



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE  
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA  
E TERRITÓRIO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
INTERDISCIPLINAR EM ENERGIA E  
SUSTENTABILIDADE**

**USO DE *MORINGA OLEIFERA* NO TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA E  
SEDIMENTO DE LAGOA DE ZOOLOGICO**

**FERNANDA RUBIO**

Foz do Iguaçu  
2024



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA,  
INFRAESTRUTURA  
E TERRITÓRIO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
INTERDISCIPLINAR EM ENERGIA E  
SUSTENTABILIDADE**

**USO DE *MORINGA OLEIFERA* NO TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA E  
SEDIMENTO DE LAGOA DE ZOOLOGICO**

**FERNANDA RUBIO**

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade do Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Energia e Sustentabilidade.

Área de concentração: Energia e Sustentabilidade

Orientadora: Dra. Caroline da Costa Silva Gonçalves

Co-orientadora: Dra. Marcela Boroski

Co-orientadora: Dra. Priscila Ferri Coldebella

Foz do Iguaçu  
2024

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação  
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - PTI

R896u

Rubio, Fernanda.

Uso de moringa oleifera no tratamento de água residuária e sedimento de lagoa de zoológico / Fernanda Rubio. - Foz do Iguaçu, 2024.

91 fls.: il.

Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura, Programa de Pós-graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade.

Orientador: Caroline da Costa Silva Gonçalves.

Coorientador: Marcela Boroski.

Coorientador: Priscila Ferri Coldebella.

1. Água - Purificação - Coagulação. 2. Vermicompostagem. 3. Animais de zoológico. I. Gonçalves, Caroline da Costa Silva. II. Boroski, Marcela. III. Coldebella, Priscila Ferri. IV. Título.

CDU 628.4


**USO DE *MORINGA OLEIFERA* NO TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA E  
SEDIMENTO DE LAGOA DE ZOOLOGICO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade do Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Energia e Sustentabilidade.

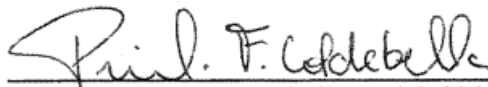
**BANCA EXAMINADORA**



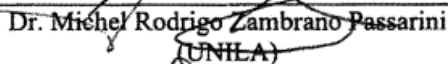
Orientadora: Dra. Caroline da Costa Silva Gonçalves  
(UNILA)



Co-orientadora: Dra. Marcela Boroski  
(UNILA)



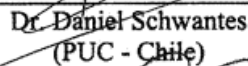
Co-orientadora: Dra. Priscila Ferri Coldebella  
(UDC)



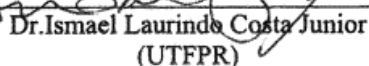
Dr. Michel Rodrigo Zambrano Passarini  
(UNILA)



Dra. Maria das Graças Cleophas Porto  
(UNILA)



Dr. Daniel Schwantes  
(PUC - Chile)



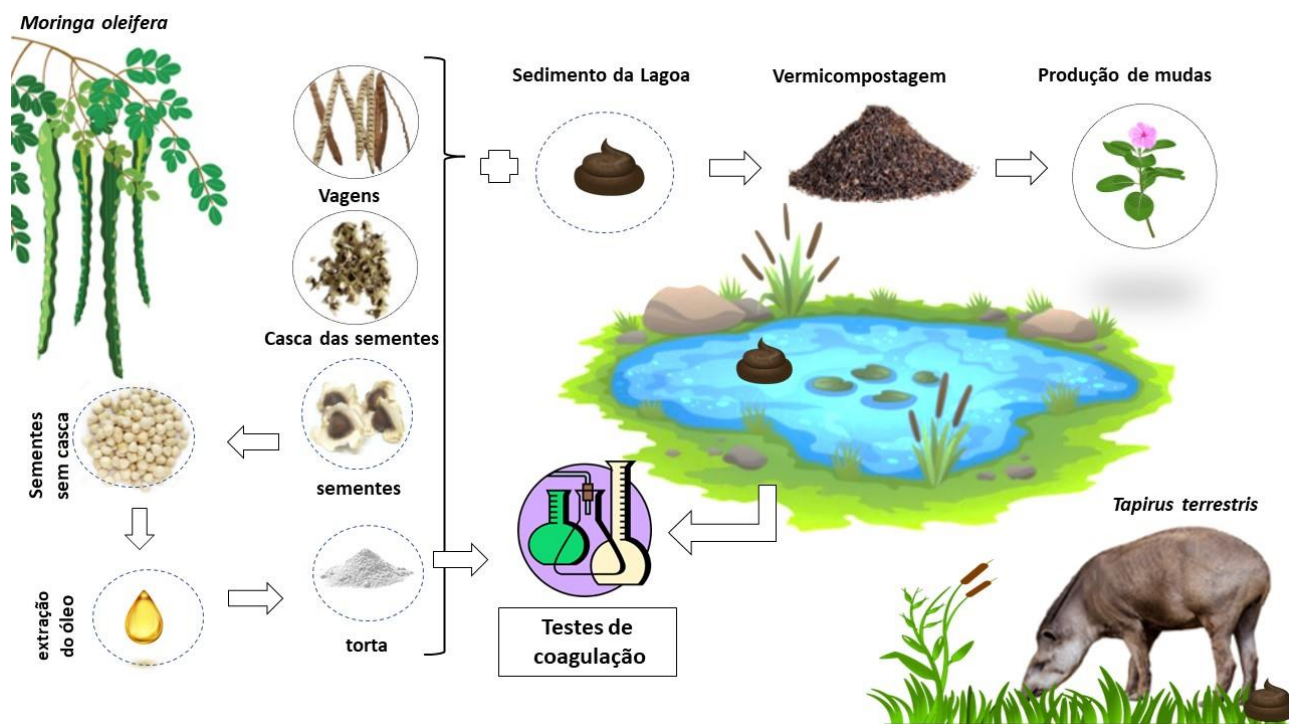
Dr. Ismael Laurindo Costa Junior  
(UTFPR)

Foz do Iguaçu, 26 de julho de 2024.

Dedico este trabalho a minha sobrinha  
*Anne Liz,*  
que me ensina todos os dias a ver o mundo  
por um outro espectro.

RUBIO, Fernanda. Uso de *Moringa oleifera* no tratamento de água residuária e sedimento de lagoa de zoológico. 26/07/2024. 91 folhas. Tese (Doutorado em Energia e Sustentabilidade) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu.

Figura 1 - Graphical abstract da pesquisa



Fonte - o autor, (2022).

RUBIO, Fernanda. Uso de *Moringa oleifera* no tratamento de água residuária e sedimento de lagoa de zoológico. 26/07/2024. 91 folhas. Tese (Doutorado em Energia e Sustentabilidade) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu.

## RESUMO

Esta pesquisa teve como foco o gerenciamento de dois resíduos distintos, sendo um deles as partes dos frutos de *Moringa oleifera* (moringa) e o outro os sedimentos provenientes de uma lagoa de recinto de zoológico utilizada por *Tapirus terrestris* (anta). A moringa, apesar de ser amplamente difundida e comercializada em todo o mundo, não foram identificados estudos relacionados à destinação de seus coprodutos por meio de estabilização aeróbia. Inicialmente foi realizada quantificação das partes do fruto de moringa, que revelou ser 77% formado de coprodutos como valvas e cascas das sementes. Os sedimentos das lagoas do zoológico são provenientes da defecação do maior mamífero da América Latina, a anta, que tem a característica peculiar de defecar na água, o que representa um grande desafio para os zoológicos, devido ao volume de material orgânico depositado nessas lagoas. O sedimento de lagoa utilizado neste estudo foi recolhido no zoológico Roberto Ribas Lange localizado no Refúgio Biológico Bela Vista na cidade de Foz do Iguaçu/PR. Duas lagoas artificiais foram selecionadas (L1 e L2), medidas e suas águas analisadas, sendo verificado que a maior carga poluidora se encontrava no fundo. A torta das sementes de moringa (MO) foi utilizada em estudo comparativo com o coagulante sintético sulfato de alumínio (SA) no tratamento da água da L1, em escala laboratorial. Os coagulantes (natural e sintético) apresentaram semelhança na diminuição dos níveis de turbidez, remoção de fósforo, nitrogênio amoniacal e material particulado, contudo, o tratamento com MO não alterou o pH do efluente e produziu um lodo passível de tratamento neutro para o ambiente. Os sedimentos da lagoa L1 foram coletados, quantificados, pré-compostado e utilizado em vermicompostagem com minhocas da espécie *Eisenia foetida* e partes dos frutos de moringa, avaliados em cinco condições experimentais, nas quais foram variadas as proporções de resíduos. Os vermicompostos não foram fitotóxicos e diferiram quanto à relação C/N, tiveram seus teores de P, K, Ca e condutividade elétrica aumentados durante a estabilização. O desenvolvimento das plantas da espécie *Catharanthus roseus* (CR) foi avaliado utilizando, além dos vermicompostos, dois compostos comerciais. Os vermicompostos proporcionaram melhor desenvolvimento de CR que os compostos comerciais, principalmente aqueles que não utilizaram a semente de moringa em sua composição. Os frutos de moringa podem ser utilizados em sua integralidade, apresentando-se viável nos tratamentos por clarificação de águas residuárias e também em processos de estabilização por vermicompostagem, sendo alternativas sustentáveis na gestão de resíduos em ambientes de proteção ambiental.

**Palavras-chave:** Coagulação. Vermicompostagem. Animais sob cuidados humanos. Resíduos. Antas.

RUBIO, Fernanda. Uso de *Moringa oleifera* en el tratamiento de agua residual y sedimento de laguna de zoológico. 26/07/2024. 91 hojas. Tesis (Doctorado en Energía y Sostenibilidad) – Universidad Federal de la Integración Latinoamericana, Foz do Iguaçu.

## RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo la valorización de dos residuos distintos, siendo ellos partes de los frutos de *Moringa oleifera* y sedimentos de la laguna del recinto del zoológico utilizada por *Tapirus terrestris* (tapir). A pesar de que la moringa sea ampliamente difundida y comercializada en todo el mundo, no se han identificado estudios relacionados con la disposición de sus coproductos mediante la estabilización aeróbica. Inicialmente se realizó la cuantificación de las partes del fruto de moringa, que reveló que el 77% de este consiste en coproductos como valvas y cáscaras de las semillas. Los sedimentos de las lagunas del zoológico provienen de la defecación del mayor mamífero de América Latina, el tapir, que tiene la característica peculiar de defecar en el agua, lo que representa un gran desafío para los zoológicos que lo albergan, debido al volumen de material orgánico depositado en esas lagunas. El sedimento de laguna utilizado en este estudio fue recolectado en el zoológico Roberto Ribas Lange ubicado en el Refugio Biológico Bela Vista en la ciudad de Foz do Iguaçu/PR. Se seleccionaron dos lagunas artificiales (L1 y L2), fueron dimensionadas y sus aguas analizadas, verificándose que la mayor carga contaminante se encuentra en el fondo. La torta de semillas de moringa (TOR) se utilizó en comparación con el coagulante sintético sulfato de aluminio (SA) en el tratamiento del agua de la L1, a escala de laboratorio. Los coagulantes (natural y sintético) presentaron similitud en la disminución de los niveles de turbidez y la eliminación de fósforo, nitrógeno amoniacal y masa seca, sin embargo, el tratamiento con moringa no alteró el pH del efluente y produjo un lodo rico en nutrientes y susceptible de tratamiento neutro para el medio ambiente. Se recolectó, cuantificó, precompostó y utilizó el sedimento de la laguna L1 para estabilización por vermicompostaje utilizando lombrices *Eisenia foetida*, con partes de los frutos de moringa evaluadas en cinco condiciones experimentales, en las que se variaron las proporciones de residuos. Los vermicompuestos no fueron fitotóxicos y diferían en cuanto a la relación C/N, teniendo sus niveles de P, K, Ca y conductividad eléctrica aumentados durante la estabilización. Se evaluó el desarrollo de las plantas de *Catharanthus roseus* utilizando, además de los vermicompuestos, dos compostos comerciales. Los vermicompuestos proporcionaron mejor desarrollo de *C. roseus* que los compostos comerciales, siendo T2 (65% sedimento + 35% valvas de frutos) y T3 (50% sedimento + 35% valvas + 15% cáscaras de semillas) los mejores tratamientos. Los frutos de moringa pueden ser utilizados en su totalidad, siendo viables en tratamientos por clarificación de aguas residuales y también en procesos de estabilización por vermicompostaje, representando una alternativa sostenible en el tratamiento de residuos en entornos de protección ambiental.

**Palabras clave:** Coagulación. Vermicompostaje. Animales bajo cuidado humano. Residuos. Tapires.

RUBIO, Fernanda. Use of *Moringa oleifera* in the Treatment of Wastewater and Sediment from Zoo Ponds. July 26, 2024. 91 pages. Dissertation (Doctorate in Energy and Sustainability) – Federal University for Latin American Integration, Foz do Iguaçu.

## ABSTRACT

This study aimed to valorize two distinct waste materials, namely parts of the fruits of *Moringa oleifera* and sediment from a zoo pond used by *Tapirus terrestris* (the lowland tapir). Despite *Moringa* being widely disseminated and commercialized globally, no studies have been identified related to the destination of its by-products through aerobic stabilization. Initially, quantification of the parts of the *Moringa* fruit revealed that 77% of it consists of by-products such as valves and seed husks. The sediments from zoo ponds originate from the defecation of the largest mammal in Latin America, the tapir, which has the peculiar characteristic of defecating in water, representing a significant challenge for zoos that maintain it due to the volume of organic material deposited in these ponds. The pond sediment used in this study was collected at the Roberto Ribas Lange Zoo, located at the Bela Vista Biological Refuge in the city of Foz do Iguaçu/PR. Two artificial ponds were selected (L1 and L2), dimensioned, and their waters analyzed, verifying that the highest pollutant load is found at the bottom. *Moringa* seed cake (TOR) was used in comparison with the synthetic coagulant Aluminum Sulfate (AS) in the treatment of L1 water on a laboratory scale. The coagulants (natural and synthetic) showed similarity in reducing turbidity levels and removing phosphorus, ammoniacal nitrogen, and dry mass; however, the treatment with MO did not alter the effluent pH and produced sludge rich in nutrients, suitable for neutral environmental treatment. The sediment from pond L1 was collected, quantified, pre-composted, and used for stabilization by vermicomposting using *Eisenia foetida* worms with parts of the *Moringa* fruits evaluated under five experimental conditions in which the proportions of waste were varied. The vermicomposts were non-phytotoxic and differed in C/N ratio, with increased P, K, Ca contents, and electrical conductivity during stabilization. The development of *Catharanthus roseus* plants was evaluated using, in addition to the vermicomposts, two commercial composts. Vermicomposts provided better development of *C. roseus* than commercial composts, with T2 (65% sediment + 35% fruit valves) and T3 (50% sediment + 35% valves + 15% seed husks) being the best treatments. *Moringa* fruits can be used in their entirety, proving viable in wastewater clarification treatments and in stabilization processes by vermicomposting, providing a sustainable alternative in waste treatment in environmentally protected areas.

**Keywords:** Coagulation. Vermicomposting. Animals under human care. Waste. Tapirs.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - <i>Graphical abstract</i> da pesquisa .....	6
Figura 2 - Delineamento do trabalho Uso de <i>Moringa oleifera</i> no tratamento de água residuária e sedimento de lagoa de zoológico .....	20
Figura 3 - <i>Tapirus terrestris</i> moradores do Refúgio Biológico Bela Vista .....	22
Figura 4 - Propriedades físicas, químicas e biológicas do vermicomposto no solo e desenvolvimento vegetal .....	26
Figura 5 - Usos potenciais das partes de <i>Moringa oleifera</i> .....	27
Figura 6 – a) Representação das partes da <i>Moringa oleifera</i> ; b) Fruto de <i>Moringa oleifera</i> aberto evidenciando sementes (s) e valvas (v) .....	28
Figura 7 - Mecanismo de coagulação e floculação com sementes de <i>Moringa oleifera</i> .....	30
Figura 8 - Teste convencional de coagulação utilizando Jar Test .....	32
Figura 9 – Localização da área de estudo.....	34
Figura 10 - Lagoa 1 (a) e Lagoa 2 (b) utilizadas por <i>Tapirus terrestris</i> no Refúgio Biológico Bela Vista.....	35
Figura 11 - Determinação das dimensões das lagoas: a) L1 e b) L2 .....	35
Figura 12 - a) Limpeza das lagoas L1, b) Limpeza das lagoas L2, c) Limpeza das lagoas L1, d) Recolhimento do sedimento .....	36
Figura 13 - Metodologia quanto a coleta e avaliação de água de lagoa artificial de zoológico	37
Figura 14 - Preparação e uso do coagulante a base de moringa em escala laboratorial .....	39
Figura 15 - Partes do fruto de moringa .....	42
Figura 16 - Etapas de coletada do sedimento da lagoa de zoológico utilizada pelas antas .....	44
Figura 17 - <i>Graphical abstract</i> referente ao estudo de clarificação das águas das lagoas das antas .....	47
Figura 18 - a) Espectros de FT-IR para torta e sementes de <i>Moringa oleifera</i> ; b) Espectros de FT-IR ampliados.....	52
Figura 19 - Micrografias eletrônicas de varredura de: (a) e (b) amêndoas de moringa integral; (c) e (d) torta de amêndoa de moringa.....	53
Figura 20 - Índice de germinação (%IG) de sementes e torta de <i>Moringa oleifera</i> .....	54
Figura 21 - Turbidez da água (NTU), porcentagem acumulada de remoção (%) e a taxa de remoção por minuto (%/min) em função do tempo de sedimentação da água residual de lagoa de zoológico.....	55

Figura 22 - Resultados da otimização das doses dos coagulantes <i>Moringa oleifera</i> (MO) e Sulfato de Alumínio (SA) para a redução da turbidez em água residual de lagoa de zoológico: (a) redução da turbidez, (b) regressões ajustadas pelo modelo polinomial de segundo grau para doses de coagulante vs. turbidez, (c) % de remoção total da turbidez, e (d) ajuste exponencial para o efeito da eficiência de remoção relativa .....	57
Figura 23 - Resultados do teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) para avaliação dos coagulantes <i>Moringa oleifera</i> (MO) e Sulfato de Alumínio (SA) aplicados no tratamento de água residual de lagoa de zoológico: (a) turbidez, (b) remoção total da turbidez, e (c) eficiência de remoção relativa da turbidez por dose de coagulante .....	58
Figura 24 - Concentração de Fósforo e Nitrogênio amoniacal das águas de entrada (ENT), lagoa das antas (LAG), água tratada com torta de moringa (CFM) e água tratada com sulfato de alumínio (CFS) .....	60
Figura 25 - Graphical abstract sobre estudo quanto ao uso de partes de moringa e sedimento de lagoa de zoológico por vermicompostagem .....	63
Figura 26 - Micrografias eletrônicas de varredura de (a) cascas das sementes de moringa; (b) valvas de moringa .....	66
Figura 27 - Espectros de FT-IR das partes do fruto da <i>Moringa oleifera</i> .....	68
Figura 28 - Percentual do índice de germinação (IG) de teste de fitotoxicidade do partes do fruto (a) e óleo (b) de <i>Moringa oleifera</i> .....	69
Figura 29 - a) pH e b) CE dos vermicompostos ao longo do processo de estabilização .....	71
Figura 30 - a) Razão C/N e b) COT dos vermicompostos ao longo do processo de estabilização .....	72
Figura 31 - Espectros de FTIR de vermicompostos a) pré e b) pós-estabilização .....	73
Figura 32 - - Análise de Componentes Principais (PCA) e Boxplot com uso de 100% do composto.....	74
Figura 33 - Análise de Componentes Principais (PCA) e Boxplot com uso de 25% de areia .	75
Figura 34 - Análise de Componentes Principais (PCA) e Boxplot com uso de 50% de areia .	76
Figura 35 - Mudanças obtidas nos tratamentos com compostos comerciais (T6 e T7) e vermicompostos produzidos a partir de sedimento de lagoa utilizado por <i>Tapirus terrestris</i> e <i>Moringa oleifera</i> .....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condições adequadas para vermicompostagem .....	26
Tabela 2 - Usos potenciais de sementes de <i>Moringa oleifera</i> no tratamento de águas .....	30
Tabela 3 - Análises e métodos analíticos utilizados para caracterizações físico-químicas das amostras de águas .....	37
Tabela 4 - Análises e métodos analíticos utilizados para caracterizações físico-químicas das amostras de água.....	38
Tabela 5 - Análises e métodos analíticos utilizados para caracterizações físico-químicas das amostras de sedimento .....	43
Tabela 6 - Caracterização dos tratamentos de vermicompostagem utilizando sedimento de lagoa e moringa .....	44
Tabela 7 - Análises e métodos analíticos utilizados para caracterizações físico-químicas das amostras de sedimento.....	45
Tabela 8 - Caracterização das águas residuárias das Lagoas L1 e L2 .....	51
Tabela 9 - Caracterização das águas lagoas quanto a clorofila- <i>a</i> e Índice de eutrofização (IET) .....	51
Tabela 10 - Resumo da Análise de Variância (ANOVA) para turbidez (NTU), remoção acumulada da turbidez (%) e remoção percentual por minuto (%/min) em função do tempo de sedimentação da água residual de lagoa de zoológico.....	56
Tabela 11 - Resultados da otimização das doses (ou concentrações) de coagulantes em relação à redução da turbidez da água residual de lagoa de zoológico: Turbidez (NTU), redução total da turbidez (%R) e eficiência de remoção relativa (%R/dose).....	56
Tabela 12 - Caracterização das águas de entrada (ENT), água bruta da lagoa das antas (LAG), água coagulada/floculada com moringa (CFM) e água coagulada/floculada com sulfato de alumínio (CFS) .....	59
Tabela 13 - Demanda química de oxigênio (DQO) e Índice de germinação (IG) das águas de entrada (ENT), água bruta da lagoa das antas (LAG), água tratada com torta de moringa (CFM) e água tratada com sulfato de alumínio (CFS).....	61
Tabela 14 - Caracterização dos vermicompostos produzidos com sedimento de lagoa utilizadas por <i>Tapirus terrestris</i> e partes dos frutos de <i>Moringa oleifera</i> .....	70

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

%O	Percentual de oxigênio
$\mu\text{g L}^{-1}$	Micrograma por litro
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APHA	Standard Methods for examination of water and wastewater
BOD	Câmara de Germinação
C/N	Relação C/N
Cd	Cádmio
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia ambiental do Estado de São Paulo
CFM	Água Coagulada/Floculada com Moringa
CFS	Água Coagulada/Floculada com Sulfato de alumínio
cho- <i>a</i>	Clorofila- <i>a</i>
COD	Carbono orgânico dissolvido
COT	Carbono orgânico total
Cr	Cromo
CV	Coefficiente de variação
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DIC	Delineamento inteiramente casualizado
DQI	Índice de qualidade de Dickson
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ENT	Água de entrada
FT-IR	Espectroscopia do Infravermelho
$\text{g m}^{-2}$	Grama por metro quadrado
H	Altura da planta (cm)
IAT	Instituto Água e Terra
IET	Índice de estado trófico
IFPR	Instituto Federal do Paraná
IG	Índice de Germinação
IN	Instrução Normativa
INCAB	Iniciativa Nacional para a Conservação da Anta Brasileira
IUCN	International Union for Conservation of Nature
kg	quilograma
L1	Lagoa 1
L2	Lagoa 2
LAG	Água bruta da lagoa
Lam.	Lamarck
LQ	Limite Quantificável
LRcont	comprimento médio das radículas do controle.
LRext	comprimento médio das radículas do extrato
$\text{m}^2$	Metro quadrado
$\text{m}^3$	Metro cúbico
$\text{m}^3 \text{h}^{-1}$	Metro cúbico por hora
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
$\text{mg L}^{-1}$	Miligrama por litro
Mn	Manganês
MO	Solução coagulante a base de moringa

MS	Massa Seca
mS cm <sup>-1</sup>	Milisiemens por centímetro
MSLC	Massa Seca Livre de Cinzas
N15	Profundidade de até 15 cm
N50	Profundidade de 50 cm
NGcont	número de sementes germinadas no controle,
NGext	número de sementes germinadas no extrato
Nº	Número
NTK	Nitrogênio total Kjeldahl
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
OD	Oxigênio dissolvido
pH	Potencial hidrogeniônico
PT	Fósforo total
RAD	relação da altura parte aérea com o diâmetro do colo
RBBV	Refúgio Biológico Bela Vista
RDM	Massa seca de raiz (g)
RPAR	relação da matéria seca da parte aérea
SA	Sulfato de Alumínio
SD	Diâmetro do colo (cm)
SDM	Massa seca de parte área (g)
SED	Sedimento de Provas
SEM	Semente/Amêndoa
SF	Cinzas
ST	Sólidos totais
SV	Matéria orgânica
TCa	Cálcio Total
TDM	Massa seca total (g)
TK	Potássio total
TOR	Torta
TP	Fósforo total
U	umidade
UV	Espectroscopia de absorção do ultravioleta e visível
VAL	Valvas
WAZA	World Association of Zoos and Aquariums

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	<b>10</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>12</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS</b> .....	<b>13</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>21</b>
2.1 BEM-ESTAR PARA ANIMAIS SOB CUIDADO HUMANO.....	21
2.1.1 <i>Tapirus terrestris</i> e sua ação no meio ambiente .....	22
2.2 TRATAMENTOS ALTERNATIVOS PARA RESÍDUOS EM ZOOLOGICOS .....	23
2.2.1 Vermicompostagem .....	25
2.3 <i>Moringa oleifera</i> E SUAS POTENCIALIDADES .....	27
2.3.1 Uso de <i>Moringa oleifera</i> no tratamento de águas.....	29
2.4 PROCESSO DE CLARIFICAÇÃO .....	31
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	<b>33</b>
3.1 OBJETIVO GERAL.....	33
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	33
<b>4 PLANEJAMENTO DA PESQUISA</b> .....	<b>34</b>
4.1 ÁREA DE ESTUDO .....	34
4.2 ESTUDO DAS ÁGUAS.....	35
4.2.1 Caracterização das Lagoas.....	35
4.2.2 Coleta e caracterização das águas das lagoas .....	36
4.3 ENSAIOS DE FITOTOXICIDADE.....	41
4.4 ESTUDO DOS FRUTOS DE MORINGA.....	41
4.4.1 Caracterização das partes dos frutos de moringa.....	42
4.5 ESTUDO DO SEDIMENTO.....	43
4.5.1 Ensaio de vermicompostagem .....	43
4.5.3 Análise de Dados.....	46
<b>5 CAPÍTULO I - USO DE SEMENTES DE MORINGA OLEIFERA NA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA EM ZOOLOGICO</b> .....	<b>47</b>
5.1 INTRODUÇÃO.....	48
5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
5.2.1 Caracterização das amostras .....	50

5.2.2 Caracterização das sementes de moringa para testes de clarificação .....	52
5.2.3 Testes de clarificação .....	55
5.3 CONCLUSÕES .....	61
<b>6 CAPÍTULO II - VALORIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DOS COPRODUTOS DE MORINGA OLEIFERA LAM. E RESÍDUO DE ZOOLOGICO.....</b>	<b>63</b>
6.1 INTRODUÇÃO.....	64
6.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	66
6.2.1 Caracterização das partes do fruto de <i>Moringa oleifera</i> .....	66
6.2.2 Processo de estabilização do sedimento da lagoa por vermicompostagem .....	69
6.2.3 Desenvolvimento vegetal.....	73
6.3 CONCLUSÕES .....	78
<b>7 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....</b>	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Zoológicos são ambientes que tem como uma das finalidades apresentar a comunidade como é possível o bom gerenciamento de seus recursos, buscando atender aos conceitos de conservação ambiental e manter as condições de conforto e bem-estar dos animais. Entretanto, o método de operação e manutenção de um zoológico apresenta muitos obstáculos, principalmente por produzirem consideráveis quantidade de efluentes e resíduos orgânicos, decorrentes dos excrementos dos animais cativos (Cappellini *et al.*, 2021; WAZA, 2015, 2020).

Dentre as práticas de gerenciamento adequadas para ambientes de proteção ambiental, destacam-se aquelas que evitam o uso de produtos químicos sintéticos e que se apresentam viáveis quanto a disponibilidade e baixo custo. Nesse sentido, alternativas de tratamento natural precisam ser estudadas e uma delas é o uso de sementes de *Moringa oleifera* no tratamento de águas, por meio de práticas de coagulação (Baptista *et al.*, 2017; Ezeamaku *et al.*, 2018; Nhut *et al.*, 2021; Ueda Yamaguchi *et al.*, 2021). As sementes de moringa têm se mostrado promissoras no tratamento de águas, pois são naturais, não liberam poluentes, são biodegradáveis e apresentam menor custo do que os coagulantes químicos tradicionais (Abiyu *et al.*, 2018; Madrona *et al.*, 2017).

A literatura científica é extensa no que se refere ao uso das sementes de *Moringa oleifera* como coagulante orgânico para inúmeras aplicações em sistemas de tratamento. Exemplos incluem o tratamento físico-químico na eliminação de poluentes presentes na água residuária da agroindústria de azeite de oliva (Khattabi Rifi *et al.*, 2023), a remoção de microplásticos (Agarwal, Prakash e Saini, 2024), o tratamento de águas superficiais visando o consumo humano (Lester-Card *et al.*, 2023), o tratamento de efluente oleoso de siderurgia, esgoto doméstico (Desta e Bote, 2021), a utilização de resíduos de *Moringa oleifera* como coagulante na produção de queijo de cabra de pasta mole (Abdeen, Ibrahim e Kholif, 2021), e o tratamento de águas residuárias da agroindústria de óleo de palma (Mohamed Noor *et al.*, 2022), entre muitas outras aplicações.

Entretanto, no que diz respeito ao seu uso como coagulante em sistemas de tratamento de resíduos de zoológicos, onde os resíduos são derivados de animais silvestres e, geralmente, não devem ser tratados em conjunto com outros resíduos domésticos, a literatura é escassa. Com exceção de um único trabalho que apresenta resultados preliminares sobre o tratamento de efluentes de um zoológico situado em Sidney, Austrália (Rashinkar *et al.*, 2021), até o presente momento, não foram encontrados resultados científicos robustos que demonstrem

e comprovem a eficiência do uso de *Moringa oleifera* como coagulante no tratamento de águas residuárias de zoológicos. Além disso, não há artigos que relatem as possíveis complicações decorrentes da presença de seus compostos potencialmente tóxicos no sedimento gerado e a correta destinação desses resíduos.

A *Moringa oleifera* Lamarck é destaque global, sendo que o mercado mundial para a demanda de produtos derivados desta planta foi estimado em mais de 6,9 bilhões de dólares em 2020, e a expectativa é que haja expansão de 9,5% até 2028 (Factors FA, 2020; Patil *et al.*, 2022). Principalmente folhas e sementes são utilizadas em muitos setores industriais, como: farmacológicos, produção de biodiesel e cosméticos (Kavithambika, Indumathi e Mahendran, 2020; Masih *et al.*, 2019; Trigo *et al.*, 2020). Mas, apesar das sementes terem valor econômico, mais de 70% dos frutos são constituídos por valvas e cascas das sementes, que não apresentam uma destinação adequada e esses coprodutos, ricos em carbono, são passíveis de estabilização aeróbia como compostagem e vermicompostagem (Rubio *et al.*, 2024).

A vermicompostagem, um processo que utiliza minhocas e microrganismos na decomposição de resíduos orgânicos para acelerar a produção de composto estabilizado, constitui uma alternativa atrativa tanto por razões econômicas quanto ambientais. Este método é especialmente relevante para a resolução de problemas associados à destinação correta de resíduos orgânicos (Jjagwe *et al.*, 2019; Kachangoon *et al.*, 2022; Ramnarain, Ansari e Ori, 2019; Singh *et al.*, 2020), já que converte os resíduos em substratos ricos em nutrientes (Yuvaraj *et al.*, 2021), em menor tempo, com menos manejo e apresenta melhor qualidade do fertilizante do que a compostagem (Cotta *et al.*, 2015; Enebe e Erasmus, 2023). Além disso, alguns estudos ainda remetem o uso de minhocas como bioindicadoras de substâncias tóxicas (Caspers, 1984; Saint-Denis *et al.*, 2001), como é o caso da moringa, em que estudos indicam toxicidade, principalmente devido a porção lipídica na semente que contém glucosinolatos, saponinas, lectinas e fitatos (Attah *et al.*, 2022; Tahir *et al.*, 2018, 2020).

Para que um processo de estabilização por vermicompostagem ocorra de forma eficaz, a relação Carbono/Nitrogênio (C/N) inicial deve ser mantida próxima da proporção 25/1 (Melo *et al.*, 2020), já que essa terá influência na ação energética e estrutural dos organismos decompositores (Gusain e Suthar, 2020; Melo *et al.*, 2020; Voběrková *et al.*, 2017). Para atingir a razão ideal de C/N, dejetos, que são ricos em nitrogênio comumente são adicionados a subprodutos vegetais, os quais apresentam elevado percentual de carbono (Cotta *et al.*, 2015).

O zoológico Roberto Ribas Lange, localizado no Refúgio Biológico Bela Vista na cidade de Foz do Iguaçu/PR, abriga 189 animais de 52 espécies (Itaipu Binacional,

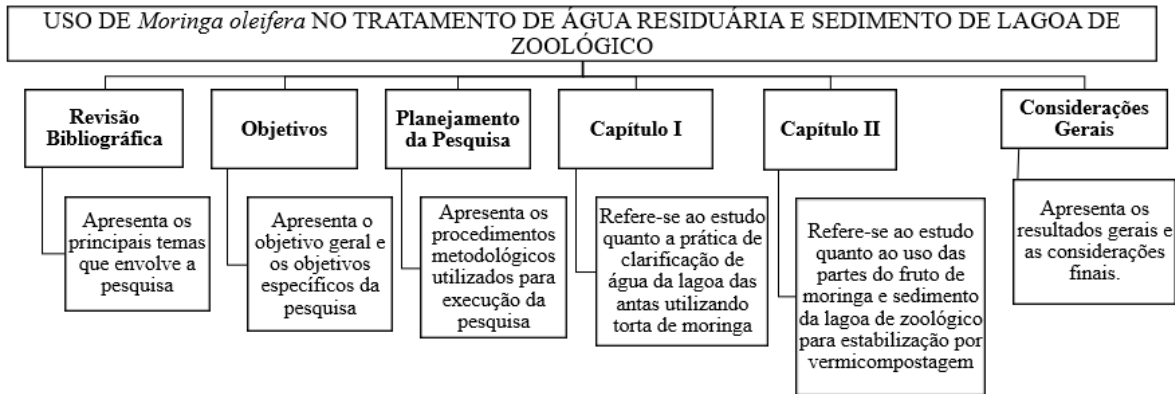
2024), dentre eles o maior mamífero da América Latina, a *Tapirus terrestris* Linnaeus (anta), que pesa entre 180 a 300 kg (Medici *et al.*, 2012). As antas são excelentes nadadoras e apresentam um fato peculiar de defecar na água (Bodmer, 1991; Thoisy *et al.*, 2014). Nos ambientes cativos esses animais devem ter acesso a uma piscina, caso contrário correm o risco de serem acometidos por prolapsos retais (Thoisy *et al.*, 2014). Permitir que esses animais sejam protegidos e conservados em ambientes sob cuidados humanos remete grandes desafios (Mellor *et al.*, 2020; Whittaker, 2019), associado a qualidade do ambiente disponibilizado a eles, especialmente quanto as características da água e o gerenciamento dos resíduos sólidos de forma sustentável ali produzidos (Cappelini *et al.*, 2021).

Metade da alimentação das antas é constituída por frutos, e por isso, esse grande herbívoro é um amplo dispersor de sementes, sendo considerado bioindicador da saúde de um ecossistema e responsável pela manutenção da biodiversidade (Dario, 2014; Ticiani, Onghero e Favretto, 2021). No entanto, esse animal está ameaçado de extinção, como indicado pela International Union for Conservation of Nature (IUCN, 2018) o que acomete preocupações quanto ao desequilíbrio ecológico e a conservação da espécie (Ferreguetti, Tomas e Bergallo, 2017; IUCN, 2018; Medici *et al.*, 2021; Medici, Mangini e Fernandes-Santos, 2014). Os zoológicos surgem como alternativas para proteção e propagação das espécies ameaçadas, mas altos padrões de bem-estar animal devem estar presentes (Jones *et al.*, 2022; Mellor *et al.*, 2020).

No zoológico Roberto Ribas Lange, as lagoas utilizadas pelas antas são limpas semanalmente, e os efluentes e sedimentos dessas lagoas são recolhidos por empresa especializada e retirado do local. No entanto, alguns trabalhos afirmam os benefícios de uso de compostos a base de dejetos de animais silvestres, como a produção de fertilizantes de alta qualidade e a reciclagem de nutrientes, devido a compostos nitrogenados encontrado nos excrementos dos animais, o que aumenta o valor nutricional do adubo orgânico (Cappelini *et al.*, 2021; Dhimal, Gautam e Tuladhar, 2015; Khan *et al.*, 2022; Pérez-Godínez *et al.*, 2017a).

O presente trabalho está delineado conforme Figura 2:

**Figura 2** - Delineamento do trabalho “Uso de *Moringa oleifera* no tratamento de água residuária e sedimento de lagoa de zoológico”



**Fonte** - o autor, (2024).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 BEM-ESTAR PARA ANIMAIS SOB CUIDADO HUMANO

As populações selvagens de muitas espécies estão diminuindo em um ritmo alarmante, sem que a comunidade científica tenha tempo suficiente para aprender sobre suas histórias, ecologias, fisiologias e comportamentos e, portanto, promover ações mais adequadas e pontuais para sua preservação (Thoisy *et al.*, 2014). Na busca por alternativas para abrigo e conservação das espécies ameaçadas, surgem os zoológicos, contudo, nos últimos anos o alojamento de animais em ambientes cativos só é recomendado mediante a adoção de altos padrões de bem-estar animal (Jones *et al.*, 2022; Mellor *et al.*, 2020; Whittaker, 2019).

A forma como o bem-estar é tipicamente descrito baseia-se em cinco liberdades, que incluem a liberdade da sede e da fome, liberdade de medo e angústia, liberdade de desconforto, liberdade de dor e sofrimento e liberdade para expressar comportamentos normais (Brambell, 1965). No entanto, estudos recentes indicam modelos que incluem também o domínio mental, que está relacionado com os estados cognitivos ou afetivos dos animais (Mellor *et al.*, 2020; Whittaker, 2019).

No Brasil, a Lei nº 7.173, de 14 de dezembro de 1983, regulamenta às condições mínimas de bem-estar para cada espécie em zoológicos (Brasil, 1983). A sua complementação se deu por meio da IN nº 4, de 4 de março de 2002, do IBAMA, que aborda, além dos critérios para o bem-estar animal físico e afetivo dos animais, a necessidade de programas de Educação Ambiental nos zoológicos (Brasil, 2002), visto que esses ambientes são parte de uma sociedade mais ampla, onde a sua influência pode ser usada para criar uma cultura de conservação (WAZA, 2015).

O Refúgio Biológico Bela Vista (RBBV) localizado na cidade de Foz do Iguaçu/PR, realiza diversos programas de Educação Ambiental e visa pelo bem-estar-animal. Com 1.780 ha, o RBBV é referência em conservação de fauna e flora e é reconhecido como um posto avançado da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA). Dentro do RBBV, o Zoológico Roberto Ribas Lange, abriga 189 animais de 52 espécies, sendo 15 répteis e anfíbios, 113 aves e 61 mamíferos, dentre eles, a anta (*Tapirus terrestris*) (Itaipu Binacional, 2024).

### 2.1.1 *Tapirus terrestris* e sua ação no meio ambiente

A anta (*Tapirus terrestris* Linnaeus) é o maior mamífero terrestre brasileiro (Figura 3) (Médici *et al.*, 2012), pesando entre 180 e 300 kg (Thoisy *et al.*, 2014). Por ser um grande herbívoro e se alimentar de elevadas quantidades de frutos, a anta dispersa porções significativas de sementes a longas distâncias, inclusive sementes grandes, o que é essencial na manutenção da dinâmica dos diferentes domínios fitogeográficos (Dario, 2014; Ticiani, Onghero e Favretto, 2021).

**Figura 3** - *Tapirus terrestris* moradores do Refúgio Biológico Bela Vista



**Fonte** - o autor, (2022).

As antas (ordem Perissodactyla; família Tapiridae) habitam as florestas tropicais do sul e América Central e Sudeste Asiático (Navas-Suárez *et al.*, 2019). A anta brasileira (*Tapirus terrestris*), uma das quatro espécies vivas no mundo, está listada entre as espécies ameaçadas de extinção na International Union for Conservation of Nature (Ferregueti, Tomas e Bergallo, 2017; IUCN, 2018), devido ao declínio populacional constante em diferentes biomas no Brasil, ocasionado pela caça furtiva, perda e fragmentação de habitat, atropelamentos, poluição por pesticidas, competição com gado doméstico e incêndios (Médici *et al.*, 2012; Medici, Mangini e Fernandes-Santos, 2014; Navas-Suárez *et al.*, 2019). Estudos indicam que todas as populações de antas, com menos de 200 indivíduos, podem desaparecer em até 33 anos, ou três gerações, mesmo as populações maiores estão sujeitas a declínios populacionais devido às mesmas pressões que atingem as populações pequenas (Médici *et al.*, 2012).

Em decorrência das ações antrópicas ocorre o desequilíbrio ecológico, que causa diversos desarranjos a um ecossistema e conseqüentemente compromete o modo de vida das espécies. Um exemplo disto é que foram encontrados fragmentos de anta na alimentação de onça parda (*Puma color*). Entretanto, a anta não faz parte da alimentação deste felino, mas frente às pressões ambientais os animais procuram se adaptar as condições alteradas (Azevedo *et al.*, 2016). Além das ações antrópicas, um outro obstáculo da propagação da espécie *Tapirus terrestris* é a biologia do animal, já que antas apresentam ciclo reprodutivo longo, com 13 a 14 meses de gestação e apenas um filhote (Médici *et al.*, 2012).

Programas como a Iniciativa Nacional para a Conservação da Anta Brasileira (INCAB) incentivam pesquisa e a conservação destes animais nos quatro biomas onde são encontrados: Mata Atlântica, Pantanal, Cerrado e Amazônia; e colocam as antas como embaixadoras para a conservação dos biomas, catalisando a conservação de habitats e educação ambiental (INCAB, 2022).

## 2.2 TRATAMENTOS ALTERNATIVOS PARA RESÍDUOS EM ZOOLOGICOS

Um zoológico, para atingir o objetivo da sustentabilidade, deve buscar que todas as suas atividades tragam poucos efeitos sobre o ambiente (WAZA, 2020) o que remete-se em um grande desafio para esses locais, principalmente no que tange o gerenciamento dos resíduos produzidos (Cappelini *et al.*, 2021), visto que muitas das técnicas para gestão desses resíduos, apresentam-se inviáveis devido as características tóxicas ou alto custo de investimento (Alshehrei e Ameen, 2021).

Dentre os resíduos gerados em um zoológico, os orgânicos normalmente são produzidos em grande escala, assim propiciar o gerenciamento dos mesmos por meio de processos de estabilização, produzindo compostos orgânicos para melhorar o desenvolvimento vegetal, é uma alternativa satisfatória de reciclagem de nutrientes (Alshehrei e Ameen, 2021; Cappelini *et al.*, 2021; Dores-Silva, Landgraf e Rezende, 2013; Kachangoon *et al.*, 2022). Alguns trabalhos já estudaram o uso de resíduos de zoológicos para a produção de compostos orgânicos, por exemplo, no trabalho de Cappelini *et al.*, (2021), a prática de compostagem realizada com dejetos dos animais e resíduos orgânicos em geral de um zoológico, produziu adubo de qualidade e favoreceu a economia de US\$ 50.000/ano para o zoo. Resultados semelhantemente foram obtidos no trabalho de Pérez-Godínez *et al.*, (2017) utilizando esterco de animais de zoológico em prática de estabilização por vermicompostagem. No estudo de

Khan et al., (2022) foram destacados os benefícios do uso de composto orgânico produzido em zoológico, favorecendo o desenvolvimento da cultura de espigão, além da redução da aplicação de fertilizantes nitrogenados.

Para que processos de estabilização de resíduos orgânicos sejam efetivos, é necessário conhecer as práticas de reciclagem e garantir os parâmetros para que o tratamento ocorra de maneira eficaz, dentre os quais podem ser citados o controle da umidade, pH, relação Carbono/Nitrogênio e maturação completa do composto (Gusain e Suthar, 2020; Voběrková *et al.*, 2017).

O gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos evita a contaminação do solo e, conseqüentemente das águas superficiais e subterrâneas (Ferreira e Tambougi, 2016), fato importante, já que a qualidade da água deve ser uma das prioridades não só em zoológicos, pois ter acesso à água potável e segura é um direito fundamental para a manutenção de qualquer forma de vida. Por outro lado, a água de lagoas de estabilização pode ser um meio de transmissão de doenças quando não é tratada ou até mesmo quando tratada de maneira indevida (Abiyu *et al.*, 2018; Ballestrin *et al.*, 2021).

Diversos tratamentos possibilitam melhorar a qualidade da água, mas em ambientes onde encontram-se animais selvagens sob cuidado humano, tais tratamentos devem ocorrer de forma sustentável, com especial atenção à saúde e bem-estar animal (WAZA, 2015). Dentre as formas de tratamento de efluentes, a prática de coagulação está entre as utilizadas (Baptista *et al.*, 2017; Ribeiro, Andrade e Reis, 2019; Ueda Yamaguchi *et al.*, 2021).

O uso de coagulantes inorgânicos em sua grande maioria envolve a aplicação de sais metálicos como cloretos/sulfatos de alumínio e ferro e estes, alteram significativamente determinadas características da água, e apresentam relação com o desenvolvimento de doenças, como lesões cerebrais (Abiyu *et al.*, 2018; Madrona *et al.*, 2017). Desta forma, a utilização de coagulantes produzidos por meio de matérias primas orgânicas, substitui o uso demorado de produtos químicos (Ang e Mohammad, 2020; Magalhães *et al.*, 2021).

Os zoológicos são ambientes que devem demonstrar a comunidade como é possível gerir a água, garantindo a sua qualidade, disponibilidade e uso sustentável por meio de suas próprias operações (WAZA, 2020), desta forma, o tratamento e reuso da água são práticas necessárias. Vale ressaltar que 2 dos 17 objetivos da ODS trata-se da água potável e, saneamento e vida na água. Portanto, propor medidas de gerenciamento da qualidade da água é fator indispensável para o desenvolvimento sustentável.

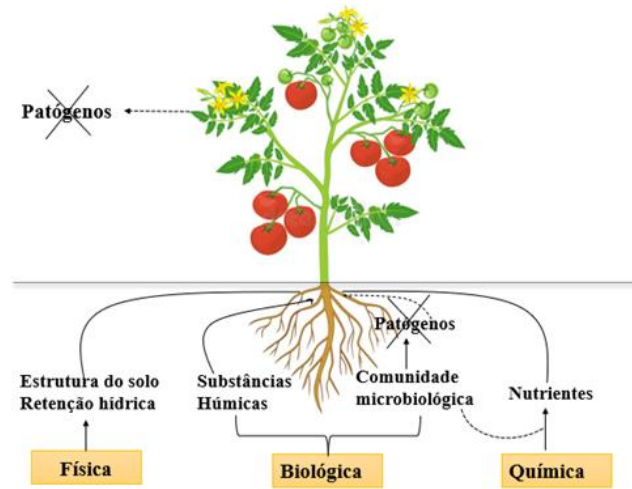
### 2.2.1 Vermicompostagem

A vermicompostagem é uma técnica de baixo custo, usada para mitigar os resíduos sólidos, onde grande parte do material orgânico é degradado pela flora intestinal das minhocas, transformando-o em compostos ricos em substâncias húmicas e nutrientes, os quais são liberados na forma de dejetos, denominado de vermicomposto ou húmus (Alshehrei e Ameen, 2021; Ramnarain, Ansari e Ori, 2019).

As minhocas ingerem rapidamente os resíduos orgânicos, transformando-os em um composto de melhor qualidade do que os produzidos pelo método tradicional de compostagem, além disso o processo de estabilização por vermicompostagem leva menos tempo (Cotta *et al.*, 2015). O uso do vermicomposto beneficia as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Figura 4), possibilitando melhor desenvolvimento vegetal, mas, infelizmente as minhocas têm sido degradadas por práticas exaustivas, como o uso de pesticida (Datta *et al.*, 2016; Singh *et al.*, 2020).

A prática de vermicompostagem pode ser utilizada para reciclagem de diversos materiais como: lodo de esgoto (Tavares *et al.*, 2019), resíduos orgânicos urbanos (Voběrková *et al.*, 2017), resíduos agroindustriais (Ramnarain, Ansari e Ori, 2019) e dejetos (Yuvaraj *et al.*, 2021). Mas, não é qualquer minhoca que realiza esse processo de estabilização, essas devem ser aptas a viver e se reproduzir em cativeiro. Dentre as 3000 espécies de minhocas identificadas mundialmente, a mais utilizada é a Vermelha da Califórnia (*Eisenia foetida* Savigny) (Melo *et al.*, 2020).

**Figura 4** - Propriedades físicas, químicas e biológicas do vermicomposto no solo e desenvolvimento vegetal



Fonte - Adaptado de Singh *et al.*, (2020).

Apesar da facilidade em produzir vermicompostos a partir de resíduos, alguns parâmetros devem ser monitorados (Tabela 1) a fim de permitir a sobrevivência das minhocas e da produção de compostos de qualidade (Datta *et al.*, 2016; Melo *et al.*, 2020).

**Tabela 1** - Condições adequadas para vermicompostagem

Parâmetro	Condições Adequadas
pH	5,0 - 9,0
Umidade	60 - 90%*
Oxigênio	Aerobiose
Relação C/N inicial	25/1
Temperatura	4 - 30 ° C*
Salinidade	<0,5%

\*limite

Fonte - Adaptado de Melo *et al.*, (2020)

Conforme o material orgânico vai sendo estabilizado, os percentuais dos macronutrientes vão aumentando gradativamente, devido à presença de enzimas e microrganismos solubilizadores desses elementos presentes no intestino das minhocas (Jjagwe *et al.*, 2019). O aumento desses íons influencia diversos parâmetros, um deles é o pH, que tende a acidificar-se devido a mineralização dos macronutrientes, além de produção de ácidos fúlvicos e húmicos (Ndegwa e Thompson, 2001). Já a condutividade elétrica (CE) aumenta conforme há a liberação dos íons (Garg, Gupta e Satya, 2006; Pérez-Godínez *et al.*, 2017a; Ripp *et al.*, 2020; Vico *et al.*, 2018) e é recomendado CE menores que 4 mS cm<sup>-1</sup> (Meng *et al.*, 2019; Pérez-Godínez *et al.*, 2017a). A CE indica a salinidade nos substratos e também a maturidade

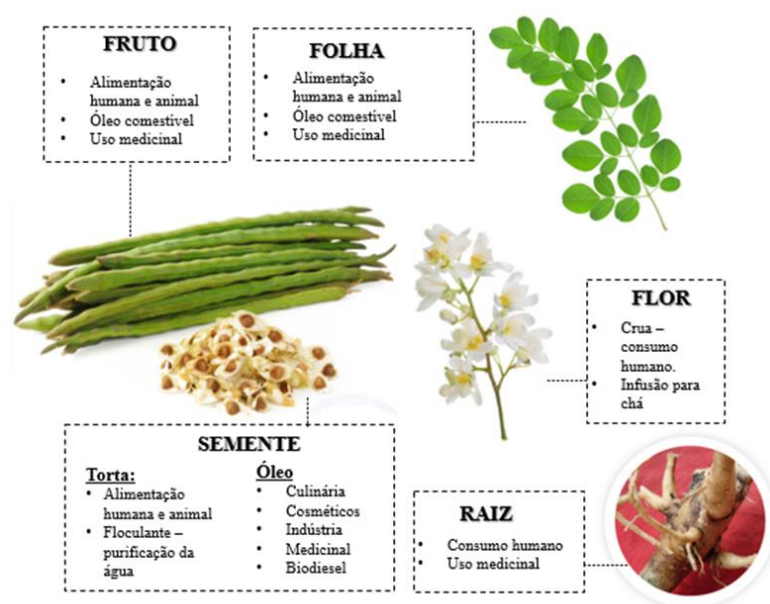
do composto (Gusain e Suthar, 2020; Voběrková *et al.*, 2017).

Outro parâmetro que indica a maturidade do composto é a relação C/N (Meng *et al.*, 2019), a qual deve estar em torno de 25/1, inicialmente (Melo *et al.*, 2020), mas conforme vai acontecendo o processo de estabilização, há a redução dessa razão, e isso se dá pela perda de massa através da respiração microbiana fazendo com que ocorra a diminuição de carbono e simultaneamente concentra nitrogênio (Li *et al.*, 2016; Melo *et al.*, 2020). No Brasil o limite recomendado pela IN nº 25 de 23/07/2009 (Brasil, 2009) é que vermicompostos apresentem relação C/N de no máximo 14/1.

### 2.3 *Moringa oleifera* E SUAS POTENCIALIDADES

A *Moringa oleifera*, originária do noroeste da Índia, tem se destacado mundialmente (Kavithambika, Indumathi e Mahendran, 2020), já que todas as partes desta planta, como: as folhas, vagens, sementes, raízes e flores podem ser utilizadas em diferentes setores industriais, farmacêutico, para produção de cosméticos, na alimentação humana e animal, geração de biodiesel e no tratamento de água (Figura 5) por apresentar um perfil nutricional rico em proteínas, vitaminas, ácidos graxos e minerais (Masih *et al.*, 2019; Trigo *et al.*, 2020).

**Figura 5** - Usos potenciais das partes de *Moringa oleifera*



Fonte - Adaptado de Trigo et al., (2020)

Estudos também indicam que a moringa apresenta diversas moléculas com atividades antibacterianas e antifúngica (Mohanty *et al.*, 2021; Morgan, Opio e Migabo, 2020; Silva, Padilha e Padilha, 2021), ação antiinflamatória (Brilhante *et al.*, 2017) e até anticâncer (Barhoi *et al.*, 2021) e recentemente estudos mostraram que a fibra dos frutos de moringa tem grande potencial para uso em biocompósitos, com aplicações mais ecológicas em produtos da Engenharia (Bharath *et al.*, 2020; Ishihara *et al.*, 2021; Oladele *et al.*, 2022).

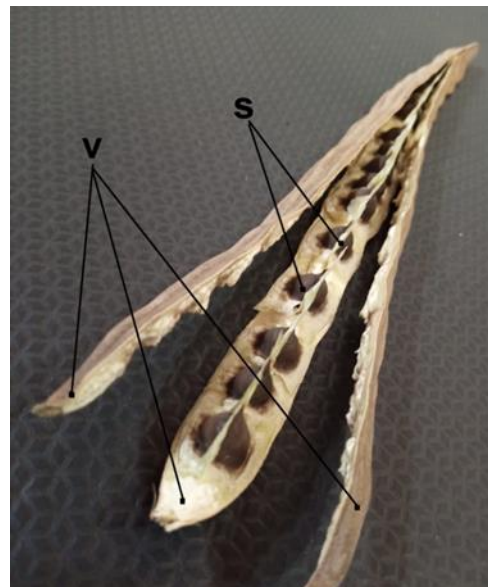
Diante de diversas pesquisas, a *Moringa oleifera* é considerada uma matéria prima acessível, ecologicamente correta, além de uma alternativa socialmente benéfica, especialmente para populações negligenciadas, que sofrem com a pobreza e desnutrição e para aqueles que têm acesso limitado a tecnologia (Brilhante *et al.*, 2017; Jattan *et al.*, 2021). Dentre seus constituintes, o que se destaca são os frutos (Figura 6), que são simples do tipo cápsula loculicida com três valvas, medem de 45 a 90 cm e possuem sementes globosas com três asas e de coloração castanho (Jattan *et al.*, 2021).

**Figura 6** - a) Representação das partes da *Moringa oleifera*; b) Fruto de *Moringa oleifera* aberto evidenciando sementes (s) e valvas (v)



(a)

Fonte - FAO.org, (2022).



(b)

Fonte - o autor, (2022).

Apesar da *Moringa oleifera* apresentar fácil cultivo, pois se adapta tanto às condições irrigadas quanto às de sequeiro, e é pouco exigente em solos fertilizados (Silva, Padilha e Padilha, 2021), ainda assim não é muito explorada e uma cultura subutilizada, sendo insuficientemente conhecida em países desenvolvidos (Jattan *et al.*, 2021; Trigo *et al.*, 2020). Mesmo assim, tem-se buscado cada vez mais moringa, tanto que o mercado global prevê atingir

US\$ 8.400 milhões até 2026 para os produtos de moringa (Factors FA, 2020).

No Brasil, a moringa encontra-se disseminada na região Nordeste, mas tem sua expansão em todo o território brasileiro (Silva, Padilha e Padilha, 2021). No entanto, de acordo com Resolução-RE nº 1.478, de 3 de junho de 2019 da ANVISA, a comercialização de alimentos ou quaisquer produtos para insumo que contenha *Moringa oleifera* está proibida no Brasil, com a justificativa que ainda não há estudos que comprovem a segurança total do uso da espécie em alimentos (Brasil, 2019). Estudos recentes indicam que a ingestão de moringa integral é insegura para mamíferos (Attah *et al.*, 2022; Boniolo *et al.*, 2017), podendo afetar a gravidez, além de induzir a toxicidade hepática e renal, mas a torta de moringa, livre de lipídios, exclui a toxicidade inerente (Attah *et al.*, 2022).

Apesar das contradições quanto ao consumo de *Moringa oleifera*, pesquisas ressaltam a promissora ação das sementes no tratamento de águas (Masih *et al.*, 2019; Morgan, Opio e Migabo, 2020; Moulin *et al.*, 2019; Silva, Padilha e Padilha, 2021; Ueda Yamaguchi *et al.*, 2021), fenômeno que é praticado historicamente por nativos africanos, onde as sementes trituradas de moringa são utilizadas para efetuar a clarificação da água turva para uso (Attah *et al.*, 2022).

### 2.3.1 Uso de *Moringa oleifera* no tratamento de águas

A semente de *Moringa oleifera*, com e sem óleo, tem sido considerada uma alternativa no tratamento de águas, principalmente no uso como coagulante natural (Ang e Mohammad, 2020), se destacando pela sua eficiência na remoção de turbidez (Ballestrin *et al.*, 2021; Nhut *et al.*, 2021), mas também pela sua capacidade de remover poluentes (Tabela 2).

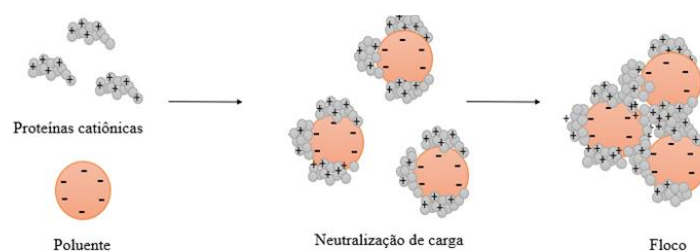
Há interesse científico quanto aos potenciais usos de moringa no tratamento de água, visto que de 1995 a 2019, um total de 258 artigos foram publicados na base de dados Web of Science referente a tratamento de água com as sementes de moringa, sendo que 84% desses referiam-se a artigos. A crescente tendência de pesquisa coloca as sementes de *Moringa oleifera* como um tema de estudo entre outros coagulantes de base natural, uma vez que mais de 50% dos documentos foram publicados nos últimos cinco anos (Ueda Yamaguchi *et al.*, 2021).

**Tabela 2** - Usos potenciais de sementes de *Moringa oleifera* no tratamento de águas

Parâmetros avaliados	Autores
Biossorção de fungicidas triazólicos	(Kachangoon <i>et al.</i> , 2022)
Remoção de bactéria <i>E. coli</i>	(Morgan, Opio e Migabo, 2020)
Turbidez e cor	(Ballestrin <i>et al.</i> , 2021)
pH, turbidez, DQO, nitrogênio total	(Nhut <i>et al.</i> , 2021)
Remoção de óleo	(Magalhães <i>et al.</i> , 2021)
Turbidez e cor	(Ribeiro, Andrade e Reis, 2019)
Remoção de Chumbo	(Ezeamaku. <i>et al.</i> , 2018)
Ação microbiana e remoção de metais pesados	(Abiyu <i>et al.</i> , 2018)
Adsorção de Urânio	(Boniole <i>et al.</i> , 2017)
Cor, turbidez, absorção em UV-254 nm	(Madrona <i>et al.</i> , 2017)
Biossorção de Chumbo	(Oliveira Tavares <i>et al.</i> , 2020; Tavares <i>et al.</i> , 2017)
Turbidez e absorção em UV-254 nm	(Valverde <i>et al.</i> , 2016)
Turbidez, CE, DBO, Cd, Cr, Mn, coliformes	(Hendrawati <i>et al.</i> , 2016a)
Turbidez, cor, absorção em UV-254nm	(Bongiovani <i>et al.</i> , 2014)
Adsorção de Cádmio, Chumbo e Cromo	(Gonçalves Jr. <i>et al.</i> , 2012; Meneghel <i>et al.</i> , 2014; Meneghel, Gonçalves Jr., Rubio, <i>et al.</i> , 2013; Meneghel, Gonçalves Jr., Strey, <i>et al.</i> , 2013)

Fonte - o autor, (2022).

Quando adicionada à um sistema aquoso contendo material disperso, as sementes trituradas de *Moringa oleifera* apresentam propriedades floculantes, o que favorece o tratamento de águas residuárias devido à presença de proteínas catiônicas (Gassenschmidt *et al.*, 1995a), as quais podem sedimentar partículas negativas do meio, devido a uma forte tendência de adsorção envolvendo cargas, seguida de agregação e desestabilização de partículas (Kwaambwa, Hellsing e Rennie, 2010) (Figura 7). No entanto, apesar de muitas pesquisas focarem os componentes coagulantes das suas sementes (Baptista *et al.*, 2017; Gassenschmidt *et al.*, 1995a; Moulin *et al.*, 2019), ainda não existe um consenso geral na literatura sobre o principal componente responsável pela clarificação. A principal hipótese é a de que tal propriedade se deve à existência um efeito sinérgico envolvendo os compostos presentes nas sementes e que resultam na atividade coagulante, não uma única (Baptista *et al.*, 2017).

**Figura 7** - Mecanismo de coagulação e floculação com sementes de *Moringa oleifera*

Fonte - o autor, (2023).

A semente de moringa apresenta vantagens frente aos coagulantes químicos pois não oferece risco no manejo, não exige ajuste de pH para o bom desempenho, não modifica o pH final, e produz lodo com maior potencial de biodegradabilidade e menos tóxico (Ang e Mohammad, 2020a; Michelan *et al.*, 2021).

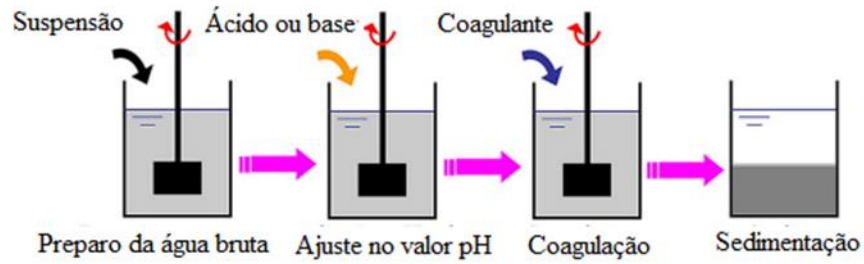
#### 2.4 PROCESSO DE CLARIFICAÇÃO

A turbidez é um parâmetro de qualidade da água, e ocorre devido a presença de material particulado em suspensão, inibindo a passagem de raios solares pelo meio líquido, e assim ocasionando problemas ambientais, como a eutrofização; além de problemas de cunho socioeconômico (Lima *et al.*, 2019). A redução da turbidez (clarificação) pode ser acelerada pelo uso de coagulantes. Os coagulantes normalmente apresentam cargas positivas, e assim desestabilizam as partículas em suspensão presentes na água, as quais são carregadas negativamente. Desta forma, o uso do coagulante neutraliza as cargas e aumenta a tendência de pequenas partículas na suspensão aquosa, de aderirem-se umas às outras formando agregados maiores (Lanciné *et al.*, 2008; Saritha, Srinivas e Srikanth Vuppala, 2017).

O processo de clarificação é dividido em três etapas: a) coagulação, b) floculação e c) sedimentação. Na fase de coagulação, a fase líquida recebe o coagulante sob intensa agitação, homogeneizando rapidamente o coagulante com a dispersão, para que as partículas colidam entre si e se agreguem. Já na floculação, a velocidade de agitação dos sistemas é menor, o que favorece o crescimento dos agregados, permitindo a suspensão e colisão dos flocos, e devido ao gradiente de velocidade evita-se a quebra dos aglomerados. Uma vez formados os flocos, a fase aquosa está pronta para ser separada dos sólidos por meio da decantação, esse último processo é denominado sedimentação (Scholz, 2016).

O processo de clarificação é influenciado por diversos parâmetros da qualidade da água, sendo importante investigar quais desses podem exercer maior influência nas etapas de tratamento. Nesse sentido, realizar testes primeiramente em escala laboratorial é a melhor opção na busca pelas condições ideais de coagulação e floculação, e dessa forma obter-se um tratamento menos oneroso. O Jar test (Figura 8) é um ensaio de bancada, usado para testes de coagulação, e é capaz de indicar os melhores parâmetros para o processo de clarificação (Lanciné *et al.*, 2008).

**Figura 8** - Teste convencional de coagulação utilizando Jar Test



**Fonte** - Adaptado de Zhang et al., (2017)

A otimização dos processos de coagulação depende de vários fatores, dentre eles: turbidez inicial, pH, dosagem e tipo de coagulante, hidrodinâmica do sistema nas etapas de coagulação e floculação, temperatura e alcalinidade (Lanciné *et al.*, 2008; Saritha, Srinivas e Srikanth Vuppala, 2017; Zhang *et al.*, 2017).

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o uso integral dos frutos de *Moringa oleifera* Lam. no tratamento de água residuária e como co-substrato para a estabilização do sedimento de lagoas de recinto de zoológico por vermicompostagem.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar e caracterizar química e fisicamente as partes dos frutos de *Moringa oleifera*;
- Comparar o uso da torta das sementes de *Moringa oleifera* no tratamento de água residuária de lagoa artificial em recinto de zoológico utilizada por *Tapirus terrestris* com o coagulante comercial sulfato de Alumínio;
- Avaliar a utilização das partes do fruto da *Moringa oleifera* associadas ao sedimento de lagoa de recinto de zoológico utilizadas por *Tapirus terrestris*, como co-substrato para estabilização por vermicompostagem;
- Discutir a valorização e manejo sustentável para resíduos produzidos em larga escala como o sedimento da lagoa do recinto utilizada pelas antas e coprodutos de *Moringa oleifera*.

## 4 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na cidade de Foz do Iguaçu/PR, localizada no extremo oeste do Paraná, Brasil (Figura 9).

**Figura 9** - Localização da área de estudo



Fonte - o autor, (2022).

As coletas de amostras de águas, sedimentos e parte dos frutos de *Moringa oleifera* foram realizadas no Refúgio Biológico Bela Vista (RBBV), fundado em 1984, sendo o projeto de preservação ambiental mais antigo do Brasil, se destacando no resgate e proteção de animais e na produção de mudas para reflorestamento. No RBBV há o Zoológico Roberto Ribas Lange o qual abriga 189 animais de 52 espécies (Itaipu Binacional, 2024).

Processo de estabilização, desenvolvimento vegetal e determinações físico-químicas foram realizadas no Instituto Federal do Paraná (IFPR) Campus Foz do Iguaçu. As determinações por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia do Infravermelho (FT-IR) foram executadas no Laboratório de Estudos Interdisciplinares do Meio Ambiente e Alimentos (LEIMAA) da Universidade Federal da Integração Latino Americana (UNILA).

## 4.2 ESTUDO DAS ÁGUAS

### 4.2.1 Caracterização das Lagoas

No Zoológico Roberto Ribas Lange foram selecionadas duas lagoas artificiais, as quais apresentam fundo cimentado e são utilizadas pelos animais *Tapirus terrestris* (antas). As lagoas foram denominadas de Lagoa 1 (L1), a qual atendia entre 6 e 8 animais e Lagoa 2 (L2) abrigando 3 animais (Figura 10).

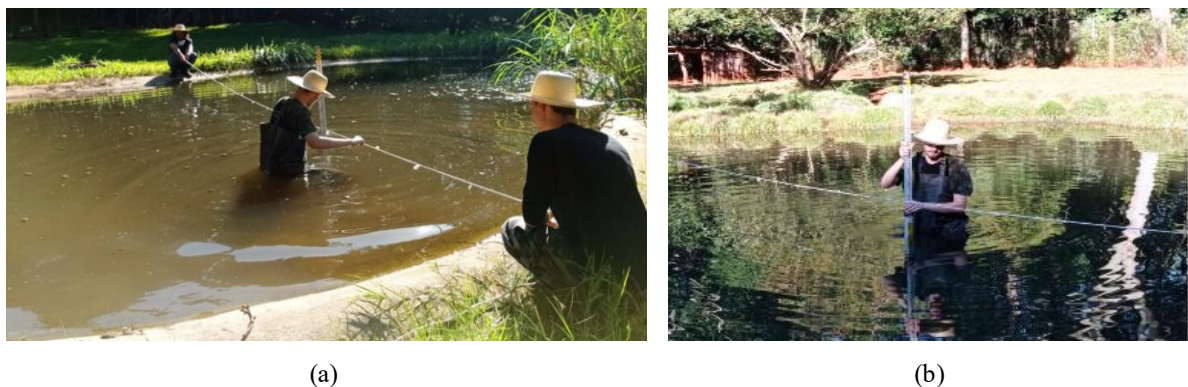
**Figura 10** - Lagoa 1 (a) e Lagoa 2 (b) utilizadas por *Tapirus terrestris* no Refúgio Biológico Bela Vista



**Fonte** - o autor, (2022).

As lagoas foram mensuradas quanto a: Área ( $m^2$ ), Vazão ( $m^3 h^{-1}$ ), Volume ( $m^3$ ) e Profundidade média (m). Para tanto, foi utilizada uma baliza topográfica e uma corda com demarcações de 50 cm por toda sua extensão, medindo os diferentes pontos da lagoa (Figura 11).

**Figura 11** - Determinação das dimensões das lagoas: a) L1 e b) L2



**Fonte** - o autor, (2022).

As águas das lagoas têm fluxo contínuo de entrada e saída no Reservatório de Itaipu e não recebem nenhum tratamento para uso no RBBV. No entanto, a cada 7 dias, é feita a limpeza por meio de retirada de parte da água, lavagem das lagoas e sucção da água de fundo (sedimento/lodo) por um caminhão especializado, e esse efluente é retirado do RBBV, conforme demonstrado na Figura 12.

**Figura 12** - a) Limpeza das lagoas L1, b) Limpeza das lagoas L2, c) Limpeza das lagoas L1, d) Recolhimento do sedimento



(a)



(b)



(c)



(d)

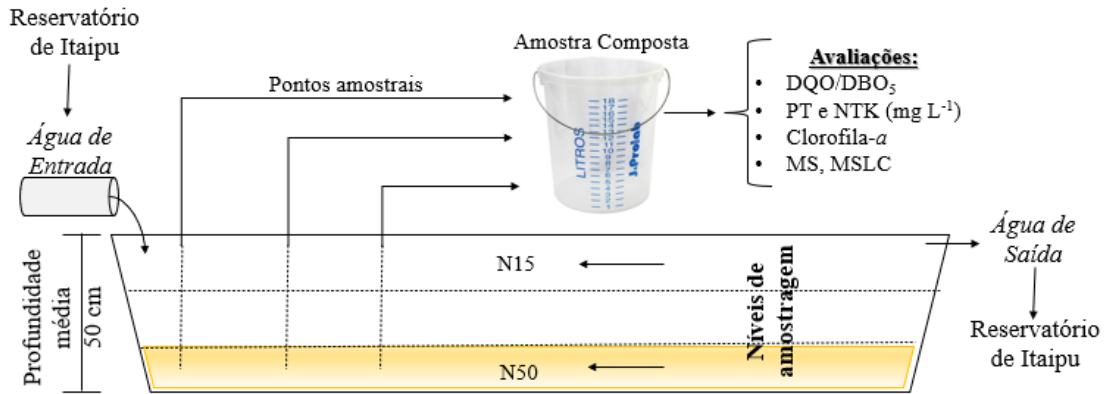
**Fonte** - o autor, (2023).

#### 4.2.2 Coleta e caracterização das águas das lagoas

Foram realizadas 6 coletas com intervalos de três semanas. Essas coletas foram feitas na estação do verão de 2022/2023. As águas das lagoas foram caracterizadas de forma longitudinal seguindo a metodologia de Coldebella et al., (2020), sendo as águas

avaliadas em duas profundidades: superficial, até 15 cm (N15) e de acordo com a profundidade média das lagoas, que foi de 50 cm (N50) (Figura 13).

**Figura 13** - Metodologia quanto a coleta e avaliação de água de lagoa artificial de zoológico



**Fonte** - o autor, (2024).

*In situ*, as águas foram avaliadas utilizando uma sonda multiparamétrica Horiba Série U-50As, determinando: temperatura (°C), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE - mS cm<sup>-1</sup>), turbidez (NTU), oxigênio dissolvido (OD - mg L<sup>-1</sup>) e percentual de oxigênio (%O). Já para determinações laboratoriais, as coletas foram realizadas utilizando-se uma bomba de sucção em três pontos da lagoa nos níveis de estudo (N15 e N50), formando uma amostra composta, a qual foi armazenada em frascos de vidros Scott de 1 L e acondicionados em caixa térmica com gelo (CETESB, 2024). Também se avaliou as águas de entradas nas lagoas (ENT) oriundas no Reservatório de Itaipu.

As caracterizações físico-químicas das amostras de água foram realizadas no mesmo dia da coleta e são descritas na Tabela 3.

**Tabela 3** - Análises e métodos analíticos utilizados para caracterizações físico-químicas das amostras de águas

Nº	Análise	Método analítico
1	Nitrogênio total (NTK)	Kjeldahl Digestão da amostra e uso de Espectrofotômetro UV – VIS seguindo o método 4500 N-C de APHA (2012)
2	Fósforo total (PT)	Digestão sulfúrica da amostra e avaliação pelo método do ácido ascórbico seguindo metodologia 4500E de APHA (2012)
3	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO <sub>5</sub> )	Medição respirométrica utilizando BOD-System BD 600, atendendo as condições e reagentes indicados pelo fabricante.

4	Determinações da Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Oxidação com dicromato de potássio e ácido sulfúrico, em refluxo fechado/colorimétrico de acordo com o método 5220B de APHA (2012)
5	Massa Seca (MS)	Método gravimétrico e numérico, que consistiu em pesagem e secagem de filtros GF/F contendo biomassa algal método 2540B de APHA (2005)
6	Massas Secas Livres de Cinzas (MSLC)	Método gravimétrico e numérico, que consistiu em pesagem, secagem e calcinação de filtros GF/F contendo biomassa algal método 2540B de APHA (2005)
7	Clorofila- <i>a</i> ,	Filtragem das amostras (N15) em membranas de fibra de vidro GF/F 47 mm e determinações do percentual de clorofila- <i>a</i> utilizando solventes e espectrofotômetro UV-Vis, seguindo metodologia de Sartory e Grobbelaar, (1984)

Fonte - o autor, (2024).

Tendo os resultados da caracterização das águas das lagoas, os ensaios de clarificação foram realizados e para isso foram coletados 30 L de água da Lagoa 1 (L1), entre os níveis N15 e N50. Essas águas foram denominadas de água da lagoa (LAG). Também foram coletadas as águas de entrada (ENT) provenientes do Reservatório de Itaipu.

As amostras foram coletadas e caracterizadas de acordo com as análises indicadas na Tabela 3, exceto a N° 3, e também quanto as determinações indicadas na Tabela 4. Todas as análises foram realizadas no mesmo dia da coleta

**Tabela 4** - Análises e métodos analíticos utilizados para caracterizações físico-químicas das amostras de água

	<b>Análises</b>	<b>Método analítico</b>
7	Potencial Hidrogeniônico (pH)	Uso de potenciômetro de bancada seguindo a metodologia 4500B de APHA (2012)
2	Condutividade Elétrica (CE)	Uso de condutivímetro de bancada seguindo a metodologia 2510B de APHA (2012)
3	Nitrogênio amoniacal	Método de fenato utilizando metodologia de APHA 4500NH <sub>3</sub> -F. de 2012.

Fonte - o autor, (2024).

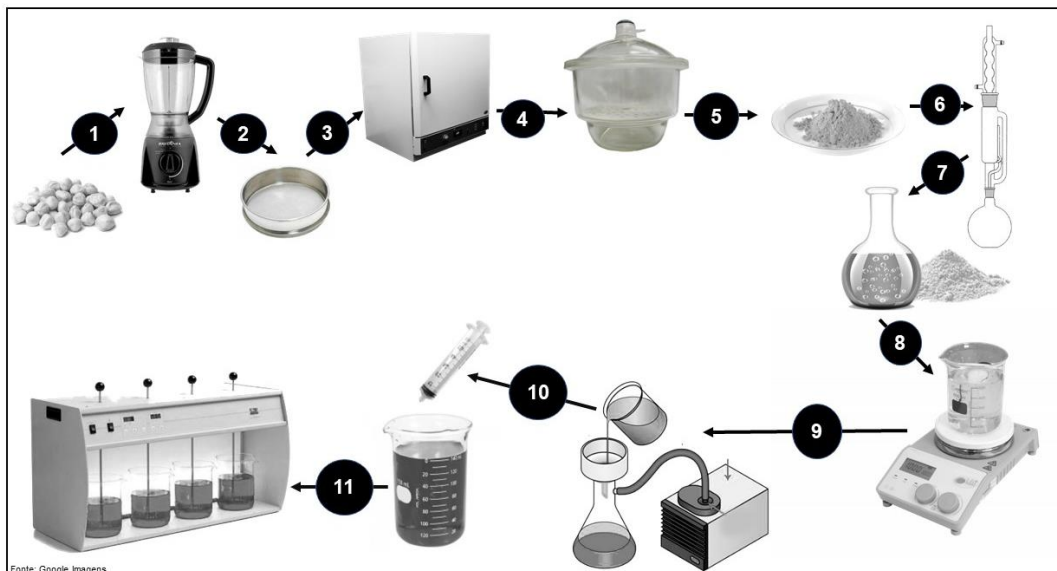
#### 4.2.2.1 Preparo dos Coagulantes

Para a preparação do coagulante a base de moringa, frutos de 6 espécimes foram coletados na cidade de Foz do Iguaçu, formando uma amostra composta. Conforme a Figura 14, as amêndoas (sementes sem a casca) viáveis dos frutos coletados, foram trituradas

em moedor caseiro (1), peneiradas em peneiras de 28 mesh (2) e secas a 40 °C por 24 h em estufa de ar forçado (3), a seguir as sementes trituradas foram acondicionadas em dissecador por 24 h (4). As amêndoas moídas foram acondicionadas em cartuchos e realizados extração do óleo utilizando solvente hexano, por meio de Soxhlet (IUPAC, 1979) formando a torta (TOR) (7).

Ainda conforme a Figura 14 a TOR foi diluída em água desmineralizada em concentração de 10.000 mg L<sup>-1</sup>, sendo homogeneizada em agitador magnético por 15 min (9), filtrada em filtro qualitativo com auxílio de uma bomba a vácuo (10) (Madrona *et al.*, 2012). Diluições da solução de moringa (MO) foram realizadas (10 mg L<sup>-1</sup>, 25 mg L<sup>-1</sup>, 50 mg L<sup>-1</sup>, 100 mg L<sup>-1</sup>, 250 mg L<sup>-1</sup>, 500 mg L<sup>-1</sup>) e utilizadas de nos teste de coagulação em Jar test 6 provas.

**Figura 14** - Preparação e uso do coagulante a base de moringa em escala laboratorial



\*1) trituração das sementes, 2) peneiramento das sementes trituradas; 3) secagem das sementes trituradas; 4) esfriamento das sementes secas em dissecador; 5) formação de cartuchos para extração de óleo; 6) extração de óleo por Soxhlet; 7) diluição da torta de moringa em água; 8) agitação da solução de torta de moringa; 9) filtração da solução; 10) uso da solução coagulante; 11) equipamento Jar test

**Fonte:** o autor, (2022).

O coagulante sulfato de alumínio (SA) (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) (PA, Labsynth) foi seco em estufa de ar forçado e diluído em água destilada e desmineralizada em concentrações de 10 mg L<sup>-1</sup>, 20 mg L<sup>-1</sup>, 40 mg L<sup>-1</sup>, 80 mg L<sup>-1</sup>, 100 mg L<sup>-1</sup> e 150 mg L<sup>-1</sup>.

#### 4.2.2.2 Estudo de Clarificação

Para determinação das melhores condições para o processo de clarificação, foram realizados testes de otimização quanto: a) concentração do coagulante; b) influência da dose do coagulante na turbidez da água; c) tempo de sedimentação.

A influência da dosagem dos coagulantes na turbidez foi avaliada por meio da comparação de doses dos coagulantes em água desmineralizada, sem adição do efluente. Para todos os testes, foram estabelecidas amostras testemunhas (sem adição de coagulante), todos os ensaios foram realizados em triplicata e as soluções dos coagulantes MO e SA foram utilizadas no mesmo dia do preparo para evitar os efeitos do armazenamento sobre a eficiência de coagulação, como é relatado na literatura (Gassenschmidt *et al.*, 1995a; Katayon *et al.*, 2006).

As velocidades de agitação seguiram recomendações estabelecidas por Cordeiro Cardoso *et al.*, (2008): velocidade rápida de 100 rpm por 3 min (coagulação) e velocidade lenta de 10 rpm por 15 min (floculação). A determinação do melhor tempo de sedimentação foi realizada por meio da medida de turbidez do efluente bruto nos tempos de 15, 30, 45, 60, 75 e 90 min.

Para os ensaios de clarificação preparou-se a amostra composta de 30 L da L1 entre N15 e N50, a qual foi caracterizada quanto a: pH, Condutividade Elétrica, Turbidez, DQO, Fósforo Total, Nitrogênio amoniacal total, Nitrogênio Kjeldahl Total, conforme metodologias descritas nas Tabelas 3 e 4. As amostras foram utilizadas no mesmo dia de coleta.

Tendo as melhores condições definidas nos testes de otimização, ensaios comparativos foram realizados para avaliação do efeito dos coagulantes MO e SA. Posteriormente ao período de sedimentação determinado (90 min), as águas coaguladas (AC) foram avaliadas quanto aos parâmetros iniciais, e os sedimentos das provas (SED) foram utilizados para teste de fitotoxicidade seguindo metodologia de Zucconi *et al.*, (1981).

#### 4.2.2.3 Análise de Dados

As variáveis (IG, tempo de sedimentação, concentração dos coagulantes, turbidez, pH, CE, MS, MSLC, DQO) foram avaliadas por meio da análise de variância (ANOVA) fator único, realizadas comparações múltiplas das médias por meio do teste de

Tukey. Todas as análises foram realizadas no programa SISVAR (Ferreira, 2011), sendo que nos testes estatísticos se utilizou o nível de significância de 0,05 e 0,01.

#### 4.3 ENSAIOS DE FITOTOXICIDADE

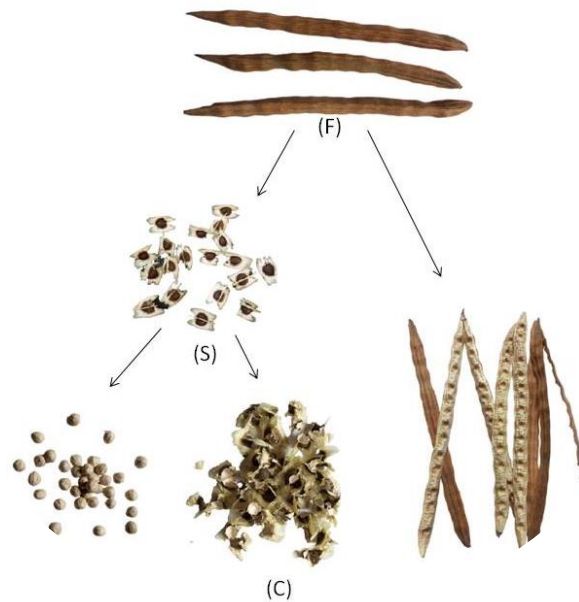
No estudo de fitotoxicidade, as partes dos frutos de moringa: valvas, cascas, sementes integrais, torta e do óleo das amêndoas, além dos vermicompostos produzidos (T1, T2, T3, T4 e T5) foram avaliados quanto a determinação do índice de germinação (IG), para tanto, proporção de 1:10 (m/v) das amostras, foram dispersos em água destilada. Os extratos permaneceram em agitação por 30 min, à 60 °C em 160 rpm. Posteriormente, 5 mL dos extratos foram adicionados em placas de Petri contendo filtros de celulose esterilizados e vinte sementes de *Lactuca sativa* (alface) (Zucconi *et al.*, 1981). As placas foram incubadas a 22 °C com 8 h de luz por 48 h utilizando uma câmara de germinação (BOD). Quatro placas de Petri para controle foram preparadas com água destilada. Para cada tratamento foram realizadas quatro repetições. O IG foi calculado como o produto da porcentagem de sementes viáveis, o número de sementes germinadas e o crescimento das raízes após 48 h (Equação 1):

$$IG = \frac{NG_{ext} \cdot LR_{ext}}{NG_{cont} \cdot LR_{cont}} \cdot 100 \quad (1)$$

onde: NG<sub>ext</sub>: número de sementes germinadas no extrato, NG<sub>cont</sub>: número de sementes germinadas no controle, LR<sub>ext</sub>: comprimento médio das radículas do extrato, e LR<sub>cont</sub>: comprimento médio das radículas do controle.

#### 4.4 ESTUDO DOS FRUTOS DE MORINGA

Os frutos de *Moringa oleifera* foram recolhidos de seis espécimes localizadas em diferentes locais na cidade de Foz do Iguaçu, Brasil, no período de verão do ano de 2022/2023. Em seguida, as valvas (capsulas) dos frutos foram removidas manualmente e as sementes foram descascadas. As partes dos frutos de moringa (Figura 15) foram secos em estufa de ar forçado a 40 °C durante 48 h, pesados e feita a medição de seus volumes.

**Figura 15** - Partes do fruto de moringa

Fonte - o autor, (2024).

#### 4.4.1 Caracterização das partes dos frutos de moringa

As valvas, cascas das sementes e as amêndoas foram trituradas em moinho de facas, peneiradas em peneira granulométrica de 28 mesh e utilizadas para determinações de potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE) (Brasil, 2007), sólidos totais (ST), cinza (SF), matéria orgânica (SV) e umidade (U) (AOAC, 2005). O óleo das sementes foi extraído de forma química com solvente hexano por Soxhlet (IUPAC, 1979) .

As amostras trituradas (valvas, cascas das sementes, amêndoa e torta) e o óleo das sementes foram submetidos a caracterização química quanto aos grupos funcionais realizada por espectroscopia no infravermelho transformada de Fourier (FT-IR), com pastilhas de KBr (Stevenson, 1994) em intervalo de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$  com resolução espectral de 4  $\text{cm}^{-1}$ , em espectrômetro Frontier by Perkin Elmer FT-IR. Valvas e cascas das sementes foram avaliadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), metalizadas com ouro-paládio até uma espessura de 6-9 nm, utilizando-se um metalizador SC7620 Quorum Mini Sputter Coater/Glow Discharge System. O microscópio de varredura utilizado foi Zeiss EVO-MA10 operando em voltagem de 20 kV.

Para a determinação do teor de carbono orgânico total (COT), as amostras previamente secas em estufa a 105 °C, foram calcinadas em forno mufla a 550 °C por 6 h

(Cunha-Queda *et al.*, 2003). Extratos obtidos da digestão sulfúrica foram utilizados para determinação dos teores de nitrogênio total Kjeldahl (NTK) com o uso do destilador de Kjeldahl (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997; Soest, Van, 1994). A relação C/N foi determinada pela simples razão COT e NTK, e para determinação de proteína bruta foi utilizado o fator de conversão de 6,25 (Soest, Van, 1994).

#### 4.5 ESTUDO DO SEDIMENTO

O sedimento foi coletado de uma das lagoas artificiais (L1) no Zoológico Roberto Ribas Lange, utilizada pelos animais *Tapirus terrestris*, a qual possui área de 75,00 m<sup>2</sup>, vazão de 2,87 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, volume de 36,21 m<sup>3</sup> e profundidade média de 0,48 m.

Os dejetos frescos das antas e o sedimento de L1, foram caracterizados (Tabela 5) quanto ao pH, CE (Brasil, 2007) e relação C/N (Cunha-Queda *et al.*, 2003; Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

**Tabela 5** - Análises e métodos analíticos utilizados para caracterizações físico-químicas das amostras de sedimento

Nº	Análises	Método analítico
1	pH	Solução da amostra utilizando solvente cloreto de potássio (Brasil, 2007)
2	Condutividade Elétrica	Leitura da solução 1/5 (v/v) da amostra utilizando metodologia de Brasil (2007).
3	Carbono orgânico Total	Calcinação utilizando forno mufla de Cunha-Queda <i>et al.</i> , (2003).
4	Nitrogênio Total	Digestão sulfúrica, seguida de destilação (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997)

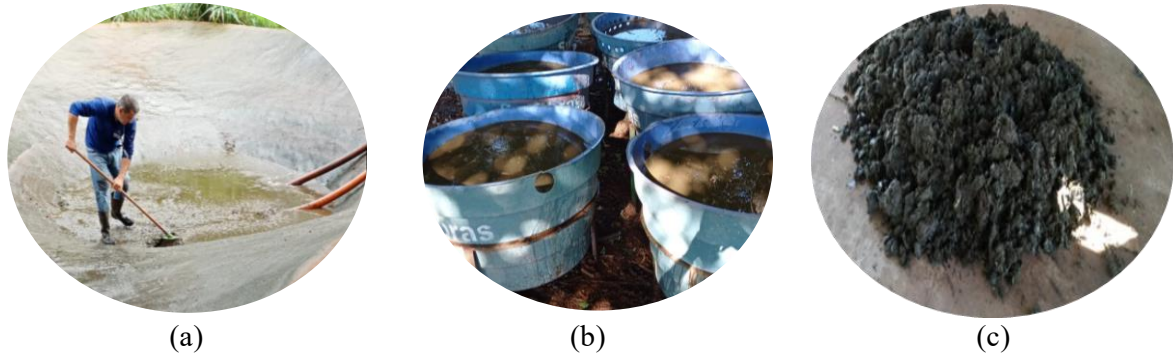
Fonte - o autor, (2024).

##### 4.5.1 Ensaio de vermicompostagem

A técnica utilizada para estabilização das partes do fruto de moringa e o sedimento da lagoa utilizada pelas antas foi a vermicompostagem. Conforme visualizado na Figura 16, o sedimento da lagoa, aproximadamente 5.000 L, foi recolhido no dia da limpeza da mesma, com o auxílio de uma bomba de sucção acoplado em um caminhão especializado para o transporte (a). O material foi depositado em 13 caixas de fibra de vidro de 1000 e 500 L, as quais possuíam sistema de drenagem constituídos por uma camada de pedra brita e manta para escoamento da água (b). Após 1 semana de drenagem, o sedimento (lodo) parcialmente

desidratado foi acondicionado em local coberto e foram revolvidos a cada 3 dias, possibilitando uma pré-estabilização (c). Após 15 dias, o resíduo pré-compostado foi utilizado no experimento de vermicompostagem.

**Figura 16** - Etapas de coleta do sedimento da lagoa de zoológico utilizada pelas antas



Fonte - o autor, (2024).

Foram usados 20 vermireatores de 20 L, cobertos com sombrite e com furos na base para escoamento de líquido e oxigenação do composto. Os vermireatores foram dispostos em delineamento inteiramente casualizados (DIC), com 5 tratamentos e 4 repetições (Tabela 6). Cada vermireator continha o equivalente a 1 kg de sólidos totais referentes aos resíduos e 15 minhocas cliteladas, da espécie *Eisenia foetida*.

**Tabela 6** - Caracterização dos tratamentos de vermicompostagem utilizando sedimento de lagoa e moringa

Tratamentos	Composição (%)						Relação C/N
	Sedimento	Restos frutas e verduras	Valvas de moringa	Cascas moringa	Semente integral	Torta	
T1	70	30	-	-	-	-	22
T2	65	-	35	-	-	-	22
T3	50	-	35	15	-	-	22
T4	50	-	40	5	5	-	21
T5	50	-	40	5	-	5	21

Fonte - o autor, (2024).

Após 7, 30, 60 e 90 dias de estabilização dos coprodutos de moringa e sedimento da lagoa, os vermicompostos resultantes foram avaliados quanto a pH, CE (Brasil, 2007), ST, SF, SV, umidade (AOAC, 2005), relação C/N (Cunha-Queda *et al.*, 2003; Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997). Também foram determinados fósforo total (PT) (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997), potássio (K) e cálcio (Ca) (EMBRAPA, 1999) dos vermicompostos (Tabela 7).

**Tabela 7** - Análises e métodos analíticos utilizados para caracterizações físico-químicas das amostras de sedimento

Nº	Análises	Método analítico
1	Fósforo Total (PT)	Espectrofotometria com azul-de-molibdênio (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997)
2	Potássio Total (KT)	Fotômetro de chama após digestão nitro perclórica (EMBRAPA, 1999).
3	Cálcio Total (CaT)	Fotômetro de chama após digestão nitro perclórica (EMBRAPA, 1999).

Fonte - o autor, (2024).

Os vermicompostos foram caracterizados quanto a fitotoxicidade, seguindo metodologia descrita no tópico 4.3 de Zucconi *et al.* (1981), utilizando sementes de *Lactuca sativa* e solução 1:10 (m/v) dos vermicompostos secos.

Para avaliação do desenvolvimento vegetal foram utilizados, além dos vermicompostos produzidos pelos 5 tratamentos desenvolvidos na vermicompostagem (T1, T2, T3, T4 e T5), mais dois tratamentos testemunhas nos quais foram utilizados compostos comerciais, sendo um produzido por vermicompostagem (T6) e o outro por compostagem (T7). Os substratos foram acondicionados em bandejas de polipropileno, onde foi disposta 3 sementes de *Catharanthus roseus* por célula, distribuídos em delineamento em blocos casualizados (DBC) com 8 repetições. Após 10 dias foi realizado o desbaste, ficando 1 plântula por célula. Foram preparados os mesmos tratamentos com diferentes doses dos compostos orgânicos: I) 100% de composto orgânico; II) 75% composto orgânico + 25% de areia estéril; III) 50% de composto orgânico + 50% de areia estéril.

Após 40 dias da semeadura, a eficiência de crescimento de mudas foi analisada usando o índice de qualidade de Dickson (DQI) (Equação 2). Para isso, 6 plantas foram selecionadas aleatoriamente e realizada as medições.

$$DQI = \frac{TDM}{\left(\frac{H}{SD}\right) + \left(\frac{SDM}{RDM}\right)} \quad (2)$$

onde: DQI: índice de qualidade de Dickson; H: altura da planta (cm); SD: diâmetro do colo (cm); SDM: massa seca de parte aérea (g); RDM: massa seca de raiz (g); TDM: massa seca total (g)

Além do DQI as plantas também foram avaliadas quanto ao número e diâmetro das folhas (mm), comprimento da raiz (cm), relação da matéria seca da parte aérea (RPAR) e relação da altura parte aérea com o diâmetro do colo (RAD).

#### 4.5.3 Análise de Dados

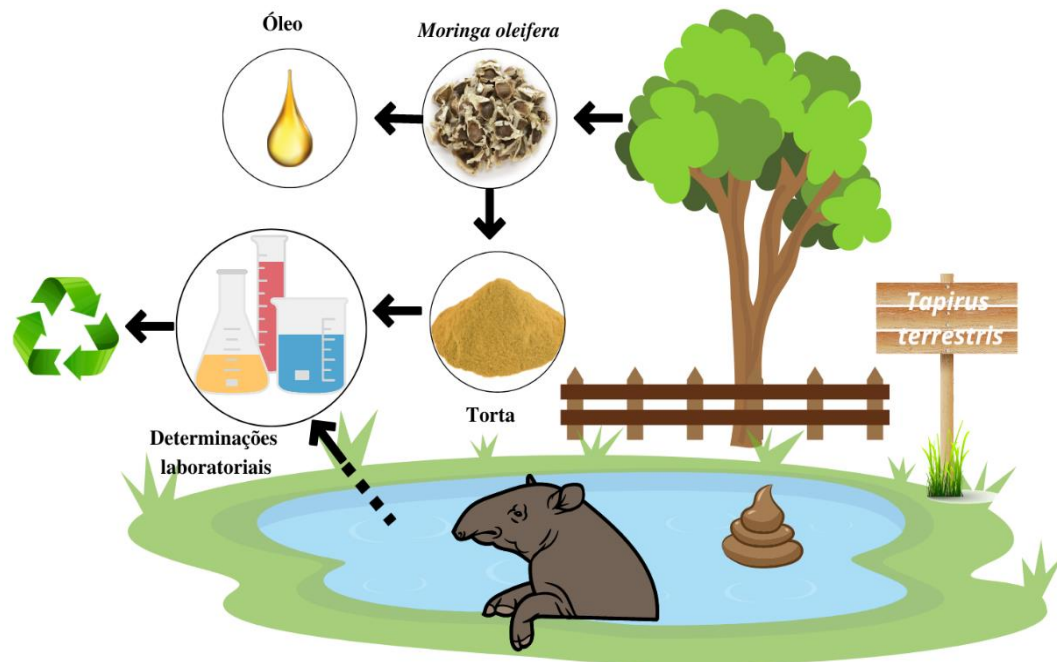
As variáveis dependentes (pH, condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis, além do carbono orgânico total, nitrogênio total, relação C/N, índice de germinação, cálcio, fósforo, potássio, número de folhas, diâmetro da folha, tamanho de raiz e colo) foram avaliadas em relação aos tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5) por meio da análise de variância (ANOVA) fator único, quando os dados se encontravam em normalidade (Teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Teste de Bartlett). Em caso de significância estatística, foram realizadas comparações múltiplas das médias por meio do teste de acompanhamento (*post-hoc test*) de Tukey-HSD (*Honestly significant difference*). As variáveis cujos pressupostos de normalidade e homocedasticidade não foram confirmados, foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido do teste de acompanhamento de Dunn.

Considerando que variáveis de desenvolvimento vegetal são todas relacionadas ao padrão de crescimento da planta, foi realizada uma análise integrativa multivariada por meio da Análise Multivariada de Componentes Principais (PCA) considerando o uso de 100%, 75% e 50% dos compostos orgânicos. A qualidade dos dados foi avaliada por meio do método de Kaplan-Meyer-Olkin (KMO), utilizando-se a matriz de variáveis apenas com valores de KMO superiores a 0,5. As cargas fatoriais foram extraídas, sendo consideradas como variáveis latentes e comparadas por meio da Análise da Variância Fator Duplo, utilizando como fatores fixos os tratamentos (T1 a T7) e o uso da dose dos compostos (50%, 75% e 100%). Em caso de significância estatística, foi utilizado o teste Tukey-HSD.

Todas as análises foram realizadas no programa R (R Core Team, 2022), sendo que nos testes estatísticos se utilizou o nível de significância de 0,05.

## 5 CAPÍTULO I - USO DE SEMENTES DE *Moringa oleifera* NA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA EM ZOOLOGICO

Figura 17 - Graphical abstract referente ao estudo de clarificação das águas das lagoas das antas



Fonte - o autor, (2024).

### RESUMO

Zoológicos são ambientes que priorizam a conservação bem-sucedida das espécies. Para que isso ocorra é necessário o emprego de métodos que não alterem o ambiente, dentre eles o gerenciamento e reuso da água. Neste estudo foi utilizada a torta da semente de *Moringa oleifera* (moringa) no tratamento de água de lagoa artificial de recinto de zoológico habitado por *Tapirus terrestris* (anta). As águas residuárias de duas lagoas artificiais (L1 e L2) foram caracterizadas, e posteriormente, foram utilizadas para testes de clarificação. Nas condições otimizadas, obteve-se remoções de turbidez superiores a 89% quando utilizado o extrato aquoso de torta de sementes de moringa (MO) a  $250 \text{ mg L}^{-1}$ , valores comparáveis aos obtidos utilizando o sulfato de alumínio a 96% ( $40 \text{ mg L}^{-1}$ ). O extrato aquoso de MO em doses menores que 1% (m/v) e as águas do tratamento com  $250 \text{ mg L}^{-1}$  de MO não apresentaram toxicidade para *Lactuca sativa*, além disso, também não provocou a alteração no pH do efluente. O uso de MO se mostrou eficaz no tratamento de água residuária de zoológico, sendo uma alternativa ecologicamente amigável, apresentando menor impacto ambiental e resultando lodo biodegradável e de passível tratamento.

**Palavras-chaves:** *Tapirus terrestris*. Anta. Coagulante natural. Moringa. Efluente. Tratamento secundário

## 5.1 INTRODUÇÃO

A *Moringa oleifera* Lam. é uma planta amplamente conhecida não apenas por suas propriedades (Brilhante *et al.*, 2017; Jattan *et al.*, 2021), mas também devido a aplicabilidade das suas sementes no tratamento de águas para consumo e águas residuárias (Baptista *et al.*, 2017; Ribeiro, Andrade e Reis, 2019; Ueda Yamaguchi *et al.*, 2021), agindo como um coagulante natural (Ang e Mohammad, 2020b), facilitando a remoção de poluentes e diminuição de turbidez por meio da clarificação (Ang e Mohammad, 2020b; Ballestrin *et al.*, 2021; Nhut *et al.*, 2021).

O acesso a água potável é um direito fundamental para qualquer forma de vida (Ballestrin *et al.*, 2021), e a utilização de coagulantes produzidos por meio de matérias primas orgânicas, limita o uso demorado de produtos sintéticos, os quais tem relação direta com o desenvolvimento de doenças (Ang e Mohammad, 2020b; Magalhães *et al.*, 2021). O sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) é o coagulante não natural mais utilizado mundialmente na clarificação de águas (Krupińska, 2020) devido a seu baixo custo, facilidade no transporte, eficiência no processo de coagulação/floculação, mas pode estar associado a graves doenças como lesões cerebrais (Freitas *et al.*, 2016), dentre elas, o Alzheimer (Madrona *et al.*, 2017).

Apesar do amplo uso do  $Al_2(SO_4)_3$  como coagulante nas atividades humanas, em ambientes onde a proteção ambiental é uma prioridade, o uso de produtos que possam alterar a ecologia local é frequentemente desaprovado. Além disso, os lodos gerados pelo uso de coagulantes inorgânicos ou sintéticos, conhecidos como lodos físico-químicos, enfrentam sérias limitações em relação ao tratamento e disposição (Rubio *et al.* 2024). Isso se deve, entre outros fatores, à presença de metais pesados tóxicos e potencialmente tóxicos, como resíduos de alumínio ou ferro, que não são biodegradáveis e comprometem significativamente o reuso agrícola desses lodos (Diver, Nhapi e Ruziwa, 2023).

Neste sentido, a aplicação de produtos ecologicamente corretos em processos de tratamento de águas residuárias estão se tornando cada vez mais populares, porque esses processos são ambientalmente amigáveis e apresentam os benefícios de reduzir custos e são biodegradáveis (Rashinkar *et al.*, 2021), sendo especialmente atrativos para uso em áreas de proteção ambiental. Dentre essas áreas, os zoológicos merecem destaque, não só por serem locais de conservação e manutenção das espécies, mas também por terem como finalidade a promoção da Educação Ambiental a fim de demonstrar a comunidade como é possível gerir seus recursos naturais de modo sustentável (WAZA, 2015, 2020).

A utilização de práticas de gerenciamento de resíduos sólidos na gestão de zoológicos, como compostagem e vermicompostagem, apesar de escassas, ainda são apresentadas na literatura (Cappelini *et al.*, 2021; Dhimal, Gautam e Tuladhar, 2015; Khan *et al.*, 2022; Mir e Shrivastava, 2023; Rubio *et al.*, 2024), assim como alguns trabalhos com tratamento e reuso de água nesses locais (Mir e Shrivastava, 2023; WAZA, 2015). Por outro lado, as sementes de *Moringa oleifera* têm sido amplamente usadas como coagulante para clarificação de diferentes matrizes aquosas, como esgoto doméstico (Vega Andrade *et al.*, 2021), efluentes industriais (Ezeamaku. *et al.*, 2018; Hendrawati *et al.*, 2016b), água para abastecimento (Ballestrin *et al.*, 2021; Ribeiro, Andrade e Reis, 2019) e águas superficiais (Baptista *et al.*, 2017; Bongiovani *et al.*, 2014; Madrona *et al.*, 2017; Michelin *et al.*, 2021; Nhut *et al.*, 2021; Valverde *et al.*, 2016), porém, exceto pela publicação gerada da presente tese (Rubio *et al.*, 2024), não foram encontrados registros referente a aplicação de produtos de moringa em águas residuárias provenientes de zoológicos ou áreas naturais protegidas.

De acordo com o nicho ecológico de cada espécie, alguns animais precisam de recintos com acesso a lagoas e dentre esses animais está o maior mamífero terrestre brasileiro, a anta (*Tapirus terrestris*) (Médici *et al.*, 2012). Pesando entre 180 a 300 kg (Thoisly *et al.*, 2014), a anta possui a fisiologia de defecar na água (Bodmer, 1991). Por ser um grande herbívoro e se alimentar de elevadas quantidades de frutos, na natureza a anta dispersa sementes a longas distâncias, inclusive sementes grandes, e assim é reconhecida como “jardineira da floresta”, sendo considerada importante bioindicadora da saúde do ecossistema e manutenção da biodiversidade, especialmente de espécies frugívoras (Dario, 2014; Ticiani, Onghero e Favretto, 2021). Mas, em ambientes restritos, sob cuidados humanos, as antas geram grandes quantidades de efluentes, ricos em dejetos, que precisam ser gerenciados de forma que não alterem o ambiente (Rubio *et al.* 2024).

A anta é um animal ameaçado de extinção, e tal como indicado pela *International Union for Conservation of Nature* (IUCN, 2018), tal ameaça é decorrente a perda e poluição de seus habitats, caça e atropelamentos (Medici *et al.*, 2021; Medici, Mangini e Fernandes-Santos, 2014; Navas-Suárez *et al.*, 2019). Permitir que esses animais sejam protegidos e conservados em ambientes sob cuidados humanos remete grandes desafios, principalmente no que se refere ao bem-estar (Mellor *et al.*, 2020; Whittaker, 2019), associado a qualidade do ambiente disponibilizado a eles, especialmente a características da água e o gerenciamento dos resíduos ali produzidos (Cappelini *et al.*, 2021).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da torta das sementes de *Moringa oleifera* como agente coagulante no tratamento de águas

residuárias de lagoa artificial em recinto de zoológico utilizado por *Tapirus terrestris*, comparando seu desempenho com o coagulante comercial sulfato de alumínio

## 5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.2.1 Caracterização das amostras

A Tabela 8 apresenta as caracterizações *in situ* das águas residuárias coletadas nas lagoas artificiais denominadas Lagoa 1 (L1) e Lagoa 2 (L2). Houve diferença nos parâmetros avaliados de acordo com a profundidade, sendo um deles turbidez, sendo verificada a ordem: ENT < N15 < N50. Assim, pode-se assumir que há conseqüentemente a diminuição do oxigênio dissolvido decorrente de maior oxidação do material orgânico decantado no fundo das lagoas (Tabela 8) (ANA, 2022). Quanto aos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos, a Resolução Estadual SEMA 21/2009 (Paraná, 2009) e Federal Resolução CONAMA 430/2011 (Brasil, 2011) não dispõem de limites máximos permitidos de turbidez.

Quanto aos valores de nitrogênio total (NTK) na L1 foi possível verificar que a maior concentração desses elementos no fundo da lagoa. Já na L2 esses parâmetros não foram quantificáveis, visto que se encontraram abaixo do LQ (LQ: <2,8 mg L<sup>-1</sup> para NTK (Tabela 8). Essa diferença entre as lagoas se dá pela quantidade de animais que habitam cada recinto, sendo que a L1 é menor e normalmente acolhe o dobro de animais que L2, propiciando maior deposição de material orgânico.

Devido ao processo de acúmulo dos materiais no fundo das lagoas, a maior carga orgânica (MSLC) se encontra nessa região (Hillebrand e Benetti, 2020; Voběrková *et al.*, 2017), representado aproximadamente 59% ±10 em termos de massa seca (MS). Essa afirmação concorda com os valores de DQO e DBO<sub>5</sub> obtidos para as amostras (Tabela 8).

A determinação da concentração de clorofila-*a* (chl-*a*) é um parâmetro usado para acompanhar o estado de eutrofização de um lago e descrever a dinâmica temporal da biomassa fitoplanctônica (Ventura *et al.*, 2022). Diversos estudos indicam a concentração de chl-*a* e fósforo (PT) para classificar um ambiente quanto ao índice de estado trófico (IET) (Carlson, 1977; Caspers, 1984; Lamparelli, 2004; Salas e Martino, 1991; Wetzel, 2001), mas no Brasil, a Agência Nacional das Águas (ANA, 2022), assim como a CETESB, (2024) e Instituto Água e Terra (PARANÁ, 2013) referenciam Lamparelli, (2004) para determinação do IET.

**Tabela 8** - Caracterização das águas residuárias das Lagoas L1 e L2

Parâmetros	L1						L2					
	ENT		N15		N50		ENT		N15		N50	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
T (°C)	26,11	29,89	26,17	29,09	26,25	30,34	26,32	29,62	26,55	35,40	26,94	33,46
pH	6,14	6,46	5,99	6,61	6,40	6,63	6,58	6,75	6,32	8,63	6,79	8,63
CE (mS cm <sup>-1</sup> )	0,01	0,02	0,001	0,002	0,02	0,025	0,02	0,02	0,020	0,029	0,02	0,029
Turbidez (NTU)	0,00	4,56	9,70	57,30	15,10	119,33	0,00	0,200	5,20	75,53	11,88	207,00
OD (mg L <sup>-1</sup> )	5,56	6,39	0,46	5,17	0,31	13,15	6,92	7,81	0,46	5,58	0,22	3,75
% OD	80,10	81,33	6,00	64,90	2,75	24,33	81,00	98,20	7,27	73,00	2,58	47,82
MS (g m <sup>-2</sup> )	0,0038	0,0116	0,0199	0,0246	0,5033	0,9662	0,0082	0,0214	0,0248	0,1231	0,2303	0,5114
MSLC (g m <sup>-2</sup> )	0,0031	0,0150	0,0188	0,0244	0,3461	0,5501	0,0012	0,0221	0,0164	0,0954	0,1013	0,3348
NTK (mg L <sup>-1</sup> )	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	2,315	5,660	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80
PT (mg L <sup>-1</sup> )	0,000	0,011	0,025	0,265	0,018	0,589	0,000	0,011	0,034	1,099	0,014	2,854
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	<10,00	<10,00	12,00	307	234,00	403,44	<10,00	<10,00	<10,00	103,52	414,00	555,66
DBO <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	<10,00	<10,00	<10,00	88,00	68,00	83,00	<10,00	<10,00	<10,00	90,00	87,00	303,00

\*T (°C): temperatura em graus Celsius; CE: condutividade elétrica; OD: oxigênio dissolvido, MS: massa seca; MSLC: massa seca livre de cinzas; ENT: água de entrada na lagoa; N15: água coletada superficialmente na lagoa; N50: água coletada na profundidade média da lagoa (50 cm)

Fonte - o autor, (2024).

**Tabela 9** - Caracterização das águas lagoas quanto a clorofila-*a* e Índice de eutrofização (IET)

Parâmetros	L1		L2	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Clorofila- <i>a</i> (µg L <sup>-1</sup> )	47,45 ±2,485		64,1 ±0,01	
IET	50,0		59,5	
			61,2	

\*Resultados expressos da Clorofila-*a* pela média ± desvio padrão

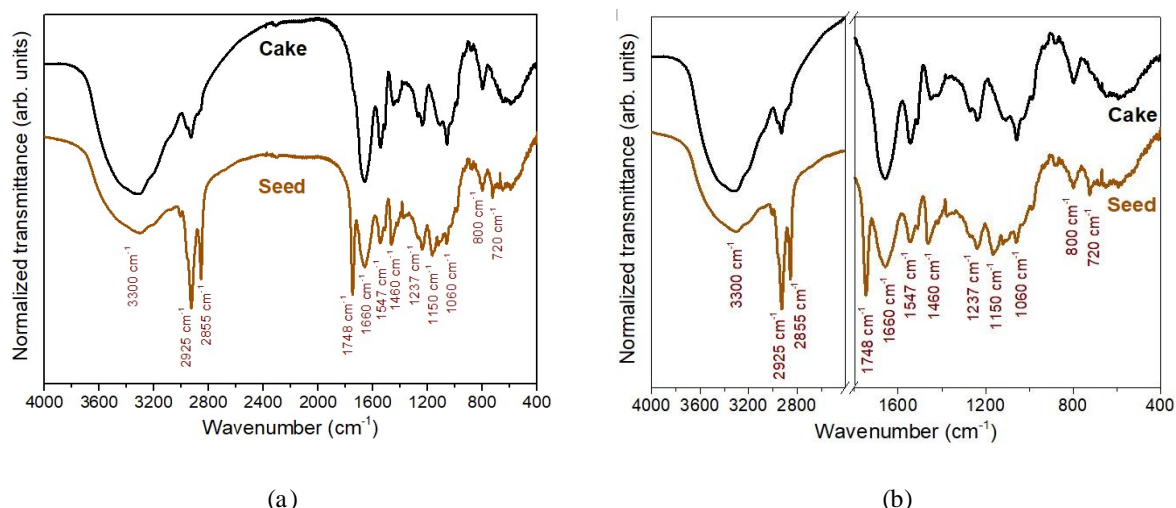
Fonte - o autor, (2024).

Conforme pode ser visualizado na Tabela 9, nesse período as lagoas se comportavam como ambientes eutróficos (Lamparelli, 2004) apresentando alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes (ANA, 2022). Apesar da L1 ser menor, abrigar mais animais, e consequentemente apresentar maior carga poluidora do que a L2, a cho-a foi menor em L1, visto que esse ambiente se apresenta mais sombreado, reduzindo o processo fotossintético (Taiz e Zieger, 2017).

### 5.2.2 Caracterização das sementes de moringa para testes de clarificação

O teor proteico é relevante para os processos de clarificação (coagulação/floculação) com sementes de moringa, pois essas macromoléculas permitem a agregação dos materiais particulados e a desestabilização dos mesmos (Baptista *et al.*, 2017; Gassenschmidt *et al.*, 1995; Kwaambwa, Hellsing e Rennie, 2010; Moulin *et al.*, 2019). A abundância de proteínas foi comprovada através da análise bromatológica da torta (TOR) e semente (SEM) de moringa, que revelaram  $47,03 \pm 0,10\%$  e  $38,28 \pm 0,17\%$  de proteína, respectivamente. A análise por espectroscopia no infravermelho (FT-IR) também revelou a presença de proteínas por apresentar grupos funcionais característicos (Figura 18), tais como: O-H e N-H, atribuídos às bandas intensas nas regiões de  $3300 \text{ cm}^{-1}$ ; além das bandas em  $1660$  e  $1547 \text{ cm}^{-1}$  conferidas ao estiramento C=O e à curvatura N-H de amidas em porção proteica (Ezeamaku. *et al.*, 2018).

**Figura 18** - a) Espectros de FT-IR para torta e sementes de *Moringa oleifera*; b) Espectros de FT-IR ampliados

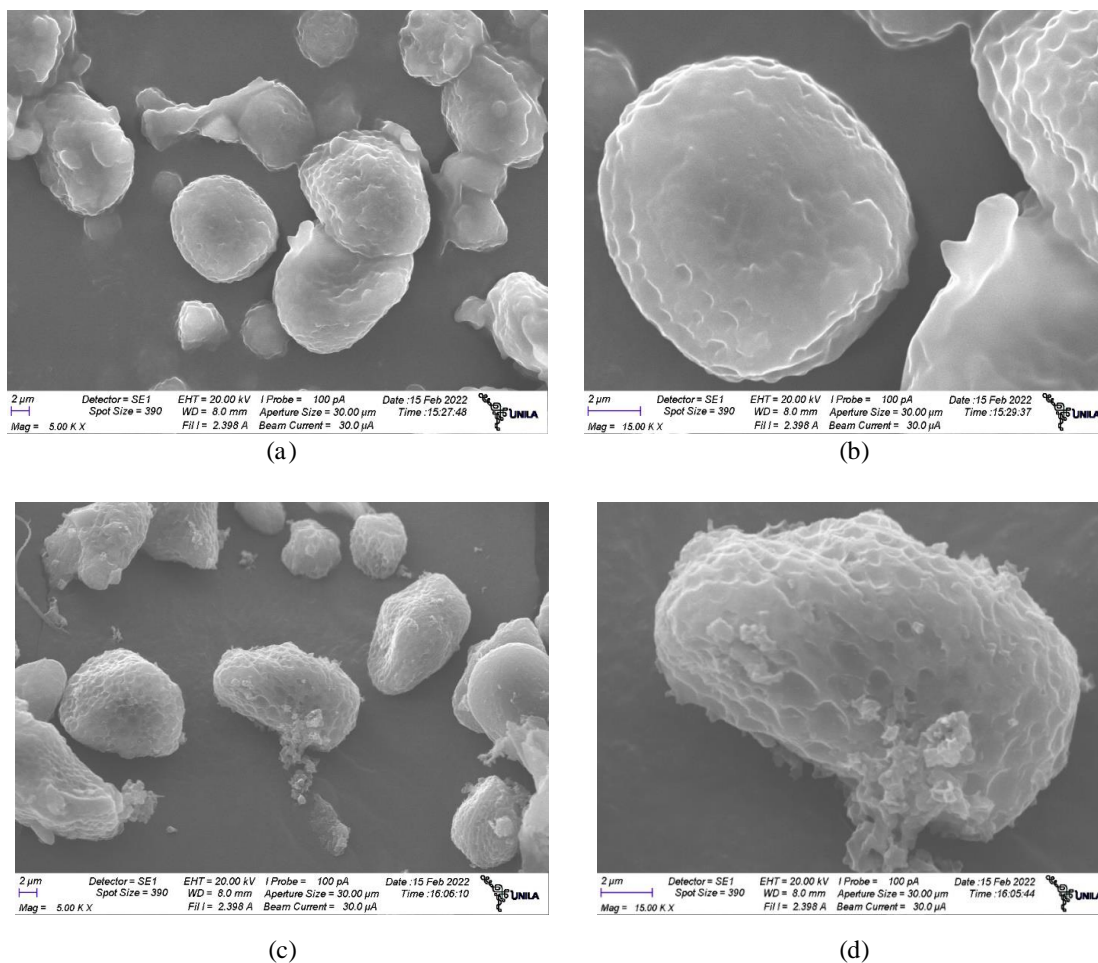


Fonte - o autor, (2023).

O percentual lipídico das SEM foi de  $38,70 \pm 1,79\%$ , valores semelhantes têm sido relatados na literatura, sendo que o óleo de moringa apresenta grande valor agregado (Bhutada *et al.*, 2016; Gharsallah *et al.*, 2021), devido aos seus diversos usos nas indústrias alimentícia, de biocombustíveis e farmacológica (Magalhães *et al.*, 2021). Tortas de moringa têm demonstrado serem mais eficientes nos processos de tratamento de efluentes do que amêndoas com gordura (Ballestrin *et al.*, 2021; Dezfooli *et al.*, 2016), já que com a exclusão da porção lipídica, a proteína catiônica da moringa, denominada, MO2.1 -SwissProt ID:P24303 (Gassenschmidt *et al.*, 1995) tem maior área de contato com material particulado do efluente (Magalhães *et al.*, 2021).

A informação supracitada encontra respaldo nos resultados revelados pela análise das micrografias eletrônicas de varredura (MEV) para amostra de SEM e TOR (Figura 19).

**Figura 19** - Micrografias eletrônicas de varredura de: (a) e (b) amêndoas de moringa integral; (c) e (d) torta de amêndoa de moringa

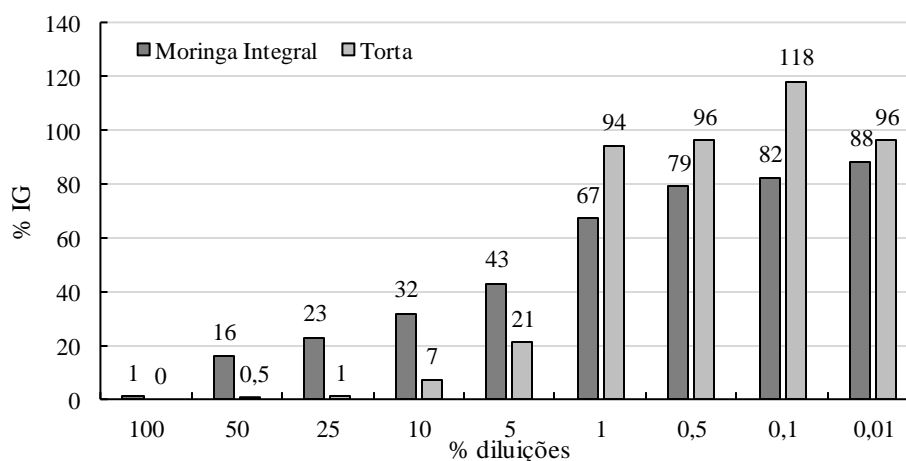


Fonte - o autor, (2022).

Nas micrografias (Figura 19), observa-se uma alteração substancial na morfologia superficial da biomassa de *Moringa oleifera* antes (a e b) e após (c e d) o processo de extração com solvente orgânico. A biomassa apresenta uma superfície mais fragmentada e irregular após a extração, provavelmente devido à remoção de componentes lipídicos que anteriormente preenchiam espaços, poros ou revestiam as superfícies das partículas. Embora parâmetros relacionados à porosidade da torta não tenham sido analisados diretamente, estudos anteriores em condições similares (Magalhães *et al.*, 2021) sugerem que o processo de extração de óleo pode causar modificações na área superficial e no volume de poros. Essas alterações estruturais podem potencialmente favorecer a aderência de compostos químicos em solução aquosa (Boniolo *et al.*, 2017; Meneghel *et al.*, 2013), beneficiando o processo de formação de flocos durante o tratamento físico-químico de efluentes.

Ensaio de toxicidade são realizados com diversos organismos, como minhocas (Caspers, 1984; Saint-Denis *et al.*, 2001), bactérias, microcrustáceos (Souza, Aquino e Silva, 2020), peixes (Albinati *et al.*, 2017), algas (Reno *et al.*, 2016) e plantas (Bernal, Albuquerque e Moral, 2009; Luo *et al.*, 2018), a fim de verificar os potenciais efeitos de diversos materiais. Nos bioensaios de fitotoxicidade, os índices de germinação (IG) superiores a 80% indicam que o testado não contém substâncias fitotóxicas (Bernal, Albuquerque e Moral, 2009). A TOR foi menos tóxica para a germinação de sementes de *Lactuca sativa*, sendo que soluções com 1% de TOR já não apresentavam toxicidade, diferentemente para a SEM a qual precisou de diluições de 0,1% para IGs acima de 80% (Figura 20).

**Figura 20** - Índice de germinação (%IG) de sementes e torta de *Moringa oleifera*



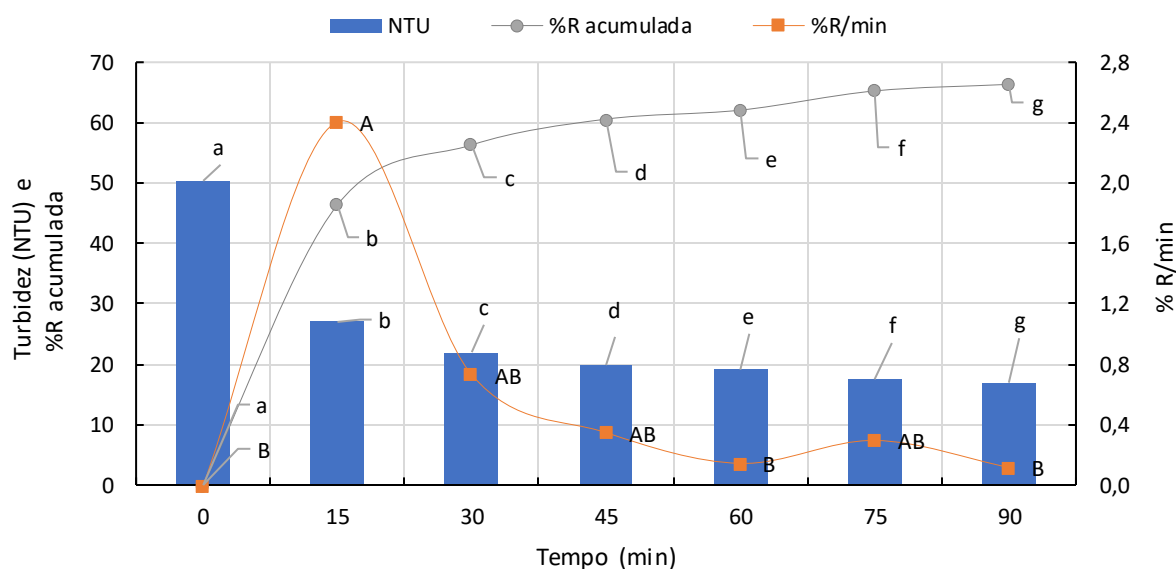
**Fonte** - o autor, (2023).

Os resultados obtidos no ensaio de fitotoxicidade corroboram com estudos que demonstram a exclusão de toxicidade na TOR, ao contrário do que ocorre com SEM de moringa (Attah *et al.*, 2022; Freitas *et al.*, 2016). A partir das soluções não fitotóxicas (IG > 80%), as diluições não diferiram entre si, tanto para a torta (CV: 19,30%; p: 0,000), quanto para a semente integral (CV: 33,07%; p:0,000).

### 5.2.3 Testes de clarificação

A otimização do processo de sedimentação demonstra que o menor valor de turbidez e a maior porcentagem acumulada de remoção (%) são obtidos após 90 minutos (Figura 21), o que é respaldado pela análise de variância (Tabela 10) e pelo teste de Tukey para esses parâmetros. No entanto, é importante destacar que a maior taxa de remoção por minuto é observada aos 15 minutos, com 2,41%/min. Este parâmetro começa a se estabilizar após 60 minutos e parece alcançar uma estabilização mais pronunciada somente após 90 minutos de sedimentação. Outros autores (Cordeiro Cardoso *et al.*, 2008; Petersen *et al.*, 2016), ao estudar o tempo de sedimentação com o uso de coagulantes de MO também reportam 90 minutos como o intervalo mais adequado para a máxima remoção da turbidez.

**Figura 21** - Turbidez da água (NTU), porcentagem acumulada de remoção (%) e a taxa de remoção por minuto (%/min) em função do tempo de sedimentação da água residual de lagoa de zoológico



Nota: Médias com a mesma letra não diferem significativamente ( $p > 0,01$ ), sendo: Letras minúsculas representam a turbidez da água (barras, dms=0,459), letras maiúsculas indicam porcentagem acumulada de remoção de turbidez (dms=0,911), e letras minúsculas em *itálico* referem-se à taxa de remoção por minuto (dms=2,147).

Fonte - o autor (2024)

**Tabela 10** - Resumo da Análise de Variância (ANOVA) para turbidez (NTU), remoção acumulada da turbidez (%) e remoção percentual por minuto (%/min) em função do tempo de sedimentação da água residual de lagoa de zoológico

FV	GL	-----Turbidez -----		----- %R acumulada -----		----- %R/min -----	
		QM	valor de p	QM	valor de p	QM	valor de p
Tempo	6,0	279,3	<0,0001	1101,15	<0,0001	1,4	0,0
Resíduo	7,0	0,0		0,03		0,2	
Total	13,0						

Nota: FV - Fontes de variação; GL - Graus de Liberdade; QM - Quadrados médios.

Fonte - o autor (2024)

A remoção da turbidez apresentou uma tendência similar à variação na dosagem dos coagulantes. No entanto, a eficiência de remoção não aumentou proporcionalmente com o incremento da dose. Com base nesses resultados, a dose ideal para os coagulantes foi determinada em 250 mg L<sup>-1</sup> para MO, resultando em uma redução de 86% na turbidez, e 40 mg L<sup>-1</sup> para SA, alcançando uma remoção de 96%. Houve uma diferença significativa entre os tratamentos, conforme indicado na Tabela 11.

**Tabela 11** - Resultados da otimização das doses (ou concentrações) de coagulantes em relação à redução da turbidez da água residual de lagoa de zoológico: Turbidez (NTU), redução total da turbidez (%R) e eficiência de remoção relativa (%R/dose)

Coagulantes							
Torta de Moringa (MO)				Sulfato de Alumínio (SA)			
Dose (mg L <sup>-1</sup> )	Turbidez (NTU)	%R	%R/dose	Dose (mg L <sup>-1</sup> )	Turbidez (NTU)	%R	%R/dose
500	2,83 <sup>a</sup>	94,4 <sup>d</sup>	0,2 <sup>a</sup>	150	1,82 <sup>bc</sup>	96,4 <sup>bc</sup>	0,6 <sup>a</sup>
250	3,23 <sup>a</sup>	93,6 <sup>d</sup>	0,4 <sup>b</sup>	100	2,06 <sup>b</sup>	95,9 <sup>b</sup>	1,0 <sup>b</sup>
100	9,30 <sup>b</sup>	81,5 <sup>c</sup>	0,8 <sup>c</sup>	80	1,40 <sup>ab</sup>	97,2 <sup>cd</sup>	1,2 <sup>c</sup>
25	13,66 <sup>c</sup>	65,3 <sup>b</sup>	1,3 <sup>d</sup>	40	0,98 <sup>a</sup>	98,0 <sup>d</sup>	2,5 <sup>d</sup>
10	13,80 <sup>c</sup>	72,9 <sup>b</sup>	2,9 <sup>e</sup>	20	4,37 <sup>d</sup>	91,3 <sup>a</sup>	4,6 <sup>e</sup>
50	17,50 <sup>d</sup>	72,6 <sup>a</sup>	7,3 <sup>f</sup>	10	4,00 <sup>d</sup>	92,1 <sup>a</sup>	9,2 <sup>f</sup>
CV (%)	7,35	1,83	1,85	CV (%)	6,92	0,35	0,34
p-valor	< 0,001	< 0,001	< 0,001	p-valor	< 0,001	< 0,001	< 0,001
dms (0,05)	2,027	4,026	0,108	dms (0,05)	0,463	0,919	0,029

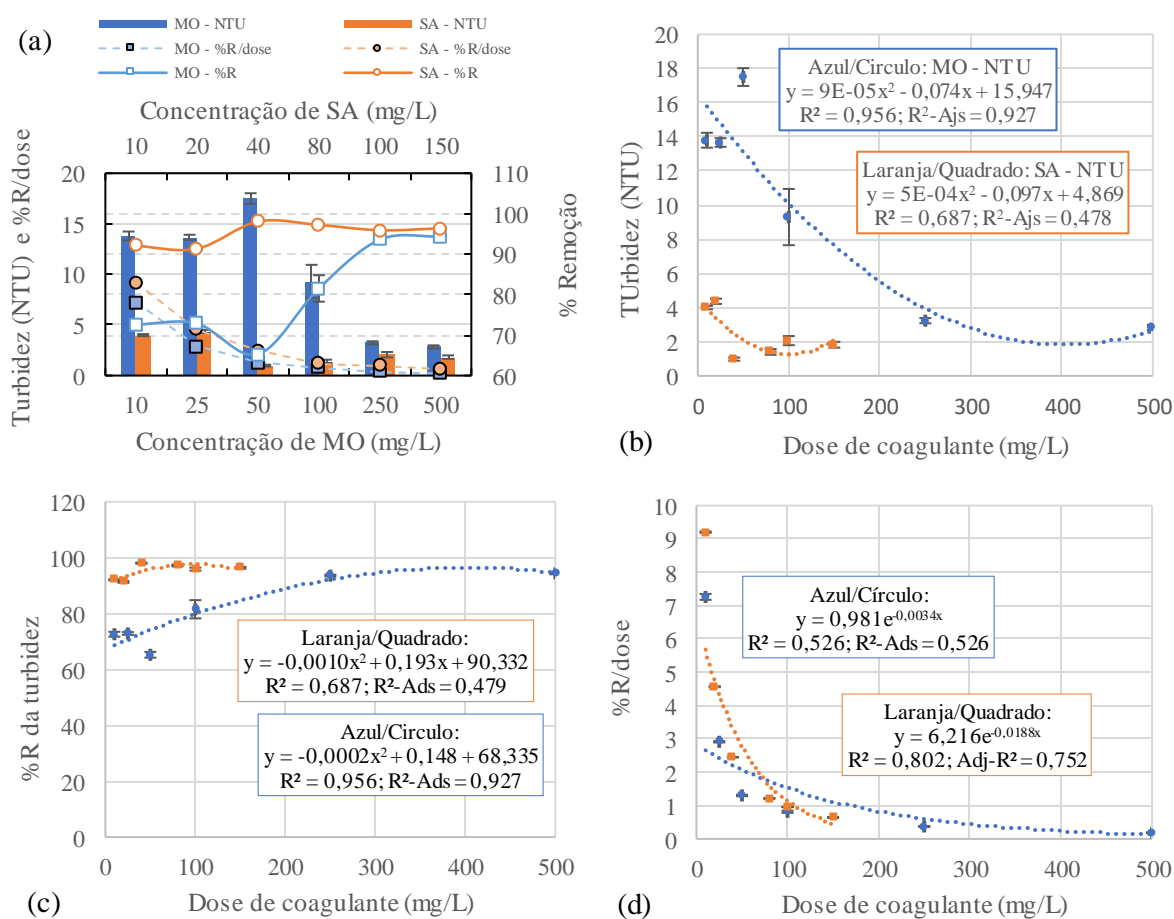
Nota: CV: coeficiente de variação (%); p-valor de médias de comparação (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ); dms ( $\alpha = 0.05$ ): diferença mínima significativa.

Fonte - o autor, (2024).

A Figura 22 ilustra o ajuste quadrático para o efeito das doses de coagulantes na turbidez, permitindo estimar os pontos de mínimo. Os valores indicam que as doses de 403,2 mg L<sup>-1</sup> para MO e 310 mg L<sup>-1</sup> para SA correspondem aos menores valores de turbidez estimados, de 0,43 NTU e -11,45 NTU, respectivamente. A falta de um ajuste adequado da equação quadrática no tratamento com SA resulta em uma sensibilidade limitada, gerando valores negativos de turbidez no ponto de mínimo estimado. Na prática, valores negativos de

turbidez são impossíveis, pois a turbidez mede a quantidade de partículas suspensas na água e deve sempre ser positiva. Esse desvio sugere que a modelagem quadrática não representa com precisão o comportamento da turbidez em função do aumento da dosagem de SA. Portanto, para uma interpretação realista, os valores de turbidez devem ser considerados próximos de zero, em vez dos valores negativos não realistas indicados pela equação. Ao converter os dados de turbidez em porcentagem de remoção e ajustá-los por meio de uma regressão quadrática, verificou-se que as doses correspondentes à máxima remoção de turbidez foram 386 mg/L, com 96,9% de remoção para MO, e 91,5 mg/L, com 99,2% de remoção para SA.

**Figura 22** - Resultados da otimização das doses dos coagulantes *Moringa oleifera* (MO) e Sulfato de Alumínio (SA) para a redução da turbidez em água residual de lagoa de zoológico: (a) redução da turbidez, (b) regressões ajustadas pelo modelo polinomial de segundo grau para doses de coagulante vs. turbidez, (c) % de remoção total da turbidez, e (d) ajuste exponencial para o efeito da eficiência de remoção relativa



MO: *Moringa oleifera*; SA: Sulfato de alumínio; Pontos de mínimo: MO (dose de 403,2 mg/L e 1,82 NTU), SA (310,3 mg/L e -7,95 NTU). O valor negativo observado para a turbidez correspondente ao ponto de mínimo é decorrente do baixo ajuste estatístico observado.

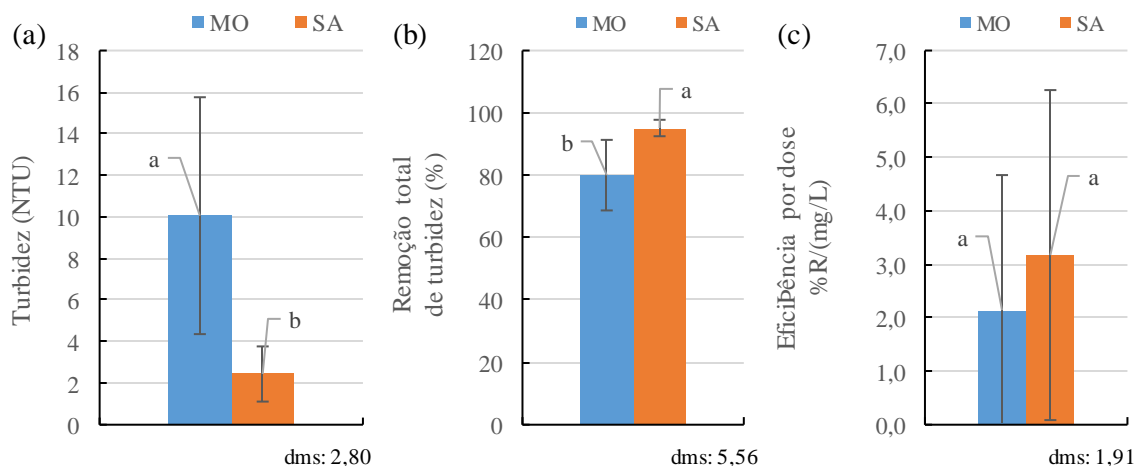
**Fonte** - o autor, (2024).

No trabalho de Vega Andrade et al., (2021) o uso de doses menores de coagulante químico em comparação a MO também foi comprovado, onde a dosagem ótima de MO foi de 600 mg L<sup>-1</sup> para 200 mg L<sup>-1</sup> de SA no tratamento de efluente doméstico. Também

foi confirmado que as doses dos coagulantes utilizados não influenciaram na turbidez, pois não houve diferença significativa entre as doses, tanto para MO (CV: 11,51%; p: 0,1909), quanto para o coagulante SA (CV: 43,42%; p: 0,6182) quando esses foram adicionados em água desmineralizada e sem adição do efluente.

Determinadas as melhores condições em condições de laboratório, testes foram conduzidos para estudo comparativo relativo ao tratamento da água da lagoa de zoológico com o coagulante sintético (SA) e o coagulante orgânico (MO). Ao comparar a eficiência global de cada coagulante no tratamento de efluentes de zoológico (Figuras 23a e 23b) dentro dos intervalos de doses estudados, observou-se valores médios de turbidez residual e remoção de turbidez de  $10,1 \pm 5,7$  NTU e  $80,0 \pm 11,3\%$  para MO, e  $2,4 \pm 1,3$  NTU e  $95,2 \pm 2,6\%$  para SA, com um desempenho superior de SA conforme indicado pela comparação de médias no teste de Tukey. No entanto, ao analisar a eficiência de remoção relativa, calculada como a razão entre a porcentagem de remoção e as doses aplicadas, o teste de médias revelou que não há diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos com MO e AS (Figura 23c).

**Figura 23** - Resultados do teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) para avaliação dos coagulantes *Moringa oleifera* (MO) e Sulfato de Alumínio (SA) aplicados no tratamento de água residual de lagoa de zoológico: (a) turbidez, (b) remoção total da turbidez, e (c) eficiência de remoção relativa da turbidez por dose de coagulante



Fonte - o autor, (2024).

O tratamento com as soluções aquosas dos coagulantes MO e SA resultou na redução de 89% e 97% da turbidez, respectivamente (Tabela 12). A comparação com a literatura é desafiadora, principalmente quanto ao uso de MO em ambiente de proteção ambiental. No entanto, diversos trabalhos comprovam a eficiência das sementes de moringa na clarificação de uma diversidade de matrizes hídricas (Baptista *et al.*, 2017; Bongiovani *et al.*, 2014; Madrona *et al.*, 2017; Ribeiro, Andrade e Reis, 2019; Valverde *et al.*, 2016). Na pesquisa de Nhut *et al.* (2021) estudando águas superficiais de rio no Vietnã, obtiveram redução de 94% da turbidez

com uso de MO. Vega Andrade *et al.* (2021) utilizando solução de MO para tratamento terciário de efluente doméstico, obteve remoção de turbidez de 92%, e Hendrawati *et al.*, (2016) teve redução de 98,6% da turbidez no tratamento de água de esgoto.

Assim como no presente estudo, outros trabalhos advertem sobre a desvantagem da diminuição do pH com o uso de SA (Tabela 12) (Freitas *et al.*, 2016; Vega Andrade *et al.*, 2021). Isso ocorre devido a reação do coagulante com o efluente, que libera íons  $H^+$  e consome a alcalinidade, reduzindo assim o pH e apesar da eficiência na clarificação, esses coagulantes à base de alumínio também necessitam de ajuste no pH para melhorar o desempenho, o que encarece o tratamento final (Bratby, 2016).

**Tabela 12** - Caracterização das águas de entrada (ENT), água bruta da lagoa das antas (LAG), água coagulada/floculada com moringa (CFM) e água coagulada/floculada com sulfato de alumínio (CFS)

Trat.	Turbidez (NTU)	pH	CE ( $\mu S\ cm^{-1}$ )	MS ( $g\ m^{-2}$ )	MSLC ( $g\ m^{-2}$ )
ENT	6,17 <sup>b</sup> ±0,23	7,57 <sup>a</sup> ±0,00	59,59 <sup>b</sup> ±0,52	0,006 <sup>a</sup> ±0,050	0,006 <sup>b</sup> ±0,006
LAG	22,67 <sup>a</sup> ±6,83	7,13 <sup>b</sup> ±0,00	85,67 <sup>a</sup> ±2,89	0,305 <sup>b</sup> ±0,075	0,172 <sup>a</sup> ±0,052
CFM	2,53 <sup>b</sup> ±0,21	7,11 <sup>b</sup> ±0,03	87,29 <sup>a</sup> ±5,12	0,019 <sup>a</sup> ±0,008	0,019 <sup>b</sup> ±0,009
CFS	0,66 <sup>b</sup> ±0,04	6,56 <sup>c</sup> ±0,09	86,25 <sup>a</sup> ±1,44	0,011 <sup>a</sup> ±0,003	0,011 <sup>b</sup> ±0,003
CV (%)	41,63	0,65	3,59	44,22	50,68
p-valor	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Nota: Resultados expressos por média seguida de desvio padrão; ENT: água de entrada; LAG: água *in natura* lagoa 1; CFM: água coagulada/floculada com moringa; CFS: água coagulada/floculada com sulfato de alumínio; CE: condutividade elétrica; MS: Massa Seca; MSCL: massa seca livre de cinzas; CV: coeficiente de variação (%); p-valor de médias de comparação (Tukey,  $\alpha =$  **Fonte** - o autor, (2024).

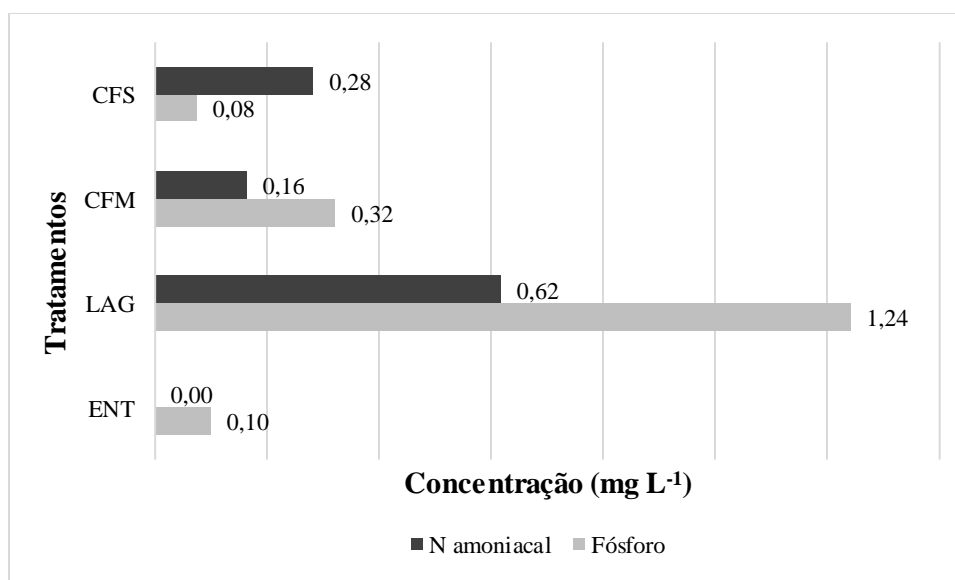
A CE da ENT diferiu dos demais tratamentos (Tabela 12), refletindo menos íons nessa água (Pérez-Godínez *et al.*, 2017; Ripp *et al.*, 2020; Vico *et al.*, 2018). Esse fato foi confirmado com os resultados exibidos com o aumento de fósforo e nitrogênio amoniacal nas outras águas (LAG, CFM e CFS) (Figura 24).

Diferentemente do observado nos outros tratamentos, a CFM apresentou maior concentração NTK ( $4,426\ mg\ L^{-1}$ ), sendo esse não detectado nos demais tratamentos (LQ:  $<2,80\ mg\ L^{-1}$ ). A elevação desse parâmetro deve-se a presença da torta de moringa, a qual é rica em proteínas e portanto, associada a desprendimento de aminoácidos (Gassenschmidt *et al.*, 1995). Rashinkar *et al.*, (2021) afirmam que por possuírem compostos nitrogenados importantes, as águas residuárias de zoológico aumentam a fertilidade, podendo ser reutilizadas após a desinfecção, o que pode reduzir o custo do uso de água, além de ajudar na melhoria da gestão desse recurso dentro das instalações do zoológico. O que foi demonstrado no trabalho de Mir and Shrivastava (2023), os quais apresentaram uma alternativa para mitigar os efeitos negativos da água da lagoa de zoológico, utilizando-a para irrigação de vermicompostagem, o

que resultou em melhoria na biomassa de minhocas e no valor nutricional do adubo orgânico.

O nitrogênio amoniacal representa o produto final da decomposição da matéria orgânica por bactérias heterotróficas, sendo que a taxa de amonificação aumenta conforme se eleva o grau de trofia do ambiente, o que é mais comum nas camadas mais profundas de lagos e reservatórios (IAT, 2017). No Brasil, a Resolução 430/2011 indica que parâmetro pode chegar até  $20,0 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{NH}_3$  (BRASIL, 2011). Com uso dos coagulantes, a redução do nitrogênio amoniacal foi de 74% e 55% para MO e SA, respectivamente. Para o íon fósforo também houve redução com o uso dos coagulantes, tanto para o orgânico, com redução de 74%, e 94% com uso de AS (Figura 24).

**Figura 24** - Concentração de Fósforo e Nitrogênio amoniacal das águas de entrada (ENT), lagoa das antas (LAG), água tratada com torta de moringa (CFM) e água tratada com sulfato de alumínio (CFS)



Fonte - o autor, (2024).

Um problema associado ao uso de preparações brutas a partir de sementes de MO é a introdução de uma quantidade considerável de matéria orgânica no sistema (Freitas *et al.*, 2016; Nhut *et al.*, 2021), o que foi comprovado no presente trabalho, sendo que a água CFM teve aumento da DQO (Tabela 13), mas muitos outros trabalhos também já relataram esse fato (Baptista *et al.*, 2017; Freitas *et al.*, 2016; Nhut *et al.*, 2021; Vega Andrade *et al.*, 2021), tal que, Kansal e Kumari, (2014) colocam que essa elevação da DQO deve-se a extração da semente de moringa aquosa não ser eficiente, e conter tecidos da própria planta, havendo o aumento da carga orgânica e assim refletindo na presença de carbono orgânico dissolvido (COD) residual, potencializando o aumento da DQO.

**Tabela 13** - Demanda química de oxigênio (DQO) e Índice de germinação (IG) das águas de entrada (ENT), água bruta da lagoa das antas (LAG), água tratada com torta de moringa (CFM) e água tratada com sulfato de alumínio (CFS)

Parâmetros	ENT	LAG	CFM	CFS	CV (%)	p-valor
<b>DQO (mg L<sup>-1</sup>)</b>	12,00 <sup>c</sup>	68,67 <sup>b</sup>	118,33 <sup>a</sup>	39,33 <sup>bc</sup>	25,44	0,001
<b>IG (%)</b>	89,55 <sup>b</sup>	121,62 <sup>a</sup>	118,73 <sup>a</sup>	126,94 <sup>a</sup>	9,31	0,001

CV: coeficiente de variação (%); p-valor de médias de comparação (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

Fonte - o autor, (2024).

Para o teste de fitotoxicidade, a amostra ENT diferenciou-se significativamente das demais, apresentando IG de 89%, já as amostras LAG, CFM e CFS foram fitoestimulantes, apresentando IGs acima de 118% (Bernal, Albuquerque e Moral, 2009), mas não diferindo estatisticamente entre si (Tabela 13). Mesmo o CFS não apresentou toxicidade a germinação das sementes, igualmente o que aconteceu no trabalho de Freitas et al., (2016), em que águas tratadas com SA e MO não apresentaram fitotoxicidade para sementes de *Eruca sativa* (rúcula) e também *Lactuca sativa* (alface), mas ofereceu maior taxa de mortalidade para o microcrustáceo *Artemia salina*. Mas, por não serem biodegradáveis, águas e sedimentos oriundos de coagulação/floculação com SA tornam-se um desafio diante aos altos custos para o tratamento devido a variação significativa de pH, logística, disposição final e do risco associado ao manuseio (Hendrawati et al., 2016; Vega Andrade et al., 2021).

O coagulante a base de MO, além de não ter sofrido nenhum tratamento prévio, é um material orgânico o qual não oferece problemas com produção de lodo com subprodutos tóxicos (Hendrawati et al., 2016; Michelan et al., 2021). Preocupações ambientais globais em relação a gestão de resíduos sólidos, principalmente aquelas com substâncias tóxicas, são significativos, especialmente em países em desenvolvimento, onde falta tecnologias de eliminação eficientes. A reciclagem de águas residuárias ricas em nutrientes é uma abordagem inovadora adaptada para jardim zoológico, o que evita eficazmente a sua descarga em curso d'água adjacente, o que pode ter um impacto negativo na fauna aquática, levando a proliferação de algas e a eutrofização (Mir e Shrivastava, 2023).

### 5.3 CONCLUSÕES

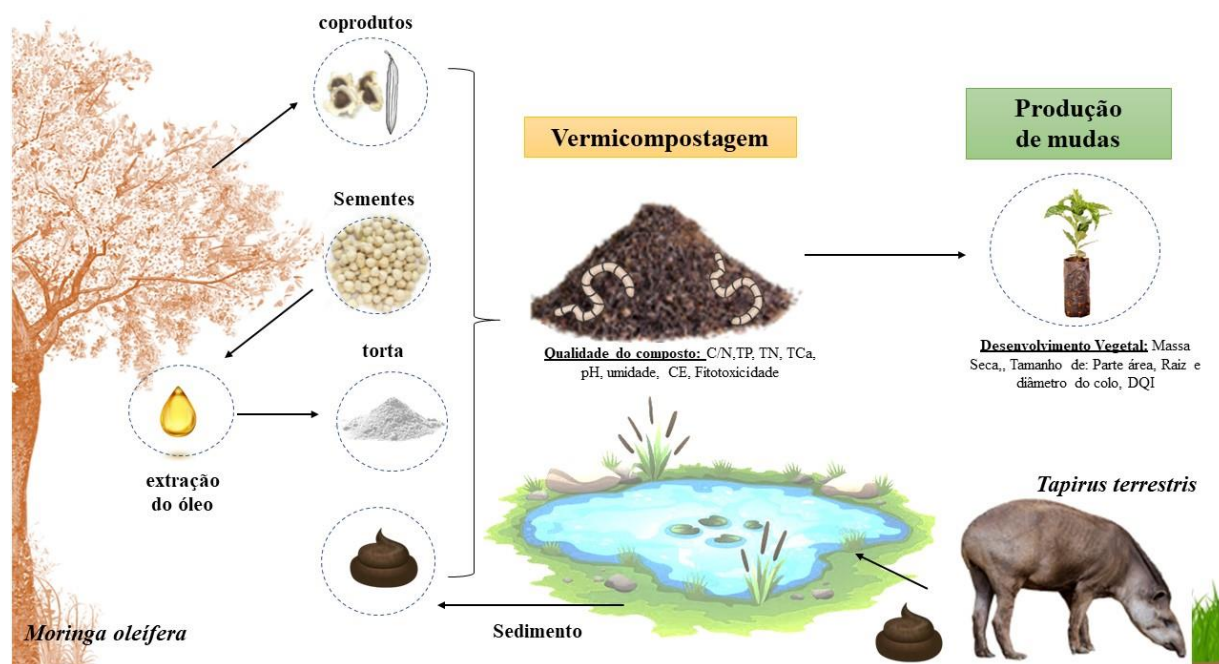
O uso da torta de sementes de *Moringa oleifera* propiciou tratamento semelhante ao coagulante comercial Sulfato de Alumínio no que se refere a remoção de turbidez, fósforo, nitrogênio amoniacal e massa seca em água residuária da lagoa artificial de zoológico utilizada pelas antas (*Tapirus terrestris*), além disso as águas tratadas com os

coagulantes não se apresentaram fitotóxicas e não houve variação significativa da condutividade elétrica. Mas, o uso desse coagulante orgânico apresentou-se como melhor opção frente ao sintético, seja pela pouquíssima variação no pH e pela geração de lodos sem possíveis subprodutos tóxicos e passível de tratamento neutro para o meio ambiente.

Não há relato na literatura do uso de torta de *Moringa oleifera* no tratamento de águas residuárias em zoológico, diante disso, é válido novas pesquisas quanto a essa prática, buscando uma alternativa para tratamento desses efluentes em zoológicos, a fim de favorecer o bem-estar dos animais e a sustentabilidade.

## 6 CAPÍTULO II - VALORIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DOS COPRODUTOS DE *MORINGA OLEIFERA* LAM. E RESÍDUO DE ZOOLÓGICO

**Figura 25** - Graphical abstract sobre estudo quanto ao uso de partes de moringa e sedimento de lagoa de zoológico por vermicompostagem



Fonte - o autor, (2024).

### RESUMO

A *Moringa oleifera* (moringa) tem se destacado como uma planta promissora em diversos segmentos, sendo estudada mundialmente. No entanto, seus coprodutos, entre eles valvas e cascas das sementes, que representam mais de 70% dos seus frutos, não são valorizados. Diante disso, este trabalho teve por objetivo avaliar o uso de partes do fruto de moringa em conjunto com sedimento de lagoa artificial de recinto de zoológico habitado por *Tapirus terrestris* (anta) em processo de vermicompostagem, utilizando minhocas da espécie *Eisenia foetida*. Foram testadas cinco condições experimentais, em que variaram-se as proporções dos resíduos. Os vermicompostos não se apresentaram fitotóxicos e diferiam quanto a relação C/N, onde os que receberam partes dos frutos de moringa a razão C/N foi maior. Comumente a processos de estabilização, os teores de P, K, Ca e condutividade elétrica aumentaram, enquanto carbono e pH diminuíram ao longo da estabilização. Foi avaliado o desenvolvimento vegetal de *Catharanthus roseus* utilizando além dos vermicompostos mais dois compostos comerciais. Os vermicompostos propiciaram melhor desenvolvimento de *C. roseus* do que os comerciais, sendo T2 (65% de sedimento + 35% valvas dos frutos) e T3 (50% de sedimento + 35% valvas + 15% cascas das sementes) os melhores tratamentos. A vermicompostagem associando coprodutos de moringa e resíduos de zoológico é uma alternativa viável via tratamento aeróbio, favorecendo o seu gerenciamento e a busca pela sustentabilidade.

**Palavras-chaves:** Anta. Vermicompostagem. Gerenciamento de resíduos

## 6.1 INTRODUÇÃO

A *Moringa oleifera* Lamarck, originária do noroeste da Índia, tem se destacado mundialmente devido as suas diversas propriedades (Kavithambika, Indumathi e Mahendran, 2020). Diante disso pode ser utilizada em diferentes setores industriais, farmacêutico, produção de cosméticos, geração de biodiesel, tratamento de água e por apresentar um perfil nutricional rico em proteínas, vitaminas, ácidos graxos e minerais é também empregada na alimentação humana e animal (Masih *et al.*, 2019; Trigo *et al.*, 2020). Estudos indicam que a moringa apresenta diversas moléculas biologicamente ativas, com propriedades antibacterianas, antifúngicas (Mohanty *et al.*, 2021; Morgan, Opio and Migabo, 2020; Silva, Padilha and Padilha, 2021), antiinflamatórias (Brilhante *et al.*, 2017) e até anticâncer (Barhoi *et al.*, 2021). O mercado global para os constituintes de moringa foi de 6,9 bilhões de dólares em 2020, e a expectativa é que haja expansão de 9,5% até 2028 (Factors FA, 2020; Patil *et al.*, 2022).

A moringa é uma planta perene, cultivada em regiões tropicais, mesmo sob condições adversas. O fruto da moringa é simples do tipo cápsula loculicida com três valvas, mede de 45 a 90 cm e possui sementes globosas, onde a amêndoa é revestida com casca com três asas (Jattan *et al.*, 2021; Ramos *et al.*, 2010). Das estruturas do fruto de moringa, somente a semente apresenta interesse comercial, e apesar do aumento crescente da utilização desta planta, ainda são escassas as pesquisas quanto a destinação de seus coprodutos.

Em termos das aplicações da moringa, foi verificado que na cultura de *citrus*, quando fertilizado com torta das sementes de moringa verifica-se melhor desenvolvimento dos frutos, redução na quantidade de adubo químico e custos, além disso, a pesquisa reportou que resultados mais satisfatórios foram obtidos quando a torta foi incorporada a composto orgânico (El-Hadidy *et al.*, 2022).

Estudos também indicam que, mesmo com tantos benefícios, partes dos frutos de moringa podem apresentar toxicidade (Attah *et al.*, 2022; Tahir *et al.*, 2018, 2020), e entre as práticas de estabilização aeróbica, a vermicompostagem é preferível, pois as minhocas são utilizadas como bioindicadores devido à sua sensibilidade (Saint-Denis *et al.*, 2001) e como animal padrão para experimentos toxicológicos (Caspers, 1984). A vermicompostagem é uma alternativa econômica e ambientalmente atraente para resolver problemas associados aos resíduos orgânicos (Jjagwe *et al.*, 2019), convertendo-os em fertilizantes e substratos húmicos ricos em nutrientes (Yuvaraj *et al.*, 2021), e exigindo menos gerenciamento para operar resíduos em grande escala (Enebe e Erasmus, 2023).

Mas, para que o processo de estabilização de resíduos orgânicos ocorra de forma eficaz, é necessário garantir alguns parâmetros, como: controle da umidade, pH, relação Carbono/Nitrogênio (C/N) e maturação completa do composto (Gusain e Suthar, 2020; Voběrková *et al.*, 2017). A razão C/N tem influência na ação energética e estrutural dos organismos decompositores (Gusain e Suthar, 2020; Melo *et al.*, 2020; Voběrková *et al.*, 2017), e para se atingir a razão ideal de C/N, subprodutos vegetais, os quais apresentam elevado percentual de carbono são adicionados a dejetos, que são ricos em nitrogênio (Cotta *et al.*, 2015).

Técnicas tradicionais de gerenciamento de resíduos sólidos como incineração, pirólise e gaseificação têm altos custos de investimento (Alshehrei e Ameen, 2021) e muitas vezes liberam substâncias tóxicas e danosas para o meio ambiente. Desta forma, considerando-se que para um zoológico atingir os objetivos da sustentabilidade, todas as suas atividades devem ser neutras para o ambiente, o emprego destas técnicas deve ser reconsiderado (Pérez-Godínez *et al.*, 2017; WAZA, 2020). Sendo assim, a utilização dos resíduos orgânicos oriundos de zoológicos para a produção de adubos, compostos, biofertilizantes e extratos de plantas para melhorar o desenvolvimento vegetal, são consideradas metodologias de gestão de resíduos economicamente viáveis e sustentáveis, sendo capazes de devolver ao solo parte dos nutrientes retirados (Alshehrei e Ameen, 2021; Cappellini *et al.*, 2021; Dores-Silva *et al.*, 2013; Kachangoon *et al.*, 2022).

Assim, esta pesquisa foi realizada no Refúgio Biológico Bela Vista, em que se encontra o Zoológico Roberto Ribas Lange, o qual abriga, dentre outros animais, o maior mamífero do sul da América, a anta (*Tapirus terrestris*), pesando entre 180 a 300 kg (Thoisy *et al.*, 2014). Trata-se de uma espécie herbívora dispersora de sementes e considerada um importante bioindicador da saúde do ecossistema e da manutenção da biodiversidade (Dario, 2014; Ticiani, Onghero e Favretto, 2021). No entanto, um fato peculiar é que essa espécie defeca na água (Bodmer, 1991) e em ambientes cativos, isso leva ao acúmulo de matéria orgânica, representando risco à saúde dos animais e diversos problemas ambientais como: eutrofização, liberação de gases de efeito estufa, maus cheiros e contaminação de solos e corpos hídricos. Além disso, atualmente, os zoológicos também contribuem tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico, proporcionando importância científica ao atuarem como espaço de investigação e desenvolvimento de técnicas de preservação eficazes (WAZA, 2020).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização de partes do fruto da *Moringa oleifera* associadas ao sedimento de uma lagoa de um recinto de zoológico utilizadas por *Tapirus terrestris*, para estabilização por vermicompostagem, para proporcionar

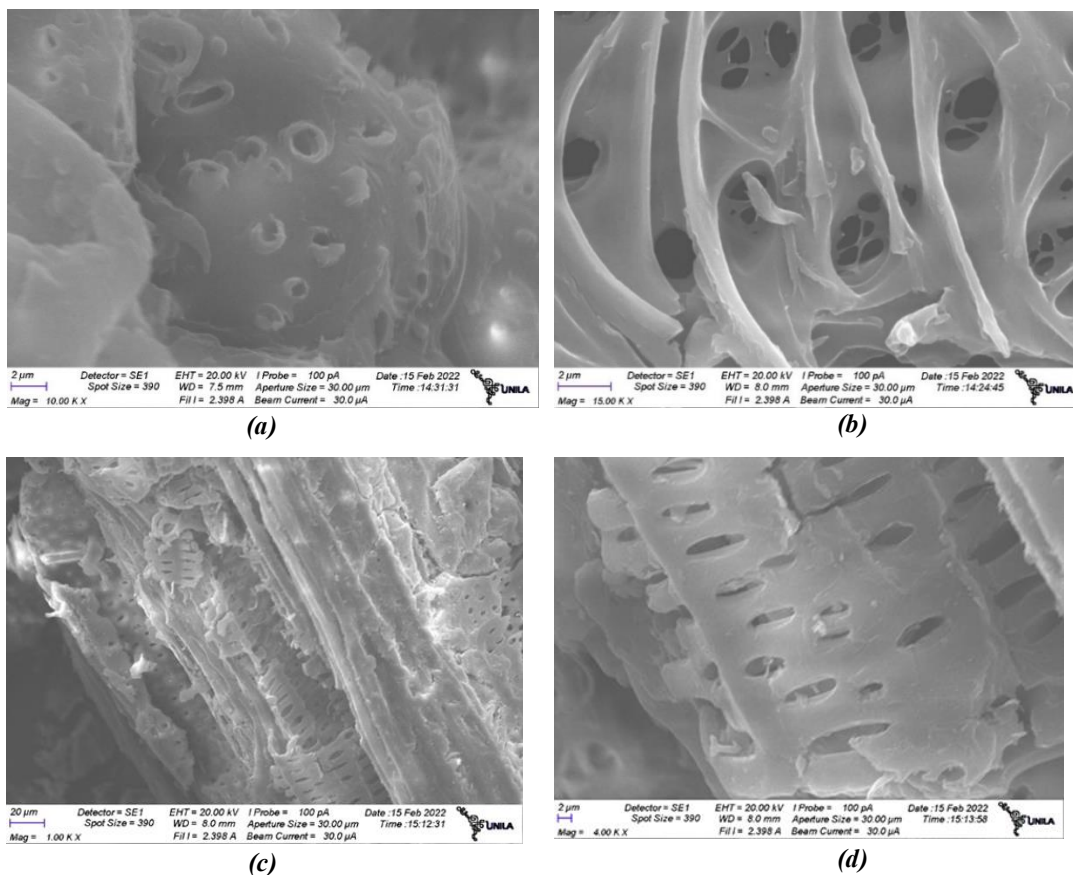
valorização e manejo sustentável para esses dois resíduos produzidos em larga escala.

## 6.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.2.1 Caracterização das partes do fruto de *Moringa oleifera*

Uma produção em larga escala de sementes de *Moringa oleifera*, resulta na geração de quantidade considerável de materiais sem valor agregado, isso pode ser sugerido por meio da quantificação das partes dos frutos de moringa, já que 77% ( $\pm 3,19$ ) da massa e 99% ( $\pm 0,13$ ) do volume se devem a seus coprodutos: valvas e cascas das sementes. Esse volume 1 dos coprodutos de moringa é justificável devido ao grande número de poros nesses materiais, verificado por meio das micrografias eletrônicas de varredura (Figura 26), o que retrata a característica esponjosa dos frutos, propiciando baixa densidade e conseqüentemente grande volume.

**Figura 26** - Micrografias eletrônicas de varredura de (a) cascas das sementes de moringa; (b) valvas de moringa



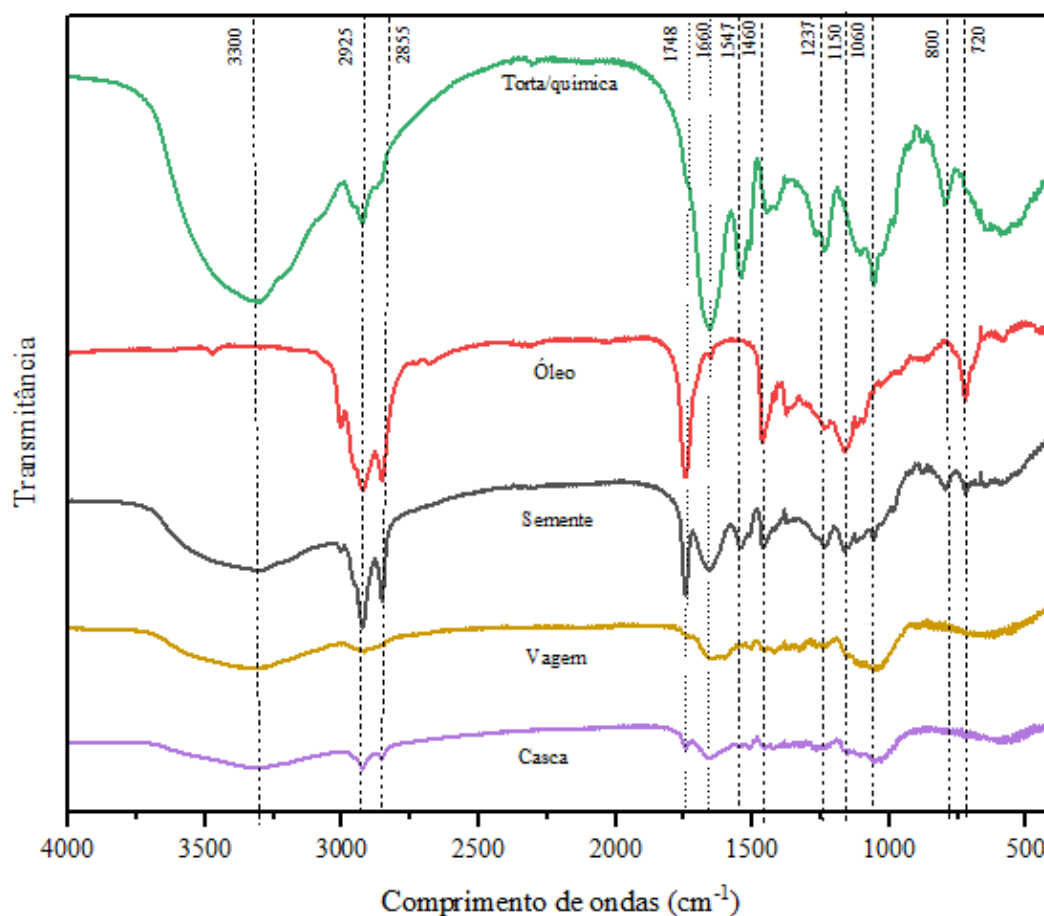
Fonte - o autor, (2024).

A caracterização das partes do fruto da moringa, demonstrou que a amêndoa ( $38,28 \pm 0,17\%$ ) e a torta ( $47,03 \pm 0,10\%$ ) apresentaram maior percentual de proteínas do que cascas das sementes ( $18,59 \pm 0,00\%$ ) e valvas dos frutos ( $9,84 \pm 0,00\%$ ). Este resultado está de acordo com estudos anteriores que indicaram a abundância de proteínas nas sementes de moringa (El-Hadidy *et al.*, 2022; Masih *et al.*, 2019; Trigo *et al.*, 2020), variando entre 19 e 47% (Bhutada *et al.*, 2016; Gharsallah *et al.*, 2021). No estudo realizado por El-Hadidy *et al.*, (2022), o resultado quanto a caracterização da torta de moringa foi semelhante ao presente estudo. Entretanto, esses percentuais variam, conforme a localização e fisiologia da planta (Rébufa, Dupuy e Bombarda, 2021). As sementes utilizadas no processo de estabilização apresentaram percentual de óleo de 38,70% ( $\pm 1,79$ ). Resultados semelhantes foram obtidos em outros trabalhos, que relatam que as sementes de moringa possuem um teor de óleo significativo (até 40%) (Bhutada *et al.*, 2016; Gharsallah *et al.*, 2021).

A análise das amostras por espectroscopia no infravermelho (FT-IR) (Figura 27) possibilitou a identificação de bandas associadas os grupos funcionais dos compostos presentes nas partes do fruto da moringa. As bandas intensas na região de  $3300 \text{ cm}^{-1}$  estão presentes em todas as amostras, exceto no óleo, e podem ser atribuídas ao alongamento vibracional da ligação O-H de carboidratos, proteínas, polissacarídeos e unidades de lignina. Nessa mesma banda pode-se indicar o estiramento da ligação N-H, devido ao alto teor de proteínas presente nessas amostras. As bandas finas na região de  $2925$  e  $2852 \text{ cm}^{-1}$  sugerem o estiramento simétrico e assimétrico de ligações CH dos grupos alcanos, presentes nos lipídios e lignina, o que corrobora também com picos próximo a  $1748$ , atribuído para grupos acetis e carboxilas presentes em lipídios e proteínas (Kachangoon *et al.*, 2022; Rébufa, Dupuy e Bombarda, 2021).

As bandas em  $1660$  e  $1547 \text{ cm}^{-1}$  (Figura 27) são atribuídas ao estiramento C=O e a curvatura N-H de amidas em porção proteica. Fracas bandas em  $1460 \text{ cm}^{-1}$  são atribuídas a vibração da ligação C=C presente em lignina (Meneghel, Gonçalves Jr., Rubio, *et al.*, 2013). A região espectral de  $1100$  a  $900 \text{ cm}^{-1}$  é característica de polissacarídeos, e abaixo de  $950 \text{ cm}^{-1}$  aparecem bandas para o estiramento de C-O e deformação aromática de C-H atribuída também a presença de lignina, além disso nessa mesma região é verificada a vibração do anel e CH<sub>2</sub>, características para polissacarídeos (Rébufa *et al.*, 2021).

**Figura 27** - Espectros de FT-IR das partes do fruto da *Moringa oleifera*



Fonte - o autor, (2024).

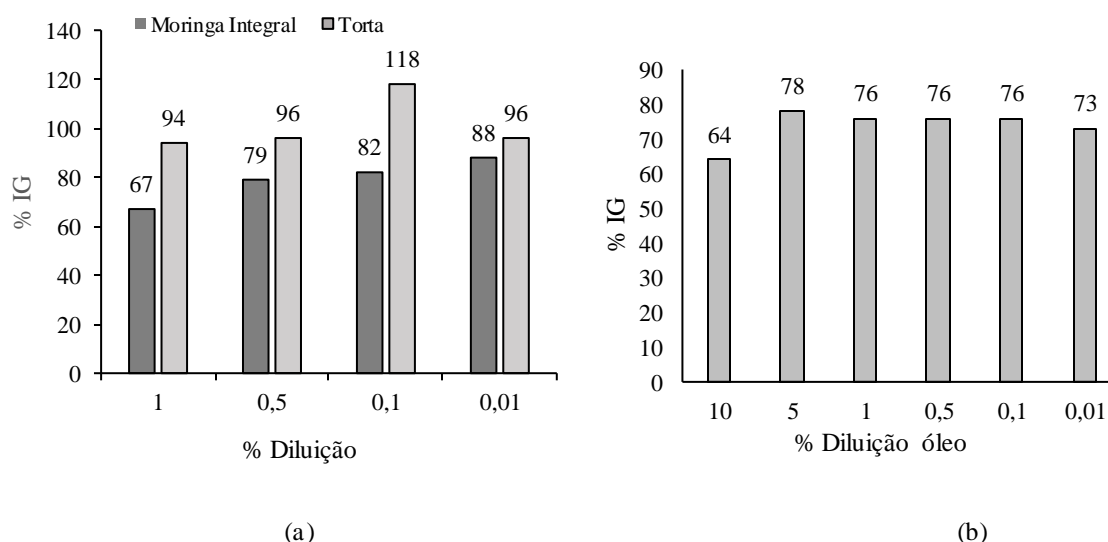
A análise das partes dos frutos de moringa por meio do FT-IR revelou a diversidade de grupos funcionais, reiterando sua composição complexa e corroborando também que a extração do óleo reduziu o teor de ácidos graxos nas sementes, mas não afetou seu teor proteico.

Quando bioensaios que apresentam índices de germinação (IG) acima de 80%, estes indicam que o material testado está livre de substâncias fitotóxicas (Bernal, Albuquerque e Moral, 2009). As partes do fruto da moringa apresentaram-se fitotóxicas em soluções de 100% e diluições de 50%. A partir de diluições de 25%, para vagem e casca das sementes, as soluções mostraram-se fitoestimulantes, apresentando IGs de 103%. No entanto, a torta e as sementes integrais ainda se apresentaram fitotóxicas mesmo em 5% de diluição.

Diante do indicativo de fitotoxicidade da torta e semente integral da moringa, novos testes foram realizados com diluições inferiores a 5%. As amostras com moringa integral, devido ao óleo, apresentaram-se fitotóxica mesmo em diluições de 1%, com níveis de toxicidades foram superiores aos da torta. Não houve diferença significativa entre as diluições

das sementes de moringa integral (CV: 25,41; p-valor: 0,602) e torta (CV: 13,56; p-valor: 0,171) (Figura 28).

**Figura 28** - Percentual do índice de germinação (IG) de teste de fitotoxicidade do partes do fruto (a) e óleo (b) de *Moringa oleifera*



Fonte - o autor, (2024).

O óleo da moringa mostrou-se fitotóxico em todas as diluições analisadas (Figura 28) não havendo diferença significativa entre as diluições (CV: 14,24; p-valor: 0,647) e corroborando com estudos anteriores que indicam que após extração do óleo, a torta da moringa não apresenta toxicidade (Attah et al., 2022; Tahir et al., 2018, 2020).

### 6.2.2 Processo de estabilização do sedimento da lagoa por vermicompostagem

O sedimento da lagoa apresentou pH mais acidificado ( $6,34 \pm 0,02$ ), além de maior condutividade elétrica (CE:  $2,13 \text{ mS cm}^{-1} \pm 0,15$ ), menor razão C/N ( $17,30 \pm 0,36$ ) e percentual de carbono (COT:  $34,32 \pm 0,91$ ) do que o dejetto fresco de *Tapirus terrestris* (pH:  $6,95 \pm 0,07$ , CE:  $1,09 \pm 0,08$ ; C/N:  $34,28 \pm 0,13$ ; COT:  $48,00 \pm 0,42$ ), o que é característico de material em processo de estabilização (Cotta et al., 2015; Li et al., 2016; Melo et al., 2020).

Para que um processo de estabilização tenha sucesso é necessário que se forneça condições adequadas para desenvolvimento dos organismos decompositores, assim, alguns parâmetros devem ser monitorados. Dentre esses, o pH é um parâmetro que afeta diretamente a ativação microbiana (Ndegwa e Thompson, 2001; Voběrková et al., 2017) e apesar dos vermicompostos finais apresentarem-se acidificados (Tabela 14), o que pode ser

atribuído à mineralização de compostos de fósforo e nitrogênio e produção de ácidos fúlvicos e húmicos (Ndegwa e Thompson, 2001), o limite de pH para o processo de vermicompostagem pode estar em torno de 5 a 9 (Melo et al., 2020).

**Tabela 14** - Caracterização dos vermicompostos produzidos com sedimento de lagoa utilizadas por *Tapirus terrestris* e partes dos frutos de *Moringa oleifera*

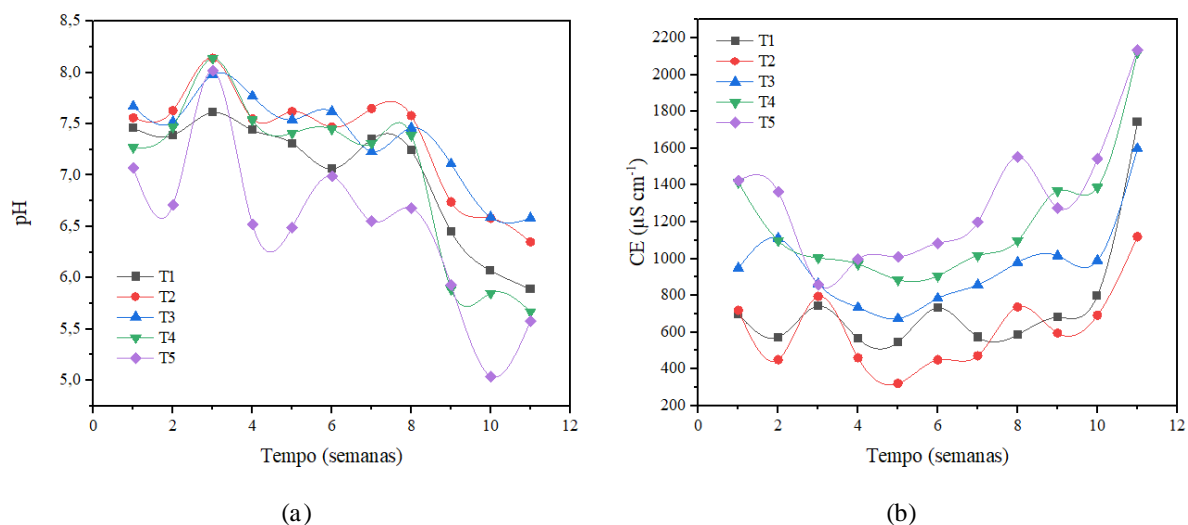
Parâmetros	Tratamentos					CV	p-valor
	T1	T2	T3	T4	T5		
pH	5,89 ±0,25	6,35 ±0,40	6,58 ±0,56	5,67 ±0,43	5,58 ±0,08	7,82	0,0354
CE (mS cm <sup>-1</sup> )	1,74 <sup>ab</sup> ±0,19	1,12 <sup>b</sup> ±0,18	1,60 <sup>ab</sup> ±0,48	2,12 <sup>a</sup> ±0,34	2,13 <sup>a</sup> ±0,19	17,47	0,0015
ST (%)	27,21 <sup>a</sup> ±1,24	20,02 <sup>b</sup> ±0,75	19,66 <sup>b</sup> ±0,77	21,47 <sup>b</sup> ±1,54	21,19 <sup>b</sup> ±1,70	5,35	0,0000
Cinzas (MS%)	52,10 <sup>a</sup> ±0,49	45,77 <sup>b</sup> ±0,92	41,77 <sup>c</sup> ±0,75	41,29 <sup>c</sup> ±1,39	39,29 <sup>d</sup> ±0,91	1,84	0,0000
SV (MS%)	47,88 <sup>d</sup> ±0,80	54,21 <sup>c</sup> ±0,92	58,21 <sup>b</sup> ±0,75	58,70 <sup>b</sup> ±1,39	60,70 <sup>a</sup> ±0,91	1,45	0,0000
COT (MS%)	26,65 <sup>d</sup> ±0,44	30,12 <sup>c</sup> ±0,51	32,34 <sup>b</sup> ±0,42	32,61 <sup>b</sup> ±0,77	33,72 <sup>a</sup> ±0,50	1,41	0,0000
NTK (MS%)	1,92 ±0,14	2,01 ±0,10	2,01 ±0,00	2,01 ±0,10	2,04 ±0,20	6,85	0,7362
C/N	13,87 <sup>c</sup> ±0,87	15,65 <sup>b</sup> ±0,13	15,74 <sup>ab</sup> ±0,62	16,78 <sup>ab</sup> ±0,37	16,94 <sup>a</sup> ±0,66	3,74	0,0000
IG (%)	164,34 ±23,27	138,21 ±39,95	121,29 ±38,91	161,12 ±35,56	150,13 ±18,29	22,04	0,0705
PT (MS%)	1,03 <sup>ab</sup> ±0,03	0,87 <sup>c</sup> ±0,08	1,01 <sup>abc</sup> ±0,02	0,96 <sup>bc</sup> ±0,04	1,13 <sup>a</sup> ±0,10	6,65	0,0011
KT (MS%)	0,88 <sup>c</sup> ±0,09	1,39 <sup>b</sup> ±0,01	1,83 <sup>a</sup> ±0,18	1,84 <sup>a</sup> ±0,13	1,76 <sup>a</sup> ±0,07	5,04	0,0000
CaT (MS%)	1,07 ±0,11	0,92 ±0,02	1,08 ±0,05	0,89 ±0,24	0,94 ±0,09	13,06	0,2957

Médias com letras diferentes dentro de uma linha são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ); MS: base em massa seca; ST: sólidos totais; SV: sólido voláteis; COT: carbono orgânico total; NTK: nitrogênio total Kjeldahl; PT: fósforo total; KT: potássio total; CaT: cálcio total; T1: 70% Sedimento de lagoa de *T. terrestris* + 30% restos de frutas e verduras; T2: 65% Sedimento de lagoa de *T. terrestris* + 35% Valvas de *M. oleifera*; T3: 50% Sedimento de lagoa de *T. terrestris* + 35% Valvas de *M. oleifera* + 15% Cascas de *M. oleifera*; T4: 50% Sedimento de lagoa de *T. terrestris* + 40% Valvas de *M. oleifera* + 5% Cascas de *M. oleifera* + 5% Semente integral de *M. oleifera*; T5: 50% Sedimento de lagoa de *T. terrestris* + 40% Valvas de *M. oleifera* + 5% Cascas de *M. oleifera* + 5% torta de sementes de *M. oleifera*; CV: Coeficiente de variação (%). p-valor da ANOVA Fator Único.

**Fonte** - o autor, (2024).

Neste estudo, observou-se que os valores para pH (Figura 29a) e CE (Figura 29b) apresentaram variações ao longo do período de incubação. A CE aumentou na última semana de análise; esse parâmetro reflete uma maior salinidade nos substratos e indica a maturidade do composto (Gusain e Suthar, 2020; Voběrková *et al.*, 2017). Este aumento na CE deve-se a liberação dos diferentes íons decorrente da decomposição de substâncias orgânicas e trituração dos materiais realizados pelas minhocas (Garg, Gupta e Satya, 2006; Pérez-Godínez *et al.*, 2017; Ripp *et al.*, 2020; Vico *et al.*, 2018). Apesar da elevação desse parâmetro nos vermicompostos finais, a CE encontra-se dentro do recomendado, que deve ser menor que 4 mS cm<sup>-1</sup> (Meng *et al.*, 2019; Pérez-Godínez *et al.*, 2017).

**Figura 29** - a) pH e b) CE dos vermicompostos ao longo do processo de estabilização

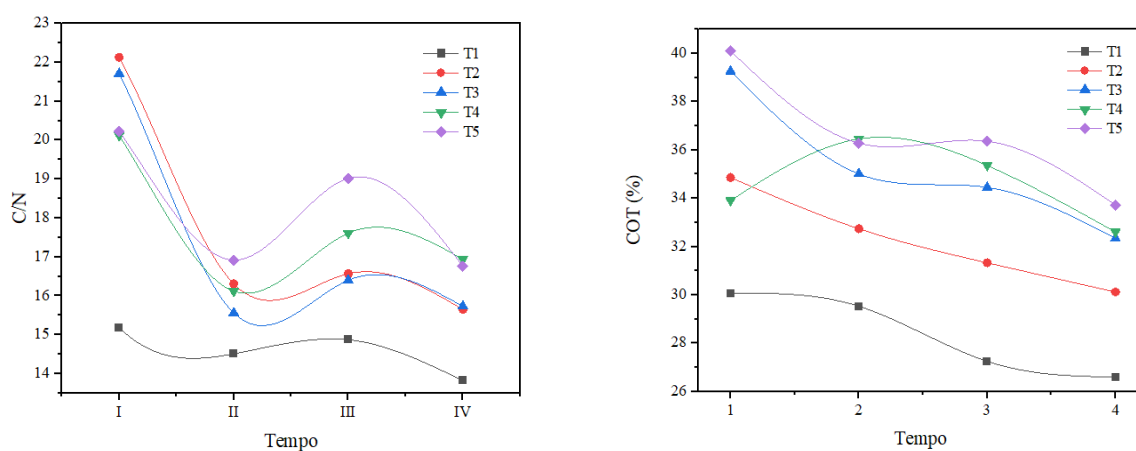


Fonte - o autor, (2024).

A relação C/N pode ser usada para avaliar a maturidade do composto (Meng *et al.*, 2019). Em todos os tratamentos houve a redução da razão C/N, já que a perda de massa através da respiração microbiana diminui o conteúdo de carbono (Figura 30) e simultaneamente concentra nitrogênio, reduzindo assim a razão C/N (Figura 30) (Li *et al.*, 2016; Melo *et al.*, 2020). Apesar da diminuição da relação C/N ser verificada, somente o T1 atingiu o limite recomendado pela IN nº 25 que institui normas sobre as especificações e as garantias, tolerâncias, registro de fertilizantes orgânicos no Brasil (Brasil, 2009) que é de no máximo 14/1 (Tabela 14). Exatamente esse tratamento não recebeu os produtos dos frutos de moringa.

A redução da biomassa está diretamente atrelada à composição de fibras dos resíduos vegetais, dentre eles, a lignina, um composto muito recalcitrante, e um componente de difícil degradação, o que retarda o processo de estabilização (Barragan-Fonseca, Dicke e Loon, van, 2018; Nakhshiniev, Gonzales e Yoshikawa, 2012; Orrico Junior *et al.*, 2018). Fragmentos das cascas e valvas dos frutos de moringa, que é um material lignítico (Oliveira Tavares *et al.*, 2020) eram ainda visíveis nos vermicompostos finais, além disso, a Figura 30 sugere a presença de lignina nas partes dos frutos de moringa, por meio do FT-IR, o que também foi comprovado em outros estudos (Ishihara *et al.*, 2021; Meneghel, Gonçalves Jr., Rubio, *et al.*, 2013; Oliveira Tavares *et al.*, 2020). Porém, a presença da lignina, em compostos orgânicos pode ser altamente desejável, já que esses polímeros são essenciais para a formação de matéria orgânica no solo, favorecendo o aumento deste componente em solos degradados (Nkoa, 2014), e essas fibras também favorecem a absorção de água (Ishihara *et al.*, 2021).

**Figura 30** - a) Razão C/N e b) COT dos vermicompostos ao longo do processo de estabilização



Fonte - o autor, (2024).

Os percentuais de Fósforo (TP), Potássio (TK) e Cálcio (TCa) tiveram aumentos gradativos durante o período de estabilização (Tabela 14), o que é comum nesses processos e outras pesquisas expõem resultados semelhantes (Dores-Silva et al., 2013; Gusain & Suthar, 2020; Jjagwe et al., 2019; Yuvaraj et al., 2021). Esse fato pode ser atribuído à presença de enzimas e microrganismos solubilizadores desses macronutrientes presentes no intestino das minhocas (Jjagwe *et al.*, 2019).

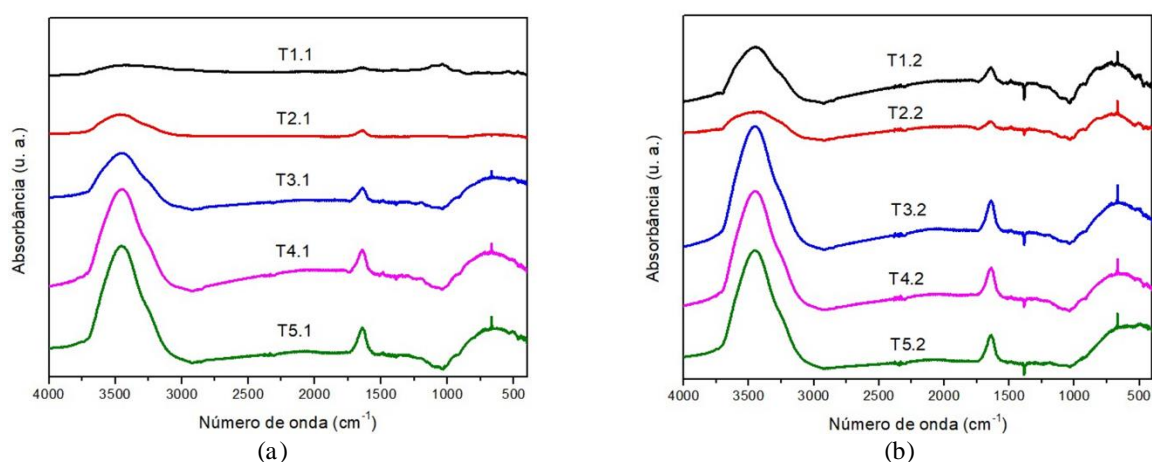
O aumento de TP foi de 33; 41; 59; 40 e 39%, respectivamente segundo os tratamentos; igualmente para TK o aumento foi de 37; 69; 91; 82 e 76% e para TCa: 60; 62; 47; 62 e 42%, seguindo os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5. Estudos revelam a abundância de minerais, como cálcio nos frutos da moringa (Ishihara *et al.*, 2021), o que representa uma alternativa para processos de fertilização, porém nada tem sido relatado sobre o uso desses materiais em processos de estabilização com futuro uso em solos. Por serem nutrientes essenciais para todas as formas da vida, e suas reservas naturais estarem se esgotando, a disponibilização desses elementos de forma assimilável pelas plantas, decorrentes de práticas de gerenciamento faz-se necessária (Khan et al., 2022; Torri et al., 2017).

É importante avaliar a maturidade e toxicidade do composto, e o teste de germinação de sementes é uma ferramenta para esses fins (Bernal et al., 2009; Luo et al., 2018). Os vermicompostos exibiram ação fitoestimulante (Tabela 14), apresentando IG acima de 100% (Bernal, Albuquerque e Moral, 2009), além disso não houve diferença estatística entre os tratamentos quanto aos IGs ( $p > 0.05$ ).

Dentre os parâmetros para avaliar a maturidade dos compostos orgânicos, a Espectroscopia de Infravermelho com transformação de Fourier (FT-IR) pode auxiliar na compreensão das mudanças estruturais do material orgânico (Asses *et al.*, 2018). Os espectros dos vermicompostos apresentaram bandas características dos grupos funcionais no início e no final do processo de estabilização, com diferentes intensidades de certas bandas nos compostos finais (Figura 31), como maior estiramento nos de -OH em ponte ( $\sim 3400\text{ cm}^{-1}$ ) e de C=C de grupos aromáticos ( $1650 - 1630\text{ cm}^{-1}$ ), o que confirma a mineralização da matéria orgânica (Santos *et al.*, 2021).

Os espectros de FT-IR dos vermicompostos finais diferenciam-se dos compostos iniciais principalmente pela presença da banda em  $1383\text{ cm}^{-1}$  devido ao estiramento de C-O de carbonato, absorção de Si-O e outras ligações em silicato na região de  $1031\text{ cm}^{-1}$  (Asses *et al.*, 2018; Castilhos *et al.*, 2008). Além disso, picos intensos foram observados em  $665\text{ cm}^{-1}$  (Figura 31b), de acordo com Tavares *et al.*, (2017) essa região espectral é atribuída a ligações C-O, que são comuns devido à presença de estruturas celulósicas.

**Figura 31** - Espectros de FTIR de vermicompostos a) pré e b) pós-estabilização



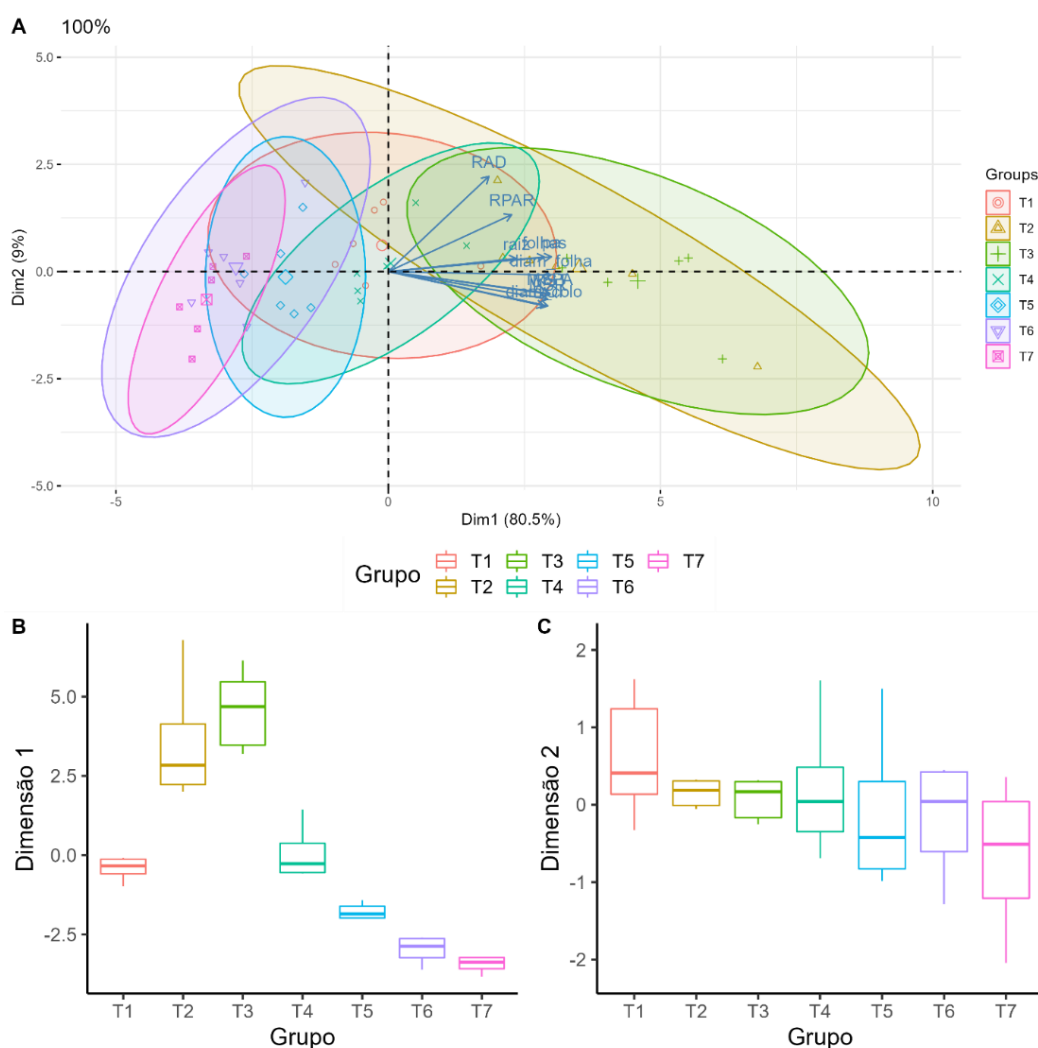
Fonte - o autor, (2024)

### 6.2.3 Desenvolvimento vegetal

Na avaliação do desenvolvimento vegetal, utilizando 100% de composto orgânico, o primeiro componente principal apresentou maior contribuição associada ao tamanho de parte área (PA), diâmetro da folha, Massa Seca total (MST), massa Seca de Parte Área (MSPA), índice de qualidade de Dickson (DQI), massa seca de raiz (MSR), número de folhas, diâmetro do colo e comprimento da raiz, sendo a variável latente gerada na Dimensão 1

(Dim.1) (Autovalor = 8,85; Variabilidade = 80,49%) (Figura 32). O segundo componente principal (Dimensão 2 – Dim.2) apresentou maior contribuição das variáveis RPAR (Relação da matéria seca da parte aérea) e RAD (Relação da altura parte aérea com o diâmetro do colo) (Autovalor = 0,99; Variabilidade = 8,97%). Ao realizar a comparação das cargas fatoriais de Dim.1 (PC1) foi possível verificar diferenças estatísticas significativas entre as cargas fatoriais dos tratamentos ( $F_{6,41}=53,11$ ;  $p<0,0001$ ), sendo as maiores médias observadas entre os grupos T2 e T3 em comparação aos demais ( $p<0,05$ ). Vale ressaltar que os escores positivos das cargas fatoriais da Dim. 1 indicam maiores valores de PA, diâmetro da folha, MST, MSPA, DQI, MSR, diâmetro do colo e comprimento da raiz. Ao comparar as cargas fatoriais de Dim. 2, verificou-se igualdade estatística entre os tratamentos ( $F_{6,41}=0,898$ ;  $p=0,507$ ).

**Figura 32** - Análise de Componentes Principais (PCA) e Boxplot com uso de 100% do composto



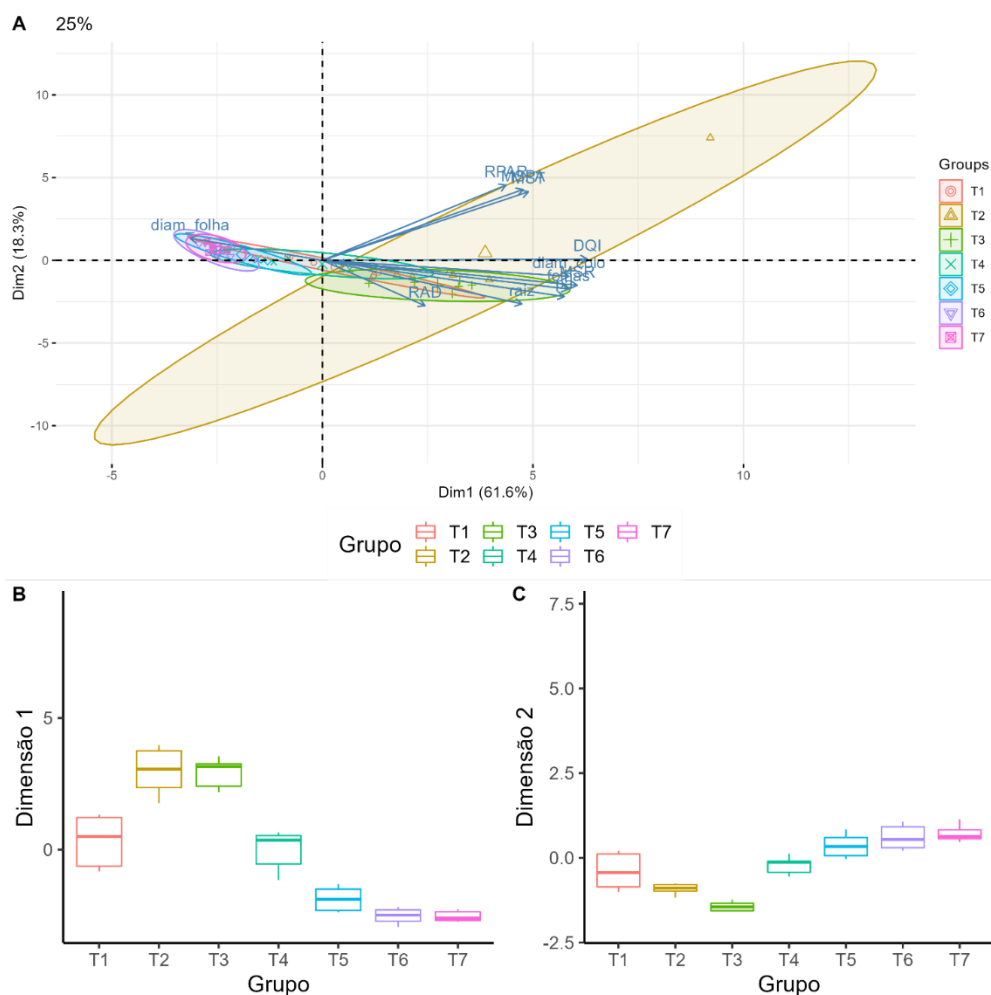
\*A) Diagrama de ordenação da PCA, indicando Dimensão 1 e Dimensão 2. B) Boxplot (mediana e intervalo interquartil e intervalo interpercentil) da Dimensão 1 entre os tratamentos com uso de 100% de composto. C) Boxplot (mediana e intervalo interquartil e intervalo interpercentil) da Dimensão 2 entre os tratamentos com uso de 100% de composto

Fonte - o autor, (2024).

Na avaliação do desenvolvimento vegetal utilizando 75% dos compostos

orgânicos mais 25% de areia estéril, (Figura 33), o Dim.1 apresentou maior contribuição associada ao DQI, MSR, Diâmetro do colo, número de folhas, PA e diâmetro da folha (Autovalor = 6,78; Variabilidade = 61,62%). O Dim.2 apresentou maior contribuição das variáveis MST, MSPA, comprimento da raiz, RPAR e RAD (Autovalor = 2,01; Variabilidade = 18,25%). Ao realizar a comparação das cargas fatoriais de Dim. 1 foi possível verificar diferenças estatísticas significativas entre as cargas fatoriais dos tratamentos ( $F_{6,41}=26,24$ ;  $p<0,0001$ ), sendo as maiores médias observadas nos grupos T2 e T3 em comparação aos demais ( $p<0,05$ ), seguido por T1 e T4, e por fim, T5, T7 e T6 com as menores médias. Ao comparar as cargas fatoriais de Dim. 2 (Comprimento da Raiz), verificou-se igualdade estatística entre os tratamentos ( $F_{6,41}=2,08$ ;  $p=0,081$ ).

**Figura 33** - Análise de Componentes Principais (PCA) e Boxplot com uso de 25% de areia

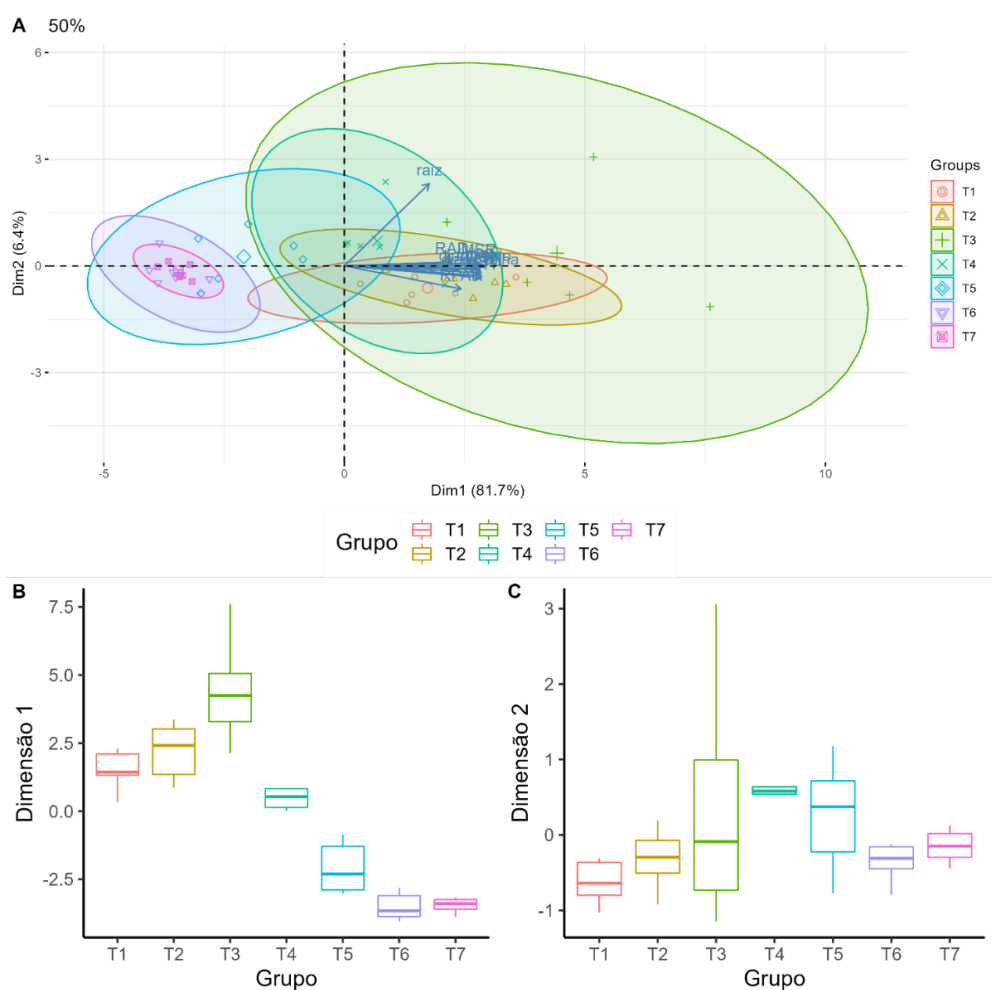


\*A) Diagrama de ordenação da PCA, indicando Dimensão 1 e Dimensão 2. B) Boxplot (mediana e intervalo interquartílico e intervalo interpercentílico) da Dimensão 1 entre os tratamentos com uso de 25% de areia. C) Boxplot (mediana e intervalo interquartílico e intervalo interpercentílico) da Dimensão 2 entre os tratamentos com uso de 25% de areia.

Fonte - o autor, (2024).

Na avaliação do desenvolvimento vegetal, utilizando 50% dos compostos orgânicos mais 50% de areia estéril, (Figura 34), o Dim.1 apresentou maior contribuição associada ao PA, MST, MSPA, diâmetro da folha, DQI, MSR, número de folhas, diâmetro do colo, RPAR e RAD (Autovalor = 8,99; Variabilidade = 81,7%). O Dim.2 apresentou maior contribuição apenas da variável comprimento da raiz (Autovalor = 0,70; Variabilidade = 6,37%). Ao realizar a comparação das cargas fatoriais (Dim.1) foi possível verificar diferenças estatísticas significativas entre as cargas fatoriais dos tratamentos ( $F_{6,41}=50,89$ ;  $p<0,0001$ ), sendo a maior média observada no grupo T3 em comparação aos demais ( $p<0,05$ ), seguido por T2, T1 e T4, e por fim, T5, T7 e T6 com as menores médias. Ao comparar as cargas fatoriais de Dimensão 2 (Comprimento da Raiz), verificou-se igualdade estatística entre os tratamentos ( $F_{6,41}=1,98$ ;  $p=0,096$ ).

**Figura 34** - Análise de Componentes Principais (PCA) e Boxplot com uso de 50% de areia



\*A) Diagrama de ordenação da PCA, indicando Dimensão 1 e Dimensão 2. B) Boxplot (mediana e intervalo interquartílico e intervalo interpercentílico) da Dimensão 1 entre os tratamentos com uso de 50% de areia. C) Boxplot (mediana e intervalo interquartílico e intervalo interpercentílico) da Dimensão 2 entre os tratamentos com uso de 50% de areia.

**Fonte** - o autor, (2024).

Visto que as primeiras dimensões das PCA's realizadas para o uso de 100, 75 e 50% dos compostos foram as mais explicativas das variáveis relativas ao desenvolvimento vegetal, foi realizada a comparação considerando os tratamentos e as doses de compostos orgânicos. Ficou evidente que houve efeito de ambos os fatores de forma estatisticamente significativa ( $F_{12, 105}=2,804$ ;  $p=0,0023$ ). Os tratamentos T1, T2 e T3 apresentaram diferenças estatísticas significativas nos diferentes percentuais de compostos orgânicos ( $p=0,0124$ ;  $p=0,0267$ ;  $p=0,0073$ , respectivamente). O grupo T1 apresentou melhor desenvolvimento vegetal com uso de 50% de composto + 50% areia, o grupo T2 apresentou melhor desenvolvimento com uso de 75% composto + 25% de areia e T3, com 100% de composto. Os demais grupos não apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação ao uso de diferentes porcentagens de composto orgânico ( $p>0,05$ ). É possível confirmar esta afirmação visualizando a Figura 35, que mostra melhor desenvolvimento das plantas, como tamanho da parte aérea e raiz, além de caules mais robustos (Cappelini *et al.*, 2021; Ripp *et al.*, 2020) com vermicomposto produzido com coprodutos de moringa e resíduos de zoológico (T1 a T5) em comparação com compostos comerciais (T6 e T7).

**Figura 35** - Mudanças obtidas nos tratamentos com compostos comerciais (T6 e T7) e vermicompostos produzidos a partir de sedimento de lagoa utilizado por *Tapirus terrestris* e *Moringa oleifera*



T1: 70% Sedimento de lagoa de *T. terrestris* + 30% restos de frutas e verduras; T2: 65% Sedimento de lagoa de *T. terrestris* + 35% Valvas de *M. oleifera*; T3: 50% Sedimento de lagoa de *T. terrestris* + 35% Valvas de *M. oleifera* + 15% Cascas de *M. oleifera*; T4: 50% Sedimento de lagoa de *T. terrestris* + 40% Valvas de *M. oleifera* + 5% Cascas de *M. oleifera* + 5% Semente integral de *M. oleifera*; T5: 50% Sedimento de lagoa de *T. terrestris* + 40% Valvas de *M. oleifera* + 5% Cascas de *M. oleifera* + 5% torta de sementes de *M. oleifera*; T6: compostos comercial originado por vermicompostagem; T7: composto comercial originado por compostagem.

**Fonte** - o autor, (2024).

### 6.3 CONCLUSÕES

Os coprodutos da *Moringa oleifera*, como valvas e cascas de sementes, representam cerca de 77% da massa e 99% do volume do fruto. São materiais ricos em carbono e não fitotóxicos, diferentemente das sementes, principalmente quando possuem porção lipídica. Os vermicompostos produzidos foram adequados para o desenvolvimento das plantas. Os vermicompostos eram ricos em material lignítico, devido à presença desta substância nas valvas e cascas das sementes. Com a maturação dos vermicompostos, houve redução no carbono e no pH, e aumento na CE e nos teores de K, P e Ca, atribuídos à liberação de íons ao longo do processo de estabilização, sem apresentar toxicidade. A utilização da espectroscopia no infravermelho mostrou que os compostos orgânicos presentes nos vermicompostos são ricos em grupos aromáticos, com diminuição dos grupos alifáticos ao final do processo. Os vermicompostos produzidos com sedimentos do recinto utilizado por *Tapirus terrestris* e partes do fruto da moringa foram melhores que os compostos comerciais no desenvolvimento das plantas de *Catharrantus roseus*. Os tratamentos que não receberam sementes de moringa (T2 e T3) apresentaram melhor crescimento das mudas. Por se tratar de resíduos de animais silvestres, não é recomendado o uso de vermicompostos para produção de alimentos, devendo ser realizados mais estudos quanto à utilização de partes do fruto da moringa juntamente com outros resíduos, possibilitando a valorização desses coprodutos.

## 7 CONSIDERAÇÕES GERAIS

As partes dos frutos de *Moringa oleifera* Lam. (moringa) podem ser utilizados em sua integralidade nos processos de tratamento de resíduos em zoológico.

As sementes de moringa sem óleo (torta) foram eficazes no tratamento por clarificação da água residuária de lagoa utilizada pelos animais *Tapirus terrestris* (anta), não apresentando-se fitotóxicas e não alterando o pH do efluente, além disso a remoção de poluentes se assemelhou ao tratamento com o coagulante comercial Sulfato de Alumínio. No entanto, o tratamento com a torta de moringa apresenta-se uma alternativa mais atrativa para ambientes de proteção ambiental como zoológicos, por ser biodegradável, apresentar menor custo e ainda produzir sedimento passível de tratamento biológico.

As partes do fruto de moringa apresentaram-se viáveis como co-substrato na vermicompostagem utilizando o sedimento da lagoa utilizada pelas antas, sendo produzido vermicompostos de melhor qualidade do que compostos comerciais. Os vermicompostos produzidos sem sementes de moringa apresentaram-se melhores para o desenvolvimento vegetal, sendo assim sugere-se novos estudos com tortas e sementes *in natura* de moringa na produção de substratos orgânicos.

A vermicompostagem apresentou-se como uma alternativa para o gerenciamento do sedimento da lagoa em estudo, podendo ser agregado a substratos na produção de mudas, o que pode favorecer na redução de custos, reciclagem de nutrientes e menor impacto ambiental.

## REFERÊNCIAS

- ABDEEN, E.-S. M. M.; IBRAHIM, O. A.; KHOLIF, A. M. M. Utility of *Moringa oleifera* waste as a coagulant in goat soft cheese production. **Heliyon**, v. 7, n. 7, p. 1-8, jul. 2021.
- ABIYU, A. *et al.* Wastewater treatment potential of *Moringa stenopetala* over *Moringa olifera* as a natural coagulant, antimicrobial agent and heavy metal removals. **Cogent Environmental Science**, v. 4, n. 1, p. 2-13, jan. 2018.
- AGARWAL, P.; PRAKASH, S.; SAINI, G. Natural coagulants (*Moringa oleifera* and *Benincasa hispida*) based removal of microplastics. **Cleaner Water**, v. 1, p. 1-6, jun. 2024.
- ALBINATI, A. C. L. *et al.* Toxicidade do inseticida Tiametoxam para o Pacamã (*Lophisulurus alexandri*). **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 307–312, abr. 2017.
- ALSHEHREI, F.; AMEEN, F. Vermicomposting: A management tool to mitigate solid waste. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 6, p. 3284–3293, jun. 2021.
- ANA, Agência Nacional das Águas. **Indicadores de Qualidade - Índice de Estado Trófico (IET)**. Disponível em: <Agência Nacional das Águas. <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx>>. Acesso em: 16 jun. 2024.
- ANG, W. L.; MOHAMMAD, A. W. State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. **Journal of Cleaner Production**, v. 262, p. 1-18, jul. 2020.
- AOAC. **Official methods of analysis**. 18. ed. Gaithersburg: Association of official analytical chemists, 2005.
- ASSES, N. *et al.* Comparative study of sewage sludge co-composting with olive mill wastes or green residues: Process monitoring and agriculture value of the resulting composts. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 114, p. 25–35, fev. 2018.
- ATTAH, A. F. *et al.* *Moringa oleifera* Seed at the Interface of Food and Medicine: Effect of Extracts on Some Reproductive Parameters, Hepatic and Renal Histology. **Frontiers in Pharmacology**, v. 13, p. 1-17, mar. 2022.
- AZEVEDO, F. C. C. *et al.* Predação de anta (*Tapirus terrestris*) por onça-parda (*Puma concolor*). **Biota Neotropica**, v. 16, n. 1, p. 1–4, 1 jan. 2016.
- BALLESTRIN, C. S. *et al.* Natural coagulant (*Moringa oleifera*) extracted by different solvents and possible application in water treatment. **Revista Virtual de Química**, v. 13, n. 2, p. 347–360, 2021.
- 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, jun. 2017.
- BARHOI, D. *et al.* Aqueous Extract of *Moringa oleifera* Exhibit Potential Anticancer Activity and can be Used as a Possible Cancer Therapeutic Agent: A Study Involving In Vitro and In

Vivo Approach. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 40, n. 1, p. 70–85, 2021.

BARRAGAN-FONSECA, K. B.; DICKE, M.; LOON, J. J. A. VAN. Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 166, n. 9, p. 761–770, set. 2018.

BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 22, p. 5444–5453, nov. 2009.

BHARATH, K. N. *et al.* Alkaline Effect on Characterization of Discarded Waste of *Moringa oleifera* Fiber as a Potential Eco-friendly Reinforcement for Biocomposites. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 28, n. 11, p. 2823–2836, 6 nov. 2020.

BHUTADA, P. R. *et al.* Solvent assisted extraction of oil from *Moringa oleifera* Lam. seeds. **Industrial Crops and Products**, v. 82, p. 74–80, abr. 2016.

BODMER, R. E. Influence of digestive morphology on resource partitioning in *Amazonian ungulates*. **Oecologia**, v. 85, n. 3, p. 361–365, jan. 1991.

BONGIOVANI, M. C. *et al.* Improvement of the coagulation/flocculation process using a combination of *Moringa oleifera* Lam with anionic polymer in water treatment. **Environmental Technology (United Kingdom)**, v. 35, n. 17, p. 2227–2236, 2 set. 2014.

BONIOLO, M. R. *et al.* Biomassas brasileiras aplicadas à remoção de urânio de drenagem ácida de minas por processos de biossorção. **Holos Environment**, v. 17, n. 1, p. 149-167, 25 nov. 2017.

BRAMBELL, R. **Report of the Technical Committee to Enquire into the Welfare of Animals Kept under Intensive Livestock Husbandry Systems, Cmd. (Great Britain. Parliament)**. Stationery Office ed. Lonfon: Stationery Office, 1965.

BRASIL. **Lei nº 7.173 de 14 de dezembro de 1983**. Dispõe sobre o estabelecimento e funcionamento de jardins zoológicos e dá outras providencias. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1980-1988/17173.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1980-1988/17173.htm)>. Acesso em: 17 jun. 2024.

\_\_\_\_. **Instrução Normativa 4 de 2002 - IBAMA**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IBAMA/IN0004-040302.PDF>>. Acesso em: 17 jun. 2024.

\_\_\_\_. **Instrução Normativa nº 17, de 21 de maio de 2007**. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de substratos e condicionadores de solo. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-17-de-21-05-2007-aprova-metodo-substrato.pdf>>, 24 maio 2007.

\_\_\_\_. **Instrução Normativa SDA nº 25 de 23 de julho de 2009**. Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-25-de-23-de-julho-de-2009-aprova-normas-sobre-especificacoes-e-garantias-tolerancias-registro-embalagem-e-rotulagem-dos-fertilizantes.pdf>>.

agricolas/fertilizantes/legislacao/in-25-de-23-7-2009-fertilizantes-organicos.pdf/view>.

Acesso em: 17 jun. 2024.

\_\_\_\_. Resolução **CONAMA 430/2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em:

<[https://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/CONAMA\\_n.430.2011.pdf](https://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/CONAMA_n.430.2011.pdf)>. Acesso em: 16 jun. 2024.

\_\_\_\_. **Resolução-RE nº 1.478**. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-re-n-1.478-de-3-de-junho-de-2019-152008784>>. Acesso em: 17 jun. 2024.

BRATBY, J. **Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment**. 3 ed. IWA Publishing, 2016.

BRILHANTE, R. S. N. *et al.* Research advances on the multiple uses of *Moringa oleifera*: A sustainable alternative for socially neglected population. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, v. 10, n. 7, p. 621–630, 1 jul. 2017.

CAPPELINI, L. T. D. *et al.* Compost produced from residues of a zoo park improves soil fertility and increases the growth and production of plants. **Biomass Conversion and Biorefinery**, maio 2021.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes1. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 2, p. 361–369, mar. 1977.

CASPERS, H. OECD: Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control.. Paris: Organisation for Economic Co-Operation and Development 1982. (Publié en français sous le titre «Eutrophication des Eaux. Méthodes de Surveillance, d’Evaluation et de Lutte»). **Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie**, v. 69, n. 2, p. 154-200, 1984.

CASTILHOS, R. M. V. *et al.* Distribuição e caracterização de substâncias húmicas em vermicompostos de origem animal e vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. spe, p. 2669–2675, dez. 2008.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Alterações físicas e químicas da água, pH**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/ph/>>. Acesso em: 16 jun. 2024.

COLDEBELLA, A. *et al.* Nitrogen and phosphorus dynamics in Nile tilapia farming in excavated rearing ponds. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. 1-29, nov. 2020.

CORDEIRO CARDOSO, K. *et al.* Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 30, n. 2, p. 193-198, out. 2008.

COTTA, J. A. DE O. *et al.* Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 65–78, mar. 2015.

CUNHA-QUEDA, A. C. F. *et al.* Estudo da evolução de atividades enzimáticas durante a compostagem de resíduos provenientes de mercados horto-frutícolas. **Anais do Instituto Superior de Agronomia**, p. 193–208, 2003.

DARIO, F. R. Frugivory and seed dispersal by mammals in the *Amazon rainforest*. **Asian Journal of Biological and Life Sciences**, v. 3, n. 2, p. 137–142, 2014.

DATTA, S. *et al.* Earthworms, pesticides and sustainable agriculture: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 9, p. 8227–8243, 7 maio 2016.

DESTA, W. M.; BOTE, M. E. Wastewater treatment using a natural coagulant (*Moringa oleifera* seeds): optimization through response surface methodology. **Heliyon**, v. 7, n. 11, p. 1–9, nov. 2021.

DHIMAL, M.; GAUTAM, I.; TULADHAR, R. Effectiveness of Vermicomposting in Management of Organic Wastes using *Eisenia foetida* and *Perionyx favatus* in Central Zoo Jawalakhel, Nepal. **Journal of Natural History Museum**, v. 27, p. 92–106, 17 dez. 2015.

DIVER, D.; NHAPI, I.; RUZIWA, W. R. The potential and constraints of replacing conventional chemical coagulants with natural plant extracts in water and wastewater treatment. **Environmental Advances**, v. 13, p. 1–17, out. 2023.

DORES-SILVA, P. R.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. DE O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química Nova**, v. 36, n. 5, p. 640–645, 2013.

EL-HADIDY, G. A. M. *et al.* Effect of Organic Fertilization with *Moringa oleifera* Seeds Cake and Compost on Storability of Valencia Orange Fruits. **Egyptian Journal of Chemistry**, v. 65, n. 2, p. 659–667, 1 fev. 2022.

EMBRAPA. Brazilian Agricultural Research Corporation. **Manual of chemical analysis of soils, plants and fertilizers**. Brasília: Communication for Technology Transfer, 1999

ENEBE, M. C.; ERASMUS, M. Vermicomposting technology - A perspective on vermicompost production technologies, limitations and prospects. **Journal of Environmental Management**, v. 345, p. 118585, nov. 2023.

EZEAMAKU. *et al.* Treatment of lead contaminated wastewater using aluminium sulphate and *Moringa oleifera* as coagulants. **Nigerian Journal of Polymer Science and Technology**, v. 13, n. 1119–4111, p. 82–92, 2018.

FACTORSFA. **Global Moringa Products Market Anticipates To Reach USD 8,400 Million by 2026**. Disponível em: <[https://www.fnfresearch.com/news/global-moringa-products-market-anticipates-to-reach-the-.](https://www.fnfresearch.com/news/global-moringa-products-market-anticipates-to-reach-the-)>. Acesso em: 18 jun. 2024.

FERREGUETTI, Á. C.; TOMAS, W. M.; BERGALLO, H. G. Density, occupancy, and detectability of lowland tapirs, *Tapirus terrestris*, in Vale Natural Reserve, southeastern Brazil. **Journal of Mammalogy**, v. 98, n. 1, p. 114–123, 8 fev. 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.

35, n. 6, p. 1039–1042, dez. 2011.

FERREIRA, V. A.; TAMBOUGI, E. B. Fontes de energia renováveis geradas por meio dos dejetos de animais domésticos. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 10, n. 5, p. 48–57, jun. 2016.

FREITAS, J. H. E. S. *et al.* Evaluation of using aluminum sulfate and water-soluble *Moringa oleifera* seed lectin to reduce turbidity and toxicity of polluted stream water. **Chemosphere**, v. 163, p. 133–141, nov. 2016.

GARG, P.; GUPTA, A.; SATYA, S. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 3, p. 391–395, fev. 2006.

GASSENSCHMIDT, U. *et al.* Isolation and characterization of a flocculating protein from *Moringa oleifera* Lam. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects**, v. 1243, n. 3, p. 477–481, abr. 1995.

GHARSALLAH, K. *et al.* Chemical composition and profile characterization of *Moringa oleifera* seed oil. **South African Journal of Botany**, v. 137, p. 475–482, mar. 2021.

GONÇALVES JR., A. C. *et al.* Applicability of moringa oleifera lam. pie as an adsorbent for removal of heavy metals from waters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 94–99, fev. 2012.

GUSAIN, R.; SUTHAR, S. Vermicomposting of duckweed (*Spirodela polyrhiza*) by employing *Eisenia fetida*: Changes in nutrient contents, microbial enzyme activities and earthworm biodynamics. **Bioresource Technology**, v. 311, p. 1–10, set. 2020.

HENDRAWATI *et al.* The use of *Moringa oleifera* Seed Powder as Coagulant to Improve the Quality of Wastewater and Ground Water. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 31, p. 1–10, jan. 2016.

HILLEBRAND, F. J.; BENETTI, A. D. Caracterização da matéria orgânica dissolvida em processos de tratamento de água para consumo humano usando fracionamento rápido. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 2, p. 237–246, mar. 2020.

IAT. Instituto Água e Terra. **Qualidade das águas dos reservatórios do Estado do Paraná**. Disponível em: <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Monitoramento-da-Qualidade-das-Aguas>>. Acesso em: 16 jun. 2024.

INCAB. **Iniciativa Nacional para a Conservação da Anta Brasileira**. Disponível em: <<https://tapirconservation.org.br/br/>>. Acesso em: 17 jun. 2024.

ISHIHARA, M. K. *et al.* *Moringa oleifera* Seed Peel Structure and Its Performance in Cementitious Composite. **Materials Research**, v. 24, n. suppl 2, p. 1–8, 2021.

ITAIPU BINACIONAL. **Refúgio Biológico Bela Vista**. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/meio-ambiente/refugio-biologico-bela-vista>>. Acesso em: 16 jun. 2024.

IUCN. **União Internacional para a Conservação da Natureza**. Disponível em: <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>. Acesso em: 16 jun. 2024.

IUPAC. **Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives**. 6. ed. Pergamon Press: Oxford, 1979.

JATTAN, M. *et al.* Moringa (*Moringa oleifera* L.): An underutilized and traditionally valued tree holding remarkable potential. **Journal of Horticultural Sciences**, v. 16, n. 1, p. 1–13, 30 jun. 2021.

JJAGWE *et al.* Assessment of a Cattle Manure Vermicomposting System Using Material Flow Analysis: A Case Study from Uganda. **Sustainability**, v. 11, n. 19, p. 1-17, set. 2019.

JONES, N. *et al.* Welfare Assessment Tools in Zoos: From Theory to Practice. **Veterinary Sciences**, v. 9, n. 4, p. 170, 1 abr. 2022.

KACHANGOON, R. *et al.* Green fabrication of *Moringa oleifera* seed as efficient biosorbent for selective enrichment of triazole fungicides in environmental water, honey and fruit juice samples. **Microchemical Journal**, v. 175, 1 abr. 2022.

KANSAL, S. K.; KUMARI, A. Potential of *M. oleifera* for the Treatment of Water and Wastewater. **Chemical Reviews**, v. 114, n. 9, p. 4993–5010, 14 maio 2014.

KATAYON, S. *et al.* Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 13, p. 1455–1460, set. 2006.

KAVITHAMBIKA, S.; INDUMATHI, V. M.; MAHENDRAN, K. Moringa oleifera: Production and Marketing in Tiruppur District. **Advances in Research**, p. 89–97, 27 ago. 2020.

KHAN, M. S. A. *et al.* Complementary effect of zoo compost with mineral nitrogen fertilisation increases wheat yield and nutrition in a low-nutrient soil. **Pedosphere**, v. 32, n. 2, p. 339–347, abr. 2022.

KHATTABIRIFI, S. *et al.* Moringa oleifera organic coagulant to eliminate pollution in olive oil mill wastewater. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 20, p. 100871, dez. 2023.

KRUPIŃSKA, I. Aluminium Drinking Water Treatment Residuals and Their Toxic Impact on Human Health. **Molecules**, v. 25, n. 3, p. 1-13, fev. 2020.

KWAAMBWA, H. M.; HELLSING, M.; RENNIE, A. R. Adsorption of a Water Treatment Protein from *Moringa oleifera* Seeds to a Silicon Oxide Surface Studied by Neutron Reflection. **Langmuir**, v. 26, n. 6, p. 3902–3910, 16 mar. 2010.

LAMPARELLI, M. C. “Graus de trofia em corpos d’água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.” Tese. São Paulo: Universidade de São Paulo, 3 set. 2004.

LANCINÉ, G. D. *et al.* Coagulation-Flocculation Treatment of a Tropical Surface Water with Alum for Dissolved Organic Matter (DOM) Removal: Influence of Alum Dose and pH

- Adjustment. **J. Int. Environmental Application & Science**, v. 3, n. 4, p. 247–254, 2008.
- LESTER-CARD, E. *et al.* A green approach for the treatment of oily steelworks wastewater using natural coagulant of *Moringa oleifera* seed. **Bioresource Technology Reports**, v. 22, p. 101393, jun. 2023.
- LI, Y. *et al.* Effects of Different Ratios of Sewage Sludge and Cattle Manure on Growth and Propagation of *Eisenia Fetida*. **PLOS ONE**, v. 11, n. 6, p. e0156492, 3 jun. 2016.
- LIMA, D. L. *et al.* Bibliometric Review about Turbidity and Suspended Solids by Remote Sensing. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 42, n. 1, p. 107–116, 25 mar. 2019.
- LUO, Y. *et al.* Seed germination test for toxicity evaluation of compost: Its roles, problems and prospects. **Waste Management**, v. 71, p. 109–114, jan. 2018.
- MADRONA, G. S. *et al.* Evaluation of extracts of *Moringa oleifera* Lam seeds obtained with NaCl and their effects on water treatment. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 34, n. 3, p. 289–293, maio 2012.
- MADRONA, G. S. *et al.* Use of *Moringa oleifera* in a combined coagulation-filtration process for water treatment. **Chemical Engineering Transactions**, v. 57, p. 1195–1200, 2017.
- MAGALHÃES, E. R. B. *et al.* Effect of oil extraction on the composition, structure, and coagulant effect of *Moringa oleifera* seeds. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123902, jan. 2021.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. v. 32.
- MASIH, L. P. *et al.* Moringa: A multipurpose future crop- A review. **Proceedings of the Indian National Science Academy**, v. 3, p. 589–601, 27 fev. 2019.
- MÉDICI, E. P. *et al.* Avaliação do risco de extinção da anta brasileira *Tapirus terrestris* Linnaeus, 1758, no Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, n. 3, p. 103–116, 2012.
- MEDICI, E. P. *et al.* Lowland tapir exposure to pesticides and metals in the Brazilian Cerrado. **Wildlife Research**, v. 48, n. 5, p. 393, 2021.
- MEDICI, E. P.; MANGINI, P. R.; FERNANDES-SANTOS, R. C. Health assessment of wild lowland tapir (*Tapirus terrestris*) populations in the atlantic forest and pantanal biomes, Brazil (1996–2012). **Journal of Wildlife Diseases**, v. 50, n. 4, p. 817–828, out. 2014.
- MELLOR, D. J. *et al.* The 2020 Five Domains Model: Including Human–Animal Interactions in Assessments of Animal Welfare. **Animals**, v. 10, n. 10, p. 1–24, 14 out. 2020.
- MELO, M. F. *et al.* Vermicompostagem: Conversão de resíduos orgânicos em benefícios para solo e plantas. *Em: Tópicos em Ciências Agrárias - Volume 6*. Editora Poisson, 2020.
- MENEGHEL, A.P. *et al.* Biosorption of cadmium from water using moringa (*Moringa oleifera* Lam.) Seeds. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 224–229, n. 3, jul. 2013.

MENEGHEL, A. P.; *et al.* Biosorption and removal of chromium from water by using moringa seed cake (*Moringa oleifera* Lam.). **Quimica Nova**, v. 36, n. 8, p. 1104-1110, jul. 2013.

MENEGHEL, A. P. *et al.* Studies of Pb<sup>2+</sup> adsorption by *Moringa oleifera* Lam. seeds from an aqueous medium in a batch system. **Water Science and Technology**, v. 69, n. 1, p.195-199, jul. 2014.

MENG, X. *et al.* Co-composting of the biogas residues and spent mushroom substrate: Physicochemical properties and maturity assessment. **Bioresource Technology**, v. 276, p. 281–287, mar. 2019.

MICHELAN, D. C. DE G. S. *et al.* Uso do coagulante/floculante emergente à base de moringa no tratamento de água com verificação da composição e toxicidade do lodo produzido: tratamento de água com Moringa e toxicidade do lodo. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, n. 5, p. 955–963, out. 2021.

MIR, R. A.; SHRIVASTAVA, S. An eco-friendly management of organic waste and recycling of pond water of zoo aquatic animals by using *Eudrilus eugeniae* in Gandhi Zoological Park: A case study of vermicompost maturity. **Environmental Quality Management**, v. 33, n. 2, p. 311–323, 31 dez. 2023.

MOHAMED NOOR, M. H. *et al.* Optimization of sonication-assisted synthesis of magnetic Moringa oleifera as an efficient coagulant for palm oil wastewater treatment. **Environmental Technology & Innovation**, v. 25, p. 102191, fev. 2022.

MOHANTY, M. *et al.* **Phytoperspective of Moringa oleifera for oral health care: An innovative ethnomedicinal approach** *Phytotherapy Research*. John Wiley and Sons Ltd, , 1 mar. 2021.

MORGAN, C. R.; OPIO, C.; MIGABO, S. Chemical composition of Moringa (*Moringa oleifera*) root powder solution and effects of Moringa root powder on E. coli growth in contaminated water. **South African Journal of Botany**, v. 129, p. 243–248, 1 mar. 2020.

MOULIN, M. *et al.* Towards a molecular understanding of the water purification properties of Moringa seed proteins. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 554, p. 296–304, out. 2019.

NAKSHINIEV, B.; GONZALES, H. B.; YOSHIKAWA, K. Hydrothermal Treatment of Date Palm Lignocellulose Residue for Organic Fertilizer Conversion: Effect on Cell Wall and Aerobic Degradation Rate. **Compost Science & Utilization**, v. 20, n. 4, p. 245–253, set. 2012.

NAVAS-SUÁREZ, P. E. *et al.* Pathological Findings in Lowland Tapirs (*Tapirus terrestris*) Killed by Motor Vehicle Collision in the Brazilian Cerrado. **Journal of Comparative Pathology**, v. 170, p. 34–45, jul. 2019.

NDEGWA, P. M.; THOMPSON, S. A. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. **Bioresource Technology**, v. 76, n. 2, p. 107–112, jan. 2001.

NHUT, H. T. *et al.* Use of *Moringa oleifera* seeds powder as bio-coagulants for the surface water treatment. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 18, n. 8, p. 2173–2180, 1 ago. 2021.

NKOA, R. Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 2, p. 473–492, 13 abr. 2014.

OLADELE, I. O. *et al.* Development and characterization of moringa oleifera fruit waste pod derived particulate cellulosic reinforced epoxy bio-composites for structural applications. **Heliyon**, v. 8, n. 6, p. e09755, jun. 2022.

OLIVEIRA TAVARES, F. *et al.* Analysis of the influence of natural adsorbent functionalization (*Moringa oleifera*) for Pb(II) removal from contaminated water. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 39, n. 2, 24 mar. 2020.

ORRICO JUNIOR, M. A. P. *et al.* Estimated Reduction in Solids During Sheep Bedding Composting as a Function of the Composition of the Organic Fractions. **Compost Science & Utilization**, v. 26, n. 2, p. 91–97, 3 abr. 2018.

PARANÁ. **Resolução SEMA nº 21 de 22/04/2009**, Brasil, 22 abr. 2009. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=144291>>. Acesso em: 16 jun. 2024.

\_\_\_\_\_. **Declaração de Carga**. Disponível em: <[https://celepar7.pr.gov.br/sia/atosnormativos/form\\_cons\\_ato1.asp?Codigo=2760](https://celepar7.pr.gov.br/sia/atosnormativos/form_cons_ato1.asp?Codigo=2760)>. Acesso em: 16 jun. 2024.

PATIL, S. V. *et al.* Moringa Tree, Gift of Nature: a Review on Nutritional and Industrial Potential. **Current Pharmacology Reports**, v. 8, n. 4, p. 262–280, 16 ago. 2022.

PÉREZ-GODÍNEZ, E. A. *et al.* Growth and reproductive potential of *Eisenia foetida* (Sav) on various zoo animal dungs after two methods of pre-composting followed by vermicomposting. **Waste Management**, v. 64, p. 67–78, jun. 2017.

PETERSEN, H. H. *et al.* Removal of *Cryptosporidium parvum* oocysts in low quality water using *Moringa oleifera* seed extract as coagulant. **Food and Waterborne Parasitology**, v. 3, p. 1–8, jun. 2016.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, , 2022.

RAMNARAIN, Y. I.; ANSARI, A. A.; ORI, L. Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm *Eisenia foetida*. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 8, n. 1, p. 23–36, 25 mar. 2019.

RAMOS, L. M. *et al.* Morfologia de frutos e sementes e morfofunção de plântulas de *Moringa oleifera* Lam.). **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 2, p. 156–160, 2010.

RASHINKAR, S. *et al.* Zoo wastewater treatment using *Moringa oleifera*: A Review. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, v. 8, n. 7, 2021.

RÉBUFA, C.; DUPUY, N.; BOMBARDA, I. AComDim, a multivariate tool to highlighting impact of agroclimatic factors on *Moringa oleifera* Lam. leaf's composition from their FTIR-ATR profiles. **Vibrational Spectroscopy**, v. 116, 1 set. 2021.

RENO, U. *et al.* Water polluted with glyphosate formulations: effectiveness of a decontamination process using *Chlorella vulgaris* growing as bioindicator. **Journal of Applied Phycology**, v. 28, n. 4, p. 2279–2286, 8 ago. 2016.

RIBEIRO, J. V. M.; ANDRADE, P. V.; REIS, A. G. DOS. *Moringa oleifera* seed as a natural coagulant to treat low-turbidity water by in-line filtration. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 14, n. 6, p. 1, 30 out. 2019.

RIPP, P. G. *et al.* Composting process in the production of lettuce seedling substrates: effect of covering and turning frequency. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 5, p. 562–570, out. 2020.

RUBIO, F. *et al.* Sustainable valorization of *Moringa oleifera* Lam. co-products and zoo waste. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 59, p. 1–13, 2024.

SAINT-DENIS, M. *et al.* Biochemical responses of the earthworm *Eisenia fetida andrei* exposed to contaminated artificial soil: effects of lead acetate. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, n. 3, p. 395–404, mar. 2001.

SALAS, H.; MARTINO, P. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. **Water Research**, v. 25, n. 3, p. 341–350, mar. 1991.

SANTOS, F. T. DOS *et al.* Composting of swine production chain wastes with addition of crude glycerin: organic matter degradation kinetics, functional groups, and carboxylic acids. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 36, p. 50542–50553, 7 set. 2021.

SARITHA, V.; SRINIVAS, N.; SRIKANTH VUPPALA, N. V. Analysis and optimization of coagulation and flocculation process. **Applied Water Science**, v. 7, n. 1, p. 451–460, 1 mar. 2017.

SARTORY, D. P.; GROBBELAAR, J. U. Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. **Hydrobiologia**, v. 114, n. 3, p. 177–187, jul. 1984.

SCHOLZ, M. Coagulation and Flocculation. *Em: Wetlands for Water Pollution Control*. Elsevier, 2016. p. 37–46.

SILVA, M. V. S. DA; PADILHA, R. T.; PADILHA, D. DE M. M. Benefícios da *Moringa oleifera* para saúde humana e animal: Revisão de Literatura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e50010817495, jul. 2021.

SINGH, S. *et al.* Bioconversion of different organic waste into fortified vermicompost with the help of earthworm: A comprehensive review. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, Islamic Azad University, p. 423-439, set. 2020.

SOEST, P. VAN. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2 ed. ed. Nwe York: Cornell

University Press, 1994.

SOUZA, C. C.; AQUINO, S. F.; SILVA, S. DE Q. Ensaios toxicológicos aplicados à análise de águas contaminadas por fármacos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, n. 2, p. 217–228, mar. 2020.

STEVENSON. **Humus Chemistry: genesis, composition, reactions**. Journal of Chemical Education New York: 1994

TAHIR, N. A. *et al.* Inhibitory allelopathic effects of *Moringa oleifera* Lamk plant extracts on wheat and *Sinapis arvensis* L. **Allelopathy Journal**, v. 44, n. 1, p. 53–66, maio 2018.

\_\_\_\_\_. Allelopathic Plants : 27. *Moringa* species. **Allelopathy Journal**, v. 50, n. 1, p. 35–48, maio 2020.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 6<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TAVARES, F. O. *et al.* Environmentally friendly biosorbents (husks, pods and seeds) from *Moringa oleifera* for Pb(II) removal from contaminated water. **Environmental Technology**, v. 38, n. 24, p. 3145–3155, 17 dez. 2017.

TAVARES, R. G. *et al.* Avaliação da toxicidade do lodo de estação de tratamento de água e esgoto, antes e após vermicompostagem, usando teste de germinação com semente de alface (*Lactuca sativa*). **Revista DAE**, v. 67, n. 218, p. 156–167, 2019.

THOISY, B. *et al.* **Tapir Veterinary Manual**. 2. ed. IUCN/SSC Tapir Specialist Group (TSG), 2014.

TICIANI, D.; ONGHERO, O.; FAVRETTO, M. A. First records of lowland tapir, *tapirus terrestris* (Perissodactyla, tapiridae), outside conservation areas after 30 years, in Santa Catarina, southern Brazil. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 16, n. 2, p. 239–247, 2021.

TORRI, S. I.; CORRÊA, R. S.; RENELLA, G. Biosolid Application to Agricultural Land—A Contribution to Global Phosphorus Recycle: A Review. **Pedosphere**, v. 27, n. 1, p. 1–16, fev. 2017.

TRIGO, C. *et al.* *Moringa oleifera*: An Unknown Crop in Developed Countries with Great Potential for Industry and Adapted to Climate Change. v.1 n.4, p. 1-14. Dez. 2020.

UEDA YAMAGUCHI, N. *et al.* A review of *Moringa oleifera* seeds in water treatment: Trends and future challenges. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 147, p. 405–420, mar. 2021.

VALVERDE, K. C. *et al.* Estudo da clarificação da água superficial por meio da associação dos agentes coagulantes *Moringa oleifera* Lam e Policloreto de alumínio. **E-xacta**, v. 9, n. 2, p. 1-8, nov. 2016.

VEGA ANDRADE, P. *et al.* Use of *Moringa oleifera* seed as a natural coagulant in domestic wastewater tertiary treatment: Physicochemical, cytotoxicity and bacterial load evaluation.

**Journal of Water Process Engineering**, v. 40, p. 101859, abr. 2021.

VENTURA, D. L. T. *et al.* Long-Term Series of Chlorophyll-a Concentration in Brazilian Semiarid Lakes from Modis Imagery. **Water**, v. 14, n. 3, p. 400-409, 28 jan. 2022.

VICO, A. *et al.* Valorization of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) pruning biomass by co-composting with urban and agri-food sludge. **Journal of Environmental Management**, v. 226, p. 408–415, nov. 2018.

VOBĚRKOVÁ, S. *et al.* Effect of inoculation with white-rot fungi and fungal consortium on the composting efficiency of municipal solid waste. **Waste Management**, v. 61, p. 157–164, mar. 2017.

WAZA. **Committing to Conservation: The World Zoo and Aquarium Conservation Strategy**. Gland: WAZA Executive Office, 2015.

\_\_\_\_. **Protegendo nosso planeta. Estratégias de sustentabilidade 2020-2030**. Disponível em: <[https://www.waza.org/wp-content/uploads/2021/01/Portuguese\\_WAZA-Sustainability-Strategy-2020-copy.pdf](https://www.waza.org/wp-content/uploads/2021/01/Portuguese_WAZA-Sustainability-Strategy-2020-copy.pdf)>. Acesso em: 17 jun. 2024.

WETZEL, R. G. **Limnology - Lake and River Ecosystems**. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2001.

WHITTAKER, A. L. The role of behavioural assessment in determining “positive” affective states in animals. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, v. 14, n. 010, 1 abr. 2019.

YUVARAJ, A. *et al.* Centrality of cattle solid wastes in vermicomposting technology – A cleaner resource recovery and biowaste recycling option for agricultural and environmental sustainability. **Environmental Pollution**, v. 268, p. 115688, jan. 2021.

ZHANG, Z. *et al.* Hydrolysis of polyaluminum chloride prior to coagulation: Effects on coagulation behavior and implications for improving coagulation performance. **Journal of Environmental Sciences**, v. 57, p. 162–169, jul. 2017.

ZUCCONI, F. *et al.* Evaluating toxicity of immature compost. **BioCycle**, v. 22, n. 2, p. 54–57, 1981.