
2	Antes	6	21,58	21,69	0,19	137451488	128752792	15431813
2	Antes	6	21,58	21,69	0,19	137871552	128752792	15431813
2	Antes	6	21,91	21,69	0,19	110935312	128752792	15431813
2	Antes	7	23,25	23,25	0,36	46267096	47175404	10864620
2	Antes	7	23,60	23,25	0,36	36793456	47175404	10864620
2	Antes	7	22,89	23,25	0,36	58465668	47175404	10864620
2	Antes	9	21,90	21,44	0,40	111523328	153687808	36633636
2	Antes	9	21,24	21,44	0,40	171830608	153687808	36633636
2	Antes	9	21,19	21,44	0,40	177709504	153687808	36633636
2	Antes	10	20,78	20,82	0,31	231747408	227823568	44264692
2	Antes	10	21,15	20,82	0,31	181727584	227823568	44264692
2	Antes	10	20,54	20,82	0,31	269995712	227823568	44264692
2	Depois	1	22,87	22,73	0,20	63789072	69916200	9017387
2	Depois	1	22,82	22,73	0,20	65688880	69916200	9017387
2	Depois	1	22,51	22,73	0,20	80270648	69916200	9017387
2	Depois	2	21,35	20,61	0,74	167418992	288042048	132139504
2	Depois	2	19,87	20,61	0,74	429275808	288042048	132139504
2	Depois	2	20,62	20,61	0,74	267431344	288042048	132139504
2	Depois	3	22,14	21,99	0,13	95737600	105578872	9012743
2	Depois	3	21,96	21,99	0,13	107568360	105578872	9012743
2	Depois	3	21,88	21,99	0,13	113430648	105578872	9012743
2	Depois	4	21,34	21,47	0,27	160221296	148858816	24733746
2	Depois	4	21,78	21,47	0,27	120485536	148858816	24733746
2	Depois	4	21,29	21,47	0,27	165869616	148858816	24733746
2	Depois	5	21,71	21,76	0,08	126532568	122431072	6382725
2	Depois	5	21,72	21,76	0,08	125683376	122431072	6382725
2	Depois	5	21,85	21,76	0,08	115077256	122431072	6382725
2	Depois	6	22,19	22,07	0,15	92645360	100378216	10316453

2	Depois	6	22,12	22,07	0,15	96397280	100378216	10316453
2	Depois	6	21,89	22,07	0,15	112092032	100378216	10316453
2	Depois	7	22,95	21,95	0,89	56501488	119257408	58464080
2	Depois	7	21,68	21,95	0,89	129087320	119257408	58464080
2	Depois	7	21,23	21,95	0,89	172183440	119257408	58464080
2	Depois	8	20,83	21,54	0,62	223470880	148908704	64648508
2	Depois	8	21,86	21,54	0,62	114756720	148908704	64648508
2	Depois	8	21,94	21,54	0,62	108498520	148908704	64648508
2	Depois	9	23,62	23,50	0,14	36471544	39396084	3674933
2	Depois	9	23,35	23,50	0,14	43521140	39396084	3674933
2	Depois	9	23,55	23,50	0,14	38195564	39396084	3674933