

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,
METALÚRGICA E DE MATERIAIS**

PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES TAXAS DE APLICAÇÃO DO REJEITO DE
MINERAÇÃO DE BASALTO, NA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS E DAS MACRÓFITAS, RESULTANTE DA TÉCNICA DE
COMPOSTAGEM ATRAVÉS DA AERAÇÃO FORÇADA**

Porto Alegre

2022

PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES TAXAS DE APLICAÇÃO DO REJEITO DE
MINERAÇÃO DE BASALTO, NA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS E DAS MACRÓFITAS, RESULTANTE DA TÉCNICA DE
COMPOSTAGEM ATRAVÉS DA AERAÇÃO FORÇADA**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia, modalidade acadêmica.

Orientadora: Prof^a Dr^a Rejane Maria Candiota Tubino

Porto Alegre

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos André Bulhões Mendes

Vice-Reitora: Patrícia Helena Lucas Pranke

ESCOLA DE ENGENHARIA

Diretora: Carla Schwengber ten Caten

Vice-Diretor: Afonso Reguly

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS, METALÚRGICA
E DE MATERIAIS (PPGE3M)

Coordenador: Afonso Reguly

Coordenador substituto: Andréa Moura Bernardes

CIP - Catalogação na Publicação

Samuel, Paulo Robinson da Silva

Avaliação de diferentes taxas de aplicação do rejeito de mineração de basalto, na fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos e das macrófitas, resultante da técnica de compostagem através da aeração forçada / Paulo Robinson da Silva Samuel. -- 2022.

213 f.

Orientador: Rejane Maria Candiota Tubino.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Resíduos orgânicos domiciliares. 2. Compostagem aerada. 3. Macrófitas. 4. Pó de rocha. 5. Objetivos do desenvolvimento sustentável. I. Tubino, Rejane Maria Candiota, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES TAXAS DE APLICAÇÃO DO REJEITO DE
MINERAÇÃO DE BASALTO, NA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS E DAS MACROFITAS, RESULTANTE DA TÉCNICA DE
COMPOSTAGEM ATRAVÉS DA AERAÇÃO FORÇADA**

Esta tese foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Rejane Maria Candiota Tubino

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jefferson Nascimento de Oliveira (Universidade Estadual Paulista)
Dr. pela Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Darci Barnech Campani (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Ivo André Homrich Schneider (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof^ª Dr^ª Teresinha Guerra (UFRGS)
Dr^ª. pela Universidade Federal Fluminense

Aos meus filhos Matheus e Felipe e à Susana,
minha companheira, incentivadores e
apoiadores de todos os momentos, pelo amor,
compreensão e paciência.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de realizar este sonho.

À sociedade brasileira, que através de seus impostos, tem oportunizado o desenvolvimento do ensino público neste país.

Ao PPGE3M da UFRGS por oportunizar a realização do curso e o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais, Paulo Martins Samuel e Geci da Silva Samuel (*in memoriam*) pelo incentivo e apoio incansável na busca das minhas realizações.

A Susana, pelo amor, incentivo, e, sobretudo paciência nestes 41 anos de convivências.

Aos meus filhos Felipe e Matheus, pelo apoio, compreensão e carinho de todos os dias, principalmente, no período da realização deste trabalho.

À Professora Dr^a Rejane Maria Candiota Tubino, orientadora deste trabalho pela receptividade, amizade, ensinamentos e paciência.

A minha irmã Mirta e sobrinho Kalil, pela paciência e apoio.

Aos meus amigos e colegas do DMAE, em especial aos que trabalham na Coordenação de Obras, do LEAMET, do DMLU, da Abes, da Aidis, pelo apoio constante.

A Anna Glade, Lina, Maria Alice, Rosane e Rudimar pela colaboração constante;

Ao Roberto Luis Platen Bernardi, pelo auxílio na realização dos trabalhos de campo.

E a todos que, direta e indiretamente, auxiliaram e contribuíram para realização deste trabalho.

Se planejamos para um ano,
plantamos arroz.
Se planejamos para dez anos,
plantamos árvores.
Se planejamos para cem anos [ou mais],
preparamos pessoas.
Provérbio chinês

RESUMO

A falta de tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, o passivo ambiental causado pelos rejeitos de mineração de jazidas de basalto e a proliferação de macrófitas em reservatório onde há precariedade no tratamento dos esgotos, são motivo de preocupação e atenção. O **objetivo geral** deste trabalho é desenvolver um fertilizante organomineral, resultante da quantidade ótima de rejeitos de mineração, de macrófitas, provenientes de represas que recebam esgotos domésticos urbanos sem tratamento, e da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, através da técnica de compostagem por aeração forçada, visando o atendimento da legislação, a viabilidade econômico-financeira e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Para a elaboração deste trabalho foi necessário realizar uma caracterização no resíduo sólido urbano, nas macrófitas "*Pistia Stratiotes*" e no pó de pedra basáltica dos materiais coletados das áreas de estudo definidas; produzir um composto orgânico com a mistura da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e das macrófitas, através da compostagem por aeração forçada, em escala reduzida; a partir do composto orgânico, produzir o fertilizante organomineral aplicando diferentes quantidades de pó de pedra basáltica, atendendo a legislação vigente e comparar as diferentes fases de produção do composto com os ODS. A **estratégia de pesquisa** adotada neste trabalho foi a pesquisa construtiva, cuja **metodologia** foi dividida em cinco etapas: I) revisão da literatura e delimitação da área de estudo; II) etapa experimental e análises; III) produção do organomineral; IV) análise da viabilidade econômico-financeira e V) avaliação de quais os ODS podem ser melhorados. Os **resultados** mostram que é possível produzir um composto organomineral a partir da mistura da fração orgânica dos RSU e das macrófitas "*Pistia Stratiotes*". As melhores misturas entre o composto orgânico (CO) e o pó de rocha basáltica (PPB) são as misturas resultantes de 93,75% (CO) e 6,25% (PPB) e 87,50% (CO) e 12,50% (PPB), sendo que há viabilidade econômico-financeira para a produção do composto organomineral, nos cenários propostos, assim como o produto contribui muito para o avanço de todos os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável em busca de amenizar os impactos sociais, ambientais e econômicos.

Palavras-chave: resíduos orgânicos domiciliares; compostagem aerada; macrófitas; rejeitos de mineração; pó de rocha; análise econômica; objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS).

ABSTRACT

The lack of treatment of the organic fraction of urban solid waste, the environmental liabilities caused by mining tailings from basalt deposits and the proliferation of macrophytes in reservoirs where there is precariousness in sewage treatment, are a reason for concern and attention. The **general objective** of this work is to develop an organomineral fertilizer, resulting from the optimal amount of mining tailings, macrophytes, from dams that receive untreated urban domestic sewage, and from the organic fraction of urban solid waste, through the technique of composting by forced aeration, aiming to comply with legislation, economic and financial feasibility and the Sustainable Development Goals (SDGs). In order to carry out this work, it was necessary to accomplish a characterization of the urban solid waste, in the macrophytes "*Pistia Stratiotes*" and the basaltic stone powder of the materials collected from the defined study areas; to produce an organic compost by mixing the organic fraction of Solid Urban Waste - SUW and macrophytes, through composting by forced aeration, on a reduced scale; from the organic compost, produce the organomineral fertilizer by applying different amounts of basaltic stone powder, in compliance with current legislation and comparing the different stages of compost production with the SDGs. The **research strategy** adopted in this work was constructive research, whose **methodology** was divided into five stages: I) literature review and delimitation of the study area; II) experimental stage and analysis; III) production of the organomineral; IV) analysis of economic and financial feasibility and V) assessment of which SDGs can be achieved. The results showed that it is possible to produce an organomineral compound from the mixture of the organic fraction of SUW and the macrophytes "*Pistia Stratiotes*". The best mixtures between the organic compound (CO) and the basaltic rock powder (PP) are the resulting mixtures of 93.75% (CO) and 6.25% (PP) and 87.50% (CO) and 12, 50% (PP), and there is economic and financial feasibility for the production of the organomineral compound, in the proposed scenarios, as well as the product contributes a lot to the advancement of all 17 Sustainable Development Goals in order to mitigate the social, environmental and economic impacts.

Keywords: household organic waste; aerated compost; macrophytes; mining tailings; powder rock; economic analysis; sustainable development goals (SDGs).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Região Metropolitana de Porto Alegre – RS	22
Figura 2 – Comparação dos métodos de compostagem	28
Figura 3 – Seção transversal de uma leira de compostagem	30
Figura 4 – Dados quantitativos de artigos científicos identificados conforme critérios de pesquisa previamente estabelecidos	43
Figura 5 – Distribuição temporal dos artigos científicos identificados na revisão da literatura .	43
Figura 6 – Distribuição espacial dos trabalhos incluídos na revisão da literatura.....	44
Figura 7 – Métodos de compostagem adotados nos artigos identificados na revisão da literatura.....	47
Figura 8 – Relação das fontes adicionais de biomassa (a) e mineral (b) utilizadas no processo de compostagem juntamente com as macrófitas estudadas em cada artigo	48
Figura 9 – Parâmetros avaliados previamente ao processo de compostagem para caracterização das macrófitas e/ou biomassa, segundo os artigos consultados.....	50
Figura 10 – Parâmetros avaliados durante ou após o processo de compostagem para caracterização do produto final, segundo os artigos consultados.....	51
Figura 11 – Parâmetros avaliados previamente ao processo de compostagem para caracterização das macrófitas e/ou biomassa identificados na literatura brasileira, conforme critérios da revisão não estruturada	54
Figura 12 – Parâmetros avaliados durante ou após o processo de compostagem para caracterização do produto final identificados na literatura brasileira, segundo os artigos consultados	55
Figura 13 – Composição gravimétrica de Porto Alegre e outros municípios da região metropolitana.....	56
Figura 14 – Dados de destinação de RSU (RDO + RPU) por tipo de unidade, no Brasil, declarados pelas prefeituras no SNIS	57
Figura 15 – Dados de destinação de RSU (RDO + RPU) por tipo de unidade, no Rio Grande do Sul, declarados pelas prefeituras no SNIS.....	58
Figura 16 – Distribuição temporal e espacial dos estudos sobre aeração forçada identificados na revisão da literatura.....	59
Figura 17 – Principais matérias orgânicas compostadas por aeração forçada nos estudos identificados conforme os critérios de seleção da revisão da literatura	60

Figura 18 – Parâmetros monitorados na matéria orgânica compostada em sistemas de aeração forçada identificadas na revisão da literatura	61
Figura 19 – Parâmetros utilizados na avaliação do composto final, produzido via sistema de aeração forçada identificadas na revisão da literatura	62
Figura 20 – Parâmetros utilizados no monitoramento da compostagem via sistema de aeração forçada identificadas na revisão da literatura	63
Figura 21 – Imagem de uma pedreira de basalto e seu contexto ambiental (a) e do pó de rocha (b) resultado do beneficiamento do agregado de basalto	66
Figura 22 – Estimativa de geração de pó de rocha, considerando como base dados disponíveis no Anuário de Produção Mineral da Agência Nacional de Mineração	67
Figura 23 – Ilustração dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável estabelecidos pela ONU	68
Figura 24 – Delineamento da pesquisa.....	72
Figura 25 – Bombona adaptada para testes em escala reduzida do sistema de compostagem por aeração forçada.....	81
Figura 26 – Croqui ilustrativo do sistema pneumático instalado na bombona utilizada como protótipo do sistema de compostagem por aeração forçada.	82
Figura 27 – Grade de proteção	82
Figura 28 – Modelo de soprador adotado no protótipo de compostagem por aeração forçada e dados de vazão de ar passíveis de ser aplicado com o equipamento.....	83
Figura 29 – Arduino (a), protoboard (b), módulo leitor/escritor micro SD (c) e módulo com conectores bornes (d).....	88
Figura 30 – Reservatório Represa Lomba do Sabão (a) e Unidade de Transbordo do DMLU (b)	97
Figura 31 – Equipamentos utilizados para a coleta das macrófitas.....	99
Figura 32 – Coleta das macrófitas na represa Lomba do Sabão.....	99
Figura 33 – Resíduos domiciliares provenientes da zona de coleta PD39	102
Figura 34 – Croqui da Zona de Coleta PD 39 (Bairro Lomba do Pinheiro).....	102
Figura 35 – Coleta da fração orgânica dos RSU	103
Figura 36 – Pilha de pó de pedra de basalto	104
Figura 37 – Coleta de pó de pedra de basalto.....	105
Figura 38 – Localização da pedreira de basalto	105
Figura 39 – Análise de Caracterização Física de agregado miúdo.....	107
Figura 40 – Pontos de coleta das macrófitas <i>Pistia Stratiotes</i>	110
Figura 41 – Local de coleta, paisagem e fragmentação das macrófitas <i>Pistia Stratiotes</i>	111
Figura 42 – Área onde foram coletados os resíduos sólidos urbanos, PD 39.....	112

Figura 43 – Coleta da fração orgânica dos RSU, DMLU.....	114
Figura 44 – Evolução da temperatura na massa da mistura, no ambiente, recalque e altura do resíduo durante o processo de compostagem por aeração forçada.....	115
Figura 45 – Evolução da umidade na massa da mistura, no ambiente, recalque e altura do resíduo durante o processo de compostagem por aeração forçada.....	117
Figura 46 – Execução da construção do pátio de compostagem.....	128
Figura 47 – Pavilhão onde será a compostagem.....	128
Figura 48 – Pavilhão para produção do composto organomineral.....	130
Figura 49 – Custos fixos da unidade de produção do composto organomineral.....	132

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes de organominerais conforme IN 61/2020.....	35
Quadro 2 – Especificações, garantias e características exigidas para organominerais serem aplicados no solo ou fertirrigação, conforme IN 61/2020.....	35
Quadro 3 – Alguns dos agentes e limitações encontradas em métodos físicos, químicos e biológicos de controle de macrófitas em diversos estudos.....	42
Quadro 4 – Unidades de compostagem no Rio Grande do Sul declaradas no SNIS, no período de 2002 a 2018.....	58
Quadro 5 – Relação dos parâmetros avaliados no composto, ao longo e após a compostagem, por autores de trabalhos brasileiros	65
Quadro 6 – Relação dos ODS impactados pela gestão de resíduos sólidos	69
Quadro 7 – Critérios de classificação dos artigos	74
Quadro 8 – Critérios de classificação dos artigos	75
Quadro 9 – Relação dos parâmetros avaliados previamente à compostagem das frações orgânicas por aeração forçada	79
Quadro 10 – Estimativa do número de amostras por parâmetros.....	80
Quadro 11 – Resultados das análises microbiológicas da amostra do composto orgânico, resultante da compostagem por aeração forçada, extraída no dia 25 de fevereiro de 2022 ...	122
Quadro 12 – Resultados microbiológicos das amostras do composto organomineral	126
Quadro 13 – Relação das ações contidas nos ODS que podem ser alcançados com a produção do composto organomineral	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Período de tempo e temperatura necessários para higienização dos resíduos sólidos orgânicos durante o processo de compostagem.....	36
Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos avaliados em macrófitas em trabalhos técnico-científicos com ênfase no seu manejo e uso	40
Tabela 3 – Temperatura e umidade no dia das coletas das amostras das macrófitas	98
Tabela 4 – Resultados das análises físico-química das macrófitas <i>Pistia stratiotes</i>	100
Tabela 5 – Temperatura e umidade do ar no dia da coleta dos RSU.....	101
Tabela 6 – Resultados das análises físico-química da fração orgânica do RSU	103
Tabela 7 – Resultados das análises laboratoriais do pó de rocha de basalto	108
Tabela 8 – Temperatura e umidade do ar no dia da coleta	112
Tabela 9 – Valores do monitoramento das umidades, temperatura e densidade.....	116
Tabela 10 – Parâmetros físico-químicos monitorados durante o processo de compostagem	118
Tabela 11 – Resultados das análises físico-química referente às amostras da mistura entre as macrófitas e a fração orgânica e do composto orgânico maturado.....	120
Tabela 12 – Resultados das análises físico-química do composto organomineral.....	125
Tabela 13 – Custos Fixos de Infraestrutura: Construção dos pavilhões.....	128
Tabela 14 – Parâmetros adotados para a produção do fertilizante organomineral.....	129
Tabela 15 – Custos fixos com maquinário	131
Tabela 16 – Custos variáveis anuais com funcionários.....	133
Tabela 17 – Custos variáveis anuais com equipamentos operacionais, EPIs e despesas administrativas e de laboratório.....	135
Tabela 18 – Custos variáveis anuais com matéria prima e transportes	136
Tabela 19 – Receita da venda do composto organomineral	137
Tabela 20 – Valores da quantidade da fração orgânica não enviada ao Aterro sanitário	137
Tabela 21 – Fluxo de caixa do empreendimento no ano zero	138
Tabela 22 – Fluxos de caixa anual, a valor presente e acumulado do processo de compostagem por aeração forçada	139

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABISOLO	Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal
art.	Artigo
C/N	Carbono-nitrogênio disponível
CE	Condutividade Elétrica
cm	Centímetro(s)
CO	Composto orgânico
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono orgânico total
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
CT	Centro de Tecnologia
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DMLU	Departamento de Limpeza Urbana do Porto Alegre
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EC	Eletro Condutividade
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
g	Gramas(s)
h	Hora(s)
ha	Hectares
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IN	Instrução Normativa
kg	Quilograma
L	Litro(s)
LEAmet	Laboratório de Estudos Ambientais para a Metalurgia
m	Metro(s)
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro(s) cúbico(s)
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
min	Minuto(s)
mL	Mililitro(s)
mm	Milímetros
MO	Matéria Orgânica

NPK	Nitrogênio - Fósforo - Potássio
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
°C	Graus Celsius
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial hidrogeniônico
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PPB	Pó de pedra de basalto
ppt	Partes por trilhão
RDO	Resíduos Domiciliares
RPU	Resíduos Sólidos Públicos
RS	Rio Grande do Sul
RSU	Resíduo Sólido Urbano
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TIR	Taxa Interna de Retorno do investimento
TJLP	Taxa de Juros de Longo Prazo
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TMF	Taxa Básica Financeira
TR	Taxa Referencial
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	21
1.2	QUESTÃO DE PESQUISA	22
1.3	OBJETIVOS	23
1.3.1	Objetivo geral	23
1.3.2	Objetivos específicos	23
1.4	DELIMITAÇÕES	24
1.5	INEDITISMO	24
2	REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1	COMPOSTAGEM.....	25
2.1.1	Métodos de compostagem	29
2.1.1.1	Leiras estáticas, aeração passiva e aeração forçada.....	29
2.1.1.2	Revolvimento mecânico	30
2.1.1.3	Reatores biológicos	31
2.1.1.4	Vermicompostagem.....	33
2.1.2	Composto organomineral	34
2.1.2.1	Requisitos legais	34
2.1.2.2	Mercado	37
2.2	MACRÓFITAS.....	37
2.2.1	Contextualização	38
2.2.2	Manejo de macrófitas e setores envolvidos	40
2.2.3	Compostagem de macrófitas	42
2.2.3.1	Quantitativo, distribuição espacial e temporal dos artigos pesquisados.....	42
2.2.3.2	Principais métodos de compostagem das macrófitas	44
2.2.3.4	Monitoramento da compostagem com macrófitas.....	49
2.3	RESÍDUO DOMICILIAR	55
2.3.1	Caracterização do resíduo domiciliar brasileiro	56
2.3.2	Gerenciamento do resíduo domiciliar no Brasil	56
2.3.3	Compostagem do resíduo sólido	58
2.3.4	Compostagem de resíduos sólidos por aeração forçada: casos brasileiros	63
2.4	REJEITO DE MINERAÇÃO (PÓ DE ROCHA).....	65
2.4.1	Geração de pó de rocha na produção de agregados graúdos	65

2.4.2	Rejeito de Mineração (Pó de rocha): gerenciamento e usos potenciais	67
2.5	O MANEJO DE RESÍDUOS E A AGENDA 2030	67
2.6	VIABILIDADE ECONÔMICA	69
3	METODOLOGIA	71
3.1	ESTRATÉGIA DE PESQUISA	71
3.2	DELINEAMENTO DA PESQUISA	71
3.2.1	Revisão da literatura	72
3.2.1.1	Revisão da literatura sobre a compostagem de macrófitas	72
3.2.1.2	Revisão da literatura sobre compostagem por aeração forçada	74
3.2.1.3	Contextualização da área de estudo	75
3.2.2	Coleta de dados primários da etapa experimental e análises	76
3.2.2.1	Sistema de automação	87
3.2.3	Produção do organomineral	88
3.2.4	Análise de viabilidade econômico-financeira para produção do composto organomineral	90
3.2.4.1	Investimentos, custos e despesas com a implantação do sistema de compostagem por aeração forçada	90
3.2.4.2	Receitas e impostos com a venda do composto organomineral	91
3.2.4.3	Indicadores econômicos	91
3.2.5	Análise de quais são os objetivos do desenvolvimento sustentável que podem ser atendidos com a produção do composto organomineral	93
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	95
4.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	95
4.2	CARACTERIZAÇÃO DAS MACRÓFITAS AQUÁTICAS, DA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E DO REJEITO DE MINERAÇÃO	97
4.2.1	Etapa preliminar	97
4.2.1.1	Coleta e caracterização das amostras das macrófitas	98
4.2.1.2	Coleta e caracterização das amostras do resíduo sólido urbano	100
4.2.1.3	Coleta e caracterização da amostra do pó de rocha de basalto	104
4.3	PRODUÇÃO DO COMPOSTO ORGÂNICO RESULTANTE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E DAS MACRÓFITAS	108
4.3.1	Etapa experimental	109
4.3.1.1	Coleta das macrófitas para a compostagem	109

4.3.1.2	Coleta do resíduo sólido urbano para compostagem.....	111
4.3.1.3	Produção, caracterização e avaliação da qualidade do composto orgânico	114
4.4	DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE ÓTIMA DA MISTURA ENTRE O REJEITO DE MINERAÇÃO E A FRAÇÃO DO COMPOSTO PROVENIENTE DA COMPOSTAGEM POR AERAÇÃO FORÇADA, VARIANDO A TAXA DE APLICAÇÃO DO REJEITO DE MINERAÇÃO NO COMPOSTO ORGÂNICO...	123
4.5	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA PARA PRODUÇÃO DO COMPOSTO ORGANOMINERAL	126
4.5.1	Levantamento dos custos de implantação, manutenção e produção do composto organomineral.....	127
4.5.2	Levantamento das receitas e tributos com as vendas do composto organomineral	136
4.5.3	Análise econômico-financeira	139
4.6	AVALIAR QUAIS DOS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL PODEM SER ALCANÇADOS COM A PRODUÇÃO DO COMPOSTO ORGANOMINERAL	140
5	CONCLUSÕES.....	145
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	145
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	148
	APÊNDICE A – SÍNTESE DOS ARTIGOS ACESSADOS NA REVISÃO DA LITERATURA	169
	APÊNDICE B – SÍNTESE DOS ARTIGOS ACESSADOS NA REVISÃO NÃO ESTRUTURADA DA LITERATURA BRASILEIRA.....	180
	APÊNDICE C – SÍNTESE DOS ARTIGOS ACESSADOS NA REVISÃO ESTRUTURADA DA LITERATURA REFERENTE À COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS POR AERAÇÃO FORÇADA	183
	ANEXO A – LAUDOS.....	184

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população, aliado ao desenvolvimento de novos hábitos de consumo, interfere significativamente nos impactos ambientais provocados pela geração de resíduos sólidos e esgotos sanitários urbanos. Entende-se por resíduos sólidos urbanos aqueles resíduos provenientes de domicílios, serviços de limpeza urbana, pequenos estabelecimentos comerciais, industriais e de prestação de serviços, que estejam incluídos no sistema de coleta regular de resíduos e que tenham características similares aos resíduos sólidos domiciliares. Os resíduos sólidos urbanos são, basicamente, aqueles de origem doméstica, com geração média aproximada de 01 (um) quilograma por habitante por dia, conforme a região do país.

No Brasil, aproximadamente 95% dos resíduos sólidos urbanos são destinados a aterros sanitários, controlados e lixões. Embora 99% da população urbana brasileira seja atendida por serviços de coleta de resíduos domiciliares de forma direta, representando 82,9% dos domicílios, ainda existem 7,9% dos domicílios brasileiros que são atendidos de forma indireta. As demais residências descartam seus resíduos e rejeitos em terrenos baldios, logradouros e mananciais hídricos, representando 7,2 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos o que provoca imensos impactos ambientais, sociais e econômicos resultando em danos à saúde da população, principalmente da parcela menos favorecida (BRASIL, 2019a). Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2020a), no país são gerados 62,78 milhões de toneladas por ano de resíduos sólidos urbanos (RSU), sendo que a parcela orgânica destes resíduos equivale entre 50 a 60 % do total, corroborada no PNRS (BRASIL, 2022a), que identifica a matéria orgânica como a principal componente dos RSU, portanto, uma parcela significativa que merece uma atenção especial.

Em 23 de dezembro de 2010, foi publicado o Decreto Federal nº 7.404 (BRASIL, 2010a), atualizado em 2022, pelo Decreto Federal nº 10.936 (BRASIL, 2022b) que regulamenta a Lei Federal nº 12.305 de dois de agosto de 2010, da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010b) atribuindo a responsabilidade do manejo dos resíduos sólidos urbanos, aos municípios, desde a coleta até a destinação final, considerando que entre os principais objetivos da PNRS destaca-se a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento e a destinação adequada dos resíduos sólidos urbanos (BRASIL, 2010b). Há outros resíduos gerados pelo desenvolvimento humano que também se destacam como grandes impactantes ao meio ambiente, os resíduos provenientes das atividades de mineração, entre eles os resíduos e rejeitos provenientes da indústria de transformação do basalto. Segundo Toscan, Kautzmann e Sabedot (2007), uma grande parte do basalto extraído

da jazida é transformada em paralelepípedo, lajes, pedras para alicerces e outros. Os rejeitos gerados nas atividades de mineração e acabamento, parte é transformado em brita, parte permanece no local da pedreira. Nas usinas de britagem há uma grande geração de pó de pedra, rejeito este que em determinadas regiões não tem demanda compatível com a sua produção, transformando-se em mais um passivo ambiental.

Os esgotos sanitários também são causadores de inúmeros problemas ambientais e de saúde pública, são gerados a partir da utilização das águas de abastecimento e podem ser classificados em urbanos e rurais. As atividades domésticas, comerciais, públicas, industriais e agrícolas utilizam água de abastecimento pública ou de outras fontes de abastecimento e a ela agregam matéria de diversificada composição física, química e biológica (JORDÃO; VOLSCHAN JÚNIOR, 2009).

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (BRASIL, 2019b), o índice médio de atendimento da população urbana no Brasil, por redes de esgoto, é de 60,9%, o que equivale a 105,5 milhões de habitantes. No que se refere ao tratamento de esgotos, observa-se que os índices médios de esgotos tratados equivalem a 46,3% dos esgotos gerados e a 74,5% dos esgotos coletados, o que corresponde a 4,30 bilhões de m³ em 2018, (BRASIL, 2019b). Os esgotos sanitários constituem-se, aproximadamente, de 99,9% de água e 0,1% de sólidos. O líquido é o meio de transporte das inúmeras substâncias sólidas descartadas pelo homem. Estes sólidos são responsáveis pela deterioração da qualidade do corpo hídrico que recebe os efluentes, sem tratamento, portanto é devido a esta fração de sólidos que se deve tratar os esgotos. Os esgotos lançados sem tratamento provocam o aporte de nutrientes nos mananciais o que ocasiona um desequilíbrio no ecossistema aquático, levando à proliferação de algas e à mortandade de peixes. Outro grande impacto provocado pelo lançamento de esgotos sanitários sem tratamento é o desmedido crescimento de macrófitas, principalmente em reservatórios onde as águas estão estagnadas ou de fluxo lento.

Conforme Pompêo (2017), as macrófitas são organismos que estão presentes em todos os tipos de massas de água, mesmo em baixa riqueza ou biomassa, e devem permanecer nestes locais, pois são fundamentais para o metabolismo dos ecossistemas, para a ciclagem de nutrientes e fluxo de energia. Observa-se na massa de água ou no sedimento que o problema e a solução, muitas vezes, estão fora do corpo hídrico, não podendo deixar de observar e compreender o que se passa na cercania do reservatório e na totalidade da bacia hidrográfica.

A defasagem nas políticas públicas remete a grandes índices de tratamento não adequado de resíduos sólidos e diminutos índices de tratamento de esgotos sanitários,

resultando no lançamento dos esgotos sanitários e resíduos sólidos de forma *in natura* nos corpos hídricos.

Após longo período sem uma política que proporcionasse aos Estados e Municípios investir no setor do saneamento, o Governo Federal definiu através da lei 11.445 de 05 de janeiro de 2007, regulamentada através do decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010 (BRASIL, 2010c), a Política Nacional de Saneamento. Esta política estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, referindo-se às questões sobre os sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e de resíduos sólidos (BRASIL, 2007).

A compostagem constitui-se em um dos mais antigos processos de reciclagem (terciária) de resíduos orgânicos de que o homem tem conhecimento. Trata-se de um eficiente processo de tratamento existente, de baixo custo e em sua quase totalidade, mantém grande simplicidade e flexibilidade operacional para tratar quantidades diversificadas de resíduos orgânicos (PEREIRA NETO; LELIS, 2001). O resultante da compostagem proporciona a transferência de energia e a ciclagem de nutrientes ao solo, proporcionando uma série de benefícios direta e indiretamente à população, visto que melhora as principais características responsáveis pela fertilidade do solo completando o ciclo da natureza, pois os resíduos produzidos pela sociedade são provenientes do solo e após serem tratados, voltam para beneficiar o solo.

Pode-se observar que o arcabouço legal está definido, para que os municípios invistam em coleta e tratamento dos resíduos sólidos e esgotamento sanitário, buscando a sustentabilidade ambiental, social e econômica e atendendo os objetivos da PNRS, em destaque o tratamento e a destinação adequada dos resíduos sólidos urbanos.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

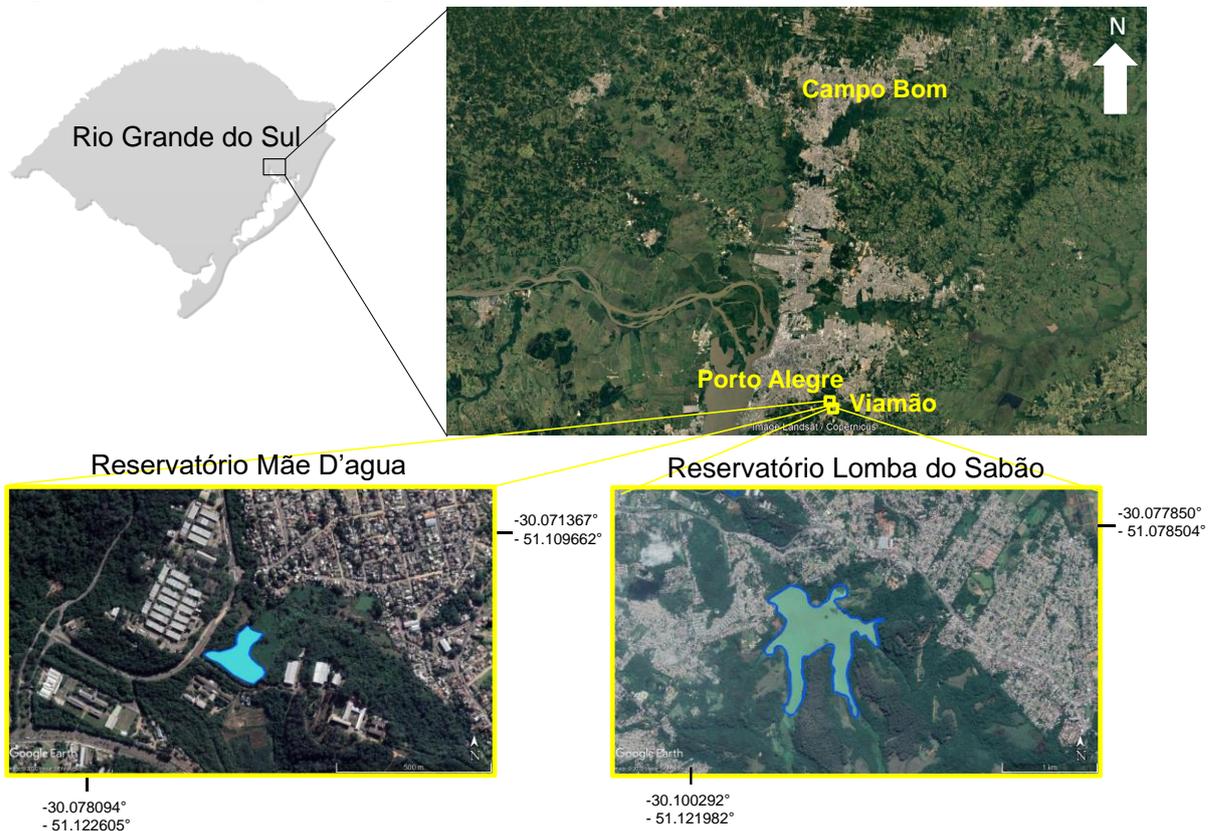
Diante do exposto, em que há uma grande produção de resíduos sólidos urbanos e consequentemente de matéria orgânica, conjuntamente com a falta de tratamento de esgotamentos sanitários que são lançados nos mananciais hídricos, ocasionando a proliferação de macrófitas aquáticas, nas represas, reservatórios, lagos e rios e comprometendo os usos destes. A busca pela redução e tratamento dos resíduos sólidos e da biomassa removida da água, evitando que estes materiais sejam enviados como rejeito para os aterros sanitários e causando impactos ao ambiente, minimizando os custos aos municípios, aumentando a vida útil dos aterros e possibilitando a reaplicação de recursos que venham a ser economizados

e/ou agregados com a compostagem no atendimento ou ampliação das políticas públicas de saúde, ambiental e social ou de desenvolvimento urbano e regional foram fatores relevantes para o desenvolvimento desta pesquisa.

Para o tratamento da matéria orgânica, especialmente dos municípios de porte médio e dos que possuem pequenas populações, menos de vinte mil habitantes, ou seja, 75% dos municípios brasileiros, segundo o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM), (SOUZA, 2009) faz-se necessário implantar tratamentos que sejam econômico, social e ambientalmente sustentáveis.

A pesquisa, em escala reduzida, foi realizada, na região metropolitana de Porto Alegre, capital do Estado do Rio Grande do Sul (RS) (Figura 1).

Figura 1 – Localização da Região Metropolitana de Porto Alegre – RS



Fonte: Google Earth (2020).

1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

A partir dos dados apresentados anteriormente, foi definida a seguinte questão de pesquisa:

É possível determinar, a níveis requeridos pela legislação, e de forma sustentável, a taxa ótima de mistura entre a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, macrófitas aquáticas e rejeito de mineração de basalto para a produção de um fertilizante organomineral através de um sistema de compostagem por meio de aeração forçada?

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho propõe os seguintes objetivos:

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver um fertilizante organomineral, produto da quantidade ótima da mistura entre os rejeitos de mineração de pedra basáltica, oriundos de jazidas localizadas na região metropolitana de Porto Alegre, e o composto orgânico, resultante de macrófitas aquáticas, provenientes de reservatórios que recebem esgotos domésticos urbanos sem tratamento, e da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, através da técnica de compostagem por aeração forçada, visando o atendimento da legislação, o custo econômico-financeiro e os ODS.

1.3.2 Objetivos específicos

Para atender ao objetivo geral, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- a) caracterizar as macrófitas aquáticas, a fração orgânica de resíduos sólidos urbanos e o rejeito de mineração;
- b) produzir, caracterizar e avaliar o composto orgânico oriundo dos resíduos sólidos urbanos e das macrófitas aquáticas, através da técnica de compostagem por aeração forçada, em escala reduzida;
- c) determinar, de acordo com a legislação vigente, a quantidade ótima da mistura entre o rejeito de mineração e a fração do composto proveniente da compostagem por aeração forçada, variando a taxa de aplicação do rejeito de mineração no composto orgânico;
- d) analisar a viabilidade econômica da produção do composto organomineral proveniente da técnica de compostagem através da aeração forçada;
- e) avaliar quais dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável podem ser alcançados com a produção do composto organomineral produzido.

1.4 DELIMITAÇÕES

Este trabalho tem como foco estudar a técnica de compostagem através da aeração forçada, utilizando macrófitas aquáticas provenientes de represas que recebem esgotos domésticos urbanos sem tratamento, resíduos sólidos urbanos e rejeito de mineração de basalto, provenientes de jazidas, na área urbana de municípios de grande porte, sob o enfoque da sustentabilidade e atendendo à legislação. Desta forma, o estudo com outras técnicas de compostagem está fora do escopo desta pesquisa.

1.5 INEDITISMO

O ineditismo da presente pesquisa advém da produção de um composto organomineral resultante de três componentes (resíduos sólidos urbanos, macrófitas e rejeito da mineração de basalto) provenientes do crescimento populacional, das mudanças de hábitos e da falta de políticas públicas.

A falta de trabalhos produzindo compostos organomineral a partir dos resíduos sólidos urbanos, macrófitas e rejeito de mineração de basalto, a escassez de informações sobre a produção deste composto através de experimentos que utilizem a técnica compostagem por aeração forçada. A concentração de três componentes resultantes de grandes volumes causadores de problemas sociais, ambientais e econômicos aos municípios são fatores que tornam esta pesquisa inovadora e relevante.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados os termos que tangenciam a lacuna de conhecimento a ser investigada. Os conceitos dizem respeito à compostagem, macrófitas, resíduo domiciliar, rejeito de mineração e a Agenda 2030 da ONU.

2.1 COMPOSTAGEM

A compostagem é um processo de decomposição biológico aeróbio, exotérmico e controlado, de transformação de resíduos orgânicos em produto estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhes deu origem. É normalmente realizada em pátios nos quais o material é disposto em montes de forma cônica, conhecidos como pilhas de compostagem, ou montes de forma prismática com seção similar à triangular, denominados leiras de compostagem. Este processo é considerado uma alternativa para o tratamento da matéria orgânica presente em resíduos sólidos (BIDONE; POVINELLI, 1999; REIS, 2005). A compostagem dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) resulta em uma redução, em volume, de até 50% e consome cerca de 50% da massa orgânica em peso seco, liberando, principalmente, CO₂ e água. A compostagem decompõe facilmente tecidos vegetais e animais degradáveis, porém, não produz alterações significativas em orgânicos como madeira, couro e polímeros ou inorgânicos como vidro, cerâmica e metais.

O processo de compostagem de RSU inicia-se com a separação dos materiais biodegradáveis do resto dos resíduos e, em seguida, estes são triturados ou moídos – o restante dos RSU normalmente é depositado em aterros. Em alguns casos, os resíduos orgânicos são inicialmente compostados dentro de vasos que fornecem agitação mecânica e arejamento forçado. Em outros casos, a compostagem é realizada em lugares totalmente abertos. A vantagem da compostagem em local fechado é que pode ajudar a controlar odores devido a um melhor controle de arejamento e temperatura, no entanto, este tipo é seguido pela compostagem ao ar livre.

Segundo Barreiras, Philippi Júnior e Rodrigues (2006), a compostagem não deve ter apenas uma legislação específica, mas um controle sobre sua produção e comercialização, levando em conta os benefícios socioambientais e a melhoria da produtividade agrícola. Neste processo existem diversos organismos ativamente envolvidos, sendo estes classificados em seis grandes grupos: bactérias, actinomicetes, fungos, protozoários, vermes e algumas larvas.

Em termos de número e atividade, os organismos predominantes são as bactérias e os fungos e, em menor escala, os protozoários. Entretanto, alguns organismos maiores como minhocas e larvas podem aparecer em estágios mais avançados do processo de compostagem.

O processo de compostagem classifica-se em Aeróbico e Anaeróbico, e quanto à temperatura, classifica-se em: Criofílico, Mesofílico e Termofílico. A fase aeróbica do processo de compostagem é realizada na presença de oxigênio e a anaeróbica é na ausência deste. Com o tempo, a compostagem aeróbica tornou-se uma abordagem habitual e a compostagem anaeróbica foi desfavorecida. É extremamente difícil e caro a manutenção de condições totalmente aeróbias, em uma massa de compostagem, desta forma, uma abordagem mais realista é a concepção de um sistema de compostagem combinado onde a aerobiose é promovida e a anaerobiose é minimizada, o máximo possível.

Em relação à temperatura, o processo de compostagem é considerado criofílico quando a temperatura está próxima ou inferior ao ambiente, mesofílico quando a temperatura varia entre 40 e 55°C, neste caso há a transformação da matéria orgânica em ácidos orgânicos e termofílico, quando a temperatura está entre 55 e 75°C, nesta fase há a redução de organismos patogênicos (BARROS, 2012). A vantagem entre a compostagem realizada em ambientes totalmente mesofílicos ou totalmente termofílicos é discutível, pois, com poucas exceções, a compostagem moderna incorpora a ascensão e queda dos níveis de temperatura que ocorrem normalmente, caso não sejam tomadas medidas para contornar estas variações. O processo de compostagem é separado em três estágios: Fase de mesofílica, fase termofílica e fase de cura ou maturação (TCHOBANOGLIOUS; KREITH, 2002).

A fase mesofílica começa assim que são estabelecidas as condições de compostagem. É um período de adaptação dos micróbios presentes no resíduo. Estes começam a se proliferar, utilizando açúcares, amidos, celulosos simples e aminoácidos presentes no resíduo bruto. Devido à aceleração da atividade, a temperatura na massa começa a subir.

A fase termofílica é a transição entre esta fase e a anterior é marcada por um aumento exponencial do número de micróbios e a intensificação da atividade destes. Esta atividade é manifestada pelo aumento precipitado e ininterrupto da temperatura na massa de compostagem. Este aumento continua até que a concentração de resíduos facilmente degradáveis seja suficiente para suportar a expansão microbiana e a atividade intensa. A menos que sejam tomadas medidas, a temperatura poderá ser de 70°C ou mais. A atividade permanece em nível de pico até que o suprimento de nutrientes disponíveis e materiais facilmente decompostos comecem a diminuir. A duração desta fase varia de acordo com o substrato e as condições do ambiente. Pode ser bastante rápida (5 ou 6 dias) ou longa (2 a 6

semanas). É importante frisar que uma queda brusca de temperatura durante este período indica um mau funcionamento do sistema, como falta de oxigênio ou excesso de umidade (TCHOBANOGLOUS; KREITH, 2002).

A Fase de cura ou maturação inicia quando o fornecimento de material facilmente decomponível é esgotado. Nesta fase, a proporção de material que é resistente aumenta e a proliferação microbiana diminui. A temperatura começa a declinar, até que se atinja a temperatura ambiente. Pode ser rápida, desenvolvendo-se em algumas semanas ou lenta, em um ou dois anos (TCHOBANOGLOUS; KREITH, 2002).

Existem outros fatores importantes que influenciam no processo de compostagem, como os nutrientes e substratos, elementos químicos, disponibilidade de nutrientes, relação carbono/nitrogênio, oxigênio, umidade e tamanho da partícula. O resíduo ideal deveria conter todos os nutrientes necessários, mas na prática, às vezes pode ser necessário adicionar algum nutriente químico para sanar a deficiência de nutrientes (TCHOBANOGLOUS; KREITH, 2002). Entre os elementos químicos, os principais nutrientes (macronutrientes) são o carbono (C), o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K). Entre os nutrientes menos utilizados (micronutrientes), tem-se o cobalto (Co), o manganês (Mn), o magnésio (Mg) e o cobre (Cu). O cálcio (Ca) fica entre macro e micronutriente e serve como uma resistência à variação do pH. O fósforo (P) está envolvido no armazenamento de energia e, de certa forma, na síntese do protoplasma.

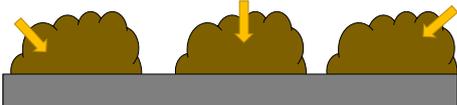
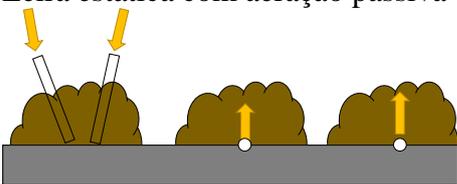
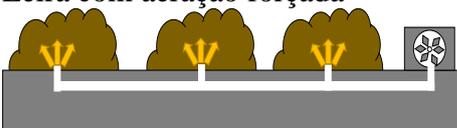
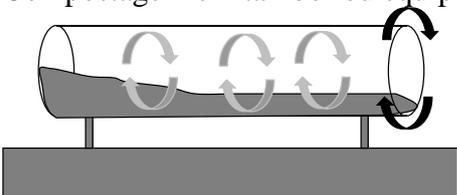
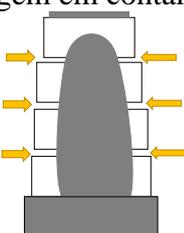
Quanto à disponibilidade de nutrientes, a simples presença de um nutriente num substrato não é suficiente. Para ser utilizado, o elemento deve estar numa forma que possa ser assimilada pelo organismo, ou seja, “disponível” para este. A disponibilidade para um micróbio depende da composição enzimática do organismo. Os organismos que não possuem este complexo utilizam como fonte de nutrientes apenas os produtos já em decomposição. A proporção carbono-nitrogênio disponível (C/N) é o mais importante dos fatores nutricionais, na medida em que a experiência mostra que a maior parte dos resíduos orgânicos contém os outros nutrientes nas quantidades e proporções necessárias para a compostagem. A proporção ideal é cerca de 20 a 25 partes de carbono disponível para 01 parte de nitrogênio. Uma proporção C/N superior a 20/1 ou 30/1 pode retardar o processo de compostagem. Já uma proporção muito baixa, entre 15/1 e 20/1, leva à perda de nitrogênio como amônia (TCHOBANOGLOUS; KREITH, 2002).

Quanto ao tamanho da partícula pode-se afirmar que estas devem oferecer grande área superficial para ação dos microrganismos. Porém, se forem muito reduzidas obstruem os espaços de aeração e tornam a massa muito compacta. Na prática, o tamanho das partículas

deve estar entre 10 e 50 mm de diâmetro. Quanto à presença de oxigênio, este é um fator primordial, pois é o elemento de respiração dos microrganismos. A umidade ideal para o processo de compostagem situa-se entre 50-55%. Quando fica abaixo de 40%, a umidade inibe a atividade microbiana, quando está acima de 60%, pode promover a anaerobiose, ocupando os espaços preenchidos pelo ar, provocando o aumento da produção de chorume.

Genericamente existem três tipos de compostagem de acordo com o meio de aeração do composto: composteiras em leiras com revolvimento – “Windrow” (a); leiras estáticas (b) e biorreatores (c). Por fim, pode-se ainda citar a vermicompostagem (d). Cada tipo de compostagem exige investimentos distintos e possui complexidade diferente, que contribuem para maior controle dos fatores de influência no processo. A Figura 2 indica qualitativamente esta relação para cada processo.

Figura 2 – Comparação dos métodos de compostagem

	Investimento	Manutenção	Espaço	Tempo	Mão-de-obra
<p>Leira estática</p> 	■	■	■■■■■	■■■	■■■■■
<p>Leira estática com aeração passiva</p> 	■■	■■	■■■■■	■■■	■■
<p>Leira com aeração forçada</p> 	■■■■■	■■■■■	■■■	■	■■
<p>Compostagem em tambor ou equipamento fechado</p> 	■■■■■	■■■■■	■■	■	■■
<p>Compostagem em container</p> 	■■■	■■	■■	■■■■■	■■

Fonte: Adaptado de Beltrame (2018).

2.1.1 Métodos de compostagem

A seguir serão apresentados alguns métodos de compostagem que contribuem para o desenvolvimento da metodologia deste trabalho.

2.1.1.1 Leiras estáticas, aeração passiva e aeração forçada

O sistema de leiras estáticas adota a ventilação natural pela passagem do ar através dos vazios dentro da leira. Utiliza-se, principalmente, palha, galhos e forragem como cobertura externa à massa de material orgânico. Segundo Beltrame (2018), este processo requer homogeneidade do material para uma efetiva dissipação das altas temperaturas na fase ativa de degradação.

O sistema de aeração passiva é constituído de maneira semelhante à leira estática, sendo intercalada a disposição de resíduos com uma ou mais camadas de materiais que permitirão o ingresso de ar, seja a partir de tubos perfurados ou estacas retiradas gradualmente.

Leiras estáticas aeradas diferenciam-se de leiras “*windrow*”, pois não possuem o processo de reviramento (REIS, 2005). Esse tipo de compostagem é recomendado apenas para resíduos orgânicos homogeneizados e que possuam granulometria adequada para passagem do ar insuflado.

Nos sistemas de aeração forçada são previstos instalações de dutos plásticos ou metálicos perfurados na base da leira, pelo qual será insuflado o ar para manter o sistema aerado. Sobre a pilha, é colocada uma camada de adubo maturado para auxiliar na retenção do calor gerado pelo processo (KIEHL, 1998). O sistema de aeração deve suprir a demanda de oxigênio dos microrganismos, a qual é menor no início do processo e maior após o início da fase termofílica. Caso a aeração não seja bem dimensionada, o processo fica anaeróbico, podendo gerar gás metano e odores característicos.

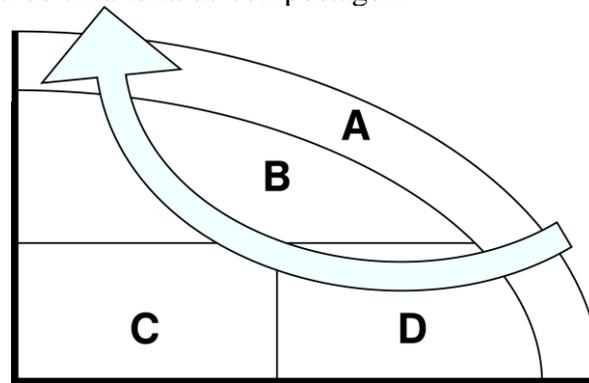
Segundo Ruschel (2013) sistemas aerados sem reviramento geram de 3 a 5 vezes mais lixiviados do que sistemas com reviramento manual ou mecânico. Desta forma, pode prever a coleta e recirculação do lixiviado no sistema que garante a manutenção da umidade ótima e a reinserção de microrganismos no processo.

Dentre as vantagens do sistema de leiras estáticas, destacam-se menores custos de manutenção e necessidade de áreas menores quando comparado às leiras com revolvimento mecânico, e maior controle e eficiência da oxigenação do sistema. Como desvantagem, é

citada a necessidade de garantir a porosidade e granulometria adequada para não impedir a passagem de ar pela pilha de resíduos (PAROLIN, 2014).

Conforme Diaz *et al.* (2007), as temperaturas não são homogêneas em toda a pilha de composto, portanto é importante o revolvimento do substrato para ter contato com a parte central, a parte mais quente da leira. Do ponto de vista microbiológico, existem quatro zonas principais dentro de uma pilha de compostagem, sendo que a zona mais fresca é a mais externa (A), com grande quantidade de oxigênio, a zona mais interna (C), é a que têm um menor fornecimento de oxigênio, enquanto que na zona mais superficial (D) as temperaturas são medianas e tem um bom fornecimento de oxigênio, sendo que a região superior (B) é a mais quente e tem uma quantidade satisfatória de oxigênio (Figura 3).

Figura 3 – Seção transversal de uma leira de compostagem



Fonte: Adaptado de Diaz *et al.* (2007).

2.1.1.2 Revolvimento mecânico

Este sistema, também conhecido como “*windrow*”, envolve revolvimento mecânico, normalmente realizado com o auxílio de retroescavadeiras ou pás carregadeiras (FERNANDES; SILVA, 1999). Segundo os autores, além do revolvimento, as leiras devem ser dimensionadas de forma a evitar a perda do calor gerado no processo para o meio externo. Leiras com volume a partir de 1,7m³ podem ser consideradas eficientes.

O revolvimento possui diversas funções, tais como: suprir a demanda de oxigênio dos microrganismos que realizam a decomposição aeróbica; aumentar a porosidade do material, tendo em vista a compactação da leira com o tempo; homogeneizar a mistura; fazer com que todo o material que compõe a leira seja submetido às altas temperaturas, garantindo a eliminação de patógenos; reduzir a umidade da pilha; reduzir a granulometria do material; e, por fim, controlar a temperatura do processo (FERNANDES; SILVA, 1999).

Quanto às vantagens de operar sistemas de leiras com revolvimento mecânico são citados o baixo custo de instalação e manutenção e a simplicidade de operacionalização. No entanto, destacam-se como desvantagens a necessidade de grandes áreas para a compostagem, dificuldade para controle de insetos, grande produção do chorume, geração de eventuais odores e qualidade inferior do composto gerado (PAROLIN, 2014).

2.1.1.3 Reatores biológicos

A utilização de reatores biológicos na compostagem de resíduos orgânicos é uma alternativa técnica que permite um controle mais efetivo do processo. Isso devido ao fato de possibilitar a regulação de parâmetros importantes no processo, reduzindo o ciclo da fase termófila, conferindo à compostagem em reator a denominação de “compostagem acelerada”. A homogeneidade conferida ao meio, inclusive quanto à temperatura, torna o processo mais eficiente na remoção de agentes patogênicos. Outra característica dessa alternativa é a redução na produção de odores devido ao fato de o sistema ser fechado e com aeração controlada, evitando ocorrência de anaerobiose. O tempo de detenção dos resíduos no reator é projetado para permitir a conclusão da fase termófila no mesmo, podendo variar de 7 a 20 dias (de acordo com as características dos resíduos e do tipo de equipamento), o que demanda menor espaço para sua implantação em comparação com a compostagem tradicional. O reator sofre aeração pressurizada, permitindo um melhor monitoramento da taxa de aeração, adequando-a as necessidades do projeto. A concentração de oxigênio pode ser medida na saída do reator. Caso esta esteja próxima a 2%, a vazão de ar deve ser aumentada para evitar condições anaeróbias. A fase termófila é mais intensa e curta em reatores biológicos; entretanto, o composto necessita passar por posterior período de maturação de aproximadamente 60 dias, como em outros sistemas propostos. Cabe ressaltar que a compostagem em reatores biológicos é mais dependente de equipamentos mecânicos que a realizada em leiras revolvidas ou leiras estáticas aeradas. O nível de sofisticação tecnológica empregada é variável de acordo com o modelo e com a escala de produção da usina (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA, 1996).

De modo geral, sistemas de reatores biológicos podem ser classificados em: reatores de fluxo horizontal, reatores de fluxo vertical e reatores de batelada. Nos dois primeiros casos, os resíduos passam pelo reator em fluxo contínuo, sendo que o tempo de retenção é definido pela velocidade de passagem dos resíduos no trajeto entre a entrada até a saída do reator. No terceiro caso, o reator recebe uma quantidade de resíduos, processando-os até o final da fase

termófila. Ao final do processo, quando o mesmo é descarregado em batelada e levado para o pátio de maturação, recomeçando-se o processo com resíduos frescos. Os reatores de fluxo vertical são constituídos por sistemas semelhantes a silos verticais. Os resíduos entram pela parte superior do mesmo, geralmente, percorrendo o reator no sentido descendente. O ar pode ser injetado em vários níveis do reator ou apenas na parte inferior. Os reatores horizontais apresentam em geral forma cilíndrica, sendo dispostos horizontalmente. Devido a estas características, tais reatores são também chamados de “túneis”. Os resíduos entram por uma extremidade do reator, saindo pela outra, com o devido tempo de detenção a fim de permitir a conclusão da fase termófila. O ar é injetado ao longo do trajeto. Já os reatores de batelada diferem dos anteriores porque neles os resíduos são confinados no mesmo local, sem deslocamento. Sendo assim, os sistemas contam com mecanismos de agitação da massa de resíduos a fim de limitar caminhos preferenciais de passagem de ar. Em alguns casos, reatores biológicos não dispõem de tais mecanismos de aeração. A agitação é realizada por meia rotação lenta do reator em torno do seu próprio eixo ou por sistema aerador interno (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA, 1996).

Como principais vantagens de utilização de reatores biológicos na compostagem, cita-se: menor demanda de área, melhor controle do processo, independência de fatores climáticos, facilidade para controlar odores, potencial para recuperação de energia térmica (dependendo do tipo de sistema). Quanto às desvantagens, destacam-se: maior investimento inicial, dependência de sistemas mecânicos especializados com necessidade de manutenção, menor flexibilidade operacional para tratar volumes variáveis de resíduos, risco de erro de difícil reparação se o sistema for mal dimensionado ou se a tecnologia proposta for inadequada (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA, 1996).

Quanto aos resíduos, de origem doméstica, a compostagem é uma alternativa à disposição final em aterros sanitários, para sua fração orgânica (restos de alimentos), a qual representa em torno de 50% (BRASIL, 2019a). Entretanto, cabe ressaltar que no Brasil, a quantidade de resíduos encaminhados para compostagem é pequena em relação ao montante total produzido nas residências.

A compostagem doméstica de resíduos sólidos orgânicos consiste numa alternativa viável para a ciclagem desse tipo de resíduo, podendo ser empregada em prefeituras, escolas, casas, condomínios e propriedades rurais. Se tal processo for devidamente conduzido, considerando-se os fatores básicos do processo, como aeração, umidade e temperatura, este não resulta na geração de mau cheiro e/ou atração de vetores. A compostagem realizada nos domicílios se apresenta como solução viável para a ciclagem de resíduos sólidos orgânicos

domiciliares, e num período de 120 dias origina um composto com boas características físicas e químicas, com potencial para uso agrícola, como condicionador de solos e/ou como substrato para plantas (WANGEN; FREITAS, 2010).

2.1.1.4 Vermicompostagem

A transformação da matéria orgânica, resultante da ação das minhocas é conhecida como vermicompostagem, a qual foi desenvolvida a partir de pesquisas básicas realizadas por programas de manejo de minhocas no período de 1940 a 1950. A partir da década de 1970, estudos do potencial das minhocas para a conversão de resíduos orgânicos numa forma mais estabilizada de matéria orgânica avançaram. Diferentes resíduos podem ser utilizados: resíduos industriais e domésticos, esterco e restos de cultura, especialmente os de baixo valor econômico. O processo de compostagem e a ação das minhocas alteram quantitativa e qualitativamente a composição das substâncias húmicas dos materiais orgânicos. O material mais estabilizado, com carbono na forma humificada, apresenta como vantagens maior capacidade de troca de cátions, maior retenção de umidade e mineralização mais lenta. Funciona bem como condicionador do solo e libera nutrientes de forma mais gradual, não podendo atender à expectativa dos que buscam a aplicação do vermicomposto apenas para o rápido fornecimento de nutrientes. A espécie mais utilizada é conhecida como minhoca vermelha da Califórnia, *Eisenia fétida*, devido ao fato de possuir habilidade em converter resíduos orgânicos pouco decompostos em material estabilizado, extraordinária capacidade de proliferação e rápido crescimento. Vários materiais orgânicos podem ser utilizados para a criação de minhocas, tais como: resíduos domésticos, restos vegetais e esterco em geral. No entanto, materiais fibrosos, que têm alta relação C/N e, conseqüentemente, são pobres em nitrogênio, criam limitações para o desenvolvimento da vermicultura. O local destinado à vermicultura deve ser preferencialmente sombreado e com boa drenagem, mantendo a umidade em torno de 75%. Em relação à quantidade adequada de minhocas, recomenda-se, que para cada m³ de resíduo tenha cerca de mil minhocas adultas (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1992). Após a inoculação das minhocas na leira de compostagem, o vermicomposto leva entre 60 e 90 dias para ficar pronto, com aumento da disponibilização de macro e micronutrientes e a formação de húmus mais estável. Como fatores intervenientes no processo, pode-se citar: umidade, oxigenação, temperatura, relação carbono/nitrogênio, pH, tamanho das partículas (BIDONE; POVINELLI, 1999).

Um composto de boa qualidade, bem maturado, é rico em coloides húmicos que age sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Estas características melhoram as propriedades globais do solo e conseqüentemente seu potencial de produção. Tradicionalmente, a horticultura e a agricultura têm sido os maiores consumidores do composto. Além desses, cita-se os diferentes usos: olericultura, agricultura intensiva, viveiro de plantas, jardinagem, fruticultura, campos de golfe, parques públicos e praças, companhias de fertilizantes minerais como carga, recuperação de áreas degradadas, recomposição de camada fértil na cobertura de aterros sanitários e silvicultura (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA, 1996).

2.1.2 Composto organomineral

Neste item são descritos os requisitos legais para a produção dos compostos organominerais e a ascensão destes no mercado de nutrição vegetal.

2.1.2.1 Requisitos legais

O organomineral é um produto de natureza fundamentalmente orgânica (BRASIL, 2009) enriquecido de nutrientes. Seu regramento se dá, basicamente pela Instrução Normativa (IN) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), IN 25 de 2009 (BRASIL, 2009), alterada pela IN 61 de 2020 (BRASIL, 2020b) e pela Resolução Conama 481 de 2017 (BRASIL, 2017a).

A IN 25/2009 (BRASIL, 2009), que aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura, foi substituída em 2020, pela IN 61/2020 (BRASIL, 2020b) que continua estabelecendo as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes destinados à agricultura e classifica os organominerais de acordo com as matérias-primas utilizadas na sua produção, conforme o Quadro 1. Nesta legislação, a nomenclatura dos organominerais varia conforme método de aplicação e/ou forma, podendo ser: organomineral foliar, para fertirrigação, para hidroponia, para sementes, fluido, em solução devendo indicar obrigatoriamente a sua densidade e as suas garantias em percentagem mássica.

Quadro 1 - Classes de organominerais conforme IN 61/2020

CLASSE	COMPOSIÇÃO
Classe A	Produto que utiliza, em sua produção, matéria prima gerada nas atividades extrativas, agropecuárias, industriais e comerciais, incluindo aquelas de origem vegetal, animal, lodos industriais e agroindustriais de sistema de tratamento de águas residuais com uso autorizado pelo Órgão Ambiental, resíduos de frutas, legumes, verduras e restos de alimentos gerados em pré e pós-consumo, segregados na fonte geradora e recolhidos por coleta diferenciada, todos isentos de despejos ou contaminantes sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura;
Classe B	Produto que utiliza, em sua produção, quaisquer quantidades de matérias-primas orgânicas geradas nas atividades urbanas, industriais, incluindo a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos da coleta convencional, lodos gerados em estações de tratamento de esgotos, lodos industriais e agroindustriais gerados em sistemas de tratamento de águas residuárias contendo qualquer quantidade de despejos ou contaminantes sanitários, todos com seu uso autorizado pelo Órgão Ambiental, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

Fonte: Adaptado de Brasil (2020b).

A mesma IN 61/2020 estabelece características necessárias à produção de organominerais. As especificações são discriminadas entre organominerais em estado sólido e fluido, conforme descrito no Quadro 2 (BRASIL, 2009).

Quadro 2 – Especificações, garantias e características exigidas para organominerais serem aplicados no solo ou fertirrigação, conforme IN 61/2020

PRODUTO SÓLIDO	PRODUTOS FLUIDOS
<p>Carbono orgânico: mínimo de 8%; Umidade máxima: 20%; CTC mínimo: 80 mmolc/kg; e Quanto aos macronutrientes primários, secundários e micronutrientes garantidos ou declarados do produto, estes deverão ter no mínimo:</p> <p>a) para os produtos com macronutrientes primários, secundários e micronutrientes, quando produzidos e comercializados isoladamente ou em misturas não abrangidas pela alínea “b” (N, P, K, Ca, Mg, S): 1%; B: 0,01%; Cl: 0,1%; Co: 0,005%; Cu: 0,02%; Fe, 0,02%; Mn, 0,02%; Mo e Ni: 0,005%; Se: 0,003%; Si: 0,05% e Zn, 0,1%.</p> <p>b) Para a soma de macronutrientes primários, secundários e soma de nutrientes, quando garantidos mais de um nutriente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - para misturas de macronutrientes primários (NP, NK, PK ou NPK): no mínimo 5% (cinco por cento), podendo a estes produtos serem adicionados macronutrientes secundários ou micronutrientes; - para misturas exclusivas de macronutrientes secundários, onde há o somatório da Ca, Mg e/ou S, no mínimo 3%; - para misturas exclusivas de micronutrientes: somatório mínimo de dois ou mais micronutrientes, no mínimo igual a 3%; - para misturas exclusivas de macronutrientes com micronutrientes: somatório mínimo dos nutrientes igual a 5% 	<p>Para os produtos fluidos para aplicação no solo: Carbono orgânico: mínimo de 3%; Quanto aos macronutrientes primários, secundários e micronutrientes garantidos ou declarados do produto, estes deverão ter no mínimo:</p> <p>c) para os produtos com macronutrientes primários, secundários e micronutrientes, quando produzidos e comercializados isoladamente ou em misturas não abrangidas pela alínea “b” (N, P, K, Ca, Mg, S): 1%; B: 0,01%; Cl: 0,1%; Co: 0,005%; Cu: 0,02%; Fe, 0,02%; Mn, 0,02%; Mo e Ni: 0,005%; Se: 0,003%; Si: 0,05% e Zn, 0,1%.</p> <p>d) Para a soma de macronutrientes primários, secundários e soma de nutrientes, quando garantidos mais de um nutriente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - para misturas de macronutrientes primários (NP, NK, PK ou NPK): no mínimo 5% (cinco por cento), podendo a estes produtos serem adicionados macronutrientes secundários ou micronutrientes; - para misturas exclusivas de macronutrientes secundários, onde há o somatório da Ca, Mg e/ou S, no mínimo 3%; - para misturas exclusivas de micronutrientes: somatório mínimo de dois ou mais micronutrientes, no mínimo igual a 3%; - para misturas exclusivas de macronutrientes com micronutrientes: somatório mínimo dos nutrientes igual a 5% - para os produtos que tenham apenas um

- para os produtos que tenham apenas um micronutriente primário adicionados de macronutrientes secundários, micronutrientes ou ambos, somatório mínimo de todos os nutrientes igual a 5%, sempre observando o disposto no art. 9º, alínea “b” do inciso 4 da IN 61/2020; ou	micronutriente primário adicionados de macronutrientes secundários, micronutrientes ou ambos, somatório mínimo de todos os nutrientes igual a 5%, sempre observando o disposto no art. 9º, alínea “b” do inciso 4 da IN 61/2020.
---	--

Fonte: Adaptado de Brasil (2020b).

A Resolução Conama 481, de 2017 (BRASIL, 2017a), estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos. Esta resolução descreve as exigências quanto ao processo de produção da fração orgânica que pode compor ou não o organomineral a partir da compostagem. De modo complementar a mesma legislação descreve a relação carbono/nitrogênio máxima que o composto final deve atender.

Conforme o art. 5º da Resolução Conama 481 (BRASIL, 2017a), durante o processo de compostagem deverá ser garantido o período termofílico mínimo, conforme disponível na Tabela 1. Ainda conforme a mesma Resolução, em seu art. 5, § 1º, a temperatura deve ser medida e registrada ao menos uma vez por dia durante o período mínimo de higienização (BRASIL, 2017a). A verificação da maturidade do composto pode se dar a partir da relação carbono/nitrogênio. O art. 6 da Resolução Conama 481 (BRASIL, 2017a), exige que o processo de compostagem deva garantir uma relação carbono/nitrogênio $\leq 20:1$. A Resolução Conama 481 (BRASIL, 2017a) exige que o composto deva ser peneirado com malha de abertura máxima de 40 mm, abrindo exceção, dentre outros, para a matéria-prima utilizada na fabricação de fertilizantes organominerais.

Tabela 1 – Período de tempo e temperatura necessários para higienização dos resíduos sólidos orgânicos durante o processo de compostagem

SAÍDA DE COMPOSTAGEM	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (DIAS)
Sistemas Abertos	>55 °C	14
	>65 °C	3
Sistemas fechados	>60 °C	3

Fonte: Brasil (2017a).

O MAPA através do Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos (BRASIL, 2017b), disponibiliza para a avaliação dos diferentes tipos de fertilizantes e corretivos para solo. Este método é citado na Resolução Conama 481 de 2017 (BRASIL, 2017a), como referência na avaliação da relação C/N.

Este Manual disponibiliza, no capítulo III, a análise dos fertilizantes orgânicos e organominerais destinados à aplicação via solo. Os parâmetros disponíveis no Manual (BRASIL, 2017b) para este tipo de produto são: Análise Granulométrica, Índice de Dispersão de Partículas, Umidade, pH, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Potássio Total, Cálcio e Magnésio, Enxofre, Boro, Cobalto, Cobre, Ferro, Manganês, Molibdênio, Níquel, Zinco, Cloro Solúvel, Silício, Carbono Orgânico, Extrato Húmico Total, Ácido Húmico, Ácido Fúlvico, Capacidade de Troca Catiônica (CTC).

2.1.2.2 Mercado

A busca por produtividade agrícola reflete um crescente interesse e participação dos organominerais no mercado de nutrição vegetal. Os organominerais representaram 12% do faturamento de 2018 da indústria de tecnologia em nutrição vegetal, sendo principalmente aplicado na citricultura, conforme o Anuário da Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal (ABISOLO) (2019). Pequenas parcelas de aplicação ainda são encontradas nas culturas de cana-de-açúcar, soja e algodão.

Os resíduos da agropecuária e agroindústria têm sido bastante utilizados na produção de organominerais, entretanto em 2018 tiveram aumento no custo de sua aquisição (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE TECNOLOGIA EM NUTRIÇÃO VEGETAL, 2019). Sendo assim, a inexistência de custo dos resíduos resultados da execução de serviços públicos surge como potencial fonte comercialmente atrativa para o negócio de organominerais. Ainda assim, a produção de organominerais a partir do processo de compostagem, ou adição de minerais ao composto orgânico pronto, têm baixa disponibilidade de trabalhos acadêmicos disponíveis, destacando-se os trabalhos disponibilizados por Sikora (2004), Ehlers, Arruda (2014) e Tavares (2017).

2.2 MACRÓFITAS

As macrófitas são plantas aquáticas que estão presentes em todos os tipos de massa de água, desde brejos até grandes ambientes aquáticos e são essenciais para metabolismo dos ecossistemas.

2.2.1 Contextualização

A problemática da proliferação de macrófitas é mundialmente conhecida. Fatores biológicos de reprodução e desenvolvimento deste tipo de planta são extremamente relevantes às dificuldades encontradas no seu manejo.

A disponibilidade excessiva de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, são cruciais para o crescimento deste tipo de planta. A origem destes nutrientes em excesso, entretanto, geralmente está associada à atividade humana. As macrófitas tem a capacidade de formar tapetes flutuantes densos e impenetráveis na superfície da água (BOTE; NAIK; JAGADEESHGOUDA, 2020; SHARMA *et al.*, 2016).

A alta resiliência deste tipo de planta pode ser exemplificada a partir da sua capacidade de suporte a fatores físicos como salinidade, temperatura e pH da água. Conforme informações disponíveis em Sharma *et al.* (2016), as macrófitas podem crescer tanto em água doce quanto marinha, mas água doce estagnada, ou de fluxo lento, são as mais adequadas para sua infestação. Conforme disponível em Rezania *et al.* (2015a), a salinidade, entretanto, pode ser um limitador ao crescimento da planta quando em concentrações >10 ppt partes por trilhão).

As macrófitas suportam ampla faixa de temperatura, de 1 a 40 ° C, sendo a temperatura ótima de crescimento entre 25° e 30 °C, conforme informações disponíveis em Wilson, Holst e Rees (2005) e Sharma *et al.* (2016). Segundo Rezania *et al.* (2015a), Wilson, Holst e Rees (2005) e Sharma *et al.* (2016), as macrófitas podem suportar tanto condições ácidas quanto alcalinas, preferindo, entretanto, pH neutro. Conforme Wilson, Holst e Rees (2005), o pH ideal para o crescimento das macrófitas é de 6 a 8, faixa ampliada para pH de 4 a 8 em Sharma *et al.* (2016).

A disponibilidade de água não parece ser fator limitante ao desenvolvimento deste tipo de planta. Conforme Gunnarsson e Petersen (2007), a planta floresce em margens rasas com lama rica em nutrientes e, segundo Sharma *et al.* (2016), a macrófita pode sobreviver em solo úmido por meses.

Com relação as suas características, as macrófitas contém mais de 95% de água (MALIK, 2007; REZANIA *et al.*, 2015a) e, conforme informações disponíveis em Rezania *et al.* (2015a), a planta madura consiste em raízes longas e pendentes com alturas que variam de 0,4 a 1 m. As hastes e folhas contém tecido cheio de ar que fornece à planta sua flutuabilidade. A reprodução da vegetação é assexuada e ocorre rapidamente em condições

ideais. Estima-se que a planta possa duplicar de tamanho entre 5 e 18 dias (REZANIA *et al.*, 2015a; SHARMA *et al.*, 2016).

A proliferação das macrófitas acontece a partir de fragmentos dos seus caules, e pode ser ampliada pela dispersão do vento (GUNNARSSON; PETERSEN, 2007), ou de suas sementes, que permanecem viáveis por muitos anos após períodos de dormência (BOTE; NAIK; JAGADEESHGOUDA, 2020; MALIK, 2007). Estima-se que uma única planta pode produzir de cinco a 5000 mil sementes (BOTE; NAIK; JAGADEESHGOUDA, 2020) e que sua propagação avança em 0,6 m/mês (MALIK, 2007; SHARMA *et al.*, 2016). Assim, é estimada uma produtividade de massa de macrófitas que pode variar de aproximadamente 140 toneladas/ha ao ano (GUNNARSSON; PETERSEN, 2007) a 270/400 toneladas, com uma densidade de 50 a 60 kg/m² (MALIK, 2007; REZANIA *et al.*, 2015a).

As macrófitas tem uma excelente capacidade de absorver nutrientes e outros produtos químicos do ambiente onde está inserida, logo, a sua composição química depende de onde a mesma se desenvolveu. Ganesh *et al.* (2012), Singh e Kalamdhad (2012), Singh e Kalamdhad (2014a, 2014b, 2014c) e Mazumder, Khwairakpam e Kalamdhad (2020) evidenciam em análises químicas de macrófitas a presença de elementos como Cromo, Cádmiio, Chumbo e Mercúrio. A Tabela 2 ilustra alguns dos parâmetros identificados em análises realizadas em macrófitas.

Algumas das principais espécies de macrófitas objeto de estudos acadêmicos científicos ao redor do mundo são: *Azolla pinnata*, *Trapa natans* e *Ceratophyllum demersum* (NAJAR; KHAN, 2013), *Arundo donax* e *Typha latifolia* (KOUKI *et al.*, 2016); *Typha angustifolia* e *Phragmites australis* (SONG, 2017). Em estudos brasileiros é possível acessar trabalhos relacionados a: *Eichhornia crassipes* (ANTUNES, 2009; BORGES, 2011; BRUSA *et al.*, 2015; CEZAR *et al.*, 2005; FARIA *et al.*, 2013; MEES, 2006; MEES *et al.*, 2009a, 2009b; PEREIRA, 2012; SILVA, MORAES; PIKANÇO, 2011; SILVA *et al.*, 2012; YAMAUCHI, 2014), *Lemna minor* (ANTUNES, 2009), *Salvinia auriculata* (BORGES, 2011; BRUSA *et al.*, 2015; SILVA; MORAES; PIKANÇO, 2011; SILVA *et al.*, 2012), *Typha domingensis* (FARIA *et al.*, 2013; LIBERALESSO *et al.*, 2013), *Typha latifolia* (YAMAUCHI, 2014), *Pistia Stratiotes* (ANTUNES, 2009; FARIA *et al.*, 2013; CEZAR *et al.*, 2005), *Landoltia Punctata* (TROLEZI *et al.*, 2018), *Landoltia Punctata* (TROLEZI, 2019); *Salvinia molesta* e *Brachiaria subquadripa* (YAMAUCHI, 2014).

Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos avaliados em macrófitas em trabalhos técnico-científicos com ênfase no seu manejo e uso

PARÂMETROS	AUTORES							
	a	b	c	d	e	f	g	h
C/N (adimensional)	17,1	-	-	-	-	-	16	-
C orgânico (%)	33,7	30	33,8	40,3	72,64	-	-	59,35
EC (mS/m)	-	0,38	0,84	-	-	0,31	-	0,48
Umidade (%)	91,3	-	90,2	85,9	85,93	88,8	83,2	71,17
N (%)	1,97	1,16	0,38*	-	-	2,1	-	0,0013***
P (%)	0,25	0,094	2,2**	-	-	0,34	-	0,13**
K (%)	-	0,13	6,16**	-	-	10,64	-	10,2**
Zn (%)	-	0,09	0,734**	0,175**	-	161,2***	-	0,0005**
Pb (%)	-	-	0,074**	1,259**	-	-	-	0,0061**
Cd (%)	-	-	0,0011**	0,057**	-	0,0072**	-	ND
Cr (%)	-	-	0,038**	0,301**	-	-	-	ND
As (%)	-	-	0,0004**	-	-	-	-	-
Ni (%)	-	-	-	0,194**	-	-	-	-
Hg (%)	-	-	-	-	-	-	-	-
Celulose (%)	34,8	26,7	-	-	15,78	-	-	-
Hemicelulose (%)	34,3	-	-	-	27	-	-	-
Lignina (%)	6,98	30,6	-	-	11,56	-	-	-

LEGENDA: * Amoniacal; **g/kg; ***NTK; ND – Não detectado.

Fonte: a - Alomia *et al.* (2011); b - Packia Leksmi e Viveka (2011); c - Ganesh *et al.* (2012); d - Singh e Kalamdhad (2012); e Sarika *et al.* (2014); f - Singh e Kalamdhad (2014a, 2014b, 2014c); g - Jain, Paul and Kalamdhad (2019); h - Mazumder, Khwairakpam e Kalamdhad (2020).

2.2.2 Manejo de macrófitas e setores envolvidos

A proliferação de macrófitas em corpos d'água e seus impactos sobre o ambiente natural, saúde humana e atividades econômicas, são conhecidos e sentidos por setores/atividades de diversos segmentos. A proliferação das macrófitas, formando “tapetes” verdes sobre as águas podem contribuir para o aumento da perda de água do corpo hídrico por ampliação da evapotranspiração (BOTE; NAIK; JAGADEESHGOUDA, 2020) resultando na concentração de elementos potencialmente nocivos à biota aquática local.

As macrófitas podem diminuir a penetração da luz na água (MALIK, 2007), diminuindo a produtividade do fitoplâncton e da vegetação submersa, além de impedir o acesso de aves na fauna aquática (SHARMA *et al.*, 2016). O excesso de macrófitas, ou sua imposição sobre a vegetação submersa pode aumentar a quantidade de vegetação em decomposição, reduzindo o teor e troca de oxigênio na água (BOTE; NAIK; JAGADEESHGOUDA, 2020), diminuindo a qualidade do habitat para peixes.

Gunnarsson e Petersen (2007) e Sharma *et al.* (2016) referenciam trabalhos que correlacionam o acúmulo excessivo de macrófitas em corpos d'água à formação de verdadeiros criadouros para organismos vetoriais, e doenças como malária. Malik (2007)

também apresenta exemplos de regiões ao redor do mundo onde infestações por macrófitas tornaram-se fontes de vetores de doenças.

Diversas atividades antrópicas são prejudicadas pela proliferação de macrófitas em recursos hídricos. Dentre as principais atividades afetadas destacam-se: natação, pesca, canoagem (BOTE; NAIK; JAGADEESHGOUDA, 2020), irrigação, geração de energia (REZANIA *et al.*, 2015a; SHARMA *et al.*, 2016), e tráfego de hidrovias (MALIK, 2007).

O manejo (proativo ou reativo) deste tipo de plantas, é de fundamental importância, visto os seus potenciais impactos. Alguns métodos de manejo já vêm sendo difundidos. Esses métodos incluem remoção física, métodos químicos e liberação de agentes de controle biológico, como pode ser visto no Quadro 3.

O controle reativo, em determinadas regiões, tem custado milhões de dólares (SHARMA *et al.*, 2016), assim concentrar-se na adoção de medidas de manejo parece ser o caminho mais coerente, visando a redução da densidade a níveis que minimizem os impactos ambientais, sociais e econômicos. Conforme descrito em Malik (2007), para serem eficazes, nas estratégias de manejo, deve haver ações relacionadas a métodos físicos, químicos e biológicos favoráveis ao controle preventivo das macrófitas.

Independente da prática de manejo adotada para o recurso hídrico onde as macrófitas já sejam uma realidade, a destinação final deve ser considerada no plano de ação a ser adotado. Devido ao seu tecido fibroso e ao seu alto conteúdo de energia e proteína, vários autores, entre eles, Gunnarsson e Petersen (2007), Malik (2007) e Rezania *et al.* (2015a) e Rezania *et al.* (2015b) tem descrito as aplicações úteis das macrófitas. Dentre os usos relatados pelos autores destacam-se:

- a) agente de fitorremediação/remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos;
- b) fonte de energia (como combustível ou briquete de biomassa);
- c) produção de biogás;
- d) forragens para animais;
- e) alimentação de animais (geralmente peixes);
- f) produção de medicamentos;
- g) produção de biofertilizantes/organominerais;
- h) outros (cestas, tapetes, corda, papel, painéis de fibra de vidro, artigos decorativos, entre outros).

Quadro 3 – Alguns dos agentes e limitações encontradas em métodos físicos, químicos e biológicos de controle de macrófitas em diversos estudos

MÉTODO	AGENTES	LIMITAÇÕES
Físico	Drenagem permanente da área.	Nem sempre possível.
	Remoção manual por colheita.	Trabalho intensivo.
	Corte <i>in situ</i> (material permanece no corpo hídrico)	Redução da concentração de oxigênio dissolvido.
	Remoção manual puxando ou colhendo redes manualmente.	Difícil e trabalhoso, pode envolver riscos à saúde.
	Remoção mecanizada usando guindastes, linhas de reboque, segadeiras, retroscavadeira, dragas e barças	Caro devido ao dispendioso equipamento de corte e dragagem
	Instalação de barreiras flutuantes para impedir o movimento para outras áreas	Não informado.
	Remoção mecanizada através de guindastes terrestres, linhas de reboque ou, por máquinas à base de água, como segadeiras, dragas, barças ou colheitadeiras de ervas aquáticas	Caro, intensivo em energia, precisa de um comboio de água e veículos terrestres para o transporte de tapetes colhidos.
Químico	Ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) + cobre complexado. Spray de amina 2,4-D a 2 l/ha, seguido de um segundo spray a 1 l/ha. Sal endotálico dipotássico, sais de endotal-dimetilalquilamina, glifosta.	Caro, não pode controlar grandes infestações, efeitos adversos a longo prazo em outras comunidades e ambiente. Ataque químico não seletivo. Efeitos deletérios em outras algas não visadas. Redução insuficiente e ressurgimento do crescimento
Biológico	Controle clássico por insetos: <i>Neochetinaeichhorniae</i> , <i>N. bruchi</i> e <i>Sameodes albiguttalis</i>	Redução insuficiente e ressurgimento do crescimento
	Plantas alelopáticas Folha de <i>Coleus amboinicus</i> em pó (40g / l) Lantana Partheniu Cassytha em pó Patógenos fúngicos, como <i>Alternaria eichhorniae</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Drechslerahawaiiensis</i>	Ainda em fase de planejamento e desenvolvimento, pode não ser suficiente e melhor se usado com métodos de controle mecânico / químico.

Fonte: Adaptado de Malik (2007) e Sharma *et al.* (2016).

2.2.3 Compostagem de macrófitas

Este item discorre sobre os trabalhos pesquisados que utilizam as macrófitas na compostagem, os métodos adotados e o monitoramento do processo de compostagem.

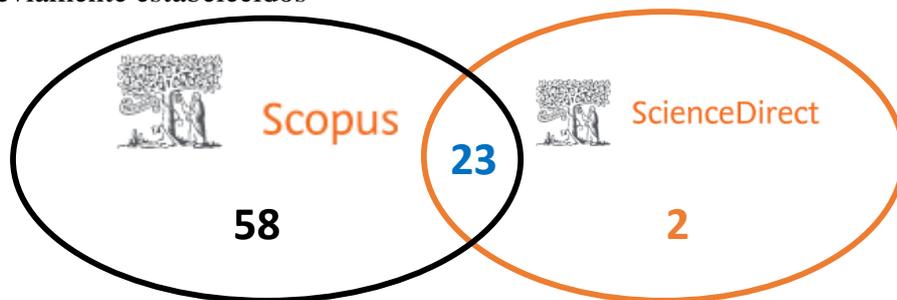
2.2.3.1 Quantitativo, distribuição espacial e temporal dos artigos pesquisados

Inicialmente foram identificados 125 artigos científicos. A Figura 4 ilustra o resultado da pesquisa realizada nas plataformas científicas Scopus e Science Direct. Aplicados os critérios de triagem adicional, especificados na metodologia, 83 artigos científicos foram

mantidos na revisão da literatura. A maior fração destes artigos (58) foi identificada na plataforma Scopus, seguido de artigos disponíveis em ambas as plataformas (23) e dos artigos disponíveis somente na plataforma Science Direct (02).

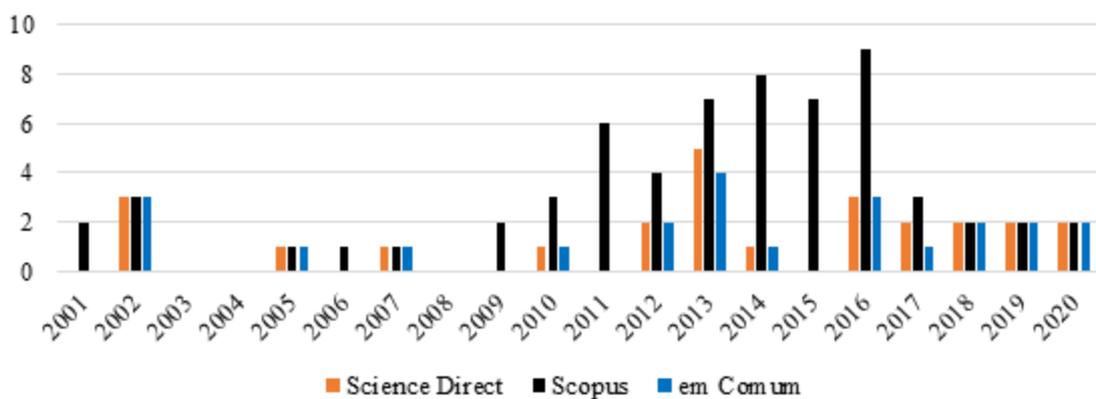
A distribuição temporal dos artigos (Figura 5) permite identificar maior atenção dada ao longo do período 2009-2016, correspondendo a $\approx 70\%$ dos artigos identificados. A distribuição espacial (Figura 6), dos trabalhos identificados evidencia uma maior concentração de estudos, conforme critérios de pesquisa definidos, no continente asiático ($\approx 81\%$), principalmente na Índia que tem 72% dos trabalhos. China, Tailândia, Vietnã e Coréia do Sul complementam o percentual correspondente ao continente. Mais informações sobre os trabalhos podem ser acessadas no Apêndice A.

Figura 4 – Dados quantitativos de artigos científicos identificados conforme critérios de pesquisa previamente estabelecidos



Fonte: O autor (2022).

Figura 5 – Distribuição temporal dos artigos científicos identificados na revisão da literatura



Fonte: Samuel *et al.* (2022).

Figura 6 – Distribuição espacial dos trabalhos incluídos na revisão da literatura



Fonte: Samuel *et al* (2022).

2.2.3.2 Principais métodos de compostagem das macrófitas

Goyal, Dhull e Karpoor (2005), Martins, Shinzato e Moraes (2019), e Bui *et al.* (2015) utilizaram células estáticas para a compostagem de biomassa, tendo como objetivo a produção de Fertilizante Orgânico. Ainda que Goyal, Dhull e Karpoor (2005), e Martins, Shinzato e Moraes (2019) realizassem estudo em locais diferentes (Índia e Brasil, respectivamente) e divergiram nas fontes de biomassa (somente macrófitas e macrófitas+podas+sementes+esterco e carcaça de aves e peixes, respectivamente), ambos os trabalhos adotaram período de compostagem de 90 dias. Bui *et al.* (2015), adicionaram lodo de piscicultura às macrófitas no processo de compostagem no Vietnã, deu por finalizado o processo de compostagem aos 45 dias. Estes autores apresentaram conclusões semelhantes quanto à viabilidade do uso de macrófitas no processo de compostagem, atribuindo a essa espécie vegetal, ainda, fonte adicional de nitrogênio ao composto final.

Alguns trabalhos adotaram o consórcio compostagem convencional e vermicompostagem. Gupta *et al.* (2007), e Pramanik (2010) utilizaram a compostagem convencional como pré-tratamento do composto, previamente ao início do processo de vermicompostagem. Este pré-tratamento, foi realizado ao longo de 7 dias, no trabalho desenvolvido por Pramanik (2010), e por 21 dias no caso de Gupta *et al.* (2007). Atribui-se a divergência nos períodos de pré-tratamento ao objetivo principal de cada trabalho, sendo que o de Pramanik (2010), tem o objetivo de avaliar a microbiologia envolvida no processo de compostagem de macrófitas, e o de Gupta *et al.* (2007) a viabilidade do uso do fertilizante orgânico a partir de vermicompostagem de esterco bovino e macrófitas.

Os períodos de vermicompostagem, pós, pré-tratamento/compostagem convencional, divergem entre os trabalhos. Ao passo que Gajalakshmi, Ramasamy e Abbasi (2002a), Gajalakshmi e Abbasi (2002), Pramanik (2010), e Ansari (2011) realizam a vermicompostagem por 10 a 30 dias, Balasubramanian *et al.* (2013a), Balasubramanian *et al.* (2013b), Begum (2011), e Gupta *et al.* (2007) adotam períodos que vão de 60 a mais de 120 dias.

Gajalakshmi, Ramasamy e Abbasi (2002a), Gajalakshmi e Abbasi (2002), Begum (2011), Balasubramanian *et al.* (2013a), Balasubramanian *et al.* (2013b), e Ansari (2011) adotaram o consórcio compostagem convencional e vermicompostagem, sendo este segundo como etapa complementar a maturação e melhoria da qualidade do composto. Como principais conclusões estes autores afirmam haver uma maior disponibilidade de nutriente no solo, resultados da aplicação do composto, como N, P, K, Ca e outros, além de melhorias no desenvolvimento de cultivos avaliados.

O uso da vermicompostagem, como processo unitário de tratamento, abrange parcela considerável dos estudos identificados (28%). As espécies de minhocas mais utilizadas nos estudos são *Eisenia fetida*, *Eudrilus eugenia*, *Perionyx excavatus*, *Lampito mauritii* e *Drawida willsi*, seja de maneira individual, como a maioria dos trabalhos, ou em conjunto, como realizado por Gajalakshmi, Ramasamy e Abbasi (2001), e Karmakar *et al.* (2012). Como principais resultados dos trabalhos acessados, destaca-se o aumento dos teores de Nitrogênio, Fósforo e Potássio (ANKARAM; MUSHAN; RAO, 2012; KARMAKAR *et al.*, 2012; LOURDURAJ; JOSEPH, 2010; YADAV; GARG, 2013), e a diminuição dos parâmetros C/N, Condutividade Elétrica (CE) e pH (ANKARAM; MUSHAN; RAO, 2012). Ainda assim, são identificados alguns resultados que divergem quanto à qualidade do composto. Yadav e Garg (2013) destacam a manutenção de altos valores de metais pesados no composto final, assim como Nhi *et al.* (2010) destacam a redução da concentração de Nitrogênio.

O processo de compostagem por aeração natural predomina dentre todos identificados na revisão da literatura, representando 55%. Neste processo diferem, entretanto, o método de disposição do resíduo, sendo adotado, principalmente, pilhas cônicas (ALOMIA *et al.*, 2011; FAN *et al.*, 2015; KARAK; BHATTACHARYYA; PAUL, 2014; MARTINEZ-NIETO *et al.*, 2011; PARVEEN; PADMAJA, 2011; PUSHPA *et al.*, 2016a; UMSAKUL; DISSARA; SRIMUANG, 2010; SINGH; KALAMDHAD, (2014a, 2014d), trapezoidais (GANESH *et al.*, 2012; KOUKI *et al.*, 2016; TAIWO *et al.*, 2016) e tambores rotativos (JAIN; PAUL; KALAMDHAD, 2019; LU *et al.*, 2017; RICH; BHARTI; KUMAR, 2018; VISHAN;

SIVAPRAKASAM; KALAMDHAD, 2017; SINGH; KALAMDHAD, 2014b). Metade dos trabalhos que utiliza a aeração natural apresenta tempo de compostagem igual ou inferior a 60 dias. A outra metade dos trabalhos adota períodos que vão de 90 a mais de 190 dias.

Alguns dos autores que adotaram a compostagem, com macrófitas, por aeração natural reforçaram a importância da umidade do composto ao longo do processo. A desidratação parcial das macrófitas, previamente ao início do processo de compostagem, foi realizada por Lu *et al.* (2017), Umsakul, Dissara e Srimuang (2010), até atingir valores entre 60 e 70%. Alomia *et al.* (2011), Martinez-Nieto *et al.* (2011) são alguns dos autores que destacam o controle de umidade do processo de compostagem em torno de 70%.

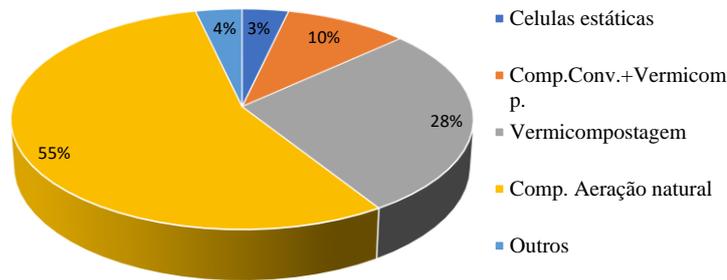
São destacadas por alguns dos autores, a qualidade atribuída ao composto final, resultado da composição das macrófitas, como o aumento dos teores de N, P e K (GOSWAMI *et al.*, 2017; SINGH; KALAMDHAD, 2015). Segundo Singh e Kalamdhad (2013a), Singh e Kalamdhad (2013b), Karak, Bhattacharyya e Paul (2014), Singh, Kalamdhad e Lee (2015), Singh e Kalamdhad (2016), e Rich, Bharti e Kumar (2018), o aumento do teor de elementos potencialmente tóxicos ao longo do processo de compostagem é atribuído à presença de metais na composição das macrófitas. Medidas que obtiveram êxito na amenização de fases tóxicas de determinados elementos são destacadas por Lu *et al.* (2017) (redução de fases tóxicas do Cu pelo uso de turfa), Singh e Kalamdhad (2013a), Singh e Kalamdhad (2014c), Singh, Kalamdhad e Lee (2015) (redução de fases tóxicas de Pb, Cr e outros, pelo uso de cal) e Singh, Prasad e Kalamdhad (2013), Singh e Kalamdhad (2014a) (redução de fases tóxicas de Pb, Cr e outros, pelo uso de zeólita).

Outra problemática associada à compostagem de macrófitas refere-se à dificuldade de degradação e manutenção de altos teores de celulose, hemicelulose e lignina, como concluído por Sarika *et al.* (2014). Song (2017), Martinez-Nieto *et al.* (2011), Parveen e Padmaja (2011) e Alomia *et al.* (2011) adicionam microrganismos específicos que contribuem para o auxílio na degradação.

Varma *et al.* (2017) são os únicos autores a descreverem o uso de processo de aeração forçada. Utilizando como fontes de biomassa o esterco bovino e serragem, além das macrófitas, os autores comparam diferentes cenários de compostagem por revolvimento, aeração passiva e aeração forçada. Os autores concluem pelos melhores resultados dos dois primeiros tipos de aeração, pela melhor distribuição de ar no leito de material.

A Figura 7 ilustra a representação dos métodos de compostagem identificados nos artigos que compõem a revisão da literatura realizada. A aeração por revolvimento mecânico representa 41% dos 55% ilustrado como “aeração natural”.

Figura 7 – Métodos de compostagem adotados nos artigos identificados na revisão da literatura



Fonte: O autor (2022).

2.2.3.3 Compostagem de macrófitas: espécies, produto desejado e materiais adicionais ao processo

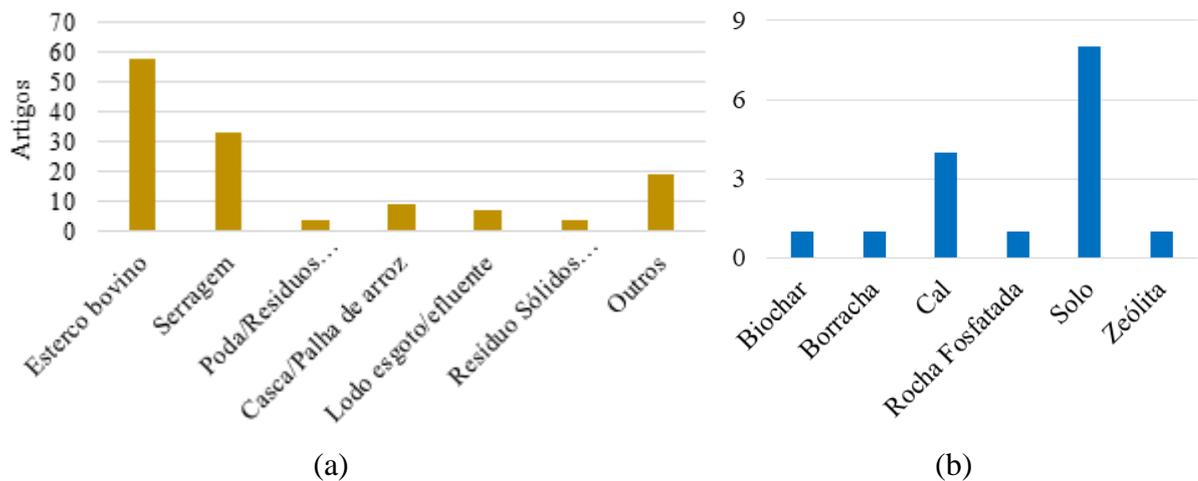
As espécies de macrófitas que fizeram parte dos estudos avaliados foram: *Azolla pinnata*, *Trapa natans*, *Ceratophyllum demersum* e *Phumdi biomass*, na Índia; *Arundo donax* e *Typha latifolia* na Tunísia; *Typha angustifolia* e *Phragmites australis* na Coreia do Sul; *Eichhornia crassipes* no Brasil, China, Colômbia, Espanha, EUA, Índia, México, Quênia, Singapura, Tailândia e Vietnã. Assim, estudos relacionados à espécie *Eichhornia crassipes* correspondeu a $\approx 69\%$ dos trabalhos pesquisados. Houve ainda 22 ($\approx 27\%$) de trabalhos que não especificaram a espécie de macrófita aplicada no estudo, entretanto dado o capítulo introdutório dos artigos é possível inferir que parte deste percentual se referia, principalmente, às macrófitas da espécie *Eichhornia crassipes*.

Conforme informações disponíveis em Sharma *et al.* (2016), a *Eichhornia crassipes* possui folhas ovais, largas, grossas, brilhantes e pode subir acima da superfície da água em até 1 m de altura. As folhas têm de 10 a 20 cm de diâmetro. Eles têm caules longos, esponjosos e bulbosos. Cada planta consiste em uma roseta de seis a dez folhas conectadas a um rizoma com um sistema radicular fibroso bem desenvolvido.

Dentre os produtos que se objetivou produzir na compostagem dos 83 artigos pesquisados, predomina a produção de Fertilizante Orgânico ($\approx 83\%$), seguido de Antropossolo ($\approx 9\%$), Organomineral ($\approx 5\%$), Pré-composto ($\approx 2\%$) e Chorume ($\approx 1\%$). Somente 06 dos 83 trabalhos não utilizaram fontes de matéria-orgânica e/ou minerais adicionais no processo de compostagem ou posterior a compostagem, para a produção do seu produto alvo (ARAIZA *et al.*, 2016; CHUNKAO; NIMPEE; DUANGMAL, 2012; GOYAL; DHULL; KARPOOR, 2005; MARTINEZ-NIETO *et al.*, 2011; PACKIA LEKSMI; VIVEKA, 2011; SANNIGRAHI; CHAKRABORTTY, 2002). Estes trabalhos tinham como

foco principal a avaliação de parâmetros do processo de compostagem de macrófitas. Os demais artigos, principalmente focados na qualidade/aplicação do composto final, tiveram complementações de matéria orgânica e/ou mineral. Os materiais utilizados complementarmente às macrófitas na compostagem são ilustrados de modo quantitativo, relacionado ao número de artigos onde foram aplicados, na Figura 8.

Figura 8 – Relação das fontes adicionais de biomassa (a) e mineral (b) utilizadas no processo de compostagem juntamente com as macrófitas estudadas em cada artigo



Fonte: Samuel *et al.* (2022).

Outras fontes de biomassa também foram utilizadas em trabalhos pesquisados, como alface d'água e typhas (SANIGRAHI, 2009), ameixa (RICH; BHARTI; KUMAR, 2018), casca de coco (UMSAKUL; DISSARA; SRIMUANG, 2010), esterco avícola (MARTINS; SHINZATO; MORAES, 2019; MASAKA; NDHLOVU, 2007; ZHANG *et al.*, 2014), esterco bubalino (NHI *et al.*, 2010), chorume (BISEN *et al.*; 2017; KARAK; BHATTACHARYYA; PAUL, 2014), sedimento de rio (KARAK; BHATTACHARYYA; PAUL, 2014), folhas (ALOMIA *et al.*, 2011), turfa (LU *et al.*, 2017), esterco suíno (FAN *et al.*, 2015; HAN *et al.*, 2019), esterco caprino e cama de palha (PÉREZ *et al.*, 2015), farelo (NATH; SINGH, 2016), lodo de piscicultura (BUI *et al.*, 2015), melaço (NALUYANGE *et al.*, 2014), palha de trigo (MASAKA; NDHLOVU, 2007), estrumes e carcaças de peixes (MARTINS; SHINZATO; MORAES, 2019), cama de aviário (GAJALAKSHMI; GANESH; ABBASI, 2006; MONTOYA; WALLCZEK; ABBOTT, 2013), restos de alimentos (ANSARI, 2011; MONTOYA; WALLCZEK; ABBOTT, 2013), rejeito de resíduo sólido urbano (GAJALAKSHMI; GANESH; ABBASI, 2006) e sacarose (SONG, 2017).

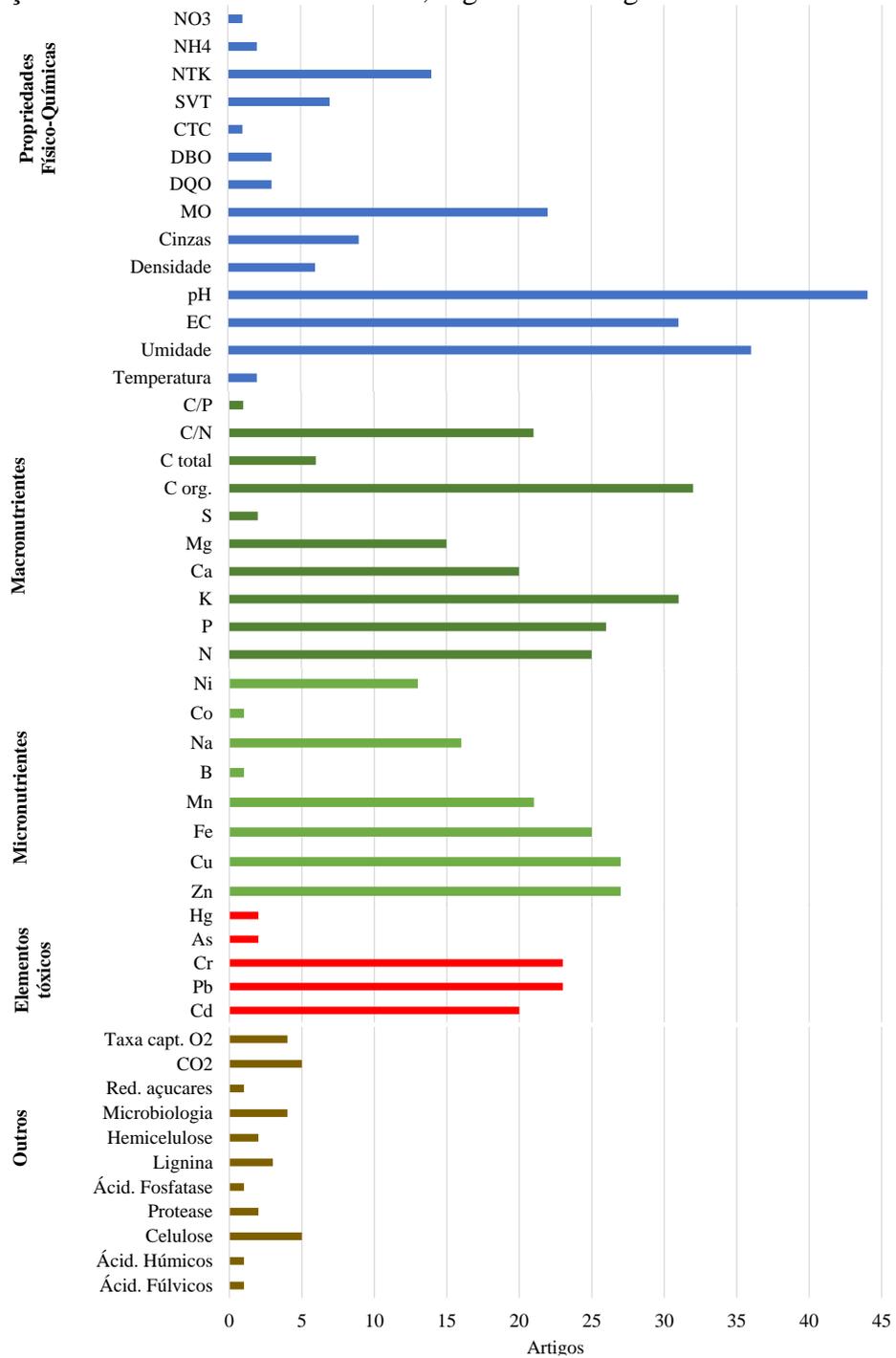
2.2.3.4 Monitoramento da compostagem com macrófitas

O processo de monitoramento da compostagem, realizada pelos autores identificados na revisão da literatura, na maioria dos casos aconteceu, antes do processo, com a análise dos materiais que seriam compostados, ao longo do processo e no composto final, respectivamente. A Figura 9 e a Figura 10 ilustram a quantificação dos parâmetros analisados (antes, durante e após a compostagem) nos artigos identificados na revisão da literatura, divididos em Propriedades Físico-Químicas, Macronutrientes, Micronutrientes, Elementos tóxicos e outros.

Os principais parâmetros analisados nas etapas (antes, durante e após a compostagem) assemelham-se e correspondem aos parâmetros físico-químicos mais avaliados como o pH, a Eletro Condutividade (EC) e a Umidade, porém em uma quantidade menos expressiva, porém ainda assim sobressaindo sobre os demais, o teor de Matéria Orgânica (MO) e o Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) também estão entre os mais adotados pelos autores.

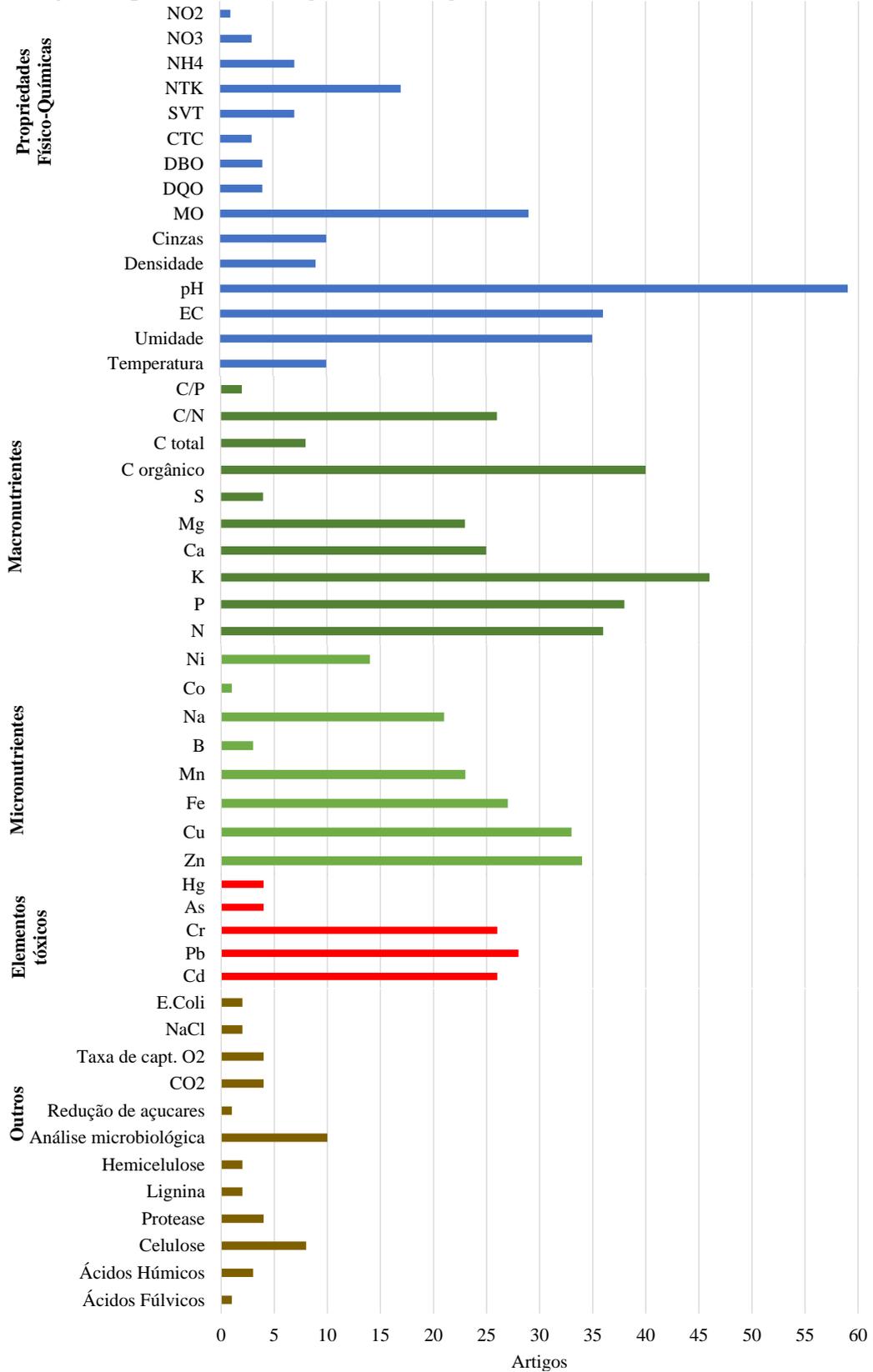
Os macronutrientes mais adotados no monitoramento são o Potássio, Nitrogênio e o Fósforo, estes dois últimos sendo, entretanto, superados no monitoramento durante/após a compostagem pelo Carbono Orgânico, também significativamente adotado no monitoramento prévio à compostagem. A relação C/N também é adotada por grande parte dos autores, sendo seu monitoramento prévio à compostagem e realizado para ser mantido a valores próximos aos ideais do processo, ao longo/após a compostagem para verificar a maturidade do composto (ARAIZA *et al.*, 2016; BISEN *et al.*, 2017; NATH; SINGH, 2016; PUSHPA *et al.*, 2016a). Dentre os micronutrientes, destacam-se em ordem decrescente, tanto no monitoramento prévio quanto durante/pós compostagem, os elementos Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Ferro (Fe). São, ainda, monitorados em alguns dos artigos micronutrientes como Manganês (Mn), Sódio (Na), Níquel (Ni) e, em percentuais pouco expressivos, Boro (B) e Cobalto (Co).

Figura 9 – Parâmetros avaliados previamente ao processo de compostagem para caracterização das macrófitas e/ou biomassa, segundo os artigos consultados



Fonte: O autor (2022).

Figura 10 – Parâmetros avaliados durante ou após o processo de compostagem para caracterização do produto final, segundo os artigos consultados



Fonte: O autor (2022).

Devido às características de assimilação de elementos químicos das macrófitas (GANESH *et al.*, 2012; MAZUMDER; KHWAIRAKPAM; KALAMDHAD, 2020; SINGH; KALAMDHAD, 2012; SINGH; KALAMDHAD, 2014a, 2014b, 2014c, 2014d), o monitoramento de elementos tóxicos na planta, previamente à compostagem, e o residual destes elementos no composto, durante/após o processo de compostagem, é adotado em parte dos trabalhos. Elementos como Chumbo, Cromo e Cádmio (Cd) são os mais monitorados nos artigos identificados nesta revisão da literatura, sendo ainda analisados elementos como Mercúrio (Hg) e Arsênio (As). O tipo de elemento potencialmente tóxico presente nas macrófitas pode diferir, conforme as características do local de proliferação da mesma. Ainda que Chumbo, Cromo e Cádmio sejam os principais elementos potencialmente tóxicos monitorados, outros podem ser adotados.

Os parâmetros agrupados nos gráficos como Outros (Figuras 7 e 8), correspondem a indicadores não enquadrados nas demais divisões adotadas. Alguns destes parâmetros estão associados ao tipo de estudo que está sendo realizado, como estudos específicos da microbiologia e sua influência no processo de compostagem (BISEN *et al.*, 2017; PRAMANIK, 2010; VISHAN; SIVAPRAKASAM; KALAMDHAD, 2017), análise da decomposição da fração lenhosa das macrófitas (DAS *et al.*, 2016; DEVI; KALAMDHAD; KALTYAR, 2015; SARIKA *et al.*, 2014) ou ainda sua aplicação e potenciais danos ambientais, ser humano e desenvolvimento econômico (REZANIA *et al.*, 2015a; SHARMA *et al.*, 2016).

A revisão bibliográfica não estruturada da literatura brasileira referente à compostagem de macrófitas teve acesso a 15 trabalhos, sendo estes, 5 dissertações (ANTUNES, 2009; MEES, 2006; PEREIRA, 2012; TROLEZI, 2019; YAMAUCHI, 2014) e 10 artigos (BORGES, 2011; BRUSA *et al.*, 2015; CEZAR *et al.*, 2005; FARIA *et al.*, 2013; LIBERALESSO *et al.*, 2013; MEES *et al.*, 2009a, 2009b; SILVA; MORAES; PIKANÇO, 2011; SILVA *et al.*, 2012; TROLEZI *et al.*, 2018) publicados em revistas ou em anais de eventos.

Quase a totalidade (93%) dos trabalhos utiliza a compostagem por leiras, cônicas ou trapezoidais, no processo de compostagem com macrófitas. O processo de aeração se dá em maior parte de maneira natural sem revolvimento (47%) e por revolvimento (40%). O trabalho de Faria *et al.* (2013) corresponde ao único acessado que adota o sistema de remoção periódica de material lenhoso, disposto transversalmente, para o ingresso de ar na massa de material em compostagem.

Há uma diversidade nas espécies utilizadas no processo de compostagem, algumas oriundas de lagos/lagoas, onde a macrófita proliferaram-se naturalmente, e outras são resultado do manejo de sistemas de tratamento onde as macrófitas atuam no processo de remoção de determinados poluentes. As espécies identificadas na revisão são *Eichhornia crassipes* (ANTUNES, 2009; BORGES, 2011; BRUSA *et al.*, 2015; CEZAR *et al.*, 2005; FARIA *et al.*, 2013; MEES, 2006; MEES *et al.*, 2009a, 2009b; SILVA; MORAES; PICANÇO, 2011; PEREIRA, 2012; SILVA *et al.*, 2012; YAMAUCHI, 2014), *Lemna minor* (ANTUNES, 2009), *Salvinia auriculata* (BORGES, 2011; BRUSA *et al.*, 2015; SILVA; MORAES; PICANÇO, 2011; SILVA *et al.*, 2012), *Typha domingensis* (LIBERALESSO *et al.*, 2013); (FARIA *et al.*, 2013), *Typha latifolia* (YAMAUCHI, 2014), *Pistia Stratiotes* (ANTUNES, 2009; FARIA *et al.*, 2013); CEZAR *et al.*, 2005), *Landoltia Punctata* (TROLEZI *et al.*, 2018), *Landoltia Punctata* (TROLEZI, 2019); *Salvinia molesta* e *Brachiaria subquadrifera* (YAMAUCHI, 2014).

Todos os trabalhos acessados têm como objetivo a produção de fertilizante orgânico, com período de compostagem que vão de 60 a 180 dias. Mais da metade dos trabalhos (53%) geram um antropossolo (BORGES, 2011; FARIA *et al.*, 2013; MEES, 2006; MEES *et al.*, 2009a, 2009b; SILVA; MORAES; PICANÇO, 2011; SILVA *et al.*, 2012) ou chorume (BRUSA *et al.*, 2015), como produtos secundários visando aplicá-los e compará-los à aplicação do fertilizante orgânico. Os antropossolos produzidos correspondem à adição percentual de fertilizante orgânico à base de macrófitas com solos pobres da região de cada estudo.

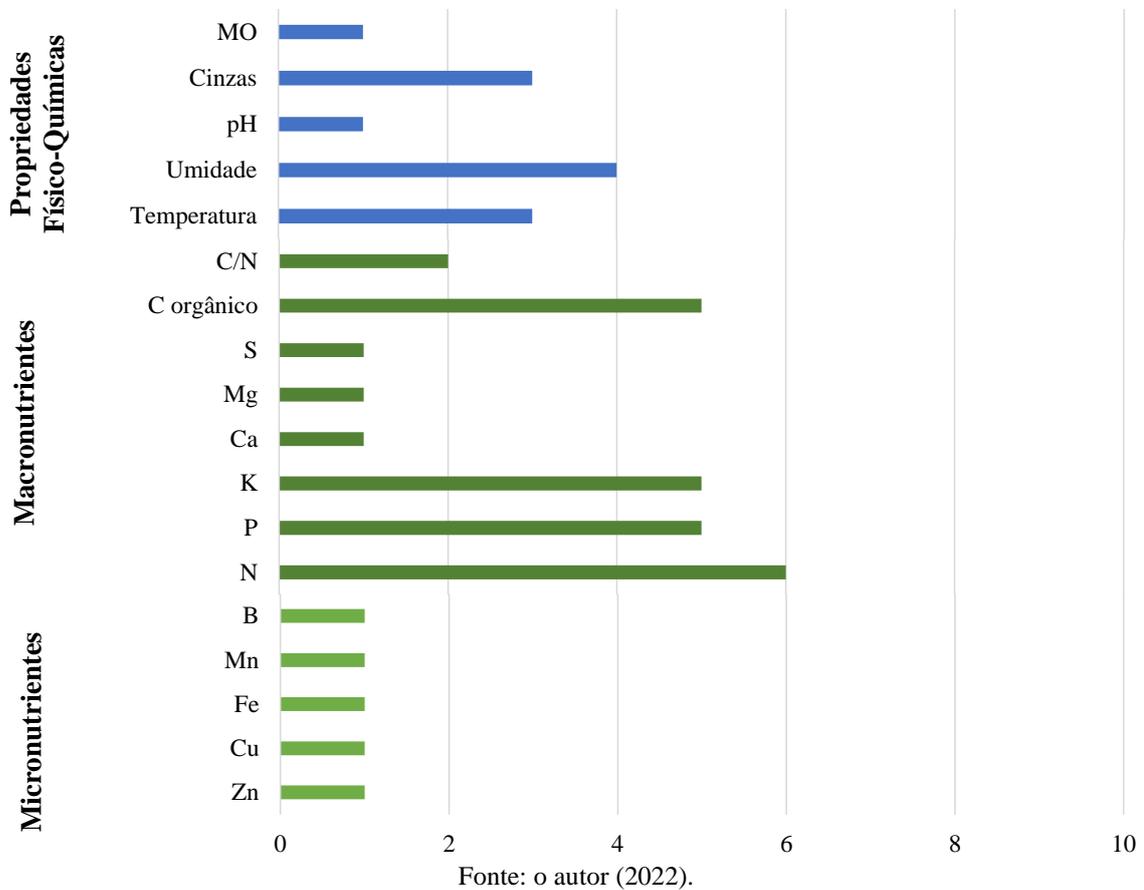
Somente Cezar *et al.* (2005), Yamauchi (2014), e Pereira (2012) não adicionam matéria-orgânica complementar ao processo de compostagem. Os demais autores adicionam desde fração orgânica do Resíduo Domiciliar (RDO), poda, esterco bovino, serragem, rejeito de abate suíno e lodo de tratamento anaeróbico de efluente (ANTUNES, 2009; BORGES, 2011; BRUSA *et al.*, 2015; FARIA *et al.*, 2013; LIBERALESSO *et al.*, 2013; MEES, 2006; MEES *et al.*, 2009a, 2009b; SILVA; MORAES; PICANÇO, 2011; SILVA *et al.*, 2012; TROLEZI, 2019; TROLEZI *et al.*, 2018).

Os resultados dos inventários dos parâmetros avaliados nos trabalhos acadêmicos científicos brasileiros pesquisados sugere o predomínio de análise de alguns dos parâmetros, seja na avaliação das macrófitas previamente ao processo de compostagem e durante/após o processo de compostagem.

Dentre os parâmetros físico-químicos predomina a análise da umidade, temperatura e cinzas. Nitrogênio, Fósforo e Potássio são os macronutrientes mais avaliados. Estes elementos

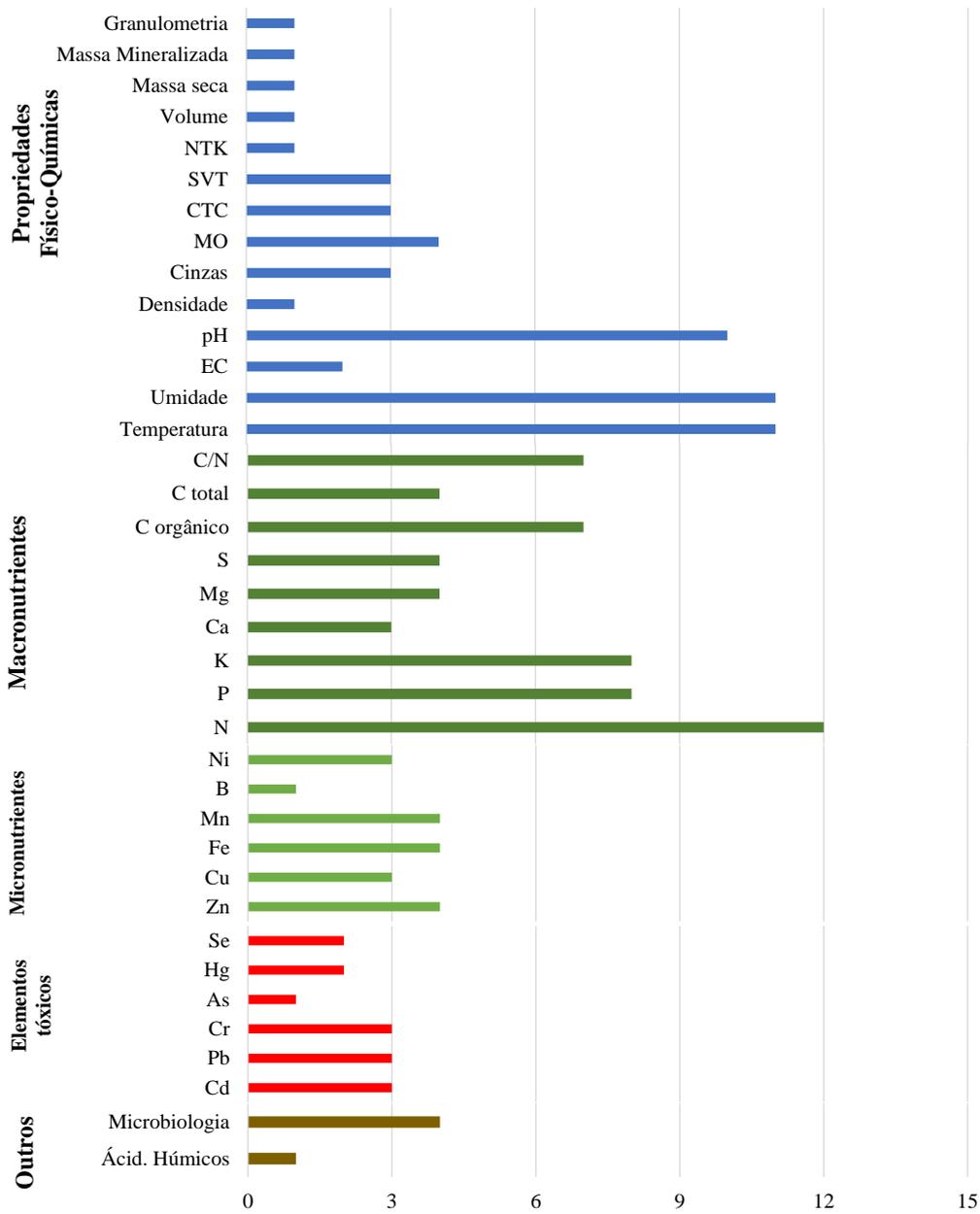
são fatores determinantes na aplicação de fertilizantes agrícolas. Como mostram a Figura 11 e a Figura 12, nem todos os autores avaliam estes elementos. Os micronutrientes analisados previamente à compostagem se restringem ao Boro, Manganês, Cobre, Ferro e Zinco, sendo analisados por um pequeno número de artigos. Nas análises pós compostagem, Manganês, Ferro e Zinco e destacam frente aos demais micronutrientes, sendo acrescentado ao número de micronutrientes analisados o Níquel.

Figura 11 – Parâmetros avaliados previamente ao processo de compostagem para caracterização das macrófitas e/ou biomassa identificados na literatura brasileira, conforme critérios da revisão não estruturada



Elementos potencialmente tóxicos são avaliados somente durante/após o processo de compostagem. Dentre os elementos avaliados destacam-se Cromo, Chumbo e Cádmio. Da mesma forma, a análise de outros parâmetros somente é realizada durante/após a compostagem, sendo em sua maioria dada por análises microbiológicas, reflexo do objetivo principal dos trabalhos. Mais informações sobre os trabalhos podem ser acessadas no Apêndice B.

Figura 12 – Parâmetros avaliados durante ou após o processo de compostagem para caracterização do produto final identificados na literatura brasileira, segundo os artigos consultados



Fonte: O autor (2022).

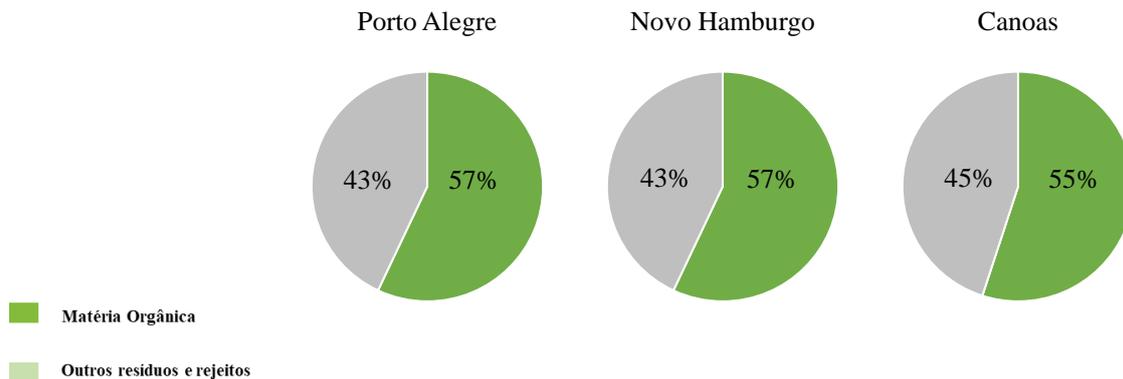
2.3 RESÍDUO DOMICILIAR

A seguir será abordada a caracterização e gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no país, compostagem dos resíduos e os parâmetros utilizados no monitoramento da matéria orgânica compostada.

2.3.1 Caracterização do resíduo domiciliar brasileiro

Dados do SNIS (BRASIL, 2019b) classificam, dentre outros, o Resíduo Sólido Urbano (RSU), como sendo aqueles equivalentes à soma dos Resíduos Domiciliares (RDO) e dos Resíduos Sólidos Públicos (RPU). Conforme o Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos do SNIS (BRASIL, 2019a), 30% do RSU é composto por materiais potencialmente recicláveis (como papel, plástico, metais e outros) e que 50%, ou mais, do RDO é composto por resíduos orgânicos. Acrescido a isto é relevante considerar que parte dos RPU é composta por podas. Ainda que não seja possível saber sobre o percentual exato da fração orgânica coletada periodicamente pelas Prefeituras brasileiras (Figura 13), é possível inferir por um volume considerável, que a partir de práticas mais sustentáveis que o aterro, como a compostagem, podem contribuir com aspectos ambientais, econômicos e sociais.

Figura 13 – Composição gravimétrica de Porto Alegre e outros municípios da região metropolitana



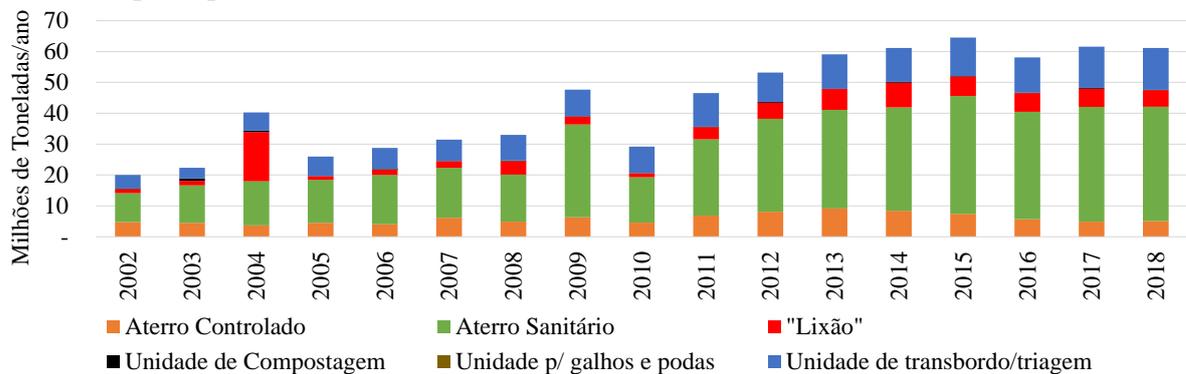
Fonte: Porto Alegre (2013), Novo Hamburgo (2017), e Canoas (2014).

2.3.2 Gerenciamento do resíduo domiciliar no Brasil

O gerenciamento dos resíduos sólidos no Brasil vem sendo efetuado de maneira equivalente ao longo das últimas décadas, correspondendo basicamente, a coleta de porta em porta, segregação e reciclagem de parte do RSU (como papel, plásticos, vidro e metais) e disposição final de rejeitos sendo grande parte de composição orgânica. Esse sistema tem custado, em média R\$ 130,47 (cento e trinta reais e quarenta e sete centavos) por habitante/ano, aos municípios, sendo que apenas 47% dos municípios brasileiros fazem a cobrança por estes serviços, e a arrecadação cobre apenas 54,3% dos custos (BRASIL, 2019a).

Os dados da série histórica do SNIS (BRASIL, 2019a), disponível na Figura 14, corroboram com a afirmação sobre as práticas de gestão do RSU do parágrafo anterior. As informações disponibilizadas pelos municípios evidenciam o predomínio da destinação de resíduos para a disposição final (aterro sanitário, controlado ou “lixão”). A destinação dos resíduos para a compostagem atinge valores pouco expressivos, não superando 0,5% na maioria dos anos conforme informações disponíveis no SNIS (BRASIL, 2020a).

Figura 14 – Dados de destinação de RSU (RDO + RPU) por tipo de unidade, no Brasil, declarados pelas prefeituras no SNIS

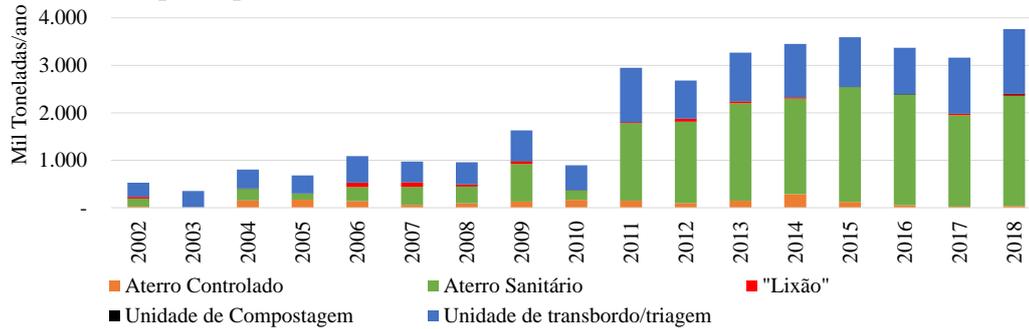


Obs.: Unidade de transbordo/triagem = Unidade de transbordo + Unidade de triagem (galpão ou usina).

Fonte: Adaptada de Brasil (2020a).

Considerando sobre o estado do RS (Figura 15), os valores são um pouco mais otimistas. Com valores superiores a 0,5% em muitos dos anos, o Estado apresenta melhores resultados ao processo de compostagem dos RSU. Grande parte desta diferença foi alcançada através da unidade UTC - Triagem Lomba do Pinheiro, de Porto Alegre. Conforme as informações disponíveis no SNIS (BRASIL, 2019a), confirmam o surgimento de um consórcio municipal que podem alcançar valores mais expressivos nos anos seguintes, atendido pela Unidade de Compostagem - Reciclagem Adeva Ltda Me. Esta e outras unidades de compostagem declaradas ao longo dos anos de 2002 a 2018 no estado do Rio Grande do Sul são descritas no Quadro 4.

Figura 15 – Dados de destinação de RSU (RDO + RPU) por tipo de unidade, no Rio Grande do Sul, declarados pelas prefeituras no SNIS



Obs.: Unidade de transbordo/triagem = Unidade de transbordo + Unidade de triagem (galpão ou usina).

Fonte: Adaptada de Brasil (2020a).

Quadro 4 – Unidades de compostagem no Rio Grande do Sul declaradas no SNIS, no período de 2002 a 2018

NOME DA UNIDADE	OPERADOR DA UNIDADE	MUNICÍPIO(S) DE ORIGEM DOS RESÍDUOS
Compostagem Aerada	Associação de catadores	Novo Hamburgo
UTC - Triagem Lomba do Pinheiro	Prefeitura ou DMLU*	Porto Alegre
Pátio Compostagem	Empresa privada	Três Coroas
UTAR	Prefeitura ou SLU	Santo Augusto
Cigres	Consórcio intermunicipal	Jaboticaba
Maximiliano de Almeida	Prefeitura ou SLU	Maximiliano de Almeida
Aterro Sanitário Municipal	Empresa privada	Ponte Preta
Central de Compostagem	Prefeitura ou SLU	Ponte Preta
Unidade de Compostagem Adiane Camilotti	Empresa privada	Putinga
Coop de Recicl de Resíduos Org. e Inorg. De SCS Lt	Prefeitura ou SLU	Ciríaco
Unidade de Compostagem - Reciclagem Adeva Ltda Me	Empresa privada	André da Rocha, Caseiros, Cotiporã, Fagundes Varela, Ibiraiaras, Muitos Capões, Nova Bassano, Nova Prata, Protásio Alves, São Domingos do Sul, Serafina Corrêa e Vila Flores

* DMLU: Departamento Municipal de Limpeza Urbana.

Fonte: Adaptado de Brasil (2020a).

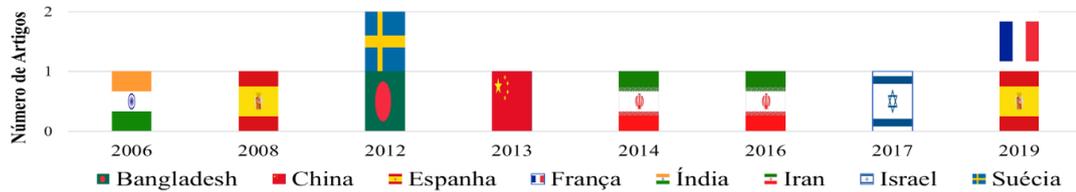
2.3.3 Compostagem do resíduo sólido

Inicialmente foram identificados 13 trabalhos, entretanto somente em 10 foi realizada a compostagem por aeração forçada. Destes 10 artigos, 3 são da plataforma Scopus, 3 são da Science Direct e 4 estão disponíveis em ambas as plataformas.

Os artigos identificados foram desenvolvidos em países da Europa e Ásia, sendo 5 em cada continente. Considerando os critérios de busca nas plataformas científicas, apenas Espanha (ALVES; VILLAR; MATO, 2019; RUGGIERI *et al.*, 2008) e Irã (KOOTENAEI; AMINIRAD; RAMEZANI, 2014; RASAPOOR; ADL; POURAZIZI, 2016) tem mais de 1

artigo desenvolvido sobre a compostagem com aeração forçada, sendo em ambos os países desenvolvidos em anos diversos, como pode ser visto na Figura 16.

Figura 16 – Distribuição temporal e espacial dos estudos sobre aeração forçada identificados na revisão da literatura



Fonte: O autor (2022).

Dentre os resíduos que foram aplicados nos estudos de compostagem identificados na revisão da literatura destacam-se a fração orgânica de resíduo sólido urbano (sete estudos), seguido de Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto (quatro estudos), Podas e Serragem (três estudos cada) (Figura 17). Os dois primeiros referem-se aos resíduos de responsabilidade dos órgãos públicos de administração, o que pode reforçar o interesse social pelo uso de processos mais eficientes como a aeração forçada. Fazem parte dos estudos identificados, resíduos orgânicos como esterco bovino, resíduo domiciliar, cama de aviário, resíduo agrícola, lodo de piscicultura, palha de milho e até lodo de limpeza de tanque de combustível, onde o processo de compostagem por aeração forçada é estudado para fins de fitorremediação.

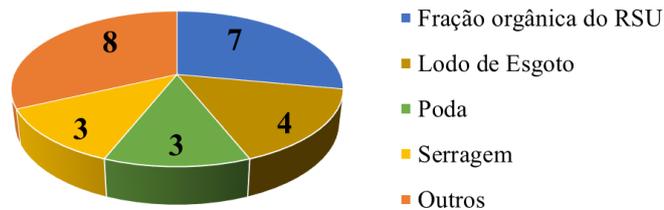
Nenhum dos trabalhos identificados utiliza uma fonte mineral adicional, ou seja, não foi identificado trabalho cujo objetivo seja a produção de organomineral a partir da compostagem da fração orgânica do RSU, ou outra fonte de biomassa, através do processo de aeração forçada.

Algumas informações ainda parecem um pouco nebulosas no desenvolvimento deste tipo de trabalho. O período de aplicação da aeração forçada é citado em apenas dois dos trabalhos pesquisados, relatando aplicações durante 1 min a cada 10 min (ERMOLAEV *et al.*, 2012) e aplicações variadas conforme o período de compostagem, onde é aplicado 5 min a cada 30 min, nos 50 primeiros dias de compostagem, 5 min de aplicação de ar a cada 60 min nos demais 40 dias (RUGGIERI *et al.*, 2008).

Alguns autores adotam taxas de aplicação relacionando volume de ar, tempo e a massa de material a ser compostado, variando de 0,2 L/min/kg (ZHANG *et al.*, 2014), 0,6 L/min/kg (RASAPOOR; ADL; POURAZIZI, 2016), 1,0 L/min/kg (RUGGIERI *et al.*, 2008; UMA; MEENAMBAL; SARAVANAN, 2006). Rincón *et al.* (2019) aplicaram taxas de ar ainda

mais restritas, de 0,02-0,09 L/min/kg, entretanto o objetivo do seu trabalho era avaliar as emissões de gases, o que restringiu as taxas de aplicação de acordo com os sensores utilizados.

Figura 17 – Principais matérias orgânicas compostadas por aeração forçada nos estudos identificados conforme os critérios de seleção da revisão da literatura



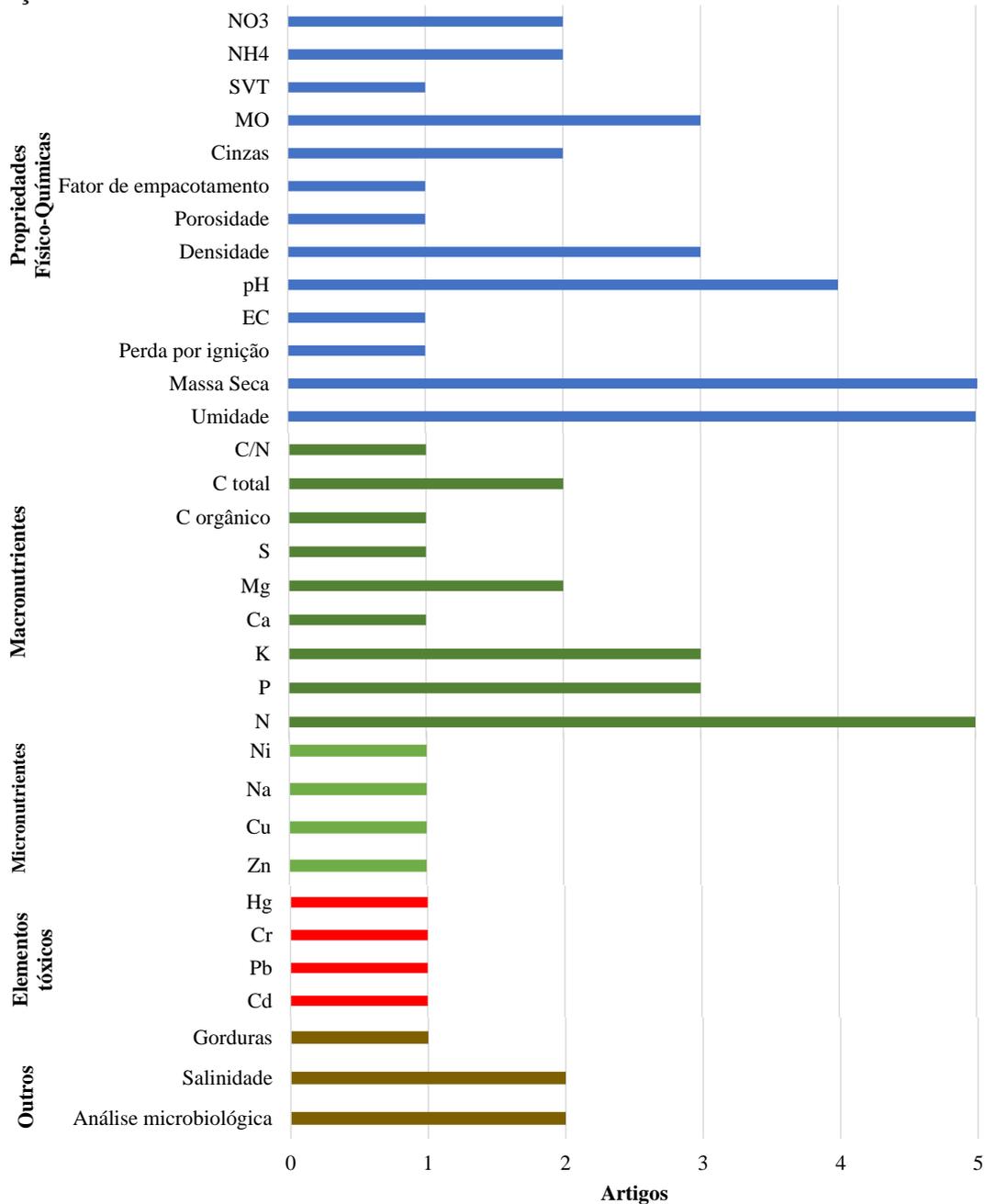
Fonte: O autor (2022).

Avidov *et al.* (2017), Kootenaei, Aminirad e Ramezani (2014), e Ermolaev *et al.* (2012) não deixam claro o uso da massa de material a ser compostado na definição da taxa de aplicação de ar. Estes autores aplicam taxas de 100-150 m³/h, 6 l/min e 1360/520/450 m³/h, respectivamente.

Os principais parâmetros analisados na matéria orgânica a ser compostada via sistema de aeração forçada, identificados na revisão da literatura, são Massa Seca, Umidade e Nitrogênio, seguidos de pH e dos macronutrientes Fósforo e Potássio. A diversidade de macro e micronutriente avaliados na matéria orgânica, previamente à compostagem por aeração forçada, é pequena, como pode ser visto na Figura 18. Elementos químicos potencialmente tóxicos também são analisados por poucos autores, ainda que a fração orgânica de RSU seja uma das principais fontes de matéria orgânica utilizada.

Nitrogênio é o principal parâmetro avaliado no composto final, conforme os trabalhos identificados na revisão da literatura (Figura 19). A relação C/N, pH e Massa Seca estão logo após o Nitrogênio, na ordem de parâmetros mais analisados no composto final. A relação de macro e micronutrientes, além dos elementos potencialmente tóxicos, é equivalente às análises da matéria orgânica a ser compostada. Nas análises denominadas “Outros” das (Figura 18 e 19) são acrescentados o parâmetro hidrocarboneto, no entanto está relacionado a trabalho específico que utiliza a compostagem por aeração forçada para biorremediação de sedimentos de limpeza de tanques combustíveis (ALVES; VILLAR; MATO, 2019).

Figura 18 – Parâmetros monitorados na matéria orgânica compostada em sistemas de aeração forçada identificadas na revisão da literatura



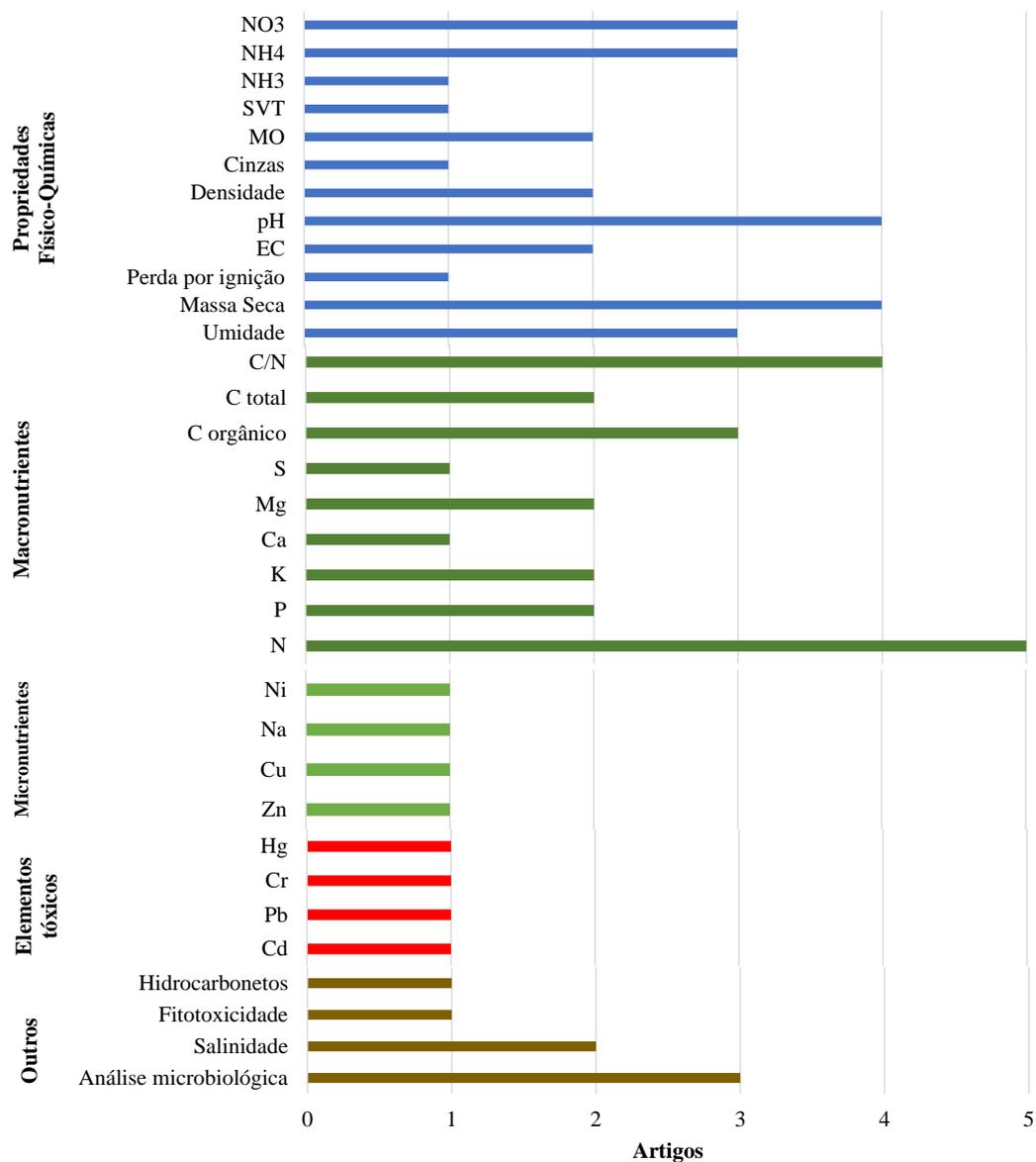
Fonte: O autor (2022).

O monitoramento do processo de compostagem via aeração forçada acontece, principalmente, a partir do acompanhamento da Temperatura das leiras de compostagem. A análise deste parâmetro é predominante às demais utilizadas no monitoramento do processo, conforme resultados da revisão da literatura realizada (Figura 20). Oxigênio e pH são parâmetros de monitoramento de parte dos trabalhos identificados. São ainda objeto de monitoramento da compostagem por aeração forçada as emissões atmosféricas, como CO₂, CH₄, N₂O, Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) e Compostos Sulfurosos. O

monitoramento destas emissões, são o objetivo principal dos trabalhos de Ermolaev *et al.* (2012), Rincón *et al.* (2019), e Zhang *et al.* (2014).

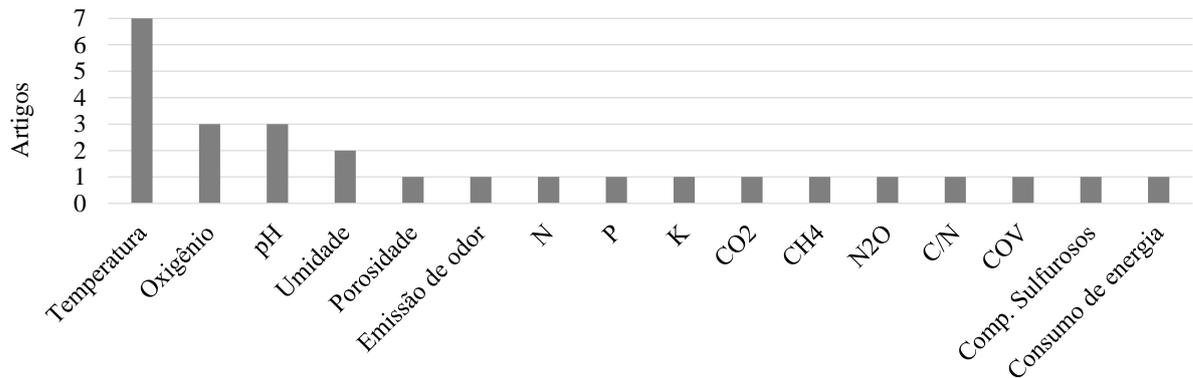
O consumo de energia, fator relevante à viabilidade econômica do processo de compostagem por este método, é pouco explorado nos trabalhos identificados. Restringe-se a Rasapoor, Adl e Pourazizi (2016) a disponibilidade de dados de consumo de energia. Mais informações sobre os trabalhos acessados na revisão da literatura e seus principais resultados podem ser visualizadas no Apêndice C.

Figura 19 – Parâmetros utilizados na avaliação do composto final, produzido via sistema de aeração forçada identificadas na revisão da literatura



Fonte: O autor (2022).

Figura 20 – Parâmetros utilizados no monitoramento da compostagem via sistema de aeração forçada identificadas na revisão da literatura



Fonte: O autor (2022).

2.3.4 Compostagem de resíduos sólidos por aeração forçada: casos brasileiros

Conforme os resultados da pesquisa na plataforma Google, os estudos brasileiros relacionados à compostagem de resíduos sólidos por aeração forçada, após um período de dormência, têm ganhado atenção novamente. A lacuna de tempo entre os estudos de datas mais pretéritas, como o de Nóbrega (1991) e Mercedes (1993), do início dos anos 90, e os mais recentes, como Noguchi (2017), Beltrame (2018) e Vilela (2019), confirmam a afirmação anterior.

A fração orgânica identificada nos estudos brasileiros, conforme critérios de pesquisa, detalhados no capítulo 3, corroboram com a confirmação da problemática associada ao grande volume de resíduos orgânicos presentes no RSU brasileiro, buscando assim solução técnica e ágil na minimização desta fração e destino ambientalmente mais nobres, como a sua aplicação na forma de composto. Exceção dada a Beltrame (2018), que compostou serapilheira para comparar diferentes processos de compostagem, Nóbrega (1991), Mercedes (1993), Leitão (2008), Noguchi (2017) e Vilela (2019) usam a fração orgânica do RSU como a sua principal fonte de biomassa.

Os trabalhos brasileiros não dispõem de valores de taxa de aplicação (volume de ar/tempo de aplicação/massa de resíduo) como alguns dos trabalhos identificados nas plataformas internacionais (RASAPOOR; ADL; POURAZIZI, 2016; RINCÓN *et al.*, 2019; RUGGIERI *et al.*, 2008; UMA; MEENAMBAL; SARAVANAN, 2006; ZHANG *et al.*, 2014). Assim, estudos brasileiros restringem-se a relações de tempo de acionamento e parada do sistema de aeração forçada. Somente Mercedes (1993) e Noguchi (2017) aplicam períodos equivalentes, sendo 3 minutos de acionamento intercalados entre 30 min sem aeração. Nóbrega (1991), Leitão (2008) e Vilela (2019), apesar de aplicarem mesmo período de

aeração (2 min), divergem no intervalo sem aeração, sendo aplicados 20, 30 e 70 min sem injeção de ar, respectivamente. Beltrame (2018) tem o maior período de injeção de ar, 5 minutos, sendo seguido de intervalo de 60 minutos sem acionamento.

Nóbrega (1991), Mercedes (1993) e Noguchi (2017) têm em seus sistemas controladores lógicos para acionamento da injeção de ar quando necessário. Estes autores restringem a temperatura a 60 °C, sendo acionado o motor até a leira atingir 58 °C. Noguchi (2017) também controla a umidade e temperatura da leira para utilização do sistema Arduíno®. No controle de umidade Noguchi (2017) contava com motor injetor de água, mantendo a umidade entre 40 e 60%.

O uso predominante da fração orgânica dos RSUs nos estudos brasileiros identificados na revisão da literatura, caracterizado como sendo um resíduo de composição variável, resulta na análise prévia da composição gravimétrica dos RSUs, como realizado por Nóbrega (1991), Mercedes (1993) e Noguchi (2017). Também se realizaram as análises de densidade, análises microbiológicas, relação C/N (LEITÃO, 2008; MERCEDES, 1993), potássio, cálcio, magnésio (MERCEDES, 1993), pH, umidade; sólidos voláteis (SV), carbono, fósforo (MERCEDES, 1993; NOGUCHI, 2017), nitrogênio (LEITÃO, 2008; MERCEDES, 1993; NOGUCHI, 2017), Demanda Química de Oxigênio (DQO) (NOGUCHI, 2017) e carbono orgânico total (COT) (LEITÃO, 2008).

Diferente dos trabalhos identificados nas plataformas internacionais, Science Direct e Scopus, todos os trabalhos brasileiros utilizaram a temperatura no monitoramento da compostagem. Noguchi (2017) e Vilela (2019) também monitoram a umidade. Leitão (2008), além da temperatura, monitora a compostagem a partir da relação C/N, utilizando esta como indicador da maturidade do composto.

A análise do composto se dá ao longo do processo de compostagem por aeração forçada, para acompanhamento da reação de parâmetros às fases de compostagem (mesófila, transição e termófila), e ao final do processo, no composto considerado maduro. Os parâmetros analisados são mais restritos, se comparados ao número de parâmetros identificados nos trabalhos disponíveis nas plataformas científicas internacionais. A relação dos parâmetros e autores que as adotaram na análise do composto, ao longo e ao final do processo de compostagem por aeração forçada, são ilustrados no Quadro 5.

Quadro 5 – Relação dos parâmetros avaliados no composto, ao longo e após a compostagem, por autores de trabalhos brasileiros

PARÂMETROS	AUTORES					
	Nóbrega (1991)	Mercedes (1993)	Leitão (2008)	Noguchi (2017)	Beltrame (2018)	Vilela (2019)
Densidade	X	X	X			
SV	X	X		X		X
COT	X		X			
Umidade	X	X	X	X	X	
Carbono	X		X	X		
pH	X	X	X	X	X	X
Nitrogênio	X		X	X		
Anál. Microb.	X	X	X		X	X
MO			X			
C/N	X		X		X	X
P				X		
DQO				X		

Legenda: SV – Sólidos Voláteis; COT – Carbono orgânico total; Anál. Microb. – Análises Microbiológicas; MO – Matéria orgânica; C/N – Carbono/Nitrogênio; P – Fósforo; DQO – Demanda química de oxigênio.

Fonte: O autor (2021).

2.4 REJEITO DE MINERAÇÃO (PÓ DE ROCHA)

A busca por trabalhos relacionados à produção de organominerais a partir de pó de rocha, utilizando compostagem, se deu a partir da consulta das seguintes plataformas científicas: *Science Direct*, *Scopus*, *Google* e *Google acadêmico*. Foram utilizadas na consulta às plataformas as seguintes palavras-chave: *basaltic/basalt quarry*; *rock*; *dust*; *organic*; *mineral*. A consulta a plataforma *Google* e *Google Acadêmico* utilizaram dos mesmos termos na língua portuguesa.

2.4.1 Geração de pó de rocha na produção de agregados graúdos

O pó de rocha é um rejeito resultado do processo de beneficiamento de basalto, principalmente, na produção de agregados graúdos para a construção civil. A carência de dados disponíveis em plataformas públicas demanda a realização de estimativa da geração deste tipo de resíduo, descrito por Sikora (2004) como 5% do basalto cominuído.

A produção beneficiada de brita no estado do RS em 2017, conforme o Anuário Mineral Estadual do Rio Grande do Sul da Agência Nacional de Mineração foi de 17.340.592 toneladas (BRASIL, 2018a)¹. Assim, é possível inferir uma disponibilidade de até 912.663 toneladas de pó de rocha gerada no Estado, somente no ano de 2017.

¹ O Anuário Mineral da Agência Nacional de Mineração considera neste valor a Brita e o Cascalho, não sendo possível dividir a contribuição de cada tipo conforme as informações disponíveis no documento.

Estimativas de geração anual, como apresentado na Figura 22, sugere que acrescido ao volume supostamente gerado em 2017, há significativos volumes de pó de rocha gerados em anos anteriores, sem saber ao certo a destinação dada a este material. Ainda que a composição do pó de rocha não sugira periculosidade dos resíduos, é sabido sobre os potenciais impactos ambientais (Figura 21) e econômicos da sua geração, como assoreamento de corpos d'água e desperdício de matéria-prima.

Figura 21 - Imagem de uma pedreira de basalto e seu contexto ambiental (a) e do pó de rocha (b) resultado do beneficiamento do agregado de basalto



Fonte: Toscan, Kautzmann e Sabedot (2007).

Fonte: O autor (2021).

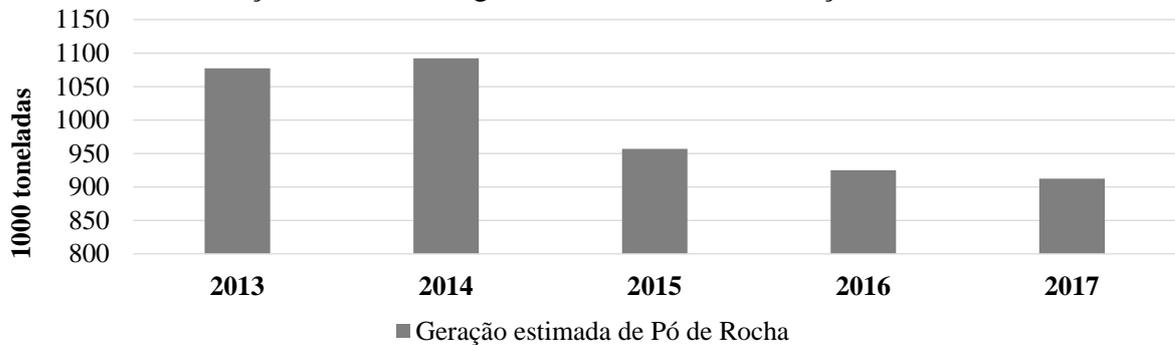
A presença de macro e micronutrientes na composição do pó de rocha o torna atrativo à aplicação na agricultura. Alguns dos compostos disponíveis no pó de rocha basáltica são: SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , Cu , Zn , Ni , Cr , Co (SIKORA, 2004), N , P_2O_5 e K_2O (EHLERS; ARRUDA, 2014). Além dos nutrientes, o uso do pó de rocha pode contribuir para a neutralidade do solo, a partir de um pH maior que 7. Ehlers e Arruda (2014) identificam pH igual a 8 para o pó de rocha usado em seus estudos.

Como os fertilizantes não contêm ingredientes que as poeiras possuem, os excedentes nutricionais do pó de rocha podem beneficiar os solos empobrecidos (SIKORA, 2004). Assim, o pó de rocha tem sido aplicado, principalmente, diretamente no solo, a partir de produtos comerciais ou a partir de estudos acadêmicos que visam aperfeiçoar o processo de aplicação deste material, como Welter *et al.* (2011), Ehlers e Arruda (2014) e Niewinski (2017).

Em menor intensidade, estudos voltados à produção de organominerais, sendo o pó de rocha responsável (em todo ou em parte) pela fração mineral do produto final, ainda são

tímidos restringindo-se a poucos trabalhos disponíveis em plataformas científicas nacionais e internacionais.

Figura 22 – Estimativa de geração de pó de rocha, considerando como base dados disponíveis no Anuário de Produção Mineral da Agência Nacional de Mineração



Fonte: Elaborada pelo autor com base em Brasil (2018).

2.4.2 Rejeito de mineração (pó de rocha): gerenciamento e usos potenciais

Sikora (2004) adicionou 3,3 kg de pó de rocha para cada m³ de matéria orgânica, previamente ao processo de compostagem. Ehlers e Arruda (2014) aplicaram pó de rocha, juntamente com composto turfoso comercial e vermiculita, a taxas de 0, 10, 20, 30 e 40%, sendo os melhores resultados obtidos a taxas de 10 e 20%.

Tavares (2017) avaliou a influência da compostagem na disponibilidade de nutrientes de pó de rocha (do tipo fonolito²) com adições de 5 e 10% (além de uma análise de controle com 0% de adição de pó de rocha). Conforme informações disponíveis em Sikora (2004) a adição de minerais às misturas de compostagem reduz a perda de amônia, devido ao aumento da área superficial pela adição de finos minerais, além de contribuir para a liberação no solo de nutrientes e minerais secundários a partir da atividade microbiana. Tavares (2017) descreve que o processo de compostagem acelerou o intemperismo do pó de rocha, resultando em uma maior disponibilidade de nutrientes, principalmente potássio (K) e silício (Si) (característicos do pó de rocha fonolito).

2.5 O MANEJO DE RESÍDUOS E A AGENDA 2030

A Agenda 2030 é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade que busca fortalecer a paz universal com mais liberdade (Organização das

² É uma rocha vulcânica pouco comum, de carácter alcalino.

Nações Unidas - ONU). Composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Figura 23) e 169 metas, a Agenda 2030, cujo objetivo é elevar o desenvolvimento do mundo e melhorar a qualidade de vida das pessoas. O alcance destes objetivos e metas, devem ser atendidas por meio de uma ação conjunta que agrega diferentes níveis de governo, organizações, empresa e a sociedade, nos âmbitos, internacionais, nacionais e local, onde as partes interessadas devem atuar em parceria colaborativa. Os ODS entraram em vigor em 1º de janeiro de 2016 e espera-se que sejam cumpridos até 31 de dezembro de 2030.

Figura 23 – Ilustração dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável estabelecidos pela ONU



Fonte: Organização das Nações Unidas (2020).

Segundo Meneghini *et al.* (2020), o maior número de estudos a respeito dos ODS concentram-se no ODS 3, Saúde e Bem-Estar, enquanto há carências de pesquisas nos ODS 2, Fome Zero e Agricultura Sustentável, ODS 5, Igualdade de Gênero, ODS 10, Redução das Desigualdades, ODS 11, Cidades e Comunidades Sustentáveis, ODS 12, Consumo e Produção Responsável, ODS 14, Vida na Água, ODS 16, Paz, Justiça e Instituições Eficazes e ODS 17, Parcerias e Meios de Implementação. Também foi possível identificar que o ODS 3, Saúde e Bem-Estar, é o que mais possui pesquisas, seguido do ODS 6, Água Potável e Saneamento.

As contribuições positivas para o desenvolvimento sustentável são negligenciadas, embora alguns autores relacionem aspectos positivos à dimensão social, enquanto aspectos econômicos e ambientais positivos são pouco abordados (EKENER; HANSSON; GUSTAVSSON, 2018).

Para Pujara *et al.* (2019), questões sociais e ambientais relacionadas ao gerenciamento de resíduos municipais irão contribuir para 10 dos ODS, conforme relação apresentada no Quadro 6.

Quadro 6 – Relação dos ODS impactados pela gestão de resíduos sólidos

<p>Objetivo 3 - Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades;</p> <p>Objetivo 6 - Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos;</p> <p>Objetivo 7 - Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos;</p> <p>Objetivo 9 - Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação;</p> <p>Objetivo 11 - Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis;</p> <p>Objetivo 12 - Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis;</p> <p>Objetivo 13 - Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos;</p> <p>Objetivo 14 - Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável</p> <p>Objetivo 15 - Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade;</p> <p>Objetivo 17 - Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.</p>

Fonte: Adaptado de Pujara *et al.* (2019).

Os ODS surgem como uma oportunidade para incentivar os estudos sobre sustentabilidade, sua importância interdisciplinar e transdisciplinar da pesquisa em sustentabilidade (Leal Filho *et al.*, 2018).

2.6 VIABILIDADE ECONÔMICA

A reciclagem de resíduos, em especial os geridos pelas Prefeituras, carecem de estudos mais aprofundados com relação a sua viabilidade econômica. A carência de efetivas políticas públicas voltadas à minimização da geração de resíduos e o adequado trato do efluente doméstico resulta em quantidades crescentes de resíduos domiciliares e áreas impactadas pelo lançamento de esgoto sem tratamento.

Martinez-Sanchez, Kromann e Astrup (2015) descrevem a falta de metodologias claras e princípios dos cálculos adotados, havendo, desta forma, carência de avaliações detalhadas, transparentes e passíveis de replicar. Uma abordagem padrão de análise econômica da reciclagem de resíduos, a partir da compostagem e produção de um organomineral, pode contribuir para a realização de estudos replicáveis e comparáveis, resultando em uma maior credibilidade da ferramenta para este tipo de atividade.

Os indicadores econômicos adotados com maior frequência pelos tomadores de decisão são Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno do investimento (TIR), Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e *Payback*.

- a) VPL: equação econômico-financeira utilizada para determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada, descontado o custo do investimento inicial;

- b) Payback: tempo de retorno do investimento;
- c) TMA: taxa de juros que representa o mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento, ou seja, a partir de qual valor se obtém um lucro real sobre o projeto. O valor é estipulado para cada tipo de negócio. Sua definição leva em consideração uma série de questões de mercado. Taxa estimada com base nas principais taxas de juros praticadas pelo mercado, como: (a) TMF – Taxa Básica Financeira; (b) TR – Taxa Referencial; (c) TJLP – Taxa de Juros de Longo Prazo; e (d) SELIC – Sistema Especial de Liquidação e Custódia;
- d) TIR: equação matemática-financeira utilizada para calcular a taxa de desconto que teria um determinado fluxo de caixa para igualar a zero seu VPL. Se a TIR for inferior a zero o investimento não é viável, se for superior a zero é viável.

Uma análise de custos requer o inventário de dados de entrada relacionados aos Custos Fixos e Custos Variáveis. Os Custos Fixos têm seus valores levantados para toda a vida útil, considerando uma estimativa de 10 anos. Os Custos Variáveis têm seus valores identificados considerando o período de produção do produto final.

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve o método utilizado para a realização desta pesquisa. Inicialmente apresenta-se a estratégia de pesquisa, posteriormente o seu delineamento e o desenvolvimento das etapas previstas.

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Segundo Yin (2005), os experimentos, levantamentos, pesquisas históricas, análise de informações e estudo de caso são estratégias de pesquisa. O que diferencia as estratégias de pesquisas é: o tipo de questão de pesquisa; o controle que o pesquisador tem sobre os eventos comportamentais efetivos e o foco em fenômenos históricos, em oposição a fenômenos contemporâneos.

Considerando que o objetivo desta pesquisa é desenvolver um fertilizante organomineral a partir de macrófitas, resíduos sólidos urbanos e rejeitos de mineração de basalto através da técnica de compostagem por aeração forçada, observando os requisitos legais, o custo de produção, visando o atendimento dos ODS da agenda 2030 da ONU, a estratégia de pesquisa utilizada para este trabalho será a pesquisa construtiva. Apesar de ser uma estratégia pouco utilizada, define-se na proposta a transformação de uma situação atual real para uma situação de melhoria futura, através de um instrumento prático aplicável.

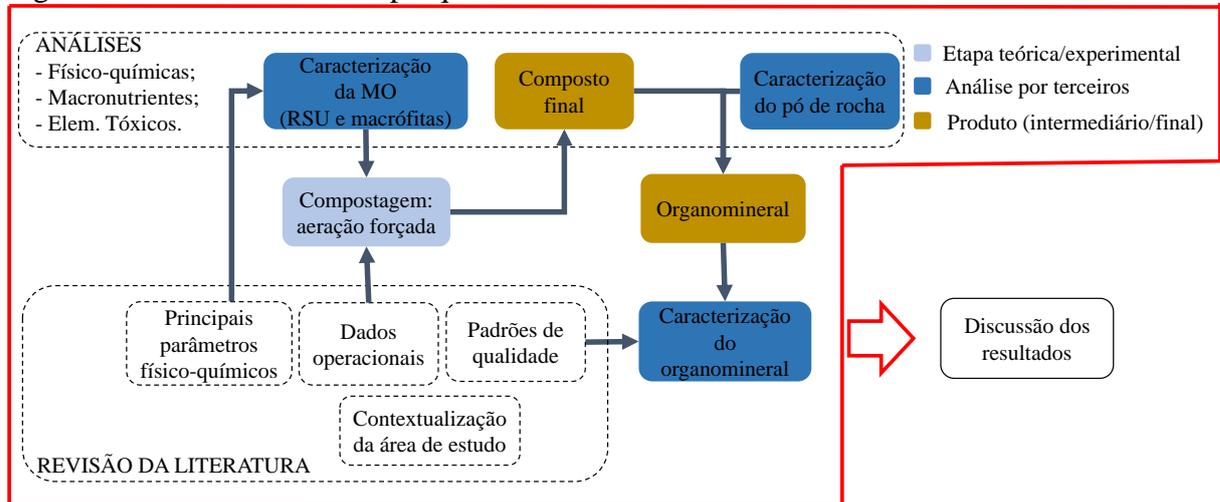
A pesquisa construtiva é um modo de pensar alternativas futuras para uma determinada comunidade (RASANEN; MANTYLA, 2001). Para os autores, esta estratégia faz com que o pesquisador faça as seguintes perguntas: Como isto poderia ser? Como isto deve ser? Como isto poderia ser colocado em prática? O desafio é desenvolver alternativas para a situação atual, descobrir quais são as alternativas possíveis e desejáveis para efetivar a sua realização. A pesquisa construtiva visa atingir uma transição ou uma transformação sobre as práticas existentes.

3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada conforme as seguintes etapas: revisão da literatura e delimitação da área de estudo; etapa experimental e análises; e produção do organomineral. As etapas estão esquematizadas de modo simplificado na Figura 24. Os próximos

subcapítulos trazem mais detalhes com relação à metodologia prevista para cada uma das etapas

Figura 24 – Delineamento da pesquisa



Fonte: O autor (2020).

3.2.1 Revisão da literatura

Esta etapa foi composta por duas fases: a revisão da literatura e uma pesquisa exploratória através de uma análise documental. A revisão da literatura foi a partir da pesquisa sobre temas que proporcionaram o suporte ao desenvolvimento das etapas experimental e de delimitação do escopo das análises físico-químicas, além da discussão dos resultados. A contextualização sobre RSUs e o pó de rocha são temas bem explorados na literatura brasileira e deram espaço a maior explanação sobre a compostagem de macrófitas e o uso do sistema de aeração forçada, além destes serem considerados contribuições relevantes ao ineditismo do trabalho. A seguir são descritas as metodologias de pesquisa utilizadas na revisão da literatura sobre: a compostagem de macrófitas e sobre a compostagem por aeração forçada.

3.2.1.1 Revisão da literatura sobre a compostagem de macrófitas

A revisão sobre a compostagem de macrófitas se deu a partir de uma revisão estruturada e, de maneira complementar, uma revisão não estruturada, conforme descrito a seguir:

- a) revisão estruturada: a identificação de estudos em revistas científicas foi realizada por uma busca sistemática nas plataformas *Science Direct* e *Scopus*. A fonte geral de palavras no título, resumo ou palavras-chave especificadas pelo autor foram “*Macrophyte*” or “*water hyacinth*” and “*compost*” or “*composting*”. Uma Triagem adicional foi realizada com o intuito de manter somente trabalhos em que foram aplicadas práticas de compostagem em/com espécies de macrófitas. Nesta revisão sistemática, apenas a literatura relatada em inglês foi incluída no escopo da revisão e somente os artigos de pesquisa foram selecionados. Artigos datados com mais de 20 anos, ou seja, datas pretéritas ao ano 2000 foram desconsiderados;
- b) revisão não estruturada: foi aplicada para identificar estudos adicionais realizados no Brasil. Nesse sentido, teses de doutorado, dissertações de mestrado e outros trabalhos técnicos científicos disponíveis na rede mundial de pesquisa na Internet, relacionados ao tema de compostagem de macrófitas, foram considerados. A pesquisa não sistemática adota como palavras de busca as mesmas utilizadas na revisão sistemática, sendo aplicada, entretanto, no idioma português. Foi utilizado nesta busca o Google Acadêmico. Os artigos foram acessados, classificados pela plataforma por “Relevância”, conforme critérios do algoritmo do Google Acadêmico. Foi considerada esgotada a disponibilidade de trabalho quando cinco (05) trabalhos consecutivos acessados não tiveram relação com o uso do processo de compostagem. Somente foram considerados trabalhos disponíveis completos. Os artigos identificados nas propostas de revisão, descritas anteriormente, foram avaliados conforme critérios específicos, com a finalidade de identificar informações relevantes ao desenvolvimento deste trabalho. Os critérios de avaliação dos artigos são descritos no Quadro 7.

Quadro 7 – Critérios de classificação dos artigos

CRITÉRIOS	DESCRIÇÃO
(a) Geral	País; Ano; Observações.
Escopo do estudo	Método de Compostagem; Espécie(s) de macrófita(s) estudada(s); Matéria(s) orgânica(s) adicional(is); Mineral(is) adicional(is).
Parâmetros Avaliados	Tempo de Compostagem; Caracterização(ões) Físico-química do produto final.
(b) País	Brasil.
Geral	Tipo de trabalho; Ano; Observações.
Escopo do estudo	Método de Compostagem; Espécie(s) de macrófita(s) estudada(s); Matéria(s) orgânica(s) adicional(is); Mineral(is) adicional(is).
Parâmetros Avaliados	Tempo de Compostagem; Caracterização(ões) Físico-química do produto final.

Nota: (a) Critérios de classificação dos artigos identificados na revisão estruturada da literatura. (b) Critérios de classificação dos artigos identificados na revisão não estruturada da literatura sobre aplicação de métodos de compostagem com o uso de macrófitas como fonte de matéria orgânica.

Fonte: O autor (2020).

3.2.1.2 Revisão da literatura sobre compostagem por aeração forçada

A revisão sobre a utilização de sistemas de aeração forçada para a compostagem de resíduos orgânicos, de maneira semelhante ao subcapítulo anterior, utilizou de propostas de pesquisa de revisão definidas como revisão estruturada e revisão não estruturada, conforme descrito a seguir:

- a) revisão estruturada: a identificação de estudos em revistas científicas foi realizada por uma busca sistemática nas plataformas Science Direct e Scopus. A fonte geral de palavras no título, resumo ou palavras-chave especificadas pelo autor foram “*compost*”, “*solid waste*” e “*forced aeration*”. Uma Triagem adicional foi realizada com o intuito de manter somente trabalhos em que foi aplicada a compostagem por aeração forçada. Nesta revisão sistemática, apenas a literatura relatada em inglês foi incluída no escopo da revisão e somente os artigos de pesquisa foram selecionados. Artigos datados com mais de 20 anos, ou seja, datas pretéritas ao ano 2000 foram desconsiderados;
- b) de maneira complementar, uma pesquisa não estruturada foi aplicada para identificar estudos adicionais realizados no Brasil. Nesse sentido, teses de doutorado, dissertações de mestrado e outros trabalhos técnicos científicos disponíveis na rede mundial de pesquisa na Internet, relacionados ao tema de compostagem de resíduos sólidos por aeração forçada foram considerados. A busca não estruturada adota como palavras de busca as mesmas utilizadas na revisão sistemática, sendo aplicada, entretanto, no idioma português. Foi utilizado nesta busca o Google. Os artigos foram acessados, classificados pela

plataforma por “Relevância”, conforme critérios do algoritmo da própria plataforma, o Google. Foi considerada esgotada a disponibilidade de trabalho quando cinco trabalhos consecutivos acessados não tiveram relação com o uso do processo de compostagem de resíduos por aeração forçada. Somente foram considerados trabalhos disponíveis por completo.

O levantamento de informações relevantes ao desenvolvimento das etapas de aplicação da técnica de compostagem por aeração forçada, parte integrante da Etapa 3, é descrito no Quadro 8.

Quadro 8 – Critérios de classificação dos artigos

CRITÉRIOS	DESCRIÇÃO
(a) Geral Escopo do estudo Parâmetros Avaliados	País; Ano; Observações. Matéria(s) orgânica(s) adicional(is); Mineral(is) adicional(is). Período(s) de aeração; Taxa de aplicação de ar; Caracterização(ões); Físico-química da matéria orgânica e do produto final; Parâmetros de monitoramento do processo de compostagem por aeração forçada.
(b)País Geral Escopo do estudo Parâmetros Avaliados	Brasil. Tipo de trabalho; Ano; Observações. Matéria(s) orgânica(s) adicional(is); Mineral(is) adicional(is). Período(s) de aeração; Taxa de aplicação de ar; Caracterização(ões); Físico-química da matéria orgânica e do produto final; Parâmetros de monitoramento do processo de compostagem por aeração forçada.

Nota: (a) Critérios de classificação dos artigos identificados nas revisões estruturada e (b) não estruturada da literatura sobre aplicação de sistemas de aeração forçada de compostagem.

Fonte: O autor (2020).

3.2.1.3 Contextualização da área de estudo

Nesta fase foi realizada uma pesquisa exploratória através de uma análise documental com a finalidade de definir a área de estudo. Neste estágio foram levantados e analisados os dados sobre as legislações federais, estaduais, políticas de planejamento urbano, o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), o cadastro do órgão de saneamento, possíveis locais de estudo como: represas e/ou reservatórios que recebam esgotos sanitários sem tratamento e jazidas onde são realizadas as minerações na região metropolitana de Porto Alegre. Estes dados tiveram a finalidade de compreender o contexto municipal, quais os locais onde há proliferação e a quantidade de macrófitas geradas, quantificar o volume de resíduos sólidos produzidos no município escolhido, identificar a fração de matéria orgânica que há nos resíduos coletados na área urbana, identificar as regiões onde não há coleta de esgotos sanitários, o destino final dos rejeitos de mineração e o volume deste rejeito que pode ser incorporado à fração orgânica, produzida na compostagem por aeração forçada. Estes dados são provenientes do(s) Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB), Planos

Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), de literatura e dos órgãos ambientais dos municípios onde a pesquisa foi realizada, respectivamente. Simultaneamente à coleta dos dados secundários, foram realizadas visitas aos locais selecionados com a finalidade de conhecer e delimitar a área de estudo na Região Metropolitana de Porto Alegre - RS. Baseado nos documentos consultados e nas visitas realizadas delimitou-se a área a ser estudada, nos municípios de Porto Alegre (macrófitas e resíduos sólidos urbanos) e de Campo Bom (material proveniente da jazida de mineração).

3.2.2 Coleta de dados primários da etapa experimental e análises

A terceira etapa da pesquisa caracteriza-se pela coleta de dados primários para análises dos parâmetros físico-químicos, micro e macronutrientes e elementos potencialmente tóxicos a partir da coleta de amostras das macrófitas, da coleta da matéria orgânica dos resíduos sólidos urbanos domiciliares e do rejeito de mineração nas respectivas áreas de estudo com a finalidade de produção do composto organomineral. Esta terceira etapa da pesquisa foi realizada em duas fases, caracterizadas por uma fase preliminar e uma fase experimental.

A primeira fase, preliminar, desta etapa caracterizou-se pela reunião de dados primários que teve por objetivo coletar as amostras da matéria orgânica do RSU de Porto Alegre, das macrófitas oriundas de reservatório que recebe esgotamento sem tratamento e, posteriormente, do rejeito de mineração de basalto (pó de pedra), nos locais definidos como área de estudo. As amostras das macrófitas foram extraídas da represa Lomba do Sabão, enquanto as amostras do resíduo urbano domiciliar foram coletadas da Unidade de Triagem de Resíduos do DMLU, na cidade de Porto Alegre - RS.

De acordo com os artigos científicos pesquisados, antes, durante e após o processo de compostagem (figuras 9 e 10), os parâmetros físico-químicos mais avaliados são o pH, a EC e a Umidade. Em uma quantidade menor, o teor de MO e o NTK também estão entre os mais adotados pelos autores.

Os macronutrientes mais adotados no monitoramento prévio ao processo de compostagem de macrófitas são o Potássio, Nitrogênio e o Fósforo (Figura 9). A relação C/N também é adotada por grande parte dos autores, sendo que o seu monitoramento prévio à compostagem é realizado para ser mantido a valores próximos aos ideais do processo, ao longo/após a compostagem para verificar a maturidade do composto (ARAIZA *et al.*, 2016; BISEN *et al.*, 2017; NATH; SINGH, 2016; PUSHPA *et al.*, 2016a). De acordo com Pereira Neto (2007), e Graves *et al.* (2010), (C), (N), (P) e (K) são os macronutrientes responsáveis

pelo processo de compostagem, no entanto, o Carbono e o Nitrogênio delimitam o processo de decomposição, pois são responsáveis pelo fluxo de energia, crescimento, síntese proteica e reprodução de organismos, sendo que os demais nutrientes estão em quantidade satisfatória na maioria dos resíduos utilizados como insumos na compostagem. Com a finalidade de definir uma relação inicial de C/N, no intervalo entre 30/1 a 40/1, para estabelecer a eficiência do processo de compostagem foi necessário calcular a proporção de cada material a ser misturado (macrófitas e RSU). Para definir esta proporção, utilizou-se as equações descritas por *Graves et al.* (2010), equações estas baseadas somente na relação C/N de cada matéria orgânica a ser utilizada no processo de compostagem.

A relação inicial C/N a ser utilizada no processo de compostagem deve ser calculada pelas equações propostas por *Graves et al.* (2010), conforme as equações 1 e 2:

$$X_{Ca} + Y_{Cb} = C \quad (1)$$

$$X_{Na} + Y_{Nb} = N \quad (2)$$

Portanto as proporções são:

$$\%a = a / a + b \quad (3)$$

$$\%b = 100\% - \%a \quad (4)$$

Onde:

X_C = teor de carbono do material X;

a = proporção da mistura de material X;

Y_C = teor de carbono do material Y;

C = teor de carbono na mistura;

X_N = teor de nitrogênio do material X;

Y_N = teor de nitrogênio do material Y;

b = proporção da mistura do material Y;

N = teor de nitrogênio na mistura.

As proporções da mistura entre a fração orgânica do Resíduo Sólido Urbano e as macrófitas, foram obtidas através das equações propostas (1), (2), (3) e (4), sendo que os

teores de carbono e nitrogênio dos materiais, assim como a relação C/N e a densidade foram obtidas através da análise das amostras coletadas nos dias 13 e 14 de julho de 2021. A relação C/N adotada, previamente à compostagem, é realizada para que estes valores sejam mantidos próximos aos ideais do processo (ARAIZA *et al.*, 2016; BISEN *et al.*, 2017; NATH; SINGH, 2016; PUSHPA *et al.*, 2016a). Considerando a relação inicial de C/N, cujo intervalo pode variar entre 30/1 e 40/1 (GRAVES *et al.*, 2010; PEREIRA NETO, 2007), 26/1 e 35/1 (BIDONE; POVINELLI; 1999; ORRICO; LUCAS JÚNIOR; ORRICO JÚNIOR, 2007; SOUZA *et al.*, 2020), adotou-se a relação inicial C/N 35/1, a fim de calcular a proporção inicial da mistura entre os dois materiais que fizeram parte do composto, obtido através da compostagem por aeração forçada.

Definida a proporção inicial da relação C/N através das equações propostas por Graves *et al.* (2010), inicia-se a segunda fase desta etapa, caracterizada pela coleta das macrófitas e da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos domiciliares nas respectivas áreas de estudo, com a finalidade de iniciar o processo de compostagem através da aeração forçada.

As amostras das macrófitas e da fração orgânica do RSU foram extraídas dos mesmos locais que as amostras colhidas na fase preliminar, considerando os mesmos procedimentos adotados nesta fase, respeitando as normas técnico-analíticas e os padrões definidos pelos órgãos de controle, conforme Mezomo (2010), enquanto o pó de pedra foi extraído de uma pedreira de basalto no município de Campo Bom-RS, para ser utilizado após a compostagem, na produção do composto organomineral.

A partir da definição dos pontos de amostragem, do período de coleta das macrófitas e do resíduo sólido urbano, iniciou a execução experimental.

Inicialmente foram coletadas as macrófitas e os resíduos sólidos urbanos. Os materiais foram misturados na proporção definida através das equações propostas por Graves *et al.* (2010) e levados às bombonas com a finalidade de iniciar o processo de compostagem por aeração forçada. Foi extraída uma amostra do material depositado na bombona, acondicionada em sacos plásticos transparentes, limpos, pesada, devidamente identificada. O material coletado foi mantido sob refrigeração a 4 °C para ser encaminhado, no dia posterior, ao laboratório da empresa Pró-Ambiente Análises Químicas e Toxicológicas Ltda, credenciado pelo MAPA, onde foram realizadas as análises dos parâmetros definidos (Quadro 9), tendo por base Araiza *et al.* (2016), Nath e Singh (2016), Pushpa *et al.* (2016a), e Bisen *et al.* (2017), que monitoram a relação C/N previamente à compostagem para verificar se os valores de C/N se mantem próximos à relação C/N ideal ao processo, ao longo e após a compostagem, com a finalidade de aferir a maturidade do composto.

Ganesh *et al.* (2012), Singh e Kalamdhad (2012), Singh e Kalamdhad (2014a, 204 b, 2014c, 2014d), e Mazumder, Khwairakpam e Kalamdhad (2020), devido as características de assimilação de elementos químicos das macrófitas, realizaram o monitoramento de elementos tóxicos na planta, previamente à compostagem, assim como o residual destes elementos no composto, durante/após o processo de compostagem. Considerando Ganesh *et al.* (2012), Singh e Kalamdhad (2012), Singh e Kalamdhad (2014a, 204 b, 2014c, 2014d), e Mazumder, Khwairakpam e Kalamdhad (2020), esta pesquisa analisou os elementos tóxicos: Chumbo, Cromo, Cádmio, Mercúrio e Arsênio, descritos no Quadro 9, visto que o tipo de elemento potencialmente tóxico presente nas macrófitas pode diferir conforme as características do local de proliferação delas.

Com a definição dos parâmetros físico-químicos, dos macronutrientes, micronutrientes e elementos tóxicos, baseados na literatura e exigidos pela legislação, foi produzido um composto através da aeração forçada em escala reduzida, no Laboratório de Estudos Ambientais para a Metalurgia (LEAMet) na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e posteriormente acrescentado uma quantidade de pó de pedra de basalto, gerando um produto final, o composto ou fertilizante organomineral.

Quadro 9 – Relação dos parâmetros avaliados previamente à compostagem das frações orgânicas por aeração forçada

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	MACRO E MICRONUTRIENTES	ELEMENTOS POTENCILAMENTE TÓXICOS
pH, Eletro Condutividade ((EC), Umidade, teor de Matéria Orgânica (MO) Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Densidade, CTC, temperatura.	Potássio (K), Nitrogênio (N) e o Fósforo (P), Carbono Orgânico, relação C/N. Cloro; Zinco (Zn), Cobre (Cu), Ferro (Fe) Manganês (Mn), Sódio (Na), Níquel (Ni), Boro (B) e Cobalto (Co), Cálcio total, Magnésio total, Enxofre total, Molibdênio total, Selênio total, Boro total.	Chumbo, Cromo, Mercúrio total, Cádmio e Arsênio.

Fonte: O autor (2020).

As análises físico-químicas e biológicas foram realizadas em laboratórios de análises químicas e toxicológicas, credenciado pelo MAPA, com a finalidade de avaliar a relação de parâmetros descritos anteriormente (Quadro 9). Sempre que possível foram adotados os métodos de análise propostos pelo MAPA, através Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos (BRASIL, 2017b), e/ou outras normas de referência conforme cada parâmetro. A previsão do número de análises, por parâmetro, é ilustrada no Quadro 10.

Quadro 10 – Estimativa do número de amostras por parâmetros

Parâmetros	Pré compostagem			Compostagem	Composto	Organomineral
	RDO	Macrof.	Pó			
C/N	1	1	1	3	1	5
CO	1	1	1	3	1	5
N	1	1	1	3	1	5
P	1	1	1	3	1	5
K	1	1	1	3	1	5
Cloro	1	1	1	0	1	5
Ph	1	1	1	3	1	5
Eletrocondutividade	1	1	1	0	1	5
Umidade	1	1	1	3	1	5
Matéria Orgânica (MO)	1	1	1	0	1	5
Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)	1	1	1	3	1	5
Densidade	1	1	1	3	1	5
CTC	1	1	1	0	1	5
temperatura	1	1	1	3	1	5
Zinco	1	1	1	0	1	5
Cobre	1	1	1	0	1	5
Mangânes	1	1	1	0	1	5

Parâmetros	Pré compostagem			Compostagem	Composto	Organomineral
	RDO	Macrof.	Pó			
Sódio	1	1	1	0	1	5
Níquel	1	1	1	0	1	5
Cobalto	1	1	1	0	1	5
Cálcio Total	1	1	1	0	1	5
Magnésio total	1	1	1	0	1	5
Enxofre total	1	1	1	0	1	5
Molibdênio total	1	1	1	0	1	5
Selênio total	1	1	1	0	1	5
Boro	1	1	1	0	1	5
Cobalto	1	1	1	0	1	5
Fe	1	1	1	0	1	5
Cd	1	1	1	0	1*	5*
Pb	1	1	1	0	1*	5*
Hg	1	1	1	0	1*	5*
Cr	1	1	1	0	1*	5*
Arsênio total	1	1	1	0	1	5

Nota: *Caso detectado na pré-compostagem.

Fonte: O autor (2020).

Os resultados das análises foram comparados à IN 61 do MAPA (BRASIL, 2020b). A definição da quantidade de macrófitas a ser agregadas à fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos foi definida pela relação C/N na pré-compostagem. Após a definição da melhor taxa de C/N dos dois materiais, as quantidades de macrófitas e a fração orgânica foram misturadas e encaminhadas para a compostagem em Escala Reduzida, no LEAmet, sendo que uma amostra de no mínimo 0,500 Kg foi extraída e encaminhada para o laboratório credenciado para realizar as análises dos parâmetros definidos anteriormente.

Toda a estrutura da planta foi instalada sobre *pallets* de madeira com um desnível suficiente para instalar um sistema de drenagem dos lixiviados e sob um telhado que a abrigava das águas das chuvas. Os motores foram instalados dentro de uma caixa que os protegia das intempéries e os confinava com uma proteção acústica, evitando o ruído do sistema liga/desliga.

O experimento para produzir o composto orgânico foi realizado em bombonas de plástico com o volume de 200 litros, cuja altura é de 82 cm e o diâmetro de 56 cm, onde no fundo há uma tubulação de PVC de diâmetro de 60 mm, perfurada, com 09 orifícios de 08 mm de diâmetro cada, sendo que 03 orifícios são na parte central da tubulação e um conjunto

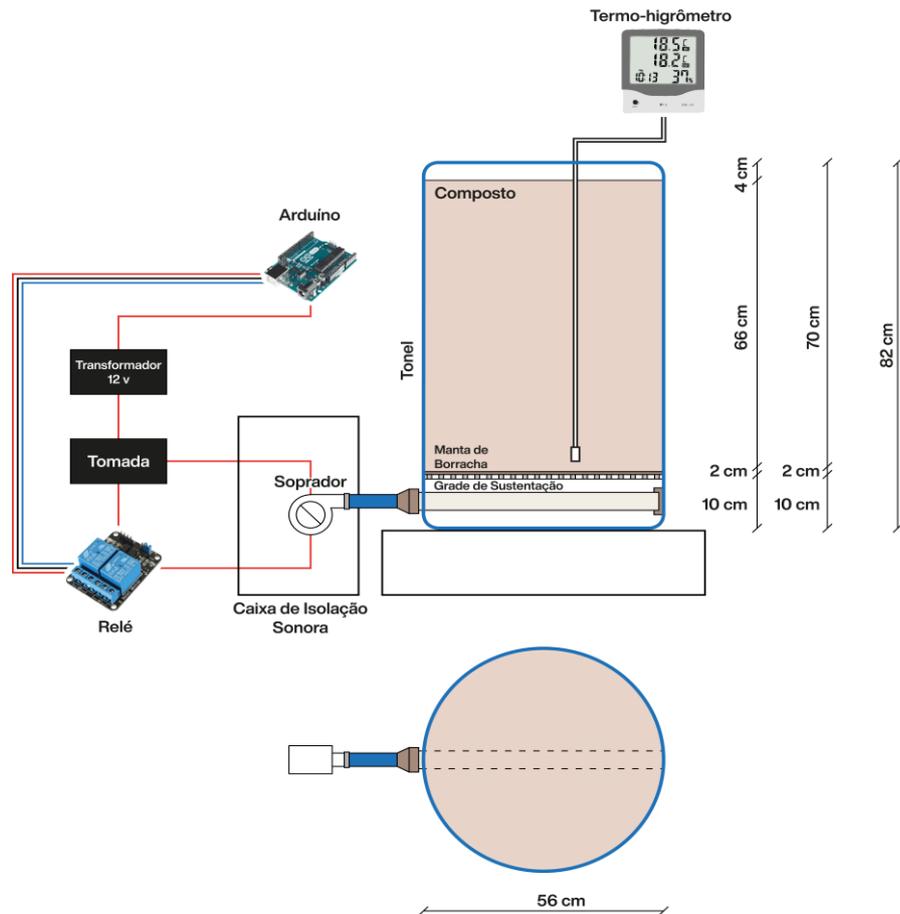
de 03 orifícios em cada extremidade do tubo de PVC. Acima da tubulação de PVC, foi instalada uma grade de ferro como suporte, protegida com uma tela, sob uma manta de borracha (Figura 27) com a finalidade de proteger os furos da massa de material utilizado na compostagem (Figura 25). Na parte superior, inicialmente o experimento foi coberto com uma rede de nylon de malha fina, cujo suporte foi uma tela. Na extremidade inferior da bombona foi instalada uma torneira com a finalidade de coletar o lixiviado. O croqui do sistema pneumático instalado na bombona pode ser visualizado na Figura 26.

Figura 25 – Bombona adaptada para testes em escala reduzida do sistema de compostagem por aeração forçada



Fonte: O autor (2022).

Figura 26 – Croqui ilustrativo do sistema pneumático instalado na bombona utilizada como protótipo do sistema de compostagem por aeração forçada.



Fonte: Cedida por Matheus Werner Samuel (2022).

Figura 27 – Grade de proteção



Fonte: O autor (2021).

Para injeção de ar na mistura da fração orgânica de RSU e das macrófitas, utilizou-se um soprador da marca/modelo STANLEY-STPT 600, 600 watts (Figura 28a) com 07 vazões possíveis (Figura 28b).

Figura 28 – Modelo de soprador adotado no protótipo de compostagem por aeração forçada e dados de vazão de ar possíveis de ser aplicado com o equipamento



a

Indicador no equipamento	Vazão (l/s)
Mín	6,1
2	8
3	11
4	14
5	16
6	25
Máx	31

b

Fonte: O autor (2021).

Zhang *et al.* (2014), Rasapoor *et al.* (2016), Uma, Meenambal e Saravanan (2006) e Ruggieri *et al.* (2008) adotam taxas de aplicação relacionando volume de ar, tempo e a massa de material a ser compostado, sendo que estas taxas variam de 0,21 min/kg (ZHANG *et al.*, 2013), 0,6 l min/kg (RASAPOOR *et al.*, 2016), 1,0 l min/kg (RUGGIERI *et al.*, 2008; UMA; MEENAMBAL; SARAVANAN, 2006). Quanto ao período de aplicação da aeração forçada, ainda carecem de informações, mas segundo relato de Ermolaev *et al.* (2012), as aplicações são efetuadas durante 1 min a cada intervalo de 10 min, enquanto Ruggieri *et al.* (2008), cita que as taxas de aplicações variam de acordo com o período de compostagem, 5 min a cada 30 min, nos primeiros 50 dias de compostagem e 5 min de aplicação a cada 60 min nos 40 dias restantes. Estudos brasileiros pesquisados, não dispõe de valores de taxas de aplicação volume de ar/tempo de aplicação/ massa de resíduos, limitando-se a relações de tempo de acionamento e parada do sistema de aeração forçada (CAMBOIM, 2019; LEITÃO, 2008; MERCEDES, 1993; NOBREGA, 1991; NOGUCHI, 2017; VILELA, 2019).

Considerando o volume das bombonas 200 litros (L), a densidade da mistura entre as macrófitas e a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos e as vazões do Soprador, foi calculado o ciclo de aeração a ser adotado para a realização do experimento durante o período entre a fase inicial até a fase final da compostagem, onde o composto estará maturado,

controlando a umidade do composto, o pH e a relação C/N. O controle do ciclo de aeração foi controlado através de um sistema de automação.

A separação da fração orgânica dos resíduos sólidos foi realizada em três ciclos, nos dias 27 de outubro, 10 de novembro e 26 de novembro de 2021, pois a quantidade da matéria orgânica coletada do caminhão nos dois primeiros ciclos não atingiu o volume total da bombona de 200 litros, nos dias 27 de outubro (52,00 kg) e 10 de novembro (75,00 kg). O volume total do recipiente só atingiu a capacidade máxima, 172 litros, no dia 26 de novembro de 2021 (75 kg), onde foram coletados 106,10 kg de matéria orgânica do caminhão.

Como a proporção entre a fração orgânica dos RSU e as macrófitas aquáticas foi calculada através das equações propostas por de Graves *et al.* (2010), sendo que a relação inicial de C/N da fração orgânica é de 33,3, (Figura 36), e a relação C/N das macrófitas aquáticas de 8,0 (Figura 32), o resultado da proporção entre os dois materiais ficou definida como 93,43% de matéria orgânica e 6,58% de macrófitas aquáticas, sendo adotado na mistura 93% de matéria orgânica e 7% de macrófitas

Definida a proporção da mistura, houve a homogeneização dos dois materiais (RSU e macrófitas), sobre uma lona plástica, a fim de evitar a contaminação destes com o solo. Após, toda a mistura foi pesada, em cada ciclo, antes de ser colocada na bombona, local onde foi realizada a compostagem por aeração forçada. O peso total da mistura da fração orgânica e das macrófitas inserida na bombona nos três ciclos totalizou 215,70 kg.

Na bombona, sobre a grade de proteção e a manta de borracha, foi preparada uma cama de galhos secos (2,0 cm) e serragem (3,0 cm) totalizando o peso de 0,80 kg, com a finalidade de facilitar a saída de ar e evitar a obstrução dos orifícios da tubulação que fornece ar ao sistema. Sobre esta cama foi colocada toda a mistura homogeneizada até a extremidade superior do recipiente. Acima da mistura foi executado dois colchões de 5,0 cm de serragem de madeira (0,15 kg cada), um entre o primeiro e segundo ciclo e o outro na superfície superior da bombona para evitar odores e insetos, sendo que o peso total inserido no recipiente para a produção do composto orgânico foi de 216,80 kg.

Com a estrutura pronta, iniciou-se o processo de compostagem por aeração forçada, onde os motores inicialmente foram acionados em um sistema de 5 minutos ligados e 30 minutos desligados, a partir do dia 27 de outubro de 2021.

Como a inserção da mistura da fração orgânica e das macrófitas foram realizadas em três etapas, dias 27 de outubro, 10 e 26 de novembro de 2021, a taxa de aplicação de ar, inicialmente foi aplicada em 5 min com o motor ligado para 30 min com o motor desligado,

conforme Ruggieri *et al.* (2008), visto que a vazão mínima que o soprador Stanley – STPT 600, 600 watts, injeta na massa é de 6,1 L/s (Figura 28).

Considerando que o ciclo é de 35 min (5 min ligado e 30 min desligado), tem-se 41,14 ciclos por dia, sendo que o tempo total de aeração é de 205,7L min por dia, logo o total de ar injetado no sistema em um dia era de 75.030 L/dia.

De acordo com os dados de temperatura e umidade coletados entre o período de 27 de outubro a 10 de novembro, verifica-se que a temperatura fica muito abaixo da faixa ótima de temperatura que vai de 45°C a 65°C, e a umidade extrapola o valor de 60 % (Tabela 9). Segundo Kiehl (2012) para que o processo de decomposição por aeração forçada seja efetivo a umidade deve estar acima de 40% e abaixo de 60%, sendo o valor ótimo de 55%. Temperaturas abaixo de 40°C faz com que o processo de compostagem se mantenha na fase criofílica, baixando a atividade bacteriana e tornando o processo mais lento, enquanto a umidade acima de 60 % o material se mostrará encharcado, sendo que a água toma conta dos vazios de ar e a decomposição será em parte anaeróbia, provocando a produção de chorume e maus odores (KIEHL, 2012).

Com a injeção de mais uma carga da mistura da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos e de macrófitas, no dia 26 de novembro de 2021, totalizando 216,80 kg da mistura na bombona do experimento, verificou-se que os 6,1 L/s e /ou 5 minutos por ciclo de aeração não atendiam aos requisitos definidos na IN 61 (BRASIL, 2020b).

Após cálculos com vazões disponíveis (Figura 28) concluiu-se que era necessário fazer ajustes, tanto na vazão de ar como no tempo de aeração por ciclo, sempre considerando não usar os motores na maior velocidade. Considerando as 7 vazões do soprador STANLEY-STPT 600, 600 watts, constatou-se que a vazão de 14 L/s, disponível no soprador (Figura 28), e um tempo de aeração de 10 min ligado e 30 min desligado era o ideal para a massa de 216,80 kg da mistura totalizada em 26 de novembro. Posteriormente aos ajustes, em 24 horas tem-se 36 ciclos de liga/desliga e uma inserção de ar de 302.400 L para uma massa de 216,80 kg. Considerando 1,0 L/min/kg (RUGGIERI *et al.*, 2008; UMA; MEENAMBAR; SARAVANAN, 2006), para os 216,80 kg da mistura da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos e de macrófitas inserida na bombona é necessário 312.192 L/dia de ar. Com a introdução de 302.400 L, 3,14% de ar a menos que o processo necessita, realizou-se os monitoramentos necessários, com a vazão de 14 L/s e não houve necessidade de outros ajustes.

Tendo em vista as vazões disponíveis no Soprador Stanley-STPT 600, 600 watts (Figura 28), e os trabalhos que adotam as taxas de aplicação relacionando volume de ar, tempo e massa de material a ser compostado, 0,2 L/min/kg (ZANG *et al.*, 2013), 0,6 L/min/kg

(RASAPOOR *et al.*, 2016) e 1,0 L/min/kg (RUGGIERI *et al.*, 2008; UMA; MEENAMBAR; SARAVANAN, 2006), neste experimento adotou-se uma taxa de aplicação de ar de 0,9686 L/min/kg, com 36 ciclos por dia de 10 minutos com o soprador ligado e 30 minutos com o soprador desligado para a produção do composto orgânico.

Redefinido os ciclos de introdução de ar, partiu-se para a produção do composto orgânico, com o monitoramento dos parâmetros: Carbono, Nitrogênio total, a relação C/N, pH e umidade. Este monitoramento começou no início do processo de produção, dia 26 de outubro de 2021 e se estendeu a cada 30 dias, até o composto atingir seu ponto de maturação. No intervalo de cada um dos 30 dias monitorados, foram analisados o pH e a umidade, para verificar como estava se comportando o composto e se a taxa de aplicação de ar definida estava de acordo com o avanço do processo de produção. No período monitorado, para cada amostra encaminhada para o laboratório realizar as análises, foram extraídas uma porção de 300 gramas de composto em produção.

Concomitante às análises laboratoriais, também foram monitoradas a temperatura e a umidade ambiente e a temperatura dentro da massa de resíduos, assim como o recalque do material durante todo o processo de compostagem por aeração forçada. As temperaturas inicialmente foram medidas com um termômetro INCOTERM L-087/08, a umidade do ambiente, extraída do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2021) e o recalque medido diariamente, com uma trena. As medidas do recalque foram realizadas em três pontos distintos, sendo que a medida adotada foi a média das três medidas realizadas.

A partir do dia 13 de novembro de 2021, o monitoramento das temperaturas e umidades ambiente e a temperatura do interior do material em degradação foi realizado através de um termo-higrômetro (Marca Incoterm, modelo 7664). O termo-higrômetro dispunha de um cabo com um sensor externo na extremidade para monitorar a temperatura do ar no interior da massa de resíduos dentro da bombona e um sensor interno, junto ao visor do aparelho, que registrava a temperatura e a umidade ambiente (Figura 26). O sensor externo do aparelho, inserido na massa de resíduos, foi protegido com um anteparo de plástico ao seu entorno, de maneira que não tivesse contato direto com o material, mas que permitisse o contato do ar no interior da massa com o sensor dentro do anteparo de proteção (CAMBOIM, 2019).

O sensor foi disposto no interior da massa dos resíduos, em uma posição central do experimento a 15 cm da base da bombona e 35 cm abaixo da extremidade superior do experimento. Com a instalação dos sensores de monitoramento, passou-se a monitorar a

temperatura ambiente, a temperatura dentro da massa de resíduos, os valores de umidade do ar e a umidade a 65°C, obtida através do método gravimétrico, Método recomendado pelo MAPA – IN 37 (BRASIL, 2017c). A umidade a 65°C, CO, Nitrogênio Total (N_T), relação C/N, pH e a densidade foram monitoradas durante todo o processo de compostagem, através das análises realizadas por laboratório credenciado pelo MAPA.

Após o composto atingir seu estado de maturação, novamente foram analisados os parâmetros do composto avaliados no início do processo de compostagem, com a finalidade de verificar se estes parâmetros atingiram os padrões limites da legislação vigente, assim como a determinação da sua especificação de natureza física, conforme recomenda a Instrução Normativa (IN) n° 61, de 08 de julho de 2020 do MAPA (BRASIL, 2020b) e Instrução Normativa n° 7 da Secretária de Defesa Agropecuária (SDA) do MAPA (BRASIL, 2016).

A natureza física do composto orgânico exigida pela In 61 (BRASIL, 2020b) foi determinada através do ensaio adaptado da (NBR NM 248:2003) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b). Para a determinação da natureza física do composto sólido, foi extraída uma amostra do composto maturado no dia 24 de março de 2022, a uma temperatura ambiente de 25,4°C, e uma umidade ambiente de 77%, pesada em uma balança digital (marca Toledo, modelo 2098/23), com precisão de 1 g, cujo peso inicial totalizou em 0,229 kg. Para a realização deste ensaio, devido à grande granulometria do material resultante, foi utilizado só um jogo de peneira, constituída de uma peneira com malha de 4,75 mm, do fundo e da tampa, cujo peso total do conjunto era de 0,941 kg. O composto orgânico foi colocado na peneira de 4,75 mm, agitado por 5 minutos em um agitador do Laboratório de Fundição da UFRGS (LAFUN), sendo pesado o material retido na peneira de 4,75 mm (0,140 kg) e o material passante nesta peneira (0,088 kg), totalizando o somatório de 0,228 kg e uma perda de 0,001 g. Com o peso resultante do material passante na peneira de malha calcula-se o percentual das partículas passantes na peneira 4,75mm, determinando a natureza física do composto.

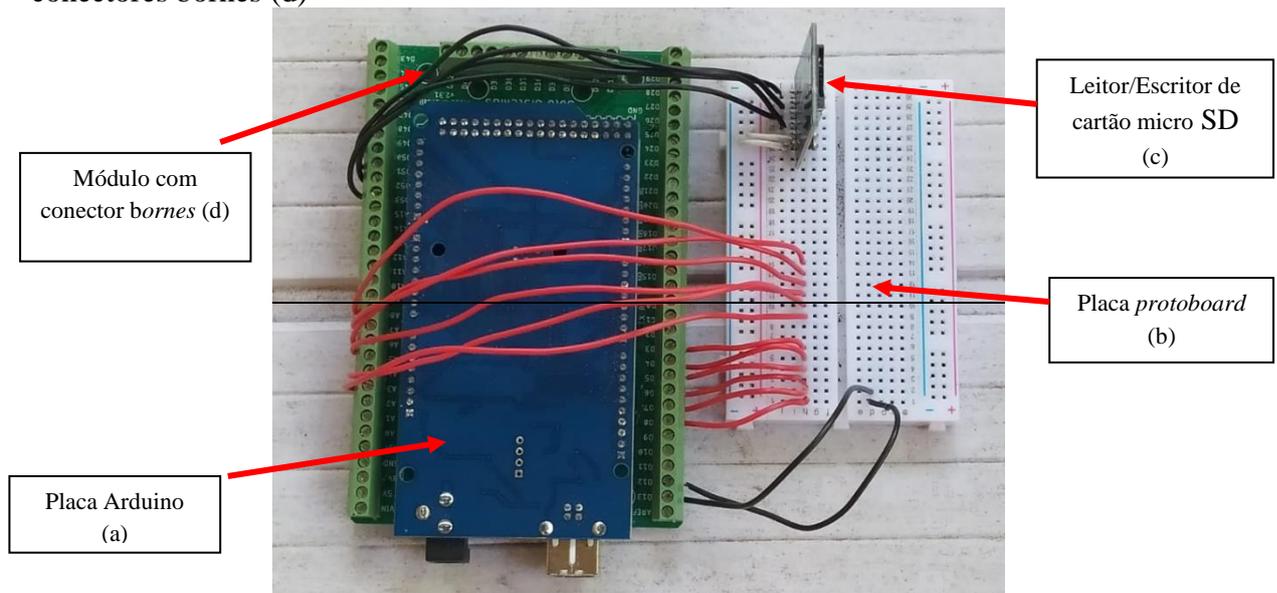
3.2.2.1 Sistema de automação

O sistema de automação é o conjunto composto por uma placa Arduíno, um relé e um soprador. A placa Arduíno é responsável por fazer a temporização do motor (Figura 29), impedindo-o de ficar ligado ou desligado indefinidamente. Para determinar a automação do processo, foram estabelecidas condições de tempo de funcionamento dos motores.

As condições estabelecidas para o funcionamento do sistema de automação são de que nos 7 dias iniciais o motor ligue 5 minutos e desligue 30 minutos, perfazendo um ciclo de 41,1 vezes durante 24 horas. Após os ajustes no sistema de aeração, as condições de liga e desliga do soprador ficaram definidas com 10 minutos com o soprador ligado e 30 minutos com o soprador desligado, totalizando um ciclo diário de liga/desliga de 36 vezes.

A definição destas condições para o funcionamento do processo faz com que o soprador seja ativado através de um relé, injetando ar para dentro do sistema de compostagem. É importante ressaltar que os motores também têm intervalos máximos e mínimos de operação, assegurando que o sistema não receba ar insuflado em demasia dentro da massa, secando o material, nem correndo o risco da compostagem ficar anaeróbica por falta de ar dentro do processo.

Figura 29 – Arduino (a), protoboard (b), módulo leitor/escritor micro SD (c) e módulo com conectores bornes (d)



Fonte: O autor (2022).

3.2.3 Produção do organomineral

A terceira etapa deste trabalho corresponde à produção do organomineral, a partir do composto orgânico produzido através da compostagem por aeração forçada e o pó de rocha de basalto. A análise prévia dos produtos utilizados na compostagem serviu como referência na avaliação de parâmetros físico-químicos, macro e micronutrientes e dos elementos potencialmente tóxicos (Quadro 9), no composto orgânico final. Estas análises possibilitam uma melhor identificação dos percentuais de pó de rocha de basalto a ser adicionado ao

composto orgânico, com a finalidade de produzir um organomineral com características que atenda aos requisitos de qualidade impostos pelas legislações vigentes IN 61 (BRASIL, 2020b), CONAMA 481 (BRASIL, 2017a) e IN 7 da SDA/MAPA (BRASIL, 2016).

Segundo Escosteguy e Klamt (1998), a pequena liberação dos nutrientes das rochas basálticas indica que esses materiais não podem ser utilizados como a principal fonte de nutrientes às plantas. Baseado nesta afirmação limitou-se que o percentual de pó de pedra de basalto a ser misturado no composto orgânico é de no máximo 50% do peso total da amostra. Ehlers e Arruda (2014) aplicaram pó de rocha misturado a compostos turfosos e vermiculita a taxas de 0%, 10%, 20%, 30% e 40%, assim como Tavares (2017) que avaliou a influência da compostagem na disponibilidade de nutrientes com adições de 5 e 10% de pó de rocha, mais uma análise de controle com 0% de pó de rocha.

Considerando que a quantidade máxima de mineral a ser adicionado no composto orgânico foi estabelecida em no máximo de 50 % do peso total, as demais proporções definiram-se baseadas nos estudos de Ehlers e Arruda (2014) e Tavares (2017), por tanto os percentuais de pó de pedra basáltica adotados no estudo são: 0%, 6,25%, 12,5%, 25,0%, 37,5% e 50 %. As proporções entre o pó de rocha e o composto orgânico ficaram definidas como: 0% de pó de pedra de basalto (PPB) e 100% de composto orgânico (CO); 6,25% de pó de pedra de basalto (PPB) e 93,75% de composto orgânico (CO); 12,5% PPB e 87,5% CO; 25% PPB e 75% CO; 37,5% de PPB e 62,5% de CO e 50% PPB e 50% CO.

Os materiais foram misturados, pesados em uma balança digital (marca Toledo, modelo 2098/23, com precisão de 1 g), conforme as proporções definidas, ficando em repouso por 10 dias, em vasos plásticos com capacidade de 2 kg, com a finalidade de garantir uma ampla homogeneização do composto organomineral. Posteriormente, foi retirada uma amostra de cada recipiente, quarteadas conforme a NBR 10.007 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) até atingir o peso máximo de aproximadamente 300 gramas, e, encaminhadas para o laboratório para realização das análises físico-químicas dos macros e micronutrientes e dos elementos químicos potencialmente tóxicos existentes no composto organomineral. A análise biológica do organomineral só foi realizada na amostra de 50% PPB e 50% CO.

De posse dos resultados dos parâmetros analisados no produto organomineral final, comparou-se as diferentes misturas e definiu-se qual foi a melhor taxa de aplicação do pó de pedra basáltica na fração orgânica dos RSU e das macrófitas, baseado nos macros e micronutrientes presentes no fertilizante, na proporção do NPK e somatório do NPK e nas análises biológicas.

A seguir foi analisado se o composto organomineral produzido, com a melhor proporção de pó de pedra de basalto e de composto orgânico atendeu os padrões fixados pela legislação, assim como a viabilidade econômica do composto organomineral.

3.2.4 Análise de viabilidade econômico-financeira para produção do composto organomineral

Para a análise da viabilidade econômico-financeira do empreendimento determinou-se os dados de entrada necessários para o dimensionamento e implantação de uma unidade de compostagem por aeração forçada, as estimativas de receitas e despesas que o processo demandará, tanto para os investimentos iniciais quanto para os valores anuais demandados para a manutenção das atividades. Dentre os valores estimados estão os investimentos com a construção civil, maquinário e equipamentos e custos com a operação e manutenção do sistema proposto para a produção de um composto organomineral e as despesas com funcionários, impostos, preços de vendas e as receitas obtidas com as vendas do composto organomineral produzido. Determinados os parâmetros descritos, definiram-se os indicadores econômicos que serão avaliados, para verificar a viabilidade econômico-financeira do empreendimento.

3.2.4.1 Investimentos, custos e despesas com a implantação do sistema de compostagem por aeração forçada

Nesta fase adotou-se que a quantidade total de matéria orgânica a ser compostada fica restrita à capacidade de recebimento da mistura da fração orgânica dos resíduos da coleta domiciliar e das macrófitas "*Pistia Stratiotes*" no galpão de produção do composto orgânico. A área da unidade é de 3260,18 m², cujas dimensões são de 80,3 m de comprimento, 40,6 m de largura e 8,00 metros de pé direito. Outra unidade considerada como investimento é o galpão para a produção do composto organomineral, cuja área está relacionada diretamente com a geração do produto final, sendo que o período de recebimento dos materiais é de segunda-feira a sábado.

O levantamento dos investimentos com o maquinário e custos com equipamentos e manutenção basearam-se na capacidade de produção da unidade, assim como o dimensionamento do número de funcionários e as despesas administrativas e laboratoriais. Nesta etapa também foi definida a depreciação dos maquinários, adotando como a vida útil

dos mesmos em dez anos. A depreciação das construções civis não foi considerada neste trabalho, assim como o custo do terreno, visto que este pertence ao poder público.

Como premissas adotadas nesta pesquisa, tem-se como taxa de manutenção da infraestrutura, 1% do custo da construção civil, os valores para as licenças ambientais, conforme o porte do empreendimento e seu potencial poluidor de acordo o órgão ambiental, a manutenção dos maquinários, 2,5% dos valores dos investidos para adquirir as máquinas e as despesas com marketing, 0,5% da receita bruta de venda do produto.

3.2.4.2 Receitas e impostos com a venda do composto organomineral

Com a definição de que a atividade do empreendimento é a compostagem, baseado na legislação, Lei Federal nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010a), definiu-se os impostos sobre a venda dos produtos. Considerando o fator de redução de 42% no fim do processo de compostagem, após 60 dias, a produção diária do composto organomineral é de 15,70 t/dia, o equivalente a 4898,40 t/ano. Partindo do pressuposto que serão vendidas 4000 t/ano do produto a granel e 898,40 t/ano no varejo, ensacado, calculou-se a receita do produto com base na pesquisa de preços em lojas, fornecedores e trabalhos consultados. Os tributos aplicados com as vendas do produto foram calculados considerando um percentual de venda bruta, condizentes com os impostos cobrados pelo governo.

3.2.4.3 Indicadores econômicos

Existem diversos indicadores para realizar a viabilidade econômico-financeira de um projeto, sendo que os mais utilizados são o Valor Presente Líquido (VPL), *Payback*, Taxa Interna de Retorno (TIR), Índice de Lucratividade (IL). Os indicadores expressam a viabilidade ou não de um empreendimento de acordo com os valores que assumem (IUDÍCIBUS, 2008). É na etapa de análise de indicadores que o investidor irá descobrir se o investimento deve ou não ser realizado, pois após a avaliação dos mesmos, será possível identificar a viabilidade e a expectativa de lucros e o tempo necessário para recuperar o total investido (IUDÍCIBUS, 2008). Para que seja possível definir a realização de investimento financeiro será aplicado o método de identificação dos fluxos de caixa, como o Valor Presente líquido (VPL), que é um dos métodos mais utilizados. O VPL é um método que traz todos os fluxos de caixa de um projeto para a data zero e adiciona este ao valor do investimento inicial,

usando como a taxa de desconto a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), de cada atividade (WASKOW, 2019).

Segundo Clemente *et al.* (2002), a fórmula para o cálculo do VPL é a seguinte:

$$VPL = FC0 + \frac{FC1}{(1 + TMA)^1} + \frac{FC2}{(1 + TMA)^2} + \dots + \frac{FCn}{(1 + TMA)^n} \quad (6)$$

Sendo que FC representa o fluxo de caixa líquido da empresa no momento, TMA, a Taxa de Atratividade Mínima, calculada de acordo com o período do financiamento, a uma taxa determinada, conforme o contexto proposto para a empresa.

Um valor presente líquido (VPL) positivo indica que os ganhos projetados gerados por um projeto ou investimento excedem os custos previstos. Supõe-se que um investimento com um VPL positivo será rentável e um investimento com um VPL negativo resultará em uma perda líquida. Esse conceito é a base da regra de valor presente líquido, que determina que apenas investimentos com valores positivos de VPL devem ser considerados (CLEMENTE *et al.*, 2002).

Para um VPL positivo é imprescindível que a Taxa Interna de Retorno do empreendimento (TIR) seja maior que a Taxa Média de Atratividade (TMA) da atividade. A TIR é um dos principais indicadores econômicos na definição de empreender, pois quanto maior a TIR de um projeto, mais interessante é investir no projeto.

A TIR pode ser calculada conforme a equação 7:

$$TIR = \sum_{t=1}^t VPL = \frac{FCL_t}{(1 + i)^t} - I_i = 0 \quad (7)$$

Onde:

Ii: Investimento inicial total.

i: Taxa de Atratividade Mínima

O tempo necessário para recuperar o custo de um investimento é calculado pelo *Payback*, sendo que este método determina o número de períodos necessários para recuperar o capital investido. Segundo Oliveira Neto *et al.* (2017), o *Payback* é um critério de avaliação de risco e a sua análise de período é fundamental, principalmente para setores em que os

investimentos desvalorizam rapidamente e pode ser calculado conforme a equação 8, onde divide-se o investimento inicial pelo somatório dos fluxos de caixa anual:

$$PB = \frac{\textit{InvestimentoInicial}}{\sum FC_{ano}} \quad (8)$$

Outro indicador importante para a tomada de decisão é o Índice de lucratividade, pois tem como objetivo demonstrar qual a rentabilidade dos capitais investidos em determinado empreendimento. Este índice representa a relação entre os custos e os benefícios de um projeto e permite que os investidores quantifiquem o valor criado por cada unidade de investimento, à medida que o valor do índice de rentabilidade aumenta, aumenta a atratividade financeira do projeto proposto (BORDEAUX-RÊGO *et al.*, 2009).

A análise da rentabilidade pode ser considerada como uma das mais importantes para a análise das demonstrações financeiras, pois seu objetivo é apresentar o retorno do capital investido e identificar as razões que levaram a esta taxa de rentabilidade (PADOVEZE; BENEDICTO, 2004).

O índice de Lucratividade é determinado através da razão entre o Lucro Operacional e a Receita Bruta. Ao utilizar esta taxa é fundamental observar que este método desconsidera o tamanho do projeto, pois projetos com entradas de caixas maiores podem resultar índices de lucratividades mais baixos, pois suas margens de lucro não são tão altas (CLEMENTE *et al.*, 2002).

3.2.5 Análise de quais são os objetivos do desenvolvimento sustentável que podem ser atendidos com a produção do composto organomineral

O organomineral produzido oportunizará a realização de uma análise para verificar quais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), dentre os 17 existentes e as suas 169 metas, são atingidos com a produção de um composto resultante de três materiais oriundos de impactos causados pela ocupação humana, a fração orgânica dos resíduos oriundos da coleta domiciliar, as macrófitas *Pistia Stratiotes* e o pó de rocha basáltica. Esta análise proporciona a comparação entre as inúmeras metas dos ODS e as diferentes fases de produção do composto organomineral a partir da sua fase inicial com a segregação da matéria orgânica, coleta e proliferação das macrófitas, produção e o aproveitamento do pó de pedra

basáltica, produção do composto orgânico e organomineral, geração de empregos e renda, redução de impactos ambientais, culminando com a aplicação do fertilizante organomineral no solo, proporcionando a melhoria na qualidade deste e o aumento da produção agrícola.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são descritos e analisados os resultados obtidos: a definição da área de estudos selecionada; a caracterização das macrófitas aquáticas, a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos e do rejeito de mineração; a produção do composto produzido através da técnica de compostagem por aeração forçada, em escala piloto; a quantidade ótima da mistura entre o pó de pedra de basalto e a fração do composto proveniente da compostagem por aeração forçada; a qualidade do composto organomineral produzido, verificando se este atende à legislação para a aplicação na agricultura; a viabilidade econômico-financeira da produção do composto organomineral e quais Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são atendidos com a produção do organomineral.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido na Região Metropolitana de Porto Alegre no Rio Grande do Sul, utilizando resíduos/fonte de matéria orgânica dos municípios de Porto Alegre, Viamão e o pó de pedra, resultante da britagem do basalto no município de Campo Bom.

Esta etapa consistiu em duas fases. Na primeira fase, através de análise documental, verificou-se que no município de Porto Alegre há dois importantes reservatórios que recebem esgotos domésticos urbanos sem tratamento, o reservatório Mãe D'água e o Reservatório Lomba do Sabão (Figura 30a). O reservatório Represa Mãe D'água, situado na divisa dos municípios de Porto Alegre e Viamão e com área aproximada de 2,2 ha, localizado na vertente Sul/Sudeste do morro Santana, onde se encontra a Vila Santa Isabel (Viamão) e o Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Porto Alegre). De acordo com os dados levantados do Plano Municipal de Saneamento Básico de Porto Alegre (2015) e Plano Municipal de Saneamento Básico de Viamão (2014), o local não possui redes coletoras de esgotos sanitários. A urbanização da região, segundo Cardoso (2011), tem origem na década de 1950 com a formação dos primeiros loteamentos, sendo que atualmente o reservatório encontra-se bastante degradado, pois recebe as águas sem tratamento de parte da cidade de Viamão.

O reservatório Represa Lomba do Sabão tem uma área de contribuição à represa de 1,428 ha e está localizada na divisa dos municípios de Viamão e Porto Alegre. A urbanização em seu entorno, nas últimas três décadas, proporcionou um aumento considerável da carga de nutrientes, matéria orgânica e sólidos em suspensão em suas águas, o que acelerou o processo

de eutrofização da represa, demonstrado pela maior ocorrência de florações de fitoplâncton e pela presença de macrófitas aquáticas (MAIZONAVE *et al.*, 2005).

Concomitante à análise documental, realizaram-se visitas aos municípios de Porto Alegre, Viamão e Novo Hamburgo com a finalidade de conhecer e delimitar as áreas de estudos para a coleta das macrófitas e da fração orgânica dos RSU. Inicialmente foram visitados os reservatórios, Represa Lomba do Sabão e Represa Mãe D'água (UFRGS), ambos na divisa entre os municípios de Viamão e Porto Alegre para a coleta de macrófitas. Com a finalidade de extrair a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, foram visitadas a Unidades de Triagem Roselândia em Novo Hamburgo e a Unidade de Transbordo Lomba do Pinheiro, em Porto Alegre. Quanto ao pó de rocha utilizado, é proveniente de uma jazida de basalto situada no Município de Campo Bom.

Baseado nas imagens do Google Earth de 08 de julho de 2020 e visitas aos dois reservatórios, delimitou-se como área de estudo para a coleta de macrófitas o Reservatório Represa Lomba do Sabão, devido as suas condições ambientais, ao seu maior volume de água e sua importância para a região.

As macrófitas foram coletadas no reservatório Represa Lomba do Sabão, divisa dos municípios de Viamão e Porto Alegre, aproximadamente 4,7 km do Centro de Tecnologia (CT) onde está o Laboratório de Estudos Ambientais para a Metalurgia (LEAMet) da UFRGS e a planta piloto onde foi desenvolvida a pesquisa.

O reservatório Lomba do Sabão (Figura 30a), objeto deste estudo está localizado no Parque Natural Municipal Saint'Hilaire, sendo este uma Unidade de Conservação da Natureza, zona leste de Porto Alegre. Este reservatório originou da inundação de uma área de várzea, após um processo de desapropriação, por volta de 1942, época que foi construída a Estação de Tratamento de Água (ETA) da Lomba do Sabão, que abastecia os bairros Glória, Teresópolis e Partenon nas décadas de 50 e 60 (DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO, 1992). A represa é alimentada por seis sub-bacias de arroios de pequeno porte, situados nos municípios de Porto Alegre e Viamão. As sub-bacias localizadas em Porto Alegre são as do arroio Vitorino e do arroio Taquara e as sub-bacias situadas em Viamão são as do arroio Dilúvio, no qual a infraestrutura urbana se desenvolveu junto as nascentes, do arroio Pequeno, arroio Casa Velha e arroio Sem Nome. Segundo Maizonave *et al.*, 2000, a área de contribuição à represa é de 1,428 ha, tendo uma ocupação de 24.000 habitantes, o volume médio do reservatório de 2.935.342 m³ e o tempo médio de detenção das águas é de 380 dias.

Figura 30 – Reservatório Represa Lomba do Sabão (a) e Unidade de Transbordo do DMLU (b)



a

Fonte: O autor (2019).

b

Fonte: O autor (2020).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS MACRÓFITAS AQUÁTICAS, DA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E DO REJEITO DE MINERAÇÃO

Esta etapa consiste em uma fase preliminar que é a caracterização das macrófitas, da matéria orgânica e do rejeito de mineração, definido como pó de pedra de basalto, com a finalidade da produção de um composto organomineral.

4.2.1 Etapa preliminar

Com a finalidade de caracterizar as macrófitas e a fração orgânica dos RSU e definir a porcentagem da mistura entre a fração orgânica dos RSU e das macrófitas, foram coletadas amostras de macrófitas na represa Lomba do Sabão (reservatório que recebe esgotos domésticos urbanos sem tratamento) no turno da manhã do dia 13 de julho de 2021, e amostras da fração orgânica do RSU na Unidade de Triagem do DMLU, no turno da tarde do dia 14 de julho de 2021, a fim de serem analisados o percentual de Carbono, Nitrogênio, a Relação C/N e a densidade de cada material coletado e definir a proporção de cada material na mistura, calculada pelas equações propostas por Graves *et al.* (2010). Nesta etapa houve a caracterização de cada um dos materiais utilizados no processo de produção, inicialmente a produção do composto orgânico e posteriormente a produção do composto ou fertilizante organomineral.

4.2.1.1 Coleta e caracterização das amostras das macrófitas

As macrófitas, escolhidas por se encontrarem em maior quantidade e em melhores condições, no reservatório, foram as macrófitas denominadas *Pistia Stratiotes*, coletadas em dois pontos, sombreados, da represa Lomba do Sabão, nas imediações do vertedouro da barragem cujo nível era de 1,60 metros, no turno da manhã do dia 13 de julho de 2021 e cuja temperatura média no local estava em 14,5°, sendo a umidade do ar de 91% (Tabela 3).

Tabela 3 – Temperatura e umidade no dia das coletas das amostras das macrófitas

13/07/2021		
Hora	Temperatura °C	Umidade %
08:00	13,8	94
09:00	13,9	94
10:00	14,1	93
11:00	14,7	89
12:00	16,2	85
Média	14,5	91

Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (2021).

As macrófitas *Pistia Stratiotes*, conhecidas popularmente como alface d'água, flor d'água, golfo, mureré e repolho d'água é nativa da América Tropical sendo que sua floração é na primavera e verão e a sua frutificação em outubro. Está espécie é da família Araceae, sendo uma herbácea flutuante livre que cresce em lagoas, arroios de águas tranquilas, podendo sobreviver enraizada em períodos de pouca água. É o habitat de invertebrados e pequenos peixes. Esta planta, se ingerida é tóxica, podendo causar náuseas, ardor, vômitos e diarreias, pois contém cristais de oxalato de cálcio (SILVEIRA, 2020).

Para coleta foi utilizado um limpador de piscina, cujo cabo possui extensores de alumínio, atingindo uma distância máxima de 04 metros e na ponta uma peneira plástica, um balde, balança, sacos plásticos cristal transparente e adesivo (Figura 31).

Figura 31 – Equipamentos utilizados para a coleta das macrófitas



Fonte: O autor (2021).

As macrófitas foram coletadas a uma distância da margem de aproximadamente três metros (Figura 32). Após a coleta das amostras, as mesmas foram dispostas em um balde (Figura 31), pesadas, ensacadas, devidamente identificadas e encaminhadas para o laboratório, em duas amostras, sendo que a amostra um (01) pesou 0,550 kg e a amostra dois (02) 0,580 kg.

Figura 32 – Coleta das macrófitas na represa Lomba do Sabão



Fonte: O autor (2021).

As amostras encaminhadas ao laboratório foram transformadas em uma amostra composta, sendo que os parâmetros submetidos à análise foram: Carbono Orgânico, Nitrogênio total, a relação Carbono/Nitrogênio e a densidade cujos resultados estão apresentados na Tabela 4.

Conforme o resultado da análise laboratorial das amostras das macrófitas (Tabela 4), coletadas de 13 de julho de 2021, as macrófitas aquáticas se caracterizam pelo seu teor de Carbono Orgânico resultando em 2,4%, o Nitrogênio Total em 0,3% e a relação Carbono/Nitrogênio em 8,0, enquanto a densidade foi de 0,9745 g/ml. Estes resultados foram utilizados para definir a proporção da mistura entre as macrófitas e a fração da matéria orgânica.

Tabela 4 – Resultados das análises físico-química das macrófitas *Pistia stratiotes*

Parâmetro	Resultado/Unidade	Limites de detecção	Método
Carbono Orgânico	2,4 %	0,01	Volumétrico
Nitrogênio Total	0,3 %	0,01	Liga de Raney
Carbono/Nitrogênio	8,0	-	MAPA IN 37 - Cálculo
Densidade	0,9745 g/ml	0,010%	ASTM – D291

Fonte: O autor (2021).

Os resultados dos parâmetros analisados foram obtidos através dos métodos solicitados pela IN 37 do MAPA de 13 de outubro de 2017 (BRASIL, 2017c) e calculados conforme o Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos (BRASIL, 2017b), sendo que a densidade foi calculada através da ASTM – D291.

4.2.1.2 Coleta e caracterização das amostras do resíduo sólido urbano

Para a coleta das amostras do RSU foram utilizados equipamentos de segurança como botina, capacete, colete, máscara, luvas e álcool gel. Outros equipamentos utilizados na coleta foram pá, balde, manta plástica para forrar o solo, a fim de evitar contaminação, balança portátil, sacos plásticos cristal transparente, adesivo e uma prancheta.

As amostras da fração orgânica dos RSU foram coletadas na Unidade de Transbordo Lomba do Pinheiro, sob a gestão do Departamento de Limpeza Urbana do Porto Alegre (DMLU), localizada a aproximadamente 5,7 km do LEAmet da UFRGS. A coleta da fração

orgânica para a etapa preliminar foi realizada no dia 14 de julho de 2021, no turno da tarde, cuja temperatura média no local era de 20,1° e a umidade média do ar de 68,8% (Tabela 5).

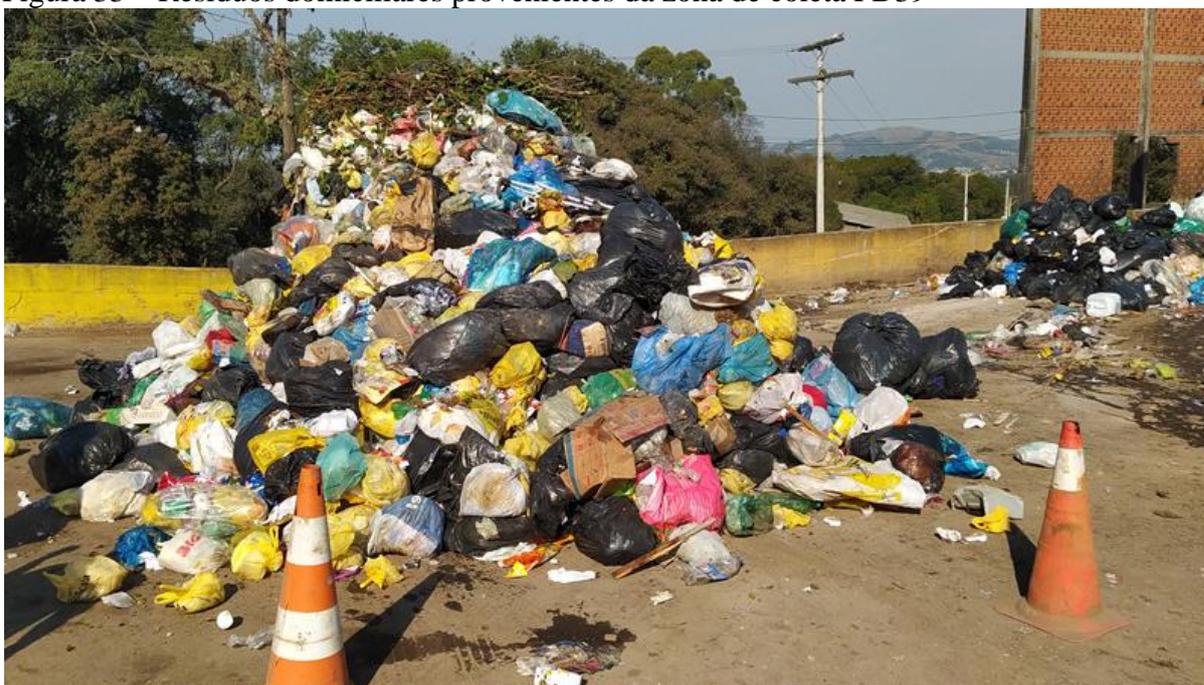
Tabela 5 – Temperatura e umidade do ar no dia da coleta dos RSU

14/07/2021		
Hora	Temperatura °C	Umidade %
13:00	18,8	77
14:00	21,3	68
15:00	18,4	75
16:00	19,8	67
17:00	20,7	63
Média	20,1	68,8

Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (2021).

As amostras coletadas foram extraídas dos resíduos (Figura 33) recolhidos pelo caminhão compactador, escolhido aleatoriamente, sendo que o percurso é o PD39 (Bairro Lomba do Pinheiro), segundo o DMLU, e refere-se a uma área de coleta dos RSU na cidade de Porto Alegre, nos dias pares durante o dia (PD). O mencionado percurso de coleta (Figura 34) trata-se de uma região cuja classe econômica se classifica em Classe Baixa. O caminhão, escolhido, tinha uma massa líquida de 7.610 kg de RSU, sendo que a fração da matéria orgânica coletada foi extraída das sacolas plásticas (Figuras 33 e 35) coletadas do trajeto PD39 (Figura 34). Com o volume de matéria orgânica extraído do RSU coletado da área PD39, foi executado o quarteamento da matéria orgânica, conforme a NBR 10.007 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). O quarteamento foi realizado em 04 etapas, ou seja, 04 quarteamentos, sendo que no último foram recolhidas duas amostras, acondicionadas em sacolas plásticas, devidamente identificadas, pesadas e encaminhadas ao laboratório Pró-Ambiente Análise Químicas e Toxicológicas Ltda, para serem analisados os parâmetros: Carbono orgânico, Nitrogênio Total, a relação C/N e a densidade.

Figura 33 – Resíduos domiciliares provenientes da zona de coleta PD39



Fonte: O autor (2021).

Figura 34 – Croqui da Zona de Coleta PD 39 (Bairro Lomba do Pinheiro)



Fonte: Cedido pelo Departamento Municipal de Limpeza Urbana (2021).

Figura 35 – Coleta da fração orgânica dos RSU



Fonte: O autor (2021).

A amostra um (01), resultou em 2,462 kg, e a amostra dois (02), 2,105 kg, foram encaminhadas ao laboratório, quarteadas mais uma vez e transformadas em amostras compostas antes das análises dos parâmetros citados anteriormente. Os resultados dos parâmetros analisados foram obtidos através dos métodos solicitados pela IN 37 do MAPA de 13 de outubro de 2017 (BRASIL, 2017c) sendo que a densidade foi calculada através da ASTM – D291 (Tabela 6).

Conforme os resultados da análise laboratorial das amostras da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (Tabela 6), coletadas de 14 de julho de 2021, o Carbono Orgânico resultou em 10%, o Nitrogênio Total em 0,3% e a relação C/N em 33,3, enquanto a densidade foi de 1,0205 g/ml. Os resultados foram obtidos através dos métodos solicitados pela IN 37 do MAPA de 13 de outubro de 2017 (BRASIL, 2017c) e calculados conforme o Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos (BRASIL, 2017b), sendo que a densidade foi calculada através da ASTM – D291.

Tabela 6 – Resultados das análises físico-química da fração orgânica do RSU

Parâmetro	Resultado/ Unidade	Limites de detecção	Método
Carbono Orgânico	10,0 %	0,01 %	Volumétrico
Nitrogênio Total	0,3 %	0,01 %	Liga de Raney
Carbono/Nitrogênio	33,3	-	MAPA IN 37 - Cálculo
Densidade	1,0205 g/ml	0,010%	ASTM – D291

Fonte: O autor (2021).

4.2.1.3 Coleta e caracterização da amostra do pó de rocha de basalto

O rejeito de mineração de basalto, denominado pó de rocha, foi coletado de uma pedreira de basalto, no município de Campo Bom (Figura 38), na RS 239, localizada a aproximadamente 45 km de onde está instalada a planta piloto, local onde está sendo desenvolvida a pesquisa. Esta pedreira de basalto, tem produção mensal de pó de pedra de aproximadamente 9 t/mês, 20% do total de sua produção. A amostra foi extraída, de diferentes locais de uma pilha de pó de pedra (Figura 36), de aproximadamente 10 metros de altura, com uma pá (Figura 37). Após a coleta, esta amostra foi misturada, acondicionada em um saco plástico cristal transparente, devidamente identificada e transportada para ser encaminhada ao laboratório a fim de realizar as análises dos seguintes parâmetros: Alumínio, Cálcio Total, Ferro Total, Magnésio, Manganês, Potássio e Sílica que foram obtidos através de ensaios por espectrometria de absorção atômica, enquanto o Fosforo Total em P_2O_5 pelo ensaio de gravimetria.

Figura 36 – Pilha de pó de pedra de basalto



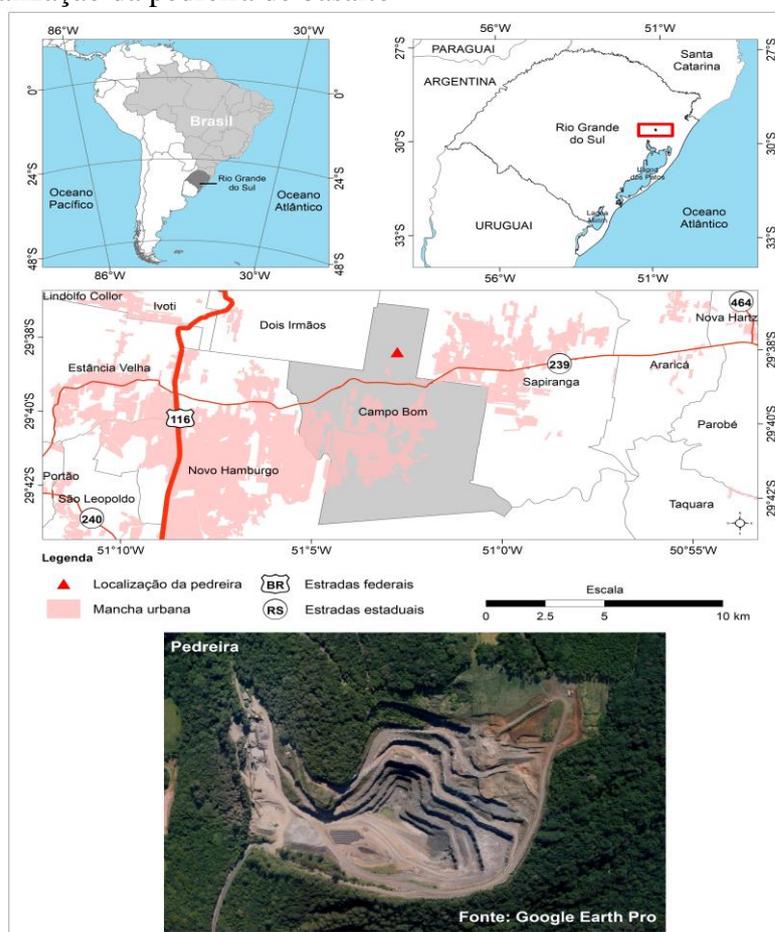
Fonte: O autor (2021).

Figura 37 – Coleta de pó de pedra de basalto



Fonte: O autor (2021).

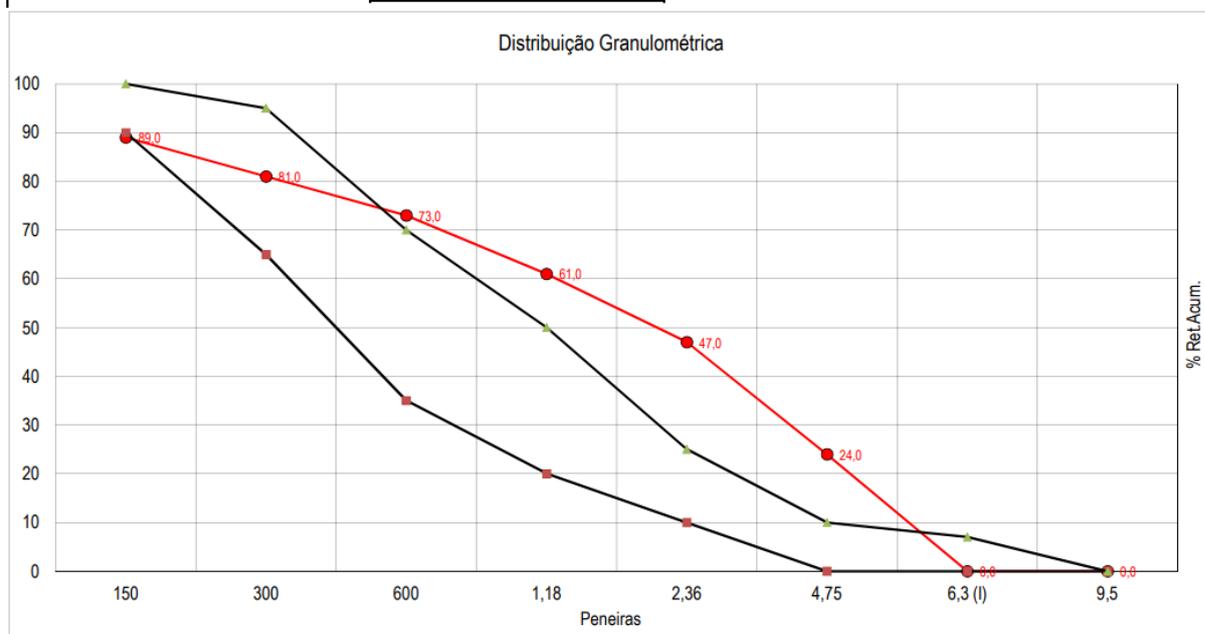
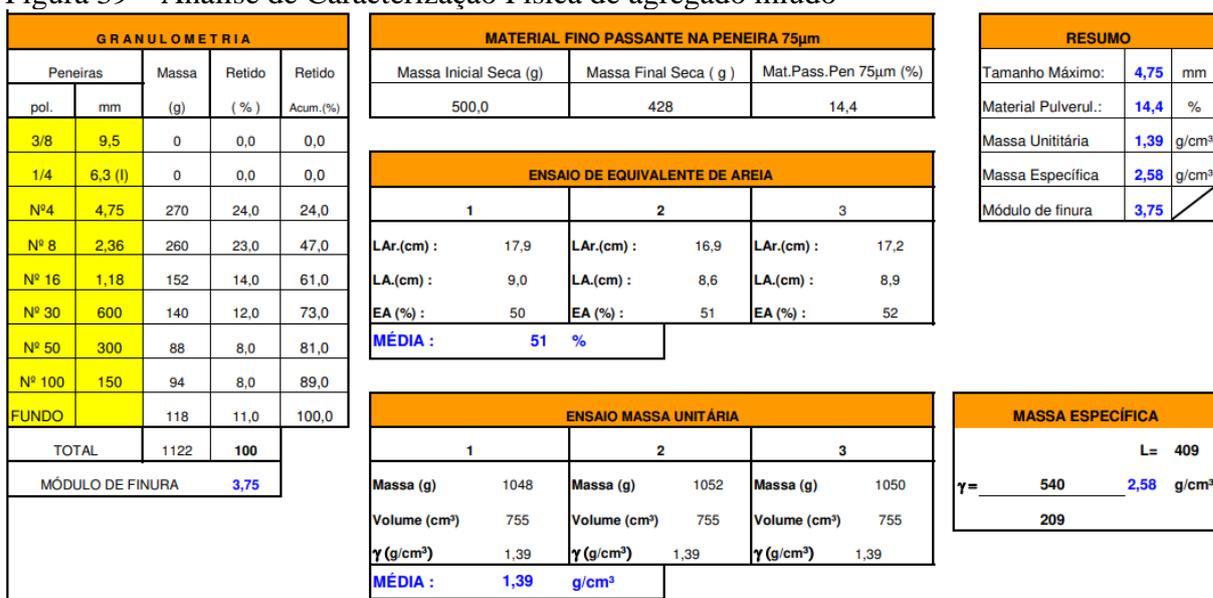
Figura 38 – Localização da pedreira de basalto



Fonte: Elaborado pelo autor com informações coletadas no Laboratório de Geoprocessamento (UFRGS)

As características básicas, do pó de pedra de basalto coletado, estão analisadas na caracterização de agregado miúdo (Figura 39). Esta análise apresenta os resultados de um ensaio nos agregados miúdos, resultante do beneficiamento do agregado de basalto de uma pedreira localizada em Campo Bom (Figura 38), onde apresenta um quadro resumo, no qual o tamanho máximo do agregado miúdo é 4,75 mm, sendo este correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada, igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. O material pulverulento é 14,4% e, segundo a NBR NM 46:2003 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a), este material consiste na quantidade de material fino que passa na peneira de 0,075 mm, por lavagem; massa unitária é igual a 1,39 g/cm³ e de acordo com a NBR NM 45:2006 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), é relação entre a massa do agregado lançado no recipiente, conforme o estabelecido nesta norma e o volume desse recipiente, considerando-se os vazios entre os grãos. A massa específica, segundo a NBR NM 52:2009 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), é a relação entre massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis sendo que nesta amostra é igual a 2,58 g/cm³, enquanto o módulo de finura, soma das porcentagens retidas acumuladas em massa nas peneiras de série normal, dividida por 100 é de 3,75. Como o tamanho máximo do material é de 4,75mm (Figura 39), ele se caracteriza como agregado miúdo (pó de pedra), pois o seu diâmetro máximo é de 4,8 mm (NBR NM 248:2003) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b). O pó de rocha, considerado pela mineradora como nomenclatura de venda, está dentro da granulometria do agregado miúdo.

Figura 39 – Análise de Caracterização Física de agregado miúdo



Fonte: Cedida por Mineração Vera Cruz (2021).

Os demais parâmetros analisados foram complementados com as análises físico-químicas, após a coleta do pó de rocha de basalto *in loco*, em laboratório credenciado pelo MAPA.

Tabela 7 – Resultados das análises laboratoriais do pó de rocha de basalto

Parâmetro	Resultado/ Unidade	Limites de deteccção	Método
Alumínio	9,21 %	0,095 %	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Cálcio Total	8,24 %	0,001%	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Ferro Total	6,57 %	0,036 %	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Fósforo Total em P ₂ O ₅	0,33 %	0,01%	Gravimetria
Magnésio	4,61 %	0,027 %	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Manganês	0,04 %	0,008 %	Espectrofotometria de Absorção Atômica
pH (1:5 em sol. CaCl ₂ 0,01mol/L)	8,34	0,01	Em Fertilizantes: MAPA - IN 37
Potássio	0,06 %	0,016%	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Sílica	58,85 %	0,01%	Espectrofotometria de Absorção Atômica

Fonte: O autor (2021).

Conforme o resultado da análise laboratorial (Tabela 7) das amostras de pó de rocha de pedra basáltica coletado em 14 de dezembro de 2021 (Figuras 36 e 37), a rocha caracteriza-se com os teores de Alumínio de 9,21%, 8,24% de Cálcio Total, 6,57% de Ferro Total, 0,33% de Fósforo Total em P₂O₅, 4,61% de Magnésio, 0,04% de Manganês, 0,06% de Potássio, 58,85% de Sílica (SiO₂) sendo 27,51% de Silício e pH básico de 8,34.

Os resultados dos parâmetros analisados: Alumínio, Cálcio Total, Ferro Total, Magnésio, Manganês, Potássio e Sílica foram obtidos através de ensaios por espectrometria de absorção atômica, enquanto o Fósforo Total em P₂O₅ foi através de gravimetria e o pH, através do método potenciométrico, conforme consta na IN 37 do MAPA de 13 de outubro de 2017 (BRASIL, 2017c).

4.3 PRODUÇÃO DO COMPOSTO ORGÂNICO RESULTANTE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E DAS MACRÓFITAS

Esta etapa apresenta a produção do composto orgânico resultante da mistura da fração orgânica dos RSU e das macrófitas denominadas *Pistia Stratiotes*, a sua caracterização e a avaliação deste composto maturado.

4.3.1 Etapa experimental

Esta etapa tem como finalidade a produção do composto orgânico. Após a definição da mistura das macrófitas *Pistia Stratiotes* e da fração orgânica dos RSU, obtida através das equações propostas por Graves *et al.* (2010), partiu-se para a coleta das macrófitas na represa Lomba do Sabão, represa que recebe esgotos domésticos urbanos sem tratamento, e da fração orgânica do RSU na Unidade de Triagem do DMLU, a fim de serem analisadas as propriedades físico-químicas, os macronutrientes, os micronutrientes e os elementos potencialmente tóxicos que poderiam estar incorporados na mistura, antes da fase inicial do processo de compostagem por aeração forçada. Nesta etapa houve o controle do processo de produção do composto orgânico, através da aeração forçada, desde o seu início até atingir fase de maturação do composto.

4.3.1.1 Coleta das macrófitas para a compostagem

As macrófitas foram coletadas no dia 26 outubro de 2021, no turno da manhã, a uma temperatura média de 20,6°C e a umidade média do ar de 60% (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2021), em dois pontos da represa Lomba do Sabão (Figura 44), sendo o ponto 1, próximo da antiga captação de água cujas Coordenadas UTM do Fuso 22 são: latitude 6671899,61m S e longitude 489323,40 m E, e o ponto 2, nas imediações do vertedouro, latitude 6671778,42 m S e longitude 489065,98 m E. As coletas foram extraídas a uma distância da margem de aproximadamente três metros, cujo nível da represa era de 1,50 m. Após a coleta das amostras, elas foram colocadas em um balde, pesadas, ensacadas, devidamente identificadas, transportadas e cominuídas (Figura 41), para serem mantidas sob refrigeração, a 4°C, até o momento de realizar a mistura com os RSU, conforme a proporção estabelecida pelas equações propostas por Graves *et al.* (2010).

Figura 40 – Pontos de coleta das macrófitas *Pistia Stratiotes*



Fonte: O autor (2022).

As coletas das macrófitas foram realizadas pelo pesquisador e por um técnico do DMAE, com os mesmos equipamentos utilizados na coleta inicial da etapa preliminar: um limpador de piscina, cujo cabo possui extensores de alumínio, atingindo uma distância máxima de 04 metros e na ponta uma peneira plástica, um balde, balança, sacos plásticos e adesivos.

Os resultados dos parâmetros analisados (Tabela 4) foram obtidos através dos métodos solicitados pela IN 37 do MAPA de 13 de outubro de 2017 (BRASIL, 2017c), conforme estabelece o Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos (BRASIL, 2017b), sendo que a densidade foi calculada através da ASTM – D291. Estes resultados definirão a proporção das macrófitas e da fração orgânica dos RSU com a finalidade de produzir o composto orgânico.

Figura 41 – Local de coleta, pesagem e fragmentação das macrófitas *Pistia Stratiotes*



Fonte: O autor (2021).

4.3.1.2 Coleta do resíduo sólido urbano para compostagem

Para a coleta da fração orgânica dos Resíduos Sólido Urbano (RSU) foram utilizados equipamentos de segurança como botina, capacete, colete, máscara, luvas e álcool gel. Outros equipamentos utilizados na coleta foram pá, balde, capa plástica para forrar o solo, a fim de evitar contaminação, balança portátil (marca VONDER), sacos plásticos cristal transparente, adesivo e uma prancheta.

As frações orgânicas dos RSU foram coletadas na Unidade de Transbordo Lomba do Pinheiro, sob a gestão do DMLU. A primeira coleta foi realizada no dia 27 de outubro de 2021, no turno da tarde, cuja temperatura média no local era de 32,3° e a umidade média do ar de 32,8% (Tabela 8).

Tabela 8 – Temperatura e umidade do ar no dia da coleta

27/10/2021		
Hora	Temperatura °C	Umidade %
14:00	30,2	39
15:00	31,5	37
16:00	33,3	29
17:00	33,3	29
18:00	33,1	30
Média	32,3	32,8

Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (2021).

O material foi extraído dos resíduos coletados de um caminhão, escolhido aleatoriamente, percurso PD39 (Figura 42), conforme o DMLU refere-se a uma área de coleta dos RSU na cidade de Porto Alegre, nos dias pares durante o dia. O trajeto percorrido para a coleta trata-se de uma região cuja classe econômica se classifica em Classe Baixa, conforme Figura 42, sendo que massa líquida de resíduos coletados no dia 27 de outubro de 2021, no trecho PD39 foi de 6.530 kg e a fração orgânica extraída foi de 104,00 kg, sendo destinada para esta pesquisa, 52 kg. Nos dias 10 e 26 de novembro de 2021, houve novas coletas da fração orgânica (Figura 43), sendo que foram direcionados para este trabalho, 75 kg por coleta, totalizando 202 kg da fração orgânica resultante dos RSU.

Os valores dos parâmetros analisados de carbono e nitrogênio, da fração orgânica dos resíduos sólidos para a realização da mistura entre a fração orgânica e as macrófitas, nos dias 10 e 26 de novembro foram considerados os mesmos realizados nas amostras de 27 de outubro de 2021. Estas análises foram calculadas através dos métodos solicitados pela IN 37 do MAPA de 13 de outubro de 2017 (BRASIL, 2017c), sendo que a densidade foi calculada através da ASTM – D291, visto que os diferentes materiais foram extraídos dos mesmos locais. A fração orgânica apresentou um percentual de carbono orgânico de 10%, nitrogênio total de 0,3%, a relação Carbono/Nitrogênio de 33,3 e a densidade de 1,0205 g/mL (Tabela 6).

Com o resultado dos parâmetros analisados, Tabelas 4 e 6, foi calculado, através das equações propostas por Graves *et al.* (2010), a proporção de macrófitas e da fração orgânica dos RSU da cidade de Porto Alegre que deverão fazer parte da mistura a ser compostada por aeração forçada na etapa experimental, com a finalidade de produzir o composto organomineral proposto inicialmente.

Figura 42 – Área onde foram coletados os resíduos sólidos urbanos, PD 39

Figura 43 – Coleta da fração orgânica dos RSU, DMLU



Fonte: O autor (2021).

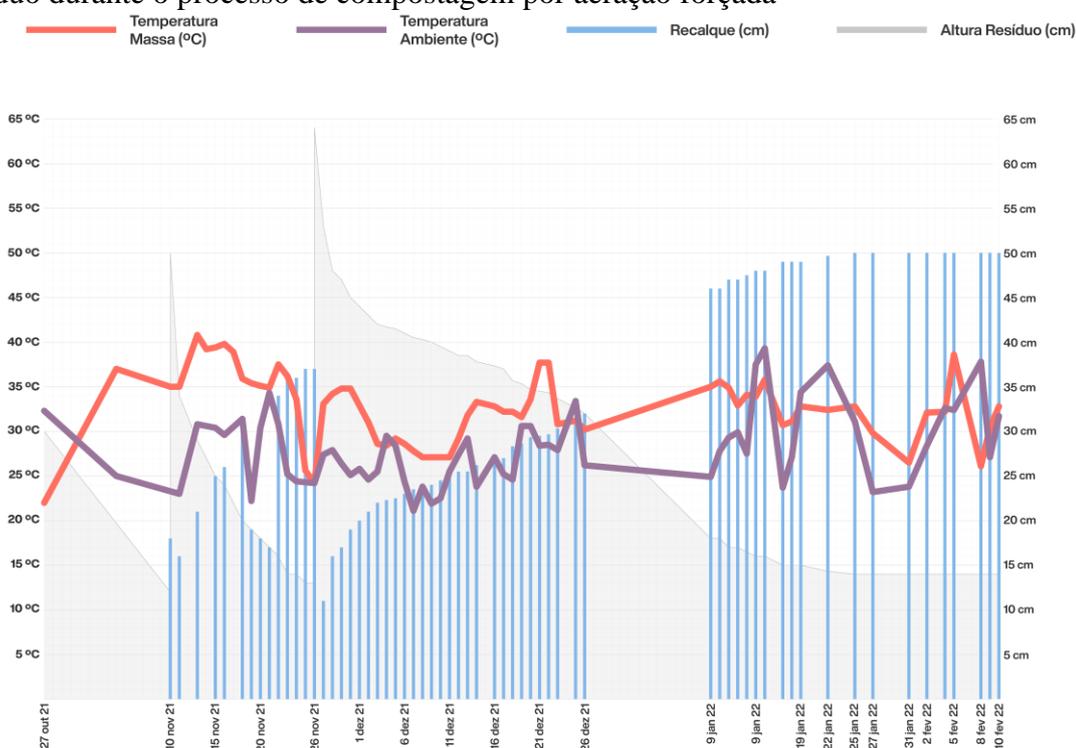
4.3.1.3 Produção, caracterização e avaliação da qualidade do composto orgânico

Após as coletas da parte orgânica dos RSU e das macrófitas *Pistia Stratiotes*, os diferentes materiais foram misturados, considerando a proporção calculada através das equações propostas por de Graves *et al.* (2010), sendo que a relação inicial de C/N da fração orgânica dos RSU é de 33,3, (Tabela 6), e a relação C/N das macrófitas aquáticas *Pistia Stratiotes* é de 8,0. O resultado da proporção entre os dois materiais ficou definida como 93,43% de matéria orgânica e 6,58% de macrófitas aquáticas *Pistia Stratiotes*, sendo adotado na mistura 93% de matéria orgânica e 7% de macrófitas *Pistia Stratiotes*. Definida a proporção, foi inserido na bombona um total de 215,70 kg da mistura, em três ciclos de abastecimento, nos dias 27 de outubro, 10 e 26 de novembro de 2021, utilizando um volume de 163 L, do total de 172 L que ela tinha condições de receber.

O início do monitoramento no processo de compostagem por aeração forçada foi através do controle das temperaturas, umidades e recalques medidos. Entre os dias 27 de outubro e 11 de novembro de 2021, as temperaturas foram registradas por um termômetro INCOTERM L-087/08, sendo que a massa da mistura registrou temperaturas de 22°C, 37°C e 35°C nos dias 27 de outubro, 4 e 11 novembro respectivamente, enquanto as temperaturas ambientes registraram valores de 32,3°C, 25°C e 23°C nas respectivas datas. A partir do dia 13 de novembro as temperaturas do material e do ambiente foram registradas diariamente por um

termo higrômetro e estão apresentadas na Figura 44. Conforme os dados registrados, as temperaturas dentro da massa do composto variaram de 39,8°C, 39,2°, 39,4°C, 39,8°C e 38,9°C entre os dias 13 e 17 de novembro, 3 semanas após o início do processo de compostagem por aeração forçada, enquanto a temperatura ambiente neste período variou entre 30,8°C, 30,4°C, 29,6°C, 31,4°C e 18,3°C. No decorrer do experimento a temperatura da massa da mistura se manteve na faixa dos 25°C a 39,8°C, enquanto a temperatura ambiente variou no intervalo de 18,3°C a 39,3°C.

Figura 44 – Evolução da temperatura na massa da mistura, no ambiente, recalque e altura do resíduo durante o processo de compostagem por aeração forçada



Fonte: O autor (2022).

A umidade ambiente começou a ser monitorada no dia 27 de outubro, sendo que a partir do dia 13 de novembro 2021 foi registrada diariamente por um termo-higrômetro da marca INCOTERM L-087/08, enquanto a umidade do material seco a 65°C, recomendado pelo IN 37 do MAPA, (BRASIL, 2017c) foi determinada pelo método gravimétrico (BRASIL, 2017b), a partir de 27 de outubro de 2021, conforme apresentam a Tabela 9 e a Figura 44.

No período do experimento a umidade ambiente tem uma variação entre 25% no dia 21 de novembro a 91% no dia 14 de dezembro, um dia chuvoso (Figura 45), sendo que a umidade a 65°C teve uma variação de 89,67% no dia 26 de novembro, data da inserção do

último ciclo da mistura na bombona, até 21,6% no dia 25 de fevereiro de 2022. A umidade do composto atingiu 47,22%, ficando abaixo do limite máximo, 50%, estabelecido pela legislação vigente, (BRASIL, 2020b), a partir de 27 de janeiro de 2022, sessenta dias após o início efetivo do processo de compostagem. A umidade ótima para um processo de compostagem varia entre os valores de 50% e 60%, sendo que a aeração tende a diminuir a umidade com o transcorrer do processo (KIEHL, 2004), enquanto teores de umidade baixos, menores do que 40% inibem as atividades microbiológicas, reduzindo a taxa de estabilização e comprometendo a qualidade do composto produzido.

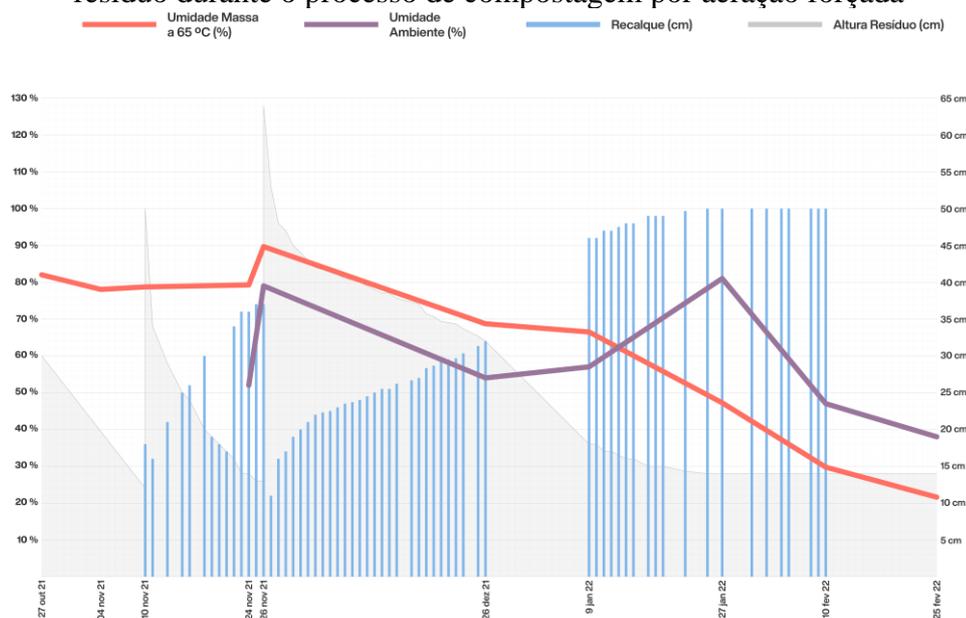
Tabela 9 – Valores do monitoramento das umidades, temperatura e densidade

Parâmetros de Monitoramento					
Coleta	Data da Medição	Umidade a 65°C (%)	Umidade ambiente (%)	Temperatura ambiente (°C)	Densidade (g/mL)
1	27/10/2021	82	33	32,3	0,9083
2	04/11/2021	78,03	54	25	
3	10/11/2021	78,71	40	23	
4	24/11/2021	79,25	52	24,4	
5	26/11/2021	89,67	79	24,2	0,9692
6	26/12/2021	68,7	54	26,2	
7	09/01/2022	66,47	57	24,9	
8	27/01/2022	47,22	81	23,2	0,3877
9	10/02/2022	29,75	47	31,7	
10	25/02/2022	21,6	38	37,5	0,3338
Valores de Referência		50			
		máximo			

*A cor verde significa que os parâmetros estão de acordo dos Valores de Referência (VR), enquanto em vermelho, os parâmetros estão em desacordo com os Valores de Referência (VR).

Fonte: O autor (2022).

Figura 45 – Evolução da umidade na massa da mistura, no ambiente, recalque e altura do resíduo durante o processo de compostagem por aeração forçada



Fonte: O autor (2022).

O recalque do composto em formação foi medido durante todo o processo de compostagem, considerando a medida inicial após a terceira inserção de material, no dia 26 de novembro de 2021, embora já tenham sido inseridas duas vezes a mistura de 93% da fração orgânica dos RSU e 7% das macrófitas, nos dias 27 de outubro e 11 de novembro de 2021. A contar do dia 26 de novembro, onde a altura total da mistura foi de 66 cm, sendo 64 cm a mistura da fração orgânica mais as macrófitas e 2 cm de serragem, no topo do experimento. Os recalques do material foram medidos diariamente, variando de zero no início do processo, 26 de novembro, atingindo 32 cm em 26 de dezembro 2021 e 50 cm em 25 de janeiro de 2022, mantendo-se estável até 25 de fevereiro de 2022. As alturas do composto na bombona durante o processo foi de 66 cm, no início, 34 cm no dia 26 de dezembro de 2021 e 16 cm a partir de 25 de janeiro de 2022, tendo uma redução de volume de 75,76% no período de 60 dias. A partir de 25 de janeiro, o composto manteve uma altura estável, não havendo mais recalques.

Além dos parâmetros analisados anteriormente, também foram monitorados durante todo o processo de compostagem o CO, Nitrogênio Total (N_T), relação N/C, pH e umidade do material a 65°C (Tabela 10). Neste período, os parâmetros N_T , relação C/N e pH atingiram os valores de referências estabelecidos pela IN 61 (BRASIL, 2020b), no dia 26 de dezembro de 2021, trinta (30) dias após ser inserida a última mistura.

Tabela 10 – Parâmetros físico-químicos monitorados durante o processo de compostagem

Coleta	Data da Medição	Carbono Orgânico (%)	Nitrogênio Total (%)	Relação C/N	PH	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Densidade (g/mL)
1	27/10/2021	12,4	0,62	20,00	8,1	82	22	0,9083
2	04/11/2021				8,03	78,03		
3	10/11/2021	8,9	0,59	15,10	4,53	78,71		
4	24/11/2021				5,54	79,25		
5	26/11/2021	6	0,26	23,10	4,08	89,67	24,2	0,9692
6	26/12/2021	12,3	1,1	11,20	7,48	68,7		
7	09/01/2022				7,7	66,47		
8	27/01/2022	19,8	2,2	9,00	8,80	47,22		0,3877
9	10/02/2022				9,07	29,75		
10	25/02/2022	21,6	2,2	9,80	9,41	21,6		0,3338
Valores de Referência		15	0,5	20,00	6,5	50		
		mínimo	mínimo	máximo	mínimo	máximo		

*A cor verde significa que os parâmetros estão de acordo dos Valores de Referência (VR), enquanto em vermelho, os parâmetros estão em desacordo com os Valores de Referência (VR) e em amarelo é o Valor de Referência (VR).

Fonte: O autor (2022).

Durante todo o processo de compostagem o carbono orgânico variou de 12,4% a 21,6, o N_T de 0,62% a 2,2%, a relação C/N de 12,4 a 21,6, o pH de 8,1 a 9,41, e a umidade a 65°C reduziu de 82% para 21,6%.

Segundo Tchobanoglous e Kreith (2002), a proporção ideal de C/N no início de processo de compostagem é cerca de 20 a 25 partes de carbono disponível para 01 parte de nitrogênio. Uma proporção C/N superior a 30/1 pode retardar o processo de compostagem, enquanto proporções muito baixas, relação C/N abaixo de 10/1 pode ocasionar perda de nitrogênio pela volatilização da amônia (KIEHL, 2004). Uma relação C/N aconselhável, 25 a 30/1 é importante para a reprodução microbiana, garantindo a população de microrganismos condições nutricionais e metabólicas não limitantes.³

Na primeira semana de compostagem (Tabela 10), o pH se manteve próximo da neutralidade, mas com características básicas, entre 8,1e 8,03. Após 14 dias do início do processo o pH atingiu valores que variaram entre 4,53, 5,54 e 4,08, ácido, o que ocasiona uma forte redução da atividade microbiana e o composto pode não ter passado para a fase termofílica. O pH aumenta de 4,08 (ácido) para 7,48 (baixo grau de alcalinidade), 30 dias após a última inserção de material, tornando-se um pH alcalino, em torno 8,8, quando o composto atinge a sua maturação, em 27 de janeiro de 2022.

³ Informação obtida no Webinário Desafios no Cenário dos Resíduos Orgânicos e Soluções de Compostagem. Palestra: Cenário dos Resíduos Orgânicos, com o palestrante Mário Augusto Tavares Russo, no dia 04 de maio de 2022.

Os parâmetros avaliados atingiram os valores limites estabelecidos pela legislação vigente, a partir de 27 de janeiro de 2022, quanto o carbono orgânico estava em 19,8%, o Nt 2,2%, a relação C/N em 9,0, o pH em 8,8 e a umidade em 47,22%, sendo que a sua densidade variou de 0,9694 g /mL para 0,3877 g/mL neste período (Tabela 10).

Na Tabela 11, estão apresentados os resultados analisados da mistura entre a fração orgânica dos RSU e das macrófitas *Pistia Stratiotes* e do composto orgânico após a sua maturação, sendo que os elementos potencialmente tóxicos na mistura: Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cromo total e Mercúrio não foram detectados. Os micronutrientes: Boro, Cobalto, Cobre, Molibdênio, Níquel e Selênio não foram detectados (ND), enquanto o Silício não foi medido (NM). Os demais micronutrientes apresentaram valores de 0,12% os Cloretos, 0,052% o Ferro total, 0,136% o Sódio e 0,00006% o Zinco. Os macronutrientes secundários, Cálcio, Enxofre e Magnésio apresentam valores de 0,26%, 0,16% e 0,040%, enquanto os macronutrientes primários Nitrogênio total e Fósforo total mediram 0,62% e 0,12%, respectivamente. O Potássio não foi medido (NM).

Tabela 11 – Resultados das análises físico-química referente às amostras da mistura entre as macrófitas e a fração orgânica e do composto orgânico maturado

Parâmetros	Mistura entre Macrófitas e Fração Orgânica	Composto Orgânico Maturado	Limites
Arsênio	ND	NM	
Boro	ND	NM	
Cádmio	ND	NM	
Cálcio	0,26%	3,67%	
Capacidade de Retenção de Água	NM	120,5% (m/m)	
Capacidade de Troca Catiônica (CTC)	546,6 mmolc/kg	357,5 mmolc/kg	
Carbono Orgânico	12,4%	21,6%	Mínimo 15%
Chumbo	ND	NM	
Cloro Solúvel em Água	NM	1,07%	
Cloretos	0,21%	NM	
Cobalto	ND	NM	
Cobre	ND	0,0023%	
Condutividade Elétrica	1,53 mS/cm	NM	
Cromo Total	ND	NM	
Densidade	0,9083 g/mL	0,3338 g/mL	
Dióxido de Silício	NM	1302,2 mg/kg	
Enxofre	0,16%	0,33%	
Ferro Total	0,052%	0,36%	
Fósforo Total em P2O5	0,12%	0,96%	
Magnésio	0,040%	0,27%	
Manganês	0,006%	0,034%	
Matéria Orgânica Total	13,53%	42,37%	
Merúrio	ND	NM	
Molibdênio	ND	NM	
Níquel	ND	NM	
Nitrogênio Total	0,62%	2,2%	Mínimo 0,5%
PH em Fertilizantes	8,1	9,41	Mínimo 6,5
Potássio em K2O Solúvel em Água	NM	3,43%	
Relação Carbono/Nitrogênio	20,0	9,8	Máximo 20
Relação Capacidade de Troca Catiônica /Carbono	NM	16,6	
Selênio	ND		
Silício	NM	0,061%	
Sódio	0,136 %		
Temperatura	22 °C	NM	
Soma NPK	NM	6,59%	
Umidade a 65°C	82,0%	27,82%	Máximo 50%
Zinco	0,0006%	0,007%	

Legenda: Não detectado (ND); Não medido (NM).

Fonte: O autor (2022).

No composto maturado os elementos potencialmente tóxicos não foram medidos (NM), visto que não foram detectados no início do processo. Os valores dos macronutrientes primários apresentados na Tabela 11 são: Fósforo Total em P_2O_5 0,96%, Nitrogênio total 2,2% e Potássio em K_2O solúvel em água 3,43%, enquanto o dos macronutrientes secundários são: Cálcio 3,67%, Enxofre 0,33% e Magnésio 0,27%. Os micronutrientes: Boro, Cobalto, Molibdênio, Níquel, Selênio e Sódio não foram avaliados. Os valores dos demais micronutrientes avaliados são: Cloro 1,07%, Cobre 0,0023%, Ferro total, 0,36%, Manganês 0,006%, Silício 0,061%, Zinco 0,007%.

A matéria orgânica total da mistura inicial foi 13,53%, resultando em 42,37% após a maturação, representa um importante papel no solo, pois melhora suas condições físico-químicas como a CTC, além de proporcionar uma grande quantidade de macro e micronutriente e de conferir uma melhor estrutura ao terreno, aumentando a sua fertilidade (RONQUIM, 2010). A Capacidade de Troca Catiônica (CTC), no início do processo mediu 546,4 mmolc/kg, passando para 357,5 mmolc/kg ao composto atingir a sua maturidade, sendo que a Capacidade de retenção de água (CRA) (massa/massa) resultante foi de 120,5%. Segundo Kiehl (2012), o RSU cru, coletado dos domicílios, tem em média 80% de CRA, sendo que à medida que a matéria orgânica vai se decompondo, o CRA aumenta, podendo até dobrar o CRA inicial. A relação Carbono/ Nitrogênio de 9,8 e a Umidade de 27,82% ficaram dentro dos limites exigidos na legislação vigente, sendo que a relação C/N é no máximo 20 e a umidade máxima de 50%. Os valores apresentados pelos demais parâmetros são: pH em 9,41, a relação Capacidade de Troca Catiônica/Carbono orgânico igual a 16,6, a densidade 0,3338 g/mL, enquanto a soma do NPK resultou em 6,59%. Considerando, os resultados apresentados, o composto está maturado, corroborado por Kiehl (2002) que relata que um composto está maturado quando a relação C/N está entre 8/1 e 12/1 e o pH acima de 6,0.

Os resultados microbiológicos da amostra do composto orgânico, resultante da compostagem por aeração forçada, extraída em 25 de fevereiro de 2022 (Quadro 11), indicam que os parâmetros analisados: Coliformes Termotolerantes, *Salmonella* sp e *Escherichia coli* se encontram ausentes. Os ovos de helmintos foram determinados pelo Laboratório de Microbiologia de Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE), utilizando a técnica fundamentada na separação dos ovos de helmintos das demais partículas de mesma dimensão e maior peso presentes no lodo por meio de flotação com solução de sulfato de zinco de gravidade específica 1,3 (v/v), sendo que antes da flotação são realizadas etapas de sedimentação e centrifugação (YANKO, 1992). Por meio da técnica adotada pelo DMAE, foram detectados na amostra analisada, 1,6 ovos de helmintos por grama de composto

orgânico, enquanto a IN SDA nº 7 (BRASIL, 2016), em seu anexo V, Limites Máximos de Contaminantes em Fertilizantes Orgânicos e Condicionantes de Solo admite um valor máximo de Ovos viáveis de helmintos de 1,00 por quatro gramas de sólidos totais (1,00 em 4g ST). A presença de ovos de helmintos na amostra provavelmente foi proveniente de fezes de animais e/ou papéis higiênicos usados, descartado na coleta domiciliar, visto que havia uma grande quantidade de fezes de animais, embora sendo descartadas pelo pesquisador, sempre há a possibilidade de resquícios destes dejetos permanecerem junto ao material selecionado. Como a identificação dos vermes ficou abaixo do limite, não há condições de afirmar se os ovos de helmintos são provenientes das fezes humanas ou dos animais domésticos.

Quadro 11 – Resultados das análises microbiológicas da amostra do composto orgânico, resultante da compostagem por aeração forçada, extraída no dia 25 de fevereiro de 2022

Parâmetros	Resultado/Unidade	Limites
Coliformes Termotolerantes Instrução Normativa nº 30/2018 MAPA	Ausentes	Máximo 1.000,00 (NMP/g de MS)
Escherichia Coli Farmacopéia Brasileira – 6ª Edição	Ausente	
Salmonella spp ISO 6579:2017	Ausente	Ausência em 10 g de matéria seca
Ovos viáveis de helmintos – nº em 4g ST	1,6 ovos/g	1,00

Fonte: O autor (2022).

Cabe ressaltar que as parasitoses intestinais são um grande problema de saúde pública e estão associadas a fatores sociais, econômicos, ambientais e culturais, proporcionando a disseminação de doenças. Grande número dos indivíduos afetados mora em áreas sem infraestrutura, com falta de saneamento básico e tem contato direto com animais, sendo que muitos destes animais domésticos apresentam parasitas (DALLMANN *et al.*, 2020).

Conforme estabelece a IN 61 (BRASIL, 2020b), a natureza física do composto orgânico exigida foi determinada através do ensaio adaptado da (NBR NM 248:2003) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b) onde resultou que somente 38,60% do material passou na peneira 4,80 mm, sendo que conforme as características do material, farelado, o mínimo que deveria passar na peneira testada é de 95%. Conforme a legislação IN 61 (BRASIL, 2020b), para os fertilizantes orgânicos e biofertilizantes que não atendam as especificações granulométricas a expressão de identificação deve ser “PRODUTO SEM ESPECIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA DEFINIDA”, o que se caracteriza o composto orgânico, resultante da mistura de 93% da fração orgânica dos RSU e 7% das macrófitas *Pistia Stratiotes* que atingiu a sua maturação

em torno do dia 27 de janeiro de 2022, aproximadamente 60 dias após a inserção da última quantidade da mistura (80,15 kg) na unidade de compostagem por aeração forçada.

4.4 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE ÓTIMA DA MISTURA ENTRE O REJEITO DE MINERAÇÃO E A FRAÇÃO DO COMPOSTO PROVENIENTE DA COMPOSTAGEM POR AERAÇÃO FORÇADA, VARIANDO A TAXA DE APLICAÇÃO DO REJEITO DE MINERAÇÃO NO COMPOSTO ORGÂNICO

Para a determinação das melhores taxas da mistura entre o pó de pedra de basalto (PPB) e o composto orgânico (CO) na produção do composto organomineral são apresentados os resultados das amostragens realizadas entre as diferentes proporções do CO e do PPB na Tabela 12.

Em todas as amostragens do organomineral não foram detectados o Arsênio, Cádmiio, Chumbo e Mercúrio, metais potencialmente tóxicos. Na amostra do composto orgânico estes metais não foram analisados, visto que na amostra que deu origem ao fertilizante orgânico não foram detectados.

Para os macronutrientes primários, Nitrogênio, Fosforo e Potássio apresentados na Tabela 12, verificou-se que a amostra 1 (50% de composto orgânico e 50 % de pó de pedra de basalto) não atende o teor mínimo de 1% exigido pela IN 61 do MAPA (BRASIL, 2020b).

O micronutriente secundário Cálcio foi encontrado em todas as amostras e atendem os teores mínimos exigidos, sendo que os teores máximos encontrados foram na amostra 4 (87,5% CO e 12,5% PPB), 5,82% e na amostra 5 (93,75% CO e 6,25% PPB), 3,83%. Quanto aos micronutrientes secundários Enxofre e Magnésio, os teores de Enxofre encontrados nas amostras não atingiram os limites estabelecidos na legislação, sendo que a amostra 5 (93,75% CO e 6,25% PPB), é a que apresentou os melhores valores para o Enxofre, 0,34%, enquanto o Manganês, encontrado em todas as amostragens, as amostras 4 (87,5% CO e 12,5% PPB) e 5 (93,75% CO e 6,25% PPB) foram as que apresentaram melhores teores 0,0416% e 0,0390%.

De acordo com os resultados apresentados, observa-se que os micronutrientes, Boro, Cobalto, Molibdênio e Selênio não foram detectados em nenhuma amostra, enquanto o Cloro foi encontrado em todas as amostras, sendo que o maior teor foi encontrado na amostra 5 (93,75% CO e 6,25% PPB). Os teores de Cobre e Zinco, encontrados nas amostras não alcançam os teores exigidos pela legislação. O Níquel detectado nas amostras 3 (75,0% CO e 25,0% PPB) e 1 (50,0% CO e 50,0% PPB), atende a exigência legal, somente na amostra 1.

Os demais micronutrientes, Ferro, Manganês e Silício foram detectados em todas as amostras e os percentuais encontrados satisfazem os teores mínimos exigidos. As melhores quantidades encontradas de Ferro foram nas amostras 5 (93,75% CO e 6,25% PPB) e 1 (50,0% CO e 50,0% PPB), respectivamente. A amostras 4 (87,5% CO e 12,5% PPB) teve 0,0416% de manganês, enquanto na amostra 5 (93,75% CO e 6,25% PPB) este percentual foi de 0,0390%. Os melhores teores de Silício, 29,62%, estão na amostra 1 (50,0% CO e 50,0% PPB).

Baseados nas análises realizadas foram detectados o NPK das amostragens do composto organomineral e verifica-se que somente a amostra 5 (93,75% CO e 6,25% PPB), 7,23% e 4 (87,5% CO e 12,5% PPB), 6,12%, possuem valores acima de 5% de NPK.

Quanto aos demais parâmetros avaliados de acordo com a IN 61 (BRASIL, 2020b), Carbono orgânico, Umidade e Capacidade de Troca Catiônica (CTC), todas as amostras estão dentro da legislação, porém os melhores resultados são apresentados pela amostra 5 (93,75% CO e 6,25% PPB), onde o percentual de Carbono é 27,8%, a CTC medida é 537,4 mmolc/kg e a Umidade em 27,8%.

A amostra 5, também apresentou os seguintes resultados: CRA, 115,4%; CTC/C, 19,3; Relação C/N, 13,2; condutividade, 4,92 mS/cm e densidade de 0,4294 g/mL, conforme pode ser observado na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados das análises físico-química do composto organomineral

Parâmetros	RESULTADOS						
	Amostra 0 100% CO	Amostra 5 93,75 CO 6,25% PPB	Amostra 4 87,5% CO 12,5% PPB	Amostra 3 75,0% CO 25,0% PPB	Amostra 2 62,5% CO 37,5% PPB	Amostra 1 50% CO 50% PPB	Teor
Arsênio	NM	ND	ND	ND	ND	ND	
Boro	NM	ND	ND	ND	ND	ND	Mínimo 0,01%
Cádmio	NM	ND	ND	ND	ND	ND	
Cálcio	3,67%	3,83%	5,82%	3,23%	3,12%	3,08%	Mínimo 1%
Capacidade de Retenção de Água (m/m)	120,5%	115,4 %	109,3% (m/m)	102,6% (m/m)	94,2% (m/m)	88,4% (m/m)	
Capacidade de Troca Catiônica (CTC)	357,5 mmolc/kg	537,4 mmolc/kg	461,2 mmolc/kg	307,8 mmolc/kg	271,8 mmolc/kg	169,4 mmolc/kg	Mínimo de 80 mmolc/kg
Carbono Orgânico	21,6%	27,8%	26,0%	17,2	14,4%	10,9%	Mínimo 8% para sólidos
Chumbo	NM	ND	ND	ND	ND	ND	
Cloro Solúvel em Água	1,07%	1,12%	0,92%	0,74%	0,51%	0,3%	Mínimo 0,1%
Cobalto	NM	ND	ND	ND	ND	ND	Mínimo 0,005%
Cobre	0,0023%	0,0033%	0,0025%	0,0045%	0,0052%	0,0063%	Mínimo 0,02%
Condutividade	NM	4,92 mS/cm	4,22 mS/cm	2,84 mS/cm	2,17 mS/cm	1,49 mS/cm	
Cromo hexavalente	NM	ND	ND	ND	ND	ND	
Relação Capacidade de Troca Catiônica para o Carbono CTC/C	16,6	19,3	17,7	17,9	18,9	15,5	
Densidade	0,3338 g/mL	0,4294 g/mL	0,4397 g/mL	0,6109 g/mL	0,6851 g/mL	0,8120 g/mL	
Enxofre	0,33%	0,34%	0,32%	0,29%	0,28%	0,23%	Mínimo 1%
Ferro Total	0,36%	2,3%	0,734	1,9%	2,10	2,88%	Mínimo 0,02%
Fósforo Total em P ₂ O ₅	0,96%	1,81%	1,22%	0,73%	0,67%	0,57%	Mínimo 1%
Magnésio	0,2665%	0,258%	0,2813%	0,41%	0,40%	0,417%	Mínimo 1%
Manganês	0,034%	0,0390%	0,0416%	0,0374%	0,0384	0,0380%	Mínimo 0,02%
Matéria Orgânica Total	42,37%	49,04%	47,83%	32,22%	24,43%	17,99%	
Mercurio	NM	ND	ND	ND	ND	ND	
Molibdênio	NM	ND	ND	ND	ND	ND	Mínimo 0,005%
Níquel	NM	ND	ND	0,003%	ND	0,006%	Mínimo 0,005%
Nitrogênio Total	2,2%	2,1%	1,9%	1,5%	1,1%	0,96%	Mínimo 1,0 %
PH em Fertilizantes	9,41	9,9	9,86	9,6	9,47%	9,28	Mínimo 6,5
Potássio em K ₂ O Solúvel em Água	3,43%	3,32%	3,0	2,45%	1,95%	1,65%	Mínimo 1%
Relação Carbono /Nitrogênio	9,8	13,2	13,7	11,5	13,1	11,4	Máximo 20
Selênio		ND	ND	ND	ND	ND	Mínimo 0,003%
Silício		3,68%	7,36%	14,34%	22,16%	29,62%	Mínimo 0,05%
Soma NPK	6,59%	7,23%	6,12%	4,68%	3,72%	3,18%	Mínimo 5%
Umidade a 65°C	27,82%	17,7%	17,37%	12,37%	10,1%	7,47%	Máximo 20 %
Zinco	0,007%	0,0089%	0,0096	0,0099%	0,0073%	0,0073%	Mínimo 0,1%

* Os parâmetros marcados com a cor verde, significa que os mesmos atingiram os valores mínimos estabelecidos pela legislação, os marcados com a cor vermelha estão em desacordo com a legislação, enquanto em cor cinza não foi detectado (ND); Não medido (NM).

Fonte: O autor (2022).

Quadro 12 – Resultados microbiológicos das amostras do composto organomineral

Parâmetros	Amostra 5 93,75 CO 6,25% PPB	Amostra 4 87,5% CO 12,5% PPB	Amostra 1 50% CO 50% PPB	Limites
Coliformes Termotolerantes Instrução Normativa nº 30/2018 MAPA	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Máximo 1.000,00 (NMP/g de MS)
Escherichia Coli Farmacopéia Brasileira – 6ª Edição	Ausentes	Ausentes	Ausentes	
Salmonella spp ISO 6579:2017	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausência em 10 g de matéria seca
Ovos viáveis de helmintos – nº em 4g ST	1,0 ovo/4g	Ausentes	Ausentes	1,00

Fonte: O autor (2022).

Os resultados microbiológicos das amostras do composto organomineral, extraída em 25 de fevereiro de 2022 (Quadro 12), indicam que os parâmetros analisados: Coliformes Termotolerantes, *Salmonella sp* e *Escherichia coli* se encontram ausentes. A análise dos ovos de helmintos pelo Laboratório de Microbiologia de Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) detectou na amostra nº 5 (93,75% CO e 6,25% PPB), 1,0 ovo de helmintos por 4 gramas de composto organomineral, o que é admissível. Segundo a IN SDA nº 7 (BRASIL, 2016), em seu anexo V, Limites Máximos de Contaminantes em Fertilizantes Orgânicos e Condicionantes de Solo admite-se um valor máximo de Ovos viáveis de helmintos de 1,00 por quatro gramas de sólidos totais (1,00 em 4g ST). Nas amostras 4 (87,5% CO e 12,5% PPB) e 1 (50% CO e 50% PPB) não foram encontrados ovos de helmintos.

Considerando os resultados apresentados na Tabela 12 e no Quadro 12, verifica-se que as misturas resultantes de 93,75% de composto orgânico e 6,25% de pó de pedra de basalto, amostra 5, e a mistura proveniente de 87,50% de composto orgânico e 12,50% de pó de pedra de basalto, amostra 4, são as misturas que atingiram grande parte dos limites estabelecidos pelas legislações.

4.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA PARA PRODUÇÃO DO COMPOSTO ORGANOMINERAL

Nesta etapa serão determinados os investimentos necessários para a implantação de uma unidade de compostagem por aeração forçada, as despesas administrativas, de operação e manutenção do sistema, que compõem os custos fixos e variáveis necessários para a produção

de um composto organomineral, assim como as receitas provindas das futuras vendas do composto organomineral.

4.5.1 Levantamento dos custos de implantação, manutenção e produção do composto organomineral

A análise econômico-financeira de um empreendimento requer a divisão dos custos em fixos e variáveis. Os custos fixos são os gastos que permanecem constantes para toda vida útil da atividade, neste trabalho previsto para 10 anos. Os custos variáveis são os custos que variam de acordo com a quantidade produzida, nesta análise, considerado um mês de produção do composto organomineral que é de 408,20 toneladas. Os parâmetros necessários para a produção do composto organomineral estão apresentados na Tabela 13 e foram obtidos através de ensaios, cujos resultados são apresentados nos capítulos anteriores.

Os custos fixos são relativos à aquisição de terrenos, infraestrutura (Tabela 13), maquinário (Tabelas 15), licenciamento e manutenção dos licenciamentos, depreciação, contingências e projeto, apresentados na Tabela 21.

Os custos das unidades cobertas para a produção do composto orgânico e composto organomineral foram calculados baseados nas obras realizadas pelo DMAE, na Unidade de Triagem e Compostagem Lomba do Pinheiro, em Porto Alegre-RS, nos anos de 2021 e 2022 (PORTO ALEGRE, 2022). A área tem 3260,18 m², cujas dimensões são de 40,6 m x 80,3 m e 8,00 metros de pé direito, e o seu custo atual é de R\$ 5.300.000,00, o que equivale a R\$ 1.625,68 o metro quadrado, Processo SEI 18.10.00000.4.7.28-1 (PORTO ALEGRE, 2022). Neste custo está considerado o piso de concreto com o sistema de aeração, os sistemas de drenagem para chorume e águas pluviais, as paredes divisórias externas, os pilares de concreto e telhas com proteção contra a acidez do composto orgânico que deverá ser produzido. Outra obra do complexo da unidade de compostagem é o pavilhão para a produção, embalagem e armazenamento do fertilizante organomineral que tem uma área de 3260,18 m², cujas dimensões são de 22,00 m x 50,00 m e 8,00 metros de pé direito tem um custo de R\$ 1.340.000,00, o que equivale a R\$ 1.218,19 o m². O total das despesas com construção civil é de R\$ 6.640.000,00, sendo que o valor da depreciação destas unidades não é considerado neste trabalho.

O custo do terreno não está computado, visto que ele pertence a municipalidade.

Tabela 13 – Custos Fixos de Infraestrutura: Construção dos pavilhões

Item	Quant. (m ²)	Custo (R\$/m ²)	Custo total (R\$)
Unidade Coberta para produção do composto orgânico	3260,18	1.625,68	5.300.000,00
Unidade Coberta para produção do composto organomineral	1.100,00	1.218,19	1.340.000,00
Custo total (R\$)		R\$ 6.640.000,00	

Fonte: O autor (2022).

Figura 46 – Execução da construção do pátio de compostagem



Fonte: Porto Alegre (2022).

Figura 47 – Pavilhão onde será a compostagem



Fonte: Porto Alegre (2022)

Considerando que as leiras serão montadas de forma triangular, com largura de 3,0 m a altura de 1,7 m e o comprimento de 70 m, o volume de cada leira será de 189,00 m³. Como o local comporta 8 leiras, então possui a capacidade de receber um volume total da mistura entre a fração orgânica dos RSU e das macrófitas “*Pistia Stratiotes*” de 1.512,00 m³. A área de leiras a serem utilizadas é de 1680,00 m², enquanto a área para acesso e manobras entre as leiras é de 1580,18 m².

Como a densidade da mistura é de 0,94 mg/l (média das densidades nos dias 27 de outubro e 26 de novembro de 2021) e o galpão para a compostagem já estava em construção, determinou-se os demais parâmetros para a produção:

Tabela 14 – Parâmetros adotados para a produção do fertilizante organomineral

Parâmetros	Valores
Densidade média da mistura:	940 kg/m ³
Tempo médio do processo de compostagem:	60 dias
Volume da mistura na leira por metro:	2,70 m ³ /m
Comprimento total das leiras:	560 m
Volume total da mistura nos 60 dias:	1512 m ³
Massa total nos 60 dias:	1.421.280 kg
Massa total da mistura por dia:	23.688 kg
Volume da mistura por dia:	25,2 m ³
Massa da fração orgânica:	22.030 kg/dia
Massa de macrófitas “ <i>Pistia Stratiotes</i> ”:	1.658 kg/dia
Massa total de pó de rocha basáltica:	1.960 kg/dia

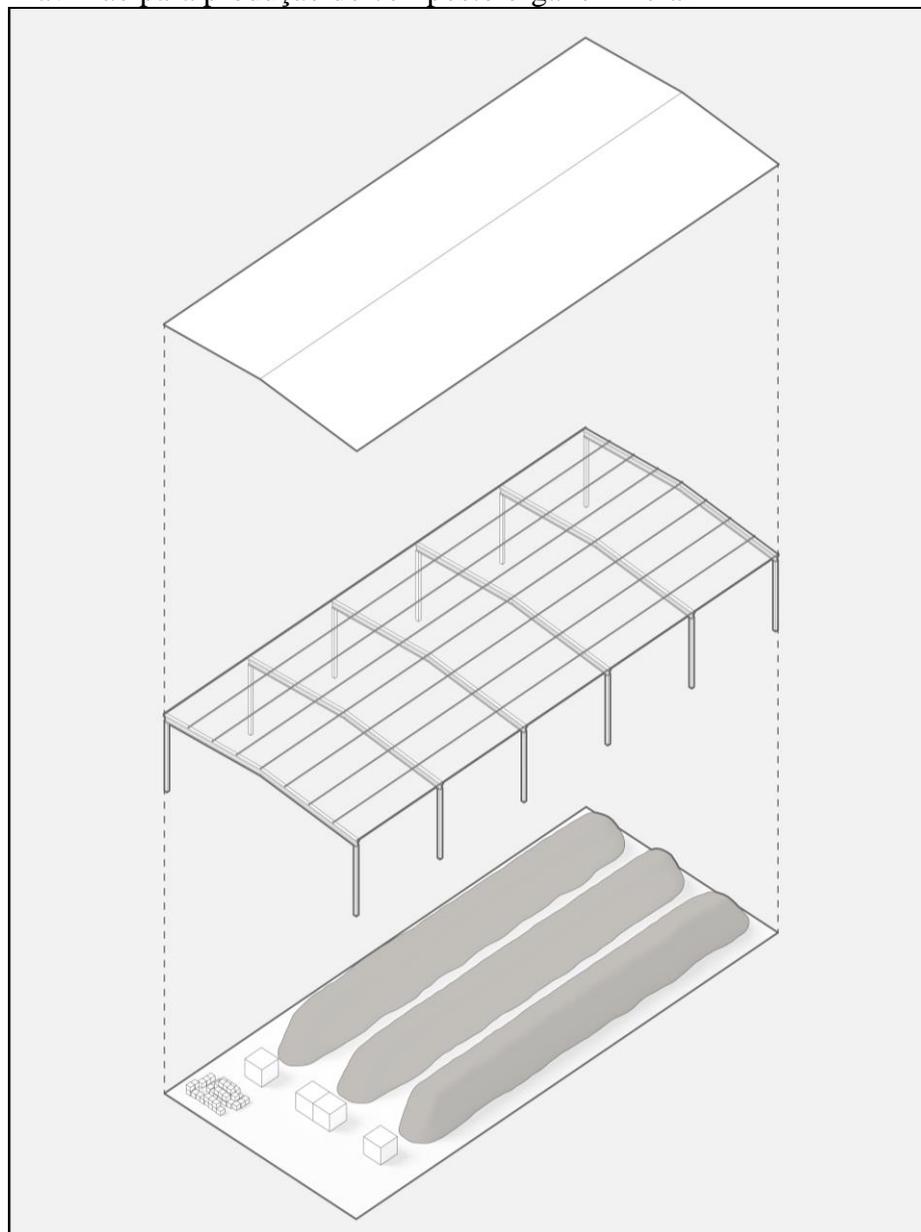
Fonte: O autor (2022).

Utilizando o fator de redução de 42% da mistura entre a fração orgânica e as macrófitas *Pistia Stratiotes*, nos 60 dias do processo de compostagem por aeração forçada, obtêm-se a produção de 13,74 t/dia ou 357,24 t/mês de composto orgânico, visto que a coleta de RSU só não é realizada aos domingos. Com a finalidade de determinar a viabilidade econômico-financeira do empreendimento para a produção do fertilizante organomineral, adotou-se a mistura de 87,50% de composto orgânico e 12,50% de pó de pedra de basalto, cuja densidade é de 0,4397 g/mL, resultando em 15,70 t/dia de composto organomineral, o que corresponde a 408,20 t/mês ou 4898,40 t/ano.

Para a produção do fertilizante, têm-se os investimentos com a infraestrutura, apresentados na Tabela 13, sendo que é um pavilhão para a produção do composto orgânico (Figuras 46 e 47) e o outro para a produção e armazenamento do composto organomineral com capacidade mínima de armazenamento de 60 e no máximo 240 dias, 816,4 toneladas, ou

um volume de 358,97 m³, assim como para a instalação dos equipamentos necessários para a embalagem e depósito dos produtos a serem vendidos por quilo (Figura 48).

Figura 48 – Pavilhão para produção do composto organomineral



Fonte: Imagem cedida por Matheus Werner Samuel (2022).

As licenças ambientais para a instalação de um sistema de compostagem são documentos fundamentais para que o processo seja implantado, pois são instrumentos de exigência legal, funcionando como uma ferramenta de controle dos órgãos ambientais sobre os empreendimentos, de forma a garantir o equilíbrio do desenvolvimento socioeconômico com a proteção do meio ambiente (BRASIL, 2011). As Licenças ambientais necessárias para

a instalação de um empreendimento são: Licença Prévia (LP) que se destina a aprovação do projeto e tem prazo máximo de 05 anos; Licença de Instalação (LI) que autoriza a instalação do empreendimento conforme o projeto previamente aprovado, tendo duração máxima de 06 anos e a Licença de Operação (LO) que autoriza o funcionamento do empreendimento, tendo o prazo mínimo de 04 anos e o máximo de 10 anos. No Rio Grande do Sul esta atividade é considerada com potencial poluidor médio e de porte grande, visto estar no intervalo de produção entre 300 a 1000 toneladas/mês (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER, 2021). Baseado no porte do empreendimento e no seu potencial poluidor, os valores das licenças são: LP R\$ 35.939,30, LI R\$ 23.959,35 e LO R\$ 23.959,35 (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER, 2022), totalizando R\$ 83.857,73. Os custos referentes ao licenciamento ambiental compõem os custos fixos do empreendimento, juntamente com os custos dos pavilhões (Figuras 46 e 47) que compõem o complexo da unidade de compostagem.

Também fazem parte dos custos fixos, os valores investidos para a compra do maquinário e sua depreciação, os custos com a elaboração do projeto e um valor de contingência.

Os custos dos maquinários, apresentados na Tabela 15 são dimensionados considerando a produção de 15,70 toneladas por dia e os seus valores unitários foram obtidos junto às empresas vendedoras e fornecedoras dos respectivos equipamentos. A depreciação destes foi definida em 10 % do valor de compra, considerando a sua vida útil de 10 anos, conforme preconiza a IN SRF nº 162 (BRASIL, 1998), adotados por Pires (2011) e Waskow (2019).

Tabela 15 – Custos fixos com maquinário

Descrição dos maquinários	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Máquina seladora de embalagens:	01	7.500,00	7.500,00
Empacotadora:	01	600.000,00	600.000,00
Minicarregadeira:	01	350.000,00	350.000,00
Picador e peneira rotativa:	01	80.000,00	80.000,00
Misturador capac. 16 t/dia	01	25.000,00	25.000,00
Aeradores:	09	6.500,00	58.500,00
Mini trator com reboque cap. 4 t	01	80.000,00	80.000,00
Investimento total			1.201.000,00

Fonte: O autor (2022).

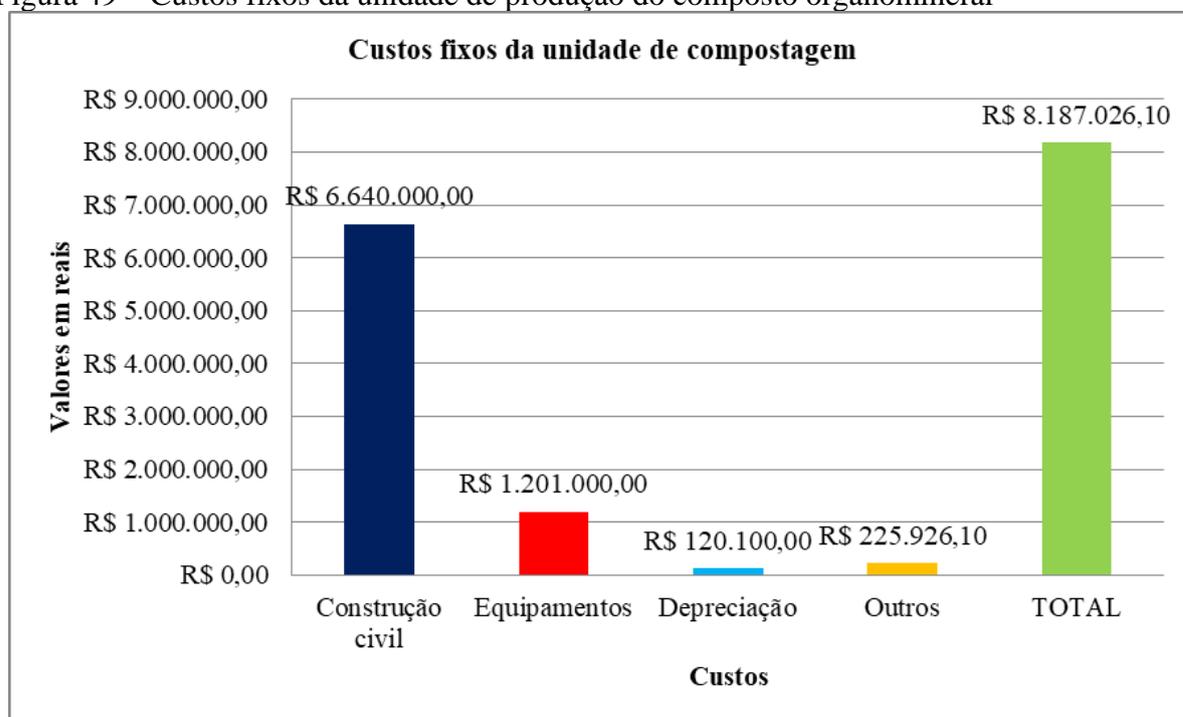
O custo do projeto foi estabelecido considerando um prazo de execução de 2 meses (PORTO ALEGRE, 2022), visto que o custo de um projetista (engenheiro e/ou arquiteto) é de

9,0 salários mínimos (SM) por mês (SINDICATO DOS ENGENHEIROS DO RIO GRANDE DO SUL, 2022) e de 2 estagiários a R\$ 1542,00 (CIEE-RS, 2022; GLASSDOOR, 2022) por mês cada um, totalizando o desembolso total de R\$ 49.800,00.

Um montante para contingências foi considerado, visto as eventualidades que possam ocorrer nos 10 anos de vida útil do empreendimento. Kuhn *et al.* (2017) consideram que um valor de contingência seja retido, como reservas para circunstâncias adversas emergências e/ou inesperadas. Baseados nos trabalhos consultados Kuhn *et al.* (2017) e Waskow (2019), o valor adotado foi um percentual de 65% do valor do Projeto, ou seja R\$ 32.370,00.

A Figura 49, demonstra que os dados do custos fixos mais significativo são os relacionados à construção civil e a equipamentos, isto ratifica os resultados encontrados com os identificados por outros autores e incentiva a busca por soluções alternativas, tanto nos métodos construtivos quanto na procura por diferentes materiais para a construção e na aquisição de equipamentos, sempre respeitando a finalidade da atividade, com segurança e com economicidade, resultando em empreendimento mais econômico. Os demais custos fixos pouco influenciam, visto que a construção civil é 81,10 % do custo total da unidade de produção do composto organomineral que é de R\$ 8.187.026,10.

Figura 49 – Custos fixos da unidade de produção do composto organomineral



Fonte: O autor (2022).

Os custos variáveis têm um número de contas maior a serem consideradas, conforme demonstram as Tabelas 16, 17 e 18. Estes custos podem aumentar ou diminuir dependendo da quantidade produzida ou vendida de composto pela unidade e estão relacionados diretamente com as despesas funcionários, utilização de equipamentos e máquinas (manutenção, energia elétrica, matéria prima).

Os parâmetros para definir a quantidade de funcionário para a operação da planta são estimados de acordo com Brasil (2010), Pires (2011) e Bergi (2018), onde se considerou um (01) engenheiro como responsável técnico, um (01) encarregado geral, 5 operários, um (01) operador de máquina, 2 vigias e um (01) técnico administrativo.

Os custos com os funcionários apresentados na Tabela 16 baseiam-se no dimensionamento das atividades para a produção de 15,70 t/dia, ou 408,20 t/mês de composto organomineral, sendo que a remuneração mensal é vinculada ao salário mínimo vigente em julho de 2022, R\$ 1.212,00 (BRASIL, 2022c).

Os salários/ encargos são definidos conforme as atividades executadas na unidade de compostagem e de acordo com a exigência da legislação. O salário do engenheiro é de 9 SM (SINDICATO DOS ENGENHEIROS DO RIO GRANDE DO SUL, 2022), sendo que os demais salários foram definidos, conforme as atividades realizadas e por consulta realizadas junto a unidades de compostagem da região metropolitana de Porto Alegre, sendo que o salário do encarregado geral é de 3 SM, o operário 1,5 SM, o operador de máquina 2,5 SM, o vigia 2 SM e o técnico administrativo 3,5 SM. Os encargos trabalhistas previstos foram definidos em 100%, considerando que esta atividade é considerada insalubre. O desembolso mensal com os funcionários é de R\$ 71.508,00, totalizando um valor de R\$ 858.096,00 ao ano, conforme a Tabela 16.

Tabela 16 – Custos variáveis anuais com funcionários

Funcionários	Quantidade (un)	Custo mensal (R\$)	Custo total mensal (R\$)
Engenheiro	01	21.816,00	21.816,00
Encarregado	01	7.272,00	7.272,00
Operário	05	3.636,00	18.180,00
Operador de máquina	01	6.060,00	6.060,00
Vigia	02	4.848,00	9.696,00
Técnico Administrativo	01	8.484,00	8.484,00
Custo total mensal (R\$)		R\$ 71.508,00	
Custo total anual (R\$)		R\$ 858.096,00	

Fonte: O autor (2022).

A Tabela 17 apresenta os custos variáveis referentes às despesas administrativas, insumos, análises laboratoriais, serviços prestados por terceiros e EPIs dos funcionários que

trabalham na unidade de produção do composto organomineral. O dimensionamento da quantidade de equipamentos operacionais, insumos, análises e serviços de terceiros foi calculado em função do número de funcionário (BRASIL, 2010c), das atividades desenvolvidas para a produção do composto organomineral e das exigências das legislações referente à Saúde e Segurança do Trabalho NR 6 (BRASIL, 2018b) que regula sobre o uso de EPIs e da IN 61 (BRASIL, 2020b) que define as exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro e rotulagem dos fertilizantes orgânicos destinados à agricultura.

O maior custo de energia nesta planta equivale ao funcionamento dos aeradores, sendo que as despesas com a energia foram calculadas considerando a taxa de aeração adotada, 0,9686 l/min/kg, aplicada no processo de aeração para compostar os 23.688,00 kg da mistura de 93% de MO e 7 % de macrófitas, o equivalente a 22,94 l/min de ar. O modelo de aerador adotado é o exaustor centrífugo EC2 TAR, trifásico, 2 HP com vazão de 35 m³/min, sendo um equipamento com alta rotação, apropriado para exaustão que requer alta pressão. Como a taxa de aeração de cada equipamento é de 35 m³/min e a taxa ótima de aeração é de 23 m³/min, cada aerador funcionará 15,77 horas por dia. Considerando a potência do aerador EC2 TAR de 1,49 kW, o gasto de energia é de 23,50 kWh/dia, sendo o consumo diário de energia dos 8 aeradores de 188,00 kWh/dia, o equivalente a 5640 kWh, considerando os 30 dias do mês.

Como o funcionamento dos demais equipamentos elétricos (tritador, peneira, empacotadora e seladora) é de 4 horas diária, os custos com energia são estimados em 25% do consumo diário dos aeradores, 47 kWh/dia, o que equivale a 1410 kWh mensais. Sendo o valor do kWh de R\$ 0,74 (CEEE DISTRIBUIÇÃO, 2022), o custo de energia mensal dos 7050 kWh consumidos na planta é de R\$ 5.217,00 por mês (Tabela 17).

Conforme a Tabela 17, o custo total anual com as despesas de equipamentos operacionais, EPIs, despesas administrativas e de laboratório é de R\$ 167.762,00.

Tabela 17 – Custos variáveis anuais com equipamentos operacionais, EPIs e despesas administrativas e de laboratório.

Equipamento/serviço	Quantidade (un)	Custo unitário (R\$)	Custo total mensal (R\$)
Carrinho de mão:	04	423,00	1.692,00
Enxadas e Pás:	08	60,00 C	480,00
Garfo 10 dentes	04	92,00	368,00
Balde plástico 30 l com tampa	04	78,00	312,00
Termômetros:	02	145,00	290,00
Balança Digital Industrial até 100 kg:	01	390,00	390,00
Balança Industrial até 200 kg:	01	1.350,00	1.350,00
EPIs	11	1.500,00	16.500,00
Exames admissionais	11	300,00	3.300,00
Material para escritório	12	348,00	4.176,00
Material de limpeza	12	300,00	3.600,00
Água	12	1.250,00	15.000,00
Energia	12	5.217,00	62.604,00
Telefone	12	250,00	3.000,00
Análises físico-químicas	06	4.000,00	24.000,00
Locação de carro	12	1.150,00	13.800,00
Contabilidade	13	1.300,00	16.900,00
Custo total anual (R\$)			167.762,00

Fonte: O autor (2022).

A Tabela 18 mostra os custos variáveis mensais com a coleta e transporte das macrófitas “*Pistia Stratiotes*”, R\$ 13.520,00 e R\$ 4.000,00, respectivamente. Estes valores foram compostos a partir dos valores sugeridos pelo Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO) do Departamento Nacional de Infraestrutura (DNIT) (BRASIL, 2022e), considerando a coleta de 1.658 kg/dia de macrófitas, durante 26 dias por mês. As despesas com compra e transporte da pedra basáltica, em um raio de 50 km da unidade de compostagem, baseou-se na quantidade mensal utilizada na planta, 50,96 t/mês, visto que os caminhões tem capacidade de transporte de 6 a 10 m³ por carga e os valores do fornecimento do pó de rocha basáltica foram obtidos junto às jazidas fornecedoras, R\$ 61,36 por tonelada, enquanto que o transporte da jazida até a unidade de compostagem, R\$ 67,76 por tonelada, foi calculado considerando o Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e índice da Construção Civil (SINAPI) (CAIXA, 2022).

Tabela 18 – Custos variáveis anuais com matéria prima e transportes

Equipamentos	Quantidade (un)	Custo (R\$)	Custo total mensal (R\$)
Custo de coleta de macrófitas	4h/dia	130,00	13.520,00
Custo de transporte de macrófitas	1dia	153,85	4.000,00
Custo de transporte de pó de rocha basáltica	50,96 t/mês	67,76	3.452,99
Custo da pedra basáltica	50,96 t/mês	61,36	3.126,90
Custo total mensal (R\$)		24.099,89	
Custo total anual (R\$)		289.198,68	

Fonte: O autor (2022).

Os Custos variáveis anuais com matéria prima e transportes demonstrados na Tabela 18 estão na ordem de R\$ 24.099,89 mensais, totalizando R\$ 289.198,68 ao ano, para uma produção de 4898,4 t/ano de composto organomineral.

As despesas com manutenção de infraestrutura são estimadas em 1% do custo da construção civil. Este percentual foi definido baseado em valores adotados Pires (2011), Kuhn *et al.* (2017) e Waskow (2019), enquanto para a manutenção de equipamentos foi adotado um percentual de 2,5% do investimento realizado para adquirir os equipamentos, valores adotados por Pires (2011), Fonseca e Ribeiro Júnior (2018) e Waskow (2019).

As despesas com marketing, 0,5 % das receitas brutas, foram estimadas de acordo com valores sugeridos por Waskow (2019), R\$ 19.637,03, apresentado na Tabela 21.

4.5.2 Levantamento das receitas e tributos com as vendas do composto organomineral

Os valores das receitas são fundamentais para a análise econômico-financeira de uma empresa, visto que a importância que tem um controle detalhado do fluxo de caixa, necessário para uma boa gestão e segurança do empreendimento.

Considera-se a receita bruta da produção do composto orgânico mineral o valor vendido do composto durante o ano (Tabela 19), assim como os valores referentes a soma do transporte da fração orgânica que deixou de ir ao aterro sanitário para ser composta e a destinação final e tratamento no aterro (Tabela 20).

Os valores adotados para a venda do composto organomineral foram baseados em sites de busca e em casas especializadas na venda dos compostos organominerais e estimou-se o valor de venda do composto empacotado, em R\$ 2,27 por kg, valores de vendas próximos aos adotados por Pires (2011), Visentin (2019) e Campos (2021), e R\$ 0,60 por kg, quando

vendido a granel, valores estimados a partir de valores propostos por Garré *et al.* (2017), considerando a inflação do período (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2022).

Tabela 19 – Receita da venda do composto organomineral

Produto	Quantidade (t/ano)	Valor (R\$/t)	Valor total ano (R\$)
Composto organomineral (empacotado)	898,4	2.041,67	1.834.240,00
Composto organomineral (granel)	4.000	600,00	2.400.000,00
Receita total mensal (R\$)	352.853,33		
Receita total anual (R\$)	4.234.240,00		

Fonte: O autor (2022).

Com a produção é de 4.898,40 toneladas por ano do composto organomineral, estima-se que a venda a granel será de 4.000 toneladas por ano, enquanto a venda a varejo (empacotado) 898,40 t/ano, cujos valores adotados por tonelada, conforme demonstrado na Tabela 19 são respectivamente, de R\$ 2.041,67 para a venda a varejo e R\$ 600,00 para venda a granel, o que resulta em uma receita anual de R\$ 4.234.240,00. Nesta receita se incluiu os valores não gastos com o transporte e destinação final da matéria orgânica para o aterro sanitário que são na ordem de R\$ 963.438,84 (Tabela 20), o que totalizou o valor da receita anual de R\$ 5.197.678,84 com a venda das 4.898,40 toneladas de composto produzido. Enquanto valores adotados para a venda do composto organomineral foram estimados a partir das pesquisas em site de busca e em casas especializadas na venda dos compostos organominerais, os valores adotados para o transporte e destinação final dos RSU no aterro sanitário referem-se aos valores praticados pelo município de Porto Alegre (DMLU, 2022).⁴

Tabela 20 – Valores da quantidade da fração orgânica não enviada ao Aterro sanitário

Produto	Quantidade (t/dia)	Valor (R\$)	Valor total mensal (R\$)
Transporte da fração orgânica	22,03 t/dia	52,59	30.122,50
Destinação final e tratamento da fração orgânica	22,03 t/dia	87,58	50, 164,07
Receita total mensal (R\$)			80.286,57
Receita total anual (R\$)			963.438,84

Fonte: O autor (2022).

⁴ Dados recebidos por e-mail do técnico do DMLU, no dia 23 de junho de 2022.

De acordo com a Tabela 20, os valores de transporte de resíduos sólidos oriundos da coleta domiciliar entre a unidade de triagem na Lomba do Pinheiro e o Aterro Sanitário é de R\$ 52,59 a tonelada, enquanto a destinação final e o tratamento fica na ordem de R\$ 87,58 por tonelada, resultando um total mensal de R\$ 80.286,57, considerando as 22,03 t/dia da fração orgânica necessária para a produção das 15,70 t/dia do composto organomineral. Como estes valores não serão mais gastos pelo município, adotou-se como uma fonte de receita para verificar a viabilidade econômico-financeira da produção do composto organomineral.

A Tabela 21 apresenta o fluxo de caixa do empreendimento no ano zero, onde as receitas contabilizadas são referentes ao faturamento bruto com as vendas, R\$ 4.234.240,00, subtraídos o custo das mesmas, neste trabalho adotado um percentual 30 % da venda bruta, R\$ 1.270.272,00. A determinação do percentual para calcular o custo de venda observou valores utilizados por Pires (2011), Campos (2021) e próximo ao adotado por Borsato (2015). O total das receitas contabiliza o total de R\$ 3.927.406,84, enquanto os custos totalizam R\$ 8.817.026,10, resultando um déficit de R\$ 5.690.737,97 no ano zero.

Tabela 21 – Fluxo de caixa do empreendimento no ano zero

Item	Descrição	Ano 0
1	RECEITAS	R\$ 3.927.406,84
1.1	Faturamento da venda do composto organomineral	R\$ 4.234.240,00
1.2	Custos sobre a Venda:	R\$ 1.270.272,00
1.3	Valores não gastos com a MO destinada ao Aterro Sanitário:	R\$ 963.438,84
2	CUSTOS	R\$ 9.618.144,81
2.1	Custos Fixos	R\$ 8.187.026,10
2.1.1	Licenciamento:	R\$ 83.857,73
2.1.2	Manutenção das Los:	R\$ 59.898,37
2.1.3	Despesas com Infraestrutura:	R\$ 6.640.000,00
2.1.4	Despesas com maquinários:	R\$ 1.201.000,00
2.1.5	Depreciação:	R\$ 120.100,00
2.1.6	Contingência:	R\$ 32.370,00
2.1.7	Projetos:	R\$ 49.800,00
2.2	Custos Variáveis	R\$ 1.431.118,71
2.2.1	Com funcionários:	R\$ 858.096,00
2.2.2	Equipamentos, EPIs, administrativas e laboratório:	R\$ 167.762,00
2.2.3	Matéria prima e transporte:	R\$ 289.198,68
2.2.4	Manutenção da infraestrutura:	R\$ 66.400,00
2.2.5	Manutenção de Equipamentos:	R\$ 30.025,00
2.2.6	Marketing:	R\$ 19.637,03
3	FLUXO DE CAIXA ANUAL	-R\$ 5.690.737,97
4	FLUXO DE CAIXA ACUMULADO	-R\$ 5.690.737,97

Fonte: O autor (2022).

4.5.3 Análise econômico-financeira

Nesta etapa foi analisado o fluxo financeiro do empreendimento, para um período de 10 anos, sendo que os valores demandados para o primeiro ano foram calculados de acordo com a Tabela 21. Partindo da premissa que toda a produção do composto organomineral será vendida, tem-se uma receita anual de R\$ 3.927.406,98, enquanto os custos fixos anuais ficam na ordem de R\$ 1.431.118,71, resultando em um saldo positivo de R\$ 2.496.288,13 ao ano. Aplicando os ajustes referente a TMA de 7,5% aos valores do ano zero, chega-se aos fluxos de caixa presente e acumulado para o empreendimento, conforme mostra a Tabela 22. O somatório do fluxo de caixa anual resulta em R\$ 17.134.723,80, enquanto o fluxo de caixa acumulado totaliza R\$ 11.443.989,82 no décimo ano (Tabela 22).

Tabela 22 – Fluxos de caixa anual, a valor presente e acumulado do processo de compostagem por aeração forçada

ANO	DESCRİÇÃO		
	FLUXO DE CAIXA ANUAL	FLUXO DE CAIXA A VALOR PRESENTE	FLUXO DE CAIXA ACUMULADO
ANO 0	- R\$ 5.690.737,97	- R\$ 5.690.737,97	- R\$ 5.690.737,97
ANO 1	R\$ 2.496.288,13	R\$ 2.322.128,49	- R\$ 3.368.605,48
ANO 2	R\$ 2.496.288,13	R\$2.160.119,53	- R\$ 1.208.485,95
ANO 3	R\$ 2.496.288,13	R\$ 2.009.413,51	R\$ 800.927,56
ANO 4	R\$ 2.496.288,13	R\$ 1.869.221,87	R\$ 2.670.149,43
ANO 5	R\$ 2.496.288,13	R\$1.738.811,04	R\$ 4.408.960,47
ANO 6	R\$ 2.496.288,13	R\$ 1.617.498,65	R\$ 6.026.459,12
ANO 7	R\$ 2.496.288,13	R\$ 1.504.649,90	R\$ 7.531.109,02
ANO 8	R\$ 2.496.288,13	R\$ 1.399.674,33	R\$ 8.930.783,35
ANO 9	R\$ 2.496.288,13	R\$1.302.022,63	R\$ 10.232.805,98
ANO 10	R\$ 2.496.288,13	R\$ 1.211.183,84	R\$ 11.443.989,82
SOMATÓRIO		R\$ 17.134.723,80	-

Fonte: O autor (2022).

Considerando que os fluxos de caixa estão sujeitos a flutuações de mercados inerentes e as variações que as taxas de mercado apresentam, a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é a referência básica para considerar as operações nos ganhos de um empreendimento.

Para a análise da viabilidade econômico-financeira da produção do organomineral, definiu-se que a TMA é de 7,5%. A definição deste percentual observou valores próximos aos

adotados por Pires (2011), Bergi (2018), Borsato (2015), Campos (2021) para este tipo de atividade. Definida a TMA, determinou-se o fluxo de caixa considerando as onerações determinadas pela referida taxa, tendo os lucros anuais próximos à realidade, assim como os valores de VPL e da TIR do empreendimento. Através de uma planilha Excel, determinaram-se os valores de VPL R\$ 8.947.697,68, TIR de 27,88% e Payback de 3,28 anos para um empreendimento com TMA de 7,5% e receita de R\$ 3.927.406,84 no ano zero.

No mesmo empreendimento, mas ignorando os valores gastos com o transporte, destinação e tratamento da fração da matéria orgânica para o aterro sanitário, como parte das receitas no ano zero (Tabela 21) e a mesma TMA de 7,5%, a receita total resulta em R\$ 2.963.968,00, os valores de VPL em R\$ 2.419.661,61, TIR 13,65% e o Payback de 5,29 anos.

Para o melhor cenário, onde os valores com transporte, destinação e tratamento da matéria orgânica fazem parte da receita total, calculou-se a lucratividade do empreendimento, determinada através do lucro operacional dos 10 anos do projeto, R\$ 11.443.989,82 (Tabela 22), sobre a receita total no período de 10 anos, equivalente a R\$ 39.274.068,40, resultando em uma taxa de lucratividade de 29,14 %, o que equivale dizer que para cada R\$ 1,00 investido inicialmente, tem-se um retorno, em valor presente, de R\$ 0,2914.

4.6 AVALIAR QUAIS DOS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL PODEM SER ALCANÇADOS COM A PRODUÇÃO DO COMPOSTO ORGANO-MINERAL

Neste item serão comparadas as diferentes fases de produção do composto organomineral com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (Quadro 13) e as suas ações, com a finalidade de verificar quais ODS podem ser alcançados ao fim do processo de produção.

Ao relacionar o ODS 1 com a produção do fertilizante organomineral, verifica-se que através do fortalecimento de Política Nacional de Resíduos Sólidos, aprovada em 2010, com reconhecimento dos trabalhadores ambientais, incentiva-se o tratamento dos resíduos sólidos através de técnica da compostagem, e proporciona o apoio de investimentos para as unidades de compostagem, gerando inúmeros empregos o que ajuda a erradicar a pobreza, pois a inclusão tem função social em termos de redução da pobreza.

O ODS 2, tem uma relação direta com o composto organomineral, pois garante os sistemas sustentáveis de produção de alimentos, melhoram progressivamente a qualidade do

solo e ajuda a manter os ecossistemas, assim como diminui o consumo de fertilizantes químicos.

Quadro 13 – Relação das ações contidas nos ODS que podem ser alcançados com a produção do composto organomineral

1. Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares;
2. Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável;
3. Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todas e todos, em todas as idades;
4. Assegurar a educação inclusiva e equitativa de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos;
5. Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas;
6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos;
7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos;
8. Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo, e trabalho decente para todos;
9. Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação;
10. Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles;
11. Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis;
12. Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis;
13. Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos;
14. Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável;
15. Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade;
16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis;
17. Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

Fonte: O autor (2022).

A redução substancial do número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos e por contaminação e poluição do ar, água e do solo, preconizada no ODS 3 pode ser minimizada com a utilização do produto resultante da compostagem da fração orgânica dos RSU, das macrófitas e do pó de pedra basáltica, visto que a utilização de fertilizantes químicos tende a reduzir.

O ODS 4, que busca “Assegurar a educação inclusiva e equitativa de qualidade, além de promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos”, relaciona-se com a produção do organomineral através do conhecimento que as unidades de compostagem podem proporcionar, tanto para a educação formal, quanto para a educação informal na busca de promover o desenvolvimento sustentável e estilos de vida sustentáveis, além dos cursos de segurança que devem ser proporcionados pela unidades produtoras promovendo oportunidades de aprendizagem.

“Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas” é o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 5, que busca acabar com todas as formas de

discriminação, reconhecer e valorizar o trabalho, garantir a participação plena e efetiva, proporcionando a igualdade de oportunidades para a liderança em todos os níveis de tomada de decisão na vida política, pública e econômica, além de empoderar as mulheres e meninas. Para alcançar este ODS 5, as condições de trabalho das mulheres precisam melhorar no Brasil, pois existem no país 800 mil agentes ambientais dos quais 70% são mulheres (RECICLA SAMPA, 2022), e as unidades de triagem da fração de matéria orgânica e as unidades de compostagem têm papel fundamental para ajudar na busca de atingir este ODS, pois esta população de agentes ambientais, além de exercer suas funções em condições mais seguras de trabalho terá uma vida mais digna, pois a inclusão tem função social.

O ODS 6 tem como meta assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todos e vem ao encontro com a melhoria da qualidade das águas e a gestão dos recursos hídricos de forma ampla e participativa. A implementação dos PGRS, nas três esferas de governo, incentiva a gestão correta dos resíduos sólidos, aumentando o tratamento dos resíduos sólidos urbanos, no qual a compostagem contribuí muito para a redução do descarte dos resíduos e rejeitos em logradouros e mananciais hídricos e um encaminhamento seguro e correto para os resíduos, protegendo os trabalhadores, a saúde pública, os recursos naturais e o meio ambiente com o fortalecimento da participação das comunidades locais no acompanhamento dos PMGRS, item preconizado na Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010b). A correta gestão dos resíduos sólidos deve proporcionar uma melhoria nas águas doces, refletindo na diminuição da poluição marinha, principalmente pela redução dos nutrientes resultantes das atividades terrestres provenientes dos grandes centros urbanos (ODS 14), o que contribui para um desenvolvimento sustentável.

A busca em assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos, meta do ODS 7, pode vir através da redução dos transportes das massas dos RSU dos centros urbanos até os aterros sanitários que percorre grandes distâncias. O desvio da fração orgânica dos RSU dos aterros sanitários para as unidades de compostagem, geralmente mais próximas aos conglomerados urbanos, proporciona a redução dos custos de transporte e a diminuição do uso de combustível fóssil, medidas que ajudam a combater a mudança do clima e a redução de seus impactos recomendados no ODS 13.

A compostagem utilizando macrófitas na produção do composto orgânico proporciona uma melhora no manejo destas plantas aquáticas, pois são necessários cuidados com a biomassa removida, uma vez que o descarte destas plantas não pode ser realizado de forma atabalhoada, tendo que respeitar a legislação vigente (POMPÊO, 2008), visto que a disposição em aterros sanitários é a ação mais utilizada no BRASIL, o que proporciona a perda de

energia e dos nutrientes acumulados nessa massa de vegetal (POMPÊO, 2008). O aproveitamento das macrófitas na compostagem melhora o seu manejo, evitando o controle químico destes vegetais e o desligamento parcial ou total de uma usina geradora de energia para o desprendimento das macrófitas aquáticas das grades e através das máquinas limpa-grades evitando o entupimento das tomadas de água, turbinas e bombas (POMPÊO, 2017), o que assegura um acesso confiável, sustentável e a preço acessível para todos (ODS 7).

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentáveis 8, 9, 10 e 11 tem como metas a promoção do crescimento econômico, inclusivo, sustentável e trabalho decente (ODS 8), a industrialização inclusiva e sustentável (ODS 9) para a redução da desigualdade (ODS 10) com os núcleos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis (ODS 11).

Diante destas premissas pode-se afirmar que o processo de compostagem de organominerais, a ser difundido nos municípios brasileiros, é um indutor de crescimento econômico, inclusão social e fonte de melhoria nas condições de trabalho dos agentes ambientais (ODS 8), principalmente dos trabalhadores mais pobres, sobretudo das mulheres que são maioria (RECICLA SAMPA, 2022), atuando na economia informal. A criação de uma indústria de fertilizantes orgânicos, a partir da transformação da fração orgânica, macrófitas e pó de pedra basáltica em um produto com valor agregado e sustentável (ODS 9) tem capacidade de gerar um grande número de empregos, reduzindo a desigualdade (ODS 10), e ser gerida através de cooperativas, associações ou outras formas de organização por aqueles que trabalham formal ou na informalidade, contribuindo para o empoderamento econômico e social de todos (DIAS, 2021), tornando os núcleos urbanos mais inclusivos e sustentáveis com a geração de emprego, o bem estar social e a redução do impacto ambiental especialmente com o aprimoramento da gestão dos resíduos municipais (ODS 11).

O ODS 12 visa à produção e o consumo sustentável, em busca da gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais. A produção de um composto organomineral relaciona-se diretamente com este ODS, visto que além de proporcionar a segregação e destinação adequada da fração orgânica e do pó de rocha, pois em muitas jazidas este pó é considerado rejeito, proporciona a inclusão destes rejeitos como material prima, na cadeia de produção, concomitante a agregação de valor em um produto, a geração de emprego e renda e ao gerenciamento adequado dos resíduos, minimizando os impactos à saúde humana e ao ambiente.

Dentre as inúmeras ações dos ODS 15, 16 e 17, pode-se ressaltar que a produção do organomineral contribui para restaurar a terra e o solo degradado (ODS 15). Segundo Venturini *et al.* (2003), com a deposição da matéria orgânica estabilizada há uma maior

atividade da macro e da mesofauna, evidenciada na atividade da microbiota, o que oportuniza que o fertilizante produzido proporcione um benefício ao solo, retendo água e evitando a erosão deste. A melhoria do solo acarreta um aumento da produção, conjuntamente com a promoção e cumprimento de leis e políticas não discriminatórias para o desenvolvimento sustentável (ODS 16), o que está perfeitamente compatibilizado com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que possibilita oportunidades de crescimento para todos os setores: público (municipal, estadual e federal), privado (agricultura, indústrias de base, de transformação e de bens de consumo) e o terceiro setor, através de Associações, Cooperativas e Organizações não governamentais (ONGs) e outras, todas sem fins lucrativos. O fortalecimento dos meios de implementação e revitalização da parceria global em busca do desenvolvimento sustentável passa pelo aporte de recursos financeiros, promoção, transferência, disseminação e difusão de tecnologias ambientalmente corretas dos países desenvolvidos aos países em desenvolvimento e de menor desenvolvimento relativo (ODS 17). As ações propostas certamente tendem a impulsionar o tratamento de resíduos pela técnica de compostagem no Brasil e nos países em desenvolvimento, aumentando a produção dos fertilizantes orgânicos e reduzindo a dependência dos químicos, fator preponderante para aumentar as exportações, gerando trabalho e renda e minimizando os impactos ambientais, pois segundo o Plano Nacional de Fertilizantes (BRASIL, 2022d), o Brasil é responsável por 8% do consumo global de fertilizantes, ocupando a 4ª posição entre os importadores.

Tais resultados refletem a importância de se ampliar os estudos nessas áreas específicas, que visem integrar os 17 objetivos definidos pela ONU até 2030 (MENECHINI *et al.*, 2020).

5 CONCLUSÕES

Este capítulo busca responder como o estudo atendeu aos objetivos propostos, considerando os resultados obtidos e as limitações da metodologia aplicada.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para responder ao objetivo geral, buscou-se responder os objetivos específicos.

Em resposta ao objetivo específico: **caracterizar as macrófitas aquáticas, a fração orgânica de resíduos sólidos urbanos e o rejeito de mineração**, observou-se que:

As macrófitas aquáticas são plantas de grande importância para o comportamento e manutenção do ecossistema aquático e a sua presença não pode ser considerada um fato danoso ao ambiente. A proliferação destes vegetais causados pela ocupação desordenada em torno dos mananciais, conjuntamente pela baixa coleta e tratamento das águas residuais são fatores fundamentais para o descontrole do crescimento das macrófitas provocando impactos para o ecossistema e os diversos usos proporcionados pelos mananciais hídricos. A fração orgânica, principal componente dos RSU, é outro item impactante, e merece muita atenção, porque uma parcela significativa destes resíduos é lançada em locais não adequados causando danos ao ambiente e à saúde. Concomitante com os RSU, o pó de pedra basáltica é um rejeito que em grandes centros tem mercado para o comércio, mas outras regiões não têm demanda condizente com a sua produção o que resulta em um passivo ambiental.

A partir destas premissas e com a finalidade de atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2020a), que estabelece entre seus objetivos o tratamento dos resíduos, foram caracterizados três materiais passíveis de tratamento, através da técnica de compostagem por aeração forçada. Cumpre ressaltar que a partir da caracterização proposta, a melhor proporção para iniciar o processo de compostagem por aeração forçada foi de 93% de matéria orgânica proveniente dos RSU e 7% de macrófitas "*Pistia Stratis*". Na mistura inicial do processo de compostagem foram detectados os macronutrientes Cálcio, Enxofre, Magnésio, Nitrogênio Total e os micronutrientes Cloretos, Ferro Total, Sódio e Zinco. Os elementos potencialmente tóxicos como Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cromo total e Mercúrio não foram detectados. O pó de rocha basáltica caracterizado com pH básico é composto por diversos minerais: Alumínio, Cálcio Total, Ferro Total, Fósforo Total em P₂O₅, Magnésio, Manganês, Potássio e Silício.

A seguir, para responder ao segundo objetivo específico: **produzir, caracterizar e avaliar o composto orgânico oriundo dos resíduos sólidos urbanos e das macrófitas aquáticas, através da técnica de compostagem por aeração forçada, em escala reduzida**, verificou-se que:

O processo de compostagem por aeração forçada mostrou-se efetivo ao transformar a mistura inicial em um composto orgânico, variando os níveis dos parâmetros analisados: Carbono orgânico, nitrogênio total, relação C/N, pH e umidade aos padrões aceitáveis pelas legislações vigentes. No composto maturado, os elementos potencialmente tóxicos não foram medidos, visto que não foram detectados no início do processo.

Quanto aos resultados microbiológicos da amostra do composto orgânico, estes indicam que os parâmetros analisados: Coliformes Termotolerantes, *Salmonella* sp e *Escherichia coli* se encontram ausentes, enquanto os ovos de helmintos permaneceram a níveis acima dos valores máximos admitidos pela legislação.

Em relação a natureza física, o fertilizante orgânico produzido não atende as especificações granulométricas da legislação IN 61 (BRASIL, 2020b), logo a sua identificação deve ser: “PRODUTO SEM ESPECIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA DEFINIDA”.

Para atender o terceiro objetivo específico: **determinar, de acordo com a legislação vigente, a quantidade ótima da mistura entre o rejeito de mineração e a fração do composto proveniente da compostagem por aeração forçada, variando a taxa de aplicação do rejeito de mineração no composto orgânico**, constatou-se:

Com base nos parâmetros analisados, conforme a IN 61 do MAPA (BRASIL, 2020b) e a IN DAS nº 7 (BRASIL, 2016), as amostras 4 e 5 foram as misturas que apresentaram os melhores resultados, e atenderam a legislação vigente para a aplicação na agricultura, sendo que a amostra de nº 4 é constituída de 87,5% de composto orgânico e 12,5 % de pó de pedra basáltica e a amostra de nº 5 produzida a partir de 93,75 % de composto orgânico e 6,25 % de pó de pedra basáltica.

Considerando o quarto objetivo específico: **analisar a viabilidade econômico-financeira da produção do composto organomineral proveniente da técnica de compostagem através da aeração forçada**, determinou-se:

Considerando uma produção anual de 4.898,40 t/ano de composto organomineral, em um período de 10 anos, com uma TMA de 7,5% e venda total da produção, constata-se que os valores de VPL são positivos para os dois cenários apresentados. O cenário 1, onde os valores de transporte, destinação e tratamento da MO são contabilizados como receita, o *Payback* é de 3,28 anos e a Taxa Interna de Retorno (TIR) de 27,88% e o cenário 2, onde são desconsiderados os valores não gastos com a MO destinada ao aterro sanitário, o *Payback* é de 5,29 anos e a TIR de 13,65%. Nos dois cenários apresentados há viabilidade econômico-financeira para a produção de um composto organomineral a partir da fração orgânica do RSU, das macrófitas *Pistia Stratiotes* e do pó de pedra basáltica.

Com a finalidade de atender o quinto Objetivo específico: **avaliar quais dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável podem ser alcançados com a produção do composto organomineral, observou-se que:**

A partir da matéria orgânica resultante da segregação dos RSU, da coleta das macrófitas, da utilização do pó de pedra basáltica e da produção da mistura destes três componentes, culminando com a venda e aplicação do produto gerado, verifica-se que após a comparação das 169 metas propostas para atingir os ODS e as diversas fases do processo de produção, o composto organomineral produzido não atinge especificamente um ODS, mas contribui muito para atingir todos os 17 OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.

Para atender o objetivo geral deste trabalho: **Desenvolver um fertilizante organomineral, produto da quantidade ótima da mistura entre os rejeitos de mineração de pedra basáltica, oriundos de jazidas localizadas na região metropolitana de Porto Alegre, e o composto orgânico, resultante de macrófitas aquáticas, provenientes de reservatórios que recebem esgotos domésticos urbanos sem tratamento, e da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, através da técnica de compostagem por aeração forçada, visando o atendimento da legislação, o custo econômico-financeiro e os ODS, é imprescindível considerar, entre outros aspectos a população atendida, as peculiaridades urbanas e geográficas e os serviços de coleta dos resíduos sólidos urbanos da região de produção do composto. Além disso, é fundamental avaliar a eficácia do fertilizante organomineral proposto, especialmente no que se refere à sua aplicabilidade na agricultura de produção de grãos, aos custos, a geração de emprego e renda, e a capacidade de inserção em**

outros mercados. Neste sentido, a busca pela sustentabilidade foi baseada no fato de que as matérias primas propostas para a produção do organomineral levaram em consideração os materiais causadores de impactos ambientais, quando não tratados de forma correta, o baixo grau de mecanização, simplicidade operacional e de manutenção, adequados ao atendimento das legislações, sendo que a eficácia, por sua vez, foi mostrada no fertilizante organomineral produzido em escala reduzida. Sendo assim, a resposta à pergunta “É possível determinar a níveis requeridos pela legislação, e de forma sustentável, a taxa ótima de mistura entre a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, macrófitas aquáticas e rejeito de mineração de basalto para a produção de um fertilizante organomineral através de um sistema de compostagem por meio de aeração forçada?” É sim. É possível! Exemplo disso é o resultado deste estudo no qual o fertilizante organomineral produzido atinge os níveis exigidos pelas legislações e de forma rentável, podendo ser aplicados nas lavouras produtoras de grãos, nas florestas e floriculturas em geral, reduzindo a importação de fertilizantes químicos, otimizando os recursos públicos, propiciando a geração de emprego e renda, reduzindo a pobreza e melhorando as condições ambientais locais, tornando as cidades mais justas e sustentáveis.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento desta pesquisa respondeu alguns questionamentos, mas limitou-se a trabalhar com macrófitas *Pistia Stratiotes* e pó de pedra basáltica, havendo assim, a necessidade de continuidade de pesquisas deste tema em trabalhos futuros. Como sugestões são propostos:

- a) realizar pesquisas com outras espécies de macrófitas e pó de pedra de outras rochas;
- b) desenvolver estudos considerando que os recipientes onde será realizada a compostagem tenham dimensões suficientes para atingir todos os parâmetros exigidos nas legislações;
- c) revisar a legislação levando em consideração a capacidade nutricional de cada cultura onde deverá ser aplicado os organominerais;
- d) desenvolver estudos de viabilidade técnica, econômica e financeira, considerando o uso da energia solar na produção dos compostos orgânico e organomineral.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-SABOUR, M. F. *et al.* Heavy metals and plant-growth-yield as affected by water hyacinth compost applied to sandy soil. **Environmental Protection Engineering**, Wrocław, v. 27, n. 2, p. 43-53, 2001.
- ALOMÍA, Y. A. *et al.* Effect of *pleurotus ostreatus* (Jacq.) p. kumm activity on the quality of compost made with *eichhornia crassipes* (Mart.) *solms-laubach*, and cattle manure. **Livestock Research for Rural Development**, Colombia, v. 23, n. 6, 2011.
- ÁLVAREZ BERNAL, D.; LASTIRI HERNÁNDEZ, M.A.; BUELNA OSBEN, H.R.; Contreras Ramos, S.M. Vermicompost as an alternative of management for water hyacinth. **Revista Internacional de Contaminacion Ambiental**, México, v. 32, n. 4, p. p. 425-433, 2016. DOI: 10.20937/RICA.2016.32.04.06
- ALVES, D.; VILLAR, I.; MATO, S. Thermophilic composting of hydrocarbon residue with sewage sludge and fish sludge as cosubstrates: Microbial changes and TPH reduction. **Journal of Environmental Management**, London, v. 239, n. 1, p. 30-37, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.03.028
- ANKARAM, S.; MUSHAN, L. C.; RAO, K. R. Management of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), an aquatic weed waste, by vermicomposting technology. **International Journal of Environmental Technology and Management**, Switzerland, v. 15, n. 3/6, p. 195-207, 2012. DOI: 10.1504/IJETM.2012.049222
- ANKARAM, S.; MUSHAN, L. C.; RAO, K. R.; Vermicomposting technology: an efficient biological processing of obnoxious weed water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). **International Journal of Environmental Technology and Management**, Switzerland, v. 17, n. 2/4, p. 268-282, 2014. P. 268 – 282. DOI: 10.1504/IJETM.2014.061798
- ANSARI, A. Worm powered environmental biotechnology in organic waste management. **International Journal of Soil Science**, Amsterdam, v. 6, n. 1, p. 25-30, 2011.
- ANTUNES, R. P. **Análise do potencial de uso das macrófitas aquáticas do sistema de áreas alagadas construídas da ETE da Comunidade de Serviços Emaús (Ubatuba, SP) como adubo orgânico**. 2009. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Carlos (SP), 2009.
- ARAIZA, J. P. H. L. *et al.* Integral valorization of the water hyacinth from the canals of xochimilco: production of edible mushrooms and forage. **Waste and Biomass Valorization**, Switzerland, v. 7, n. 5, p. 1203-1210, 2016. DOI: 10.1007/s12649-016-9526-0
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE TECNOLOGIA EM NUTRIÇÃO VEGETAL. **Anuário brasileiro de tecnologia em nutrição vegetal**. Campinas, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46**: agregados: determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248:2003: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

AVIDOV, R. *et al.* Composting municipal biosolids in polyethylene sleeves with forced aeration: Process control, air emissions, sanitary and agronomic aspects. **Waste Management**, Elmsford, v. 67, p. 32-42, 2017. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.05.035

BALASUBRAMANIAN, D. *et al.* Water hyacinth [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.] engineered soil nutrient availability in a low-land rain-fed rice farming system of north-east India. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 58, p. 3-12, 2013a. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.06.001

BALASUBRAMANIAN, D. *et al.* Effect of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) mulch on soil microbial properties in lowland rainfed rice-based agricultural system in northeast India. **Agricultural Research**, Washington, v. 2, n. 3, p. 246-257, 2013b. P. DOI: 10.1007/s40003-013-0073-7

BARREIRAS, L. P.; PHILIPPI JUNIOR, A.; RODRIGUES, M. S. Usina de compostagem do estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 4, p. 385-393, 2006.

BARROS, R. T. V. **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura, 2012.

BEGUM, A. Evaluation of municipal sewage sludge vermicompost on two cultivars of tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants. **International Journal of ChemTech Research**, Índia, v. 3, n. 3, p. 1184-1188, 2011.

BELTRAME, F. A. **Valorização de resíduos sólidos orgânicos para grandes geradores: avaliação da viabilidade técnica de equipamentos compactos**. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação Ambiente, Saúde e Sustentabilidade) - Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 2018.

BERGI, Rafael Scaramussa. **Compostagem como alternativa à disposição de resíduos sólidos orgânicos do saneamento em pequenos municípios**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia de Graduação) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC-USP, 1999.

BISEN, J. S. *et al.* Development of vermicompost technology for organic tea cultivation at high altitude. **Ecology, Environment and Conservation**, Maharashtra India, v. 23, n. 1, p. 465-470, 2017.

BORDEAUX-RÊGO, R. *et al.* **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. Rio de Janeiro: FGV, 2009.

BORGES, A. K. P. Compostagem das macrófitas aquáticas: *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* retiradas do reservatório da UHE Luis Eduardo Magalhães, Tocantins. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 2, p. 74-86, 2011.

BORSATO, V. M. **Análise de viabilidade técnica-econômica-financeira da implantação de um empreendimento de compostagem de resíduos orgânicos a ser instalado na cidade de Ponta Grossa**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia de Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015.

BOTE, M. A.; NAIK, V. R.; JAGADEESHGOUDA, K. B. Review on water hyacinth weed as a potential biofuel crop to meet collective energy needs. **Materials Science for Energy Technologies**, India, v. 3, p. 397-400, 2020. DOI: 10.1016/j.mset.2020.02.003

BRASIL. Receita Federal. **Instrução Normativa SRF nº 162, de 31 de dezembro de 1998**. Brasília, DF, 1998. Disponível em: <http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?idAto=15004&visao=original>. Acesso em: 10 jun. 2022.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Lei Federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico; Altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, DF, 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 10 maio 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa DAS/MAPA 25/2009**. Aprovar as normas sobre especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Brasília, DF, 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **BRA/OEA/08/001**: manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos. Brasília, DF, 2010. Disponível em: http://www.residuossolidos.al.gov.br/vgmidia/arquivos/312_ext_arquivo.pdf. Acesso em: 10 jul. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010**. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Brasília, DF, 2010a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm. Acesso em: 28 abr. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Brasília, DF, 2010b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 29 abr. 2016.

BRASIL. Ministério do meio Ambiente. **Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010**. Regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Brasília, DF, 2010c. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7217.htm. Acesso em: 01 maio 2016.

BRASIL. **Lei Complementar 140/11 | Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011**. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981. Brasília, DF, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa SDA/MAPA 07/2016**. Brasília, DF, 2016.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 481, de 03 de outubro de 2017**. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Brasília, DF, 2017a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília, DF, 2017b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa DAS/MAPA 37/2017**. Brasília, DF, 2017c.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. **Anuário mineral estadual - Rio Grande do Sul**. Brasília, DF, 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **Norma Regulamentadora No. 6 (NR-6)**. Brasília, DF, 2018b. <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-6-nr-6>. Acesso em: 04 jul. 2022.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **17º Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos**. Série Histórica. Brasília, DF, 2019a. Disponível em: <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica>. Acesso em: maio 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto**. Série Histórica. Brasília, DF, 2019b. Disponível em: <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica>. Acesso em: maio 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano nacional de resíduos sólidos**: consulta pública. Brasília, DF, 2020a. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/saneamento-cidades/plansab/consulta-publica>. Acesso em: ago. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa DAS/MAPA 61/2020**. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. Brasília, DF, 2020b. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf>. Acesso em: 10 maio 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano nacional de resíduos sólidos**: Planares Brasília, DF, 2022a.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **Sistema de custos**. Brasília, DF, 2022e. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos/copy_of_sicro/relator. Acesso em: 15 jun. 2022.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Câmara aprova MP que institui valor do salário mínimo em R\$ 1.212**. Brasília, DF, 2022c. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/879275-camara-aprova-mp-que-instituiu-o-valor-do-salario-minimo-em-r-1-212/>. Acesso em: 4 jul. 2022.

BRASIL. **Plano nacional de fertilizantes**. Brasília, DF, 2022d. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/o-plano-nacional-de-fertilizantes>. Acesso em: 11 ago. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022**. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, em substituição ao nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.936-de-12-de-janeiro-de-2022-373573578> Acesso em: 25 set. 2022.

BRUSA, A. B. S. D. *et al.* Saneamento para todos: esgoto tratado, reuso, irrigação, filtração-desinfecção e sistema de compostagem: é possível? *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28. Rio de Janeiro.

BUI, X. T. *et al.* Reuse of sediment from catfish pond through composting with water hyacinth and rice straw. **Sustainable Environment Research**, New York, v. 25, n. 1, p. 59-63, 2015.

CAIXA. **Tudo sobre o SINAPI**. Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 15 jun. 2022.

CAMBOIM, Y. M. **Desenvolvimento de um protótipo para compostagem com aeração forçada em pequena escala**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Biologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 2019.

CAMPOS, A. S. **Análise de viabilidade financeira da produção de compostos organo-minerais a partir do processo de compostagem por aeração forçada**. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia de Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre- 2021. Acesso em: 04 jul. 2022.

CANOAS. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: Plano Municipal de Limpeza Urbana e Manejo dos Resíduos Sólidos**. Canoas, 2014. Disponível em: http://oldsite.canoas.rs.gov.br/downloads/planosaneamento/Anexo_I_Plano_Gestao_Integrada.pdf. Acesso em: maio 2020.

CARDOSO, A. R. **Evolução urbana e o enriquecimento de sedimentos por metais-traço na Barragem Mãe D'água, sub-bacia do Arroio Dilúvio, RMPA/RS**. Dissertação de Mestrado (Instituto de Pesquisas Hidráulicas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 2011.

CEEE DISTRIBUIÇÃO. Grupo Equatorial. **Tarifas e custos dos serviços**. Porto Alegre, 2022: Disponível em: https://ceee.equatorialenergia.com.br/distribuicao-arquivos/copy2_of_TabeladeTarifaseCustosdeServios.pdf. Acesso em: maio 2020.

CEZAR, V. R. S. *et al.* Avaliação da degradação de macrófitas aquáticas descartadas em ambiente protegido. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 255-261, 2005. DOI: 10.1590/S0100-83582005000200012

CHUNKAO, K.; NIMPEE, C.; DUANGMAL, K. The King's initiatives using water hyacinth to remove heavy metals and plant nutrients from wastewater through Bueng Makkasan in Bangkok, Thailand. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 39, p. 40-52, 2012. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2011.09.006

CIEE-RS. **Salários de estagiários**. Porto Alegre, RS, 2022: Disponível em: <https://www.cieers.org.br/>. Acesso em: ago. 2022.

CLEMENTE, A. *et al.* **Projetos empresariais e públicos**. São Paulo: Atlas, 2002.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo. Porto Alegre, c2016-2022. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Mapa-Hidrogeologico-do-Brasil-ao-Milionesimo-756.html>. Acesso em: 8 jul. 2020.

DALLMANN, P. R. J. *et al.* Ovos de *Trichuris vulpis* em amostras fecais de cães analisadas na região de Pelotas, RS, entre 2015 e 2018. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, Curitiba, v. 18, p. 1-4, 2020. DOI: 10.7213/2596-2868.2020.18004

DAS, D. *et al.* Bioconversion and biodynamics of *Eisenia foetida* in different organic wastes through microbially enriched vermiconversion technologies. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 86, p. 154-161, 2016. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.11.012

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS. **Estudos das águas represadas na Lomba do Sabão**. Porto Alegre, 1992. v. 3.

DEVI, R. R. *et al.* Fabrication of cellulose nanocrystals from agricultural compost. **Compost Science & Utilization**, Philadelphia, v. 23, p. 104-116, 2015. DOI: 10.1080/1065657X.2014.972595

DIAS, S. M. Construir melhor: o papel da economia social e solidária numa recuperação centrada no ser humano sensível ao planeta. In: Organização INTERNACIONAL DO TRABALHO. **12ª Academia sobre Economia Social e Solidária**. 2021. Disponível em: <https://www.itcilo.org/pt/node/2178>. Acesso em: 20 ago. 2022.

DIAZ, L. F.; BERTOLDI, M. De; BIDLINGMAIER, W.; STENTIFORD, E. **Compost Science and Technology**. New York: Elsevier, 2007.

EHLERS, T.; ARRUDA, G. O. S. F. Utilização do pó de basalto em substratos para mudas de *Eucalyptus Grandis*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 1, p. 37-44, 2014. DOI: 10.4322/floram. 2014.002

EKENER, E.; HANSSON, J.; GUSTAVSSON, M. Addressing positive impacts in social LCA: discussing current and new approaches exemplified by the case of vehicle fuels. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Frankfurt, v. 23, n. 3, p. 556-568, 2018. DOI: 10.1007/s11367-016-1058-0

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. **Utilização de minhocas na estabilização de resíduos orgânicos**: vermicompostagem. Brasília, DF, 1992.

ERMOLAEV, E. *et al.* Greenhouse gas emission from covered windrow composting with controlled ventilation. **Waste Management and Research**, London, v. 30, n. 2, p. 155-160, 2012. DOI: 10.1177/0734242X11426171

ESCOSTEGUY, P. A.V.; KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 11-20, 1998. DOI: 10.1590/S0100-06831998000100002

FAN, R. *et al.* Use of water hyacinth (*eichhornia crassipes*) compost as a peat substitute in soilless growth media. **Compost Science & Utilization**, Philadelphia, v. 23, n. 4, p. 237-247, 2015. DOI: 10.1080/1065657X.2015.1046614

FARIA, W. M. *et al.* Propriedades físicas e químicas de substratos produzidos utilizando macrófitas aquáticas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 3257-3270, 2013. DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n6Sup1p3257

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para compostagem de biossólidos**. Rio de Janeiro: ABES. 1999.

FONSECA, T. D. S., RIBEIRO JUNIOR, L. U. Avaliação da viabilidade de implantação técnica e econômica da uma usina de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil em

Itajubá-MG. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Cascavel, v. 7, n. 1, p. 133-144, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v7i1.57975>

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER. **Licenciamento ambiental**: tabela de custos. Porto alegre, 2022. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/licenciamento/area4/14.asp>. Acesso em: 06 jul. 2022.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER. **Orientações técnicas para o licenciamento de atividades de gestão de resíduos sólidos**. Porto Alegre, 2021.

GAJALAKSHMI, S.; GANESH P. S.; ABBASI, S. A. Bioprocessing and resource recovery of solid waste by low-income citizens. **Indian Journal of Chemical Technology**, New Delhi, v. 13, n. 1, p. 24-29, 2006

GAJALAKSHMI, S.; ABBASI, S. A. Effect of the application of water hyacinth compost/vermicompost on the growth and flowering of *Crossandra undulaefolia*, and on several vegetables. **Bioresource Technology**, Essex, v. 85, n. 2, p. 197-199, 2002. DOI: 10.1016/S0960-8524(02)00096-2

GAJALAKSHMI, S.; RAMASAMY, E.; ABBASI, S. Potential of two epigeic and two anecic earthworm species in vermicomposting of water hyacinth. **Bioresource Technology**, Essex, v. 76, n. 3, p. 177-181, 2001. DOI: 10.1016/s0960-8524(00)00133-4

GAJALAKSHMI, S.; RAMASAMY, E.; ABBASI, S. Vermicomposting of different forms of water hyacinth by the earthworm *Eudrilus eugeniae*, Kinberg. **Bioresource Technology**, Essex, v. 82, n. 2, p. 165-169, 2002a. DOI: 10.1016/s0960-8524(01)00163-8

GANESH, C. *et al.* Composting of water hyacinth using Saw dust/rice straw as a bulking agent. **Agris On-line Papers in Economics and Informatics**, Berlin, v. 2, n. 3, 2012. DOI: 10.6088/ijes.00202030009

GARRÉ, Saulo de Oliveira *et al.* Análise econômica para implantação de uma usina de compostagem de resíduo orgânico urbano. **Revista Espacios**, Caracas, v. 38, n. 17, p. 1-17, 2017.

GLASSDOOR. **Salário de estagiários de engenharia civil em Brasil**. 2022. Disponível em: https://www.glassdoor.com.br/Sal%C3%A1rios/estagi%C3%A1rio-de-engenharia-civil-sal%C3%A1rio-SRCH_KO0,30.htm. Acesso em: 10 jul. 2022.

GOOGLE EARTH. **Google Earth, 26 de setembro de 2020**. 2020. Disponível em: <https://google-earth-pro.gosur.com>. Acesso em: 20 maio 2022.

GOSWAMI, L. *et al.* Application of drum compost and vermicompost to improve soilhealth, growth, and yield parameters for tomato and cabbage plants. **Journal of environmental management**, London, v. 200, p. 243-252, 2017. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.05.073

GOYAL, S.; DHULL, S. K.; KARPOOR, K. K. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. **Bioresource Technology**, Essex, V. 96, 14. 2005. P. 1584-1591. DOI: 10.1016/j.biortech.2004.12.012

GRAVES, R. E. *et al.* Composting. In: GRAVES, R. E. *et al.* **National engineering handbook: Part 637**. Washington, DC: USDA – United States Department of Agriculture, 2010.

GUNNARSSON, C. C.; PETERSEN, C. M. Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: a literature review. **Waste Management**, Elmsford, v. 27, n. 1, p. 117-129, 2007. DOI: 10.1016/j.wasman.2005.12.011

GUPTA, R. *et al.* Development of a water hyacinth based vermireactor using an epigeic earthworm *Eisenia foetida*. **Bioresource Technology**, Essex, v. 98, n. 13, p. 2605-2610, 2007. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.09.007

HAN, S. *et al.* Harmless disposal and resource utilization of wastes from the lake in China: Dewatering, composting and safety evaluation of fertilizer. **Algal Research**, Netherlands, v. 43, 2019. DOI: 10.1016/j.algal.2019.101623

HASAN, K. M. M. *et al.* Study on the quality and stability of compost through a Demo Compost Plant. **Waste Management**, Elmsford, v. 32, n. 11, p. 2046-2055, 2012. DOI: 10.1016/j.wasman.2012.05.039

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Inflação**. Rio de Janeiro, RJ, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>. Acesso em: 13 jul. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Tabela estações**: dia 02 de novembro de 2021. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A801>. Acesso em 21 nov. 2021.

IUDÍCIBUS, S. de. **Análise de balanços**: análise de liquidez e do endividamento, a análise do giro, análise da rentabilidade, a análise da alavancagem financeira, indicadores e análises especiais. São Paulo: Atlas, 2008.

JAIN, M. S.; PAUL, S.; KALAMDHAD, A. S. Kinetics and physics during composting of various organic wastes: Statistical approach to interpret compost application feasibility. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 255, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120324

JAIN, M. S.; PAUL, S.; KALAMDHAD, A. S. Recalcitrant carbon for composting of fibrous aquatic waste: degradation kinetics, spectroscopic study and effect on physico-chemical and nutritional properties. **Journal of Environmental Management**, London, v. 251, n. 1, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109568

JORDÃO, E. P.; VOLSCHAN JUNIOR, I. **Tratamento de esgotos sanitários em empreendimentos habitacionais**. Brasília: Caixa Econômica Federal, 2009.

KAOSOL, T.; WANDEE, S. Cellulolytic microbial activator influence on decomposition of rubber factory waste composting. Genève: Zenodo, 2009. Disponível em: <https://zenodo.org/record/1328384#.XrAWIKhKjIU>. Acesso em: abr. 2020.

- KARAK, T.; BHATTACHARYYA, P.; PAUL, R.K. Assessment of co-compost quality by physico-chemical and exploratory data analysis. **Clean – Soil, Air, Water**, Weinheim, v. 42, n. 6, p. 836-848, 2014. DOI: doi.org/10.1002/clen.201200143
- KARMAKAR, S. *et al.* Recycling of different available organic wastes through vermicomposting. **E-Journal of Chemistry**, New York, v. 9, n. 2, p. 801-806, 2012. DOI: 10.1155/2012/945762
- KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, 1998.
- KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, 2002.
- KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4. ed. Piracicaba: Livroceres, 2004.
- KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: 6. ed. Piracicaba: Livroceres, 2012.
- KOOTENAEI, F. G.; AMINIRAD, H.; RAMEZANI, M. Composting of sewage sludge and municipal solid waste. **Nature Environment and Pollution Technology**, Jaipur, v. 13, n. 3, p. 553-558, 2014.
- KOUKI, S. *et al.* Co-composting of macrophyte biomass and sludge as an alternative for sustainable management of constructed wetland by-products. **Clean – Soil, Air, Water**, Weinheim, v. 44, n. 6, p. 587-738, 2016. DOI: 10.1002/clen.201500346
- KUHN, C. *et al.* Análise de viabilidade econômica de uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 478-494, 2017. DOI: 10.19177/rgsa.v6e22017478-494
- LEAL FILHO, *et al.* Reinvigorating the sustainable development research agenda: the role of the sustainable development goals (SDG). **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, London, v. 25, n. 2, p. 131-142, 2018. DOI: 10.1080/13504509.2017.1342103
- LIBERALESSO, T. *et al.* Compostagem de resíduos da poda de macrófitas *Typha domingensis Pers.*, utilizada no tratamento de efluentes em Wetlands construídos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2013, Goiânia. **Anais do 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Porto Alegre: ABES, 2013.
- LEITÃO, V. P. M. **Utilização de um método híbrido de aeração forçada na compostagem em leiras**. 2008. Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.
- LOURDURAJ, A. C.; JOSEPH, S. Production of vermicompost from water hyacinth (*Eichhornia crasipes Mart. Solms*) - efficacy of different earthworm species and enrichment

on total N, P, K, Ca and Mg content of vermicompost. **Ecology, Environment and Conservation**, Maharashtra India, v. 16, n. 2, p. 187-189, 2010.

LU, X. *et al.* Dynamics of copper and tetracyclines during composting of water hyacinth biomass amended with peat or pig manure. **Environmental Science and Pollution Research**, Landsberg, v. 24, p. 23584-23597, 2017. DOI: 10.1007/s11356-017-9979-0

MAIZONAVE, C.R.M. *et al.* Avaliação planctônica do reservatório da Lomba do Sabão (Porto Alegre, RS) com ênfase na ocorrência de cianobactérias: implicações para o abastecimento público. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 23., 2005, Campo Grande. **Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Campo Grande: ABES, 2005.

MAIZONAVE, C. R. M. *et al.* Reservatório da Lomba do Sabão: qualidade da água e problemas operacionais no tratamento. **Ecos Pesquisa**, Porto Alegre, ano 2, n. 3, p. 7-25, 2000.

MAJUMDAR, A. *et al.* Vermiremediation of metal(loid)s via *Eichhornia crassipes* phytomass extraction: A sustainable technique for plant amelioration. **Journal of Environmental Management**, London, v. 220, p. 118-125, 2018. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.05.017

MALIK, A. Environmental challenge vis a vis opportunity: The case of water hyacinth. **Environment International**, New York, v. 33, n. 1, p. 122-138, 2007. DOI: 10.1016/j.envint.2006.08.004

MARTINEZ-NIETO, P. *et al.* Biofertilizers and composting accelerators of polluting macrophytes of a Colombian lake. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v. 11, n. 2, p. 47-61, 2011. DOI: 10.4067/S0718-95162011000200005

MARTINEZ-SANCHEZ, V., KROMANN, M. A., ASTRUP, T. F. Life cycle costing of waste management systems: Overview, calculation principles and case studies. **Waste Management**, Elmsford, v. 36, p. 343-355, 2015.

MARTINS, D.S.; SHINZATO, M.C.; MORAES, J.E.F. Evaluation of the Use of Organic Waste Generated at Hydroelectric Power Plants in the Production of Organic Fertilizers. **Waste and Biomass Valorization**, Netherlands, v. 11, p. 5041-5051, 2019. DOI: 10.1007/s12649-019-00790-y

MASAKA, J.; NDHLOVU, S. The effect of different forms of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) organic fertilizers on leaf growth rate and yield of rape (*Brassica napus*). **International Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 2, n. 3, p. 254-260, 2007. DOI: 10.3923/ijar.2007.254.260

MAZUMDER, P.; KHWAIRAKPAM, M.; KALAMDHAD, A. S. Bio-inherent attributes of water hyacinth procured from contaminated water body—effect of its compost on seed germination and radicle growth. **Journal of Environmental Management**, London, v. 257, n. 1, 2020. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109990

MEES, J. B. R. **Uso de aguapé (*Eichhornia crassipes*) em sistemas de tratamento de efluente de matadouro e frigorífico e avaliação de sua compostagem**. Dissertação de

Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

MEES, J. B. R. *et al.* Estabilização da biomassa de aguapé através da compostagem com águas residuárias de suínos e resíduos de frigorífico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 709-716, 2009a.

MEES, J. B. R. *et al.* Estabilização da biomassa de aguapé através da compostagem com águas residuárias de suínos e resíduos de frigorífico. **Revista Engenharia Agrícola**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 466-473, 2009b.

MENEGHINI, E. M. P. 2020. Os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS): uma análise bibliométrica. In: damasceno, M. E. (Org.). **Padrões ambientais emergentes e sustentabilidade dos sistemas 2**. Ponta Grossa: Atena, 2020. p. 18-31.

MERCEDES, S. S. P. **Contribuição ao estudo da eliminação de organismos patogênicos na compostagem do lixo urbano**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1993.

MEZOMO, A.M. **A Qualidade das águas como subsídio para gestão ambiental**. Porto Alegre: Emater/ASCAR, 2010.

MONTOYA, J.; WALLCZEK, T. M.; ABBOTT, M. L. Large scale composting as a means of managing water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). **Invasive Plant Science and Management**, Lawrence, v. 6, n. 2, p. 243-249, 2013. DOI: 10.1614/IPSM-D-12-00013.1

NAJAR, I. A.; KHAN, A. B. Management of fresh water weeds (macrophytes) by vermicomposting using *Eisenia fetida*. **Environmental Science and Pollution Research**, Landsberg, v. 20, p. 6406-6417, 2013. DOI: 10.1007/s11356-013-1687-9

NALUYANGE, V. *et al.* Compatibility of Rhizobium inoculant and water hyacinth compost formulations in Rosecoco bean and consequences on *Aphis fabae* and *Colletotrichum lindemuthianum* infestations. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 76, p. 68-77, 2014. DOI: 10.1016/j.apsoil.2013.12.011

NATH, S.; SINGH, K. Analysis of different nutrient status of liquid bio-fertilizer of different combinations of buffalo dung with gram bran and water hyacinth through vermicomposting by *Eisenia fetida*. **Environment, Development and Sustainability**, Dordrecht, v. 18, p. 645-656, 2016. DOI: 10.1007/s10668-015-9666-6

NHI, N. H. Y. *et al.* Growth of earthworms (*perionyx excavatus*) on cattle or buffalo manure with or without water hyacinth. **Livestock Research for Rural Development**, Colombia, v. 22, 2010.

NIEWINSKI, F. S. **Do pó de rocha à fertilidade**: uma experiência nos solos de Montenegro/RS. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Geologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

NÓBREGA, C. C. **Estudo e avaliação de um método híbrido de aeração forçada para compostagem em leiras**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1991.

NOGUCHI, H. S. **Processo de compostagem de resíduos sólidos em leira estática automatizada com aeração forçada**. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

NOVO HAMBURGO. **Plano municipal de festão integrada de resíduos**. Novo Hamburgo, 2017. Disponível em:
https://www.novohamburgo.rs.gov.br/sites/pmnh/files/secretaria_doc/2019/PGIR_2017_publicado.pdf. Acesso em: maio 2020.

OLIVEIRA NETO, R.O. *et al.* An economic analysis of the processing technologies in CDW recycling platforms. **Waste Management**, Elmsford, v. 60, p. 277-289, 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. 2020. Disponível em:
<https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/sustainable-development-goals.html>. Acesso em: jul. 2020.

ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO JÚNIOR, M. A. P. (2007). Alterações físicas e microbiológicas durante a compostagem dos dejetos de cabras. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 764-772, 2007.

PACKIA LEKSMI, N. C. J.; VIVEKA, S. Hyacinth compost as a source of nutrient for *Abelmoschus esculentus*. **Indian Journal of Science and Technology**, Chennai, v. 4, n. 3, p. 236-239, 2011. P

PADOVEZE, C. L.; BENEDICTO, G. C. **Análise de demonstrações financeiras**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

PAROLIN, G. **Compostagem para resíduos sólidos orgânicos urbanos**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Design de Produto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

PARVEEN, A. A.; PADMAJA, C. K. Efficacy of fungi and actinomycetes in converting municipal solid waste (MSW) and water hyacinth (WH) into organic manure. **Research on Crops**, London, v. 12, n. 1, p. 167-172, 2011.

PEREIRA, L. A. G. **Uso de Compostagem de aguapé (*Eichhoornia crassipes*) na produção de milho verde**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2012.

PEREIRA NETO, J. T. Manual de compostagem: processo de baixo custo. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007.

PEREIRA NETO, J. T. P.; LELIS, M. P. N. A Contaminação biológica na compostagem. *In*: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21., 2001, Rio de Janeiro. **Anais**

do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

PÉREZ, E.A. *et al.* Seed germination and risks of using the invasive plant *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laub (water hyacinth) for composting, ovine feeding and biogas production. **Acta Botanica Gallica: Botany Letters**, Paris, v. 162, n. 3, p. 203-214, 2015. DOI: 10.1080/12538078.2015.1056227.

PIRES, A. B. **Análise de viabilidade econômica de um sistema de compostagem acelerada para resíduos sólidos urbanos**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia de Graduação) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011.

POMPÊO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas, **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 406-424, 2008.

POMPÊO, M. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquática em reservatórios tropicais brasileiros**. São Paulo: USP, 2017.

PORTO ALEGRE. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Porto Alegre, 2013. v. 1. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmlu/usu_doc/pmgirs_porto_alegre_volume_1.pdf. Acesso em: maio 2020.

PORTO ALEGRE. **Plano Municipal de Saneamento (PMSB)**. Porto Alegre, 2015. 3 v. Disponível em: https://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php?p_secao=352. Acesso em: maio 2020.

PORTO ALEGRE. Departamento municipal de Água e Esgoto. **Sistema eletrônico de informações**. Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://sei.procempa.com.br/sei/>. Acesso em: 08 jul. 2022.

PRAMANIK, P. Changes in enzymatic activities and microbial properties in vermicompost of water hyacinth as affected by pre-composting and fungal inoculation: A comparative study of ergosterol and chitin for estimating fungal biomass. **Waste Management**, Elmsford, v. 30, n. 8-9, p. 1472-1476, 2010. DOI: 10.1016/j.wasman.2010.02.026

PUJARA, Y. *et al.* Review on Indian Municipal Solid Waste Management practices for reduction of environmental impacts to achieve sustainable development goals. **Journal of Environmental Management**, London, v. 248, n. 15, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.07.009

PUSHPA, T. B. *et al.* Investigation on preparation, characterization and application of effective microorganisms (EM) based composts—an ecofriendly solution. **Nature Environment and Pollution Technology**, India, v. 15, n. 1, p. 153-158, 2016a.

PUSHPA, T. B. *et al.* Utilization of effective microorganisms based water hyacinth compost as biosorbent for the removal of basic dyes. **Desalination and Water Treatment**, Hopkinton, v. 57, n. 51, 2016b. DOI: 10.1080/19443994.2016.1143405

RASANEN, K.; MANTYLA, H. Preserving academic diversity: promises and uncertainties of par as a survival strategy. **Organization**, London, v. 8, n. 2, p. 299-318, 2001.

RASAPOOR, M.; ADL, M.; POURAZIZI, B. Comparative evaluation of aeration methods for municipal solid waste composting from the perspective of resource management: a practical case study in Tehran, Iran. **Journal of Environmental Management**, London, v. 184, v. 15, p. 528-534, 2016. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.10.029

RECICLA SAMPA. **Cerca de 800 mil pessoas vivem da reciclagem no Brasil**. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.reciclasampa.com.br/artigo/cerca-de-800-mil-pessoas-vivem-da-reciclagem-no-brasil#:~:text=No%20Brasil%2C%20segundo%20levantamento%20do,profissionais%20s%2C3%A3o%20do%20g%C3%AAnero%20feminino>. Acesso em: 10 ago. 2022.

REIS, M. F. P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

REZANIA, S. *et al.* The diverse applications of water hyacinth with main focus on sustainable energy and production for new era: an overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Netherlands, v. 41, p. 943-954, 2015a. DOI: 10.1016/j.rser.2014.09.006

REZANIA, S. *et al.* Perspectives of phytoremediation using water hyacinth for removal of heavy metals, organic and inorganic pollutants in wastewater. **Journal of Environmental Management**, London, v. 163, n. 1, p. 125-133, 2015b. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.08.018

RICH, N.; BHARTI, A.; KUMAR, S. Effect of bulking agents and cow dung as inoculant on vegetable waste compost quality. **Bioresource Technology**, Essex, v. 252, p. 83-90, 2018. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.12.080

RINCÓN, C. A. *et al.* Chemical and odor characterization of gas emissions released during composting of solid wastes and digestates. **Journal of Environmental Management**, London, v. 233, n. 1, p. 39-53, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.12.009

RONQUIM, Carlos Cesar. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.

RUGGIERI, L. *et al.* Performance of different systems for the composting of the source-selected organic fraction of municipal solid waste. **Biosystems Engineering**, London, v. 101, n. 1, p. 78-83, 2008. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2008.05.014

RUSCHEL, C. B. V. **Compostagem de resíduos vegetais por diferentes métodos de aeração**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SAHU, A. K.; SAHOO, S. K.; GIRI, S. S. Efficacy of water hyacinth compost in nursery ponds for larval rearing of Indian major carp, *Labeo rohita*. **Bioresource Technology**, Essex, v. 85, n. 3, p. 309-311, 2002. DOI: 10.1016/S0960-8524(02)00100-1

SAMUEL, P. R. S. *et al.* Water hyacinth composting as a waste management strategy: a systematic review. **Revista AIDIS de Ingeniería Y ciencias Ambientales**, México, v. 15, n. 2, p. 714-729, 2022. DOI: 10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.2

SANIGRAHI, A. K. Management of some aquatic weeds through vermicomposting. **Indian Journal of Environmental Protection**, Varanasi, v. 29, n. 9, p. 809-811, 2009.

SANNIGRAHI, A. K.; CHAKRABORTTY, S. Beneficial management of organic wastes by vermi composting. **Indian Journal of Environmental Protection**, Varanasi, v. 22, n. 4, p. 405-408, 2002.

SANNIGRAHI, A. K.; CHAKRABORTTY, S.; BORAH, B. C. Large scale utilization of water hyacinth (*eichhornia crassipes*) as raw material for Vermi composting and surface mulching in vegetable cultivation. **Ecology, Environment and Conservation**, Maharashtra India, v. 8, n. 3, p. 269-271, 2002.

SARIKA, S. *et al.* Study of physico-chemical and biochemical parameters during rotary drum composting of water hyacinth. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, Isfahan, v. 3, n. 63, 2014. DOI: 10.1007/s40093-014-0063-1

SINDICATO DOS ENGENHEIROS DO RIO GRANDE DO SUL. **Confirma reajuste no piso salarial do engenheiro para 2022**. Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://sengers.org.br/noticias/confira-reajuste-no-piso-salarial-do-engenheiro-para-2022/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

SHARMA, A. *et al.* Beyond biocontrol: water hyacinth: opportunities and challenges. **Journal of Environmental Science and Technology**, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 26-48, 2016. DOI: 10.3923/jest.2016.26.48

SHARMA, H.; CHAUHAN, M. S. Water hyacinth: Control and utilization. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, Chhattisgarh, v. 8, n. 5, p. 765-772, 2017.

SIKORA, L. J. Effects of basaltic mineral fines on composting. **Waste Management**, Elmsford, v. 24, n. 2, p. 139-142, 2004. DOI: 10.1016/j.wasman.2003.08.005

SILVA, J. V. H. *et al.* Compostagem das macrófitas aquáticas: *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* retiradas do reservatório da UHE Luis Eduardo Magalhães, Tocantins. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 2, p. 159-173, 2012.

SILVA, J. V. H.; MORAES, P. B.; PICANÇO, A. P. Aplicação do processo de compostagem nas macrófitas aquáticas *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* das prais de Palmas e Porto Nacional, Tocantins, e avaliação da utilidade do composto. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26, 2011, Porto Alegre. **Anais do 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Porto Alegre: ABES, 2011.

SILVEIRA, F. F. (Coord.). **Pistia stratiotes**. [S.l.]: Flora campestre, 2020. Disponível em: <https://www.ufrgs/floracampestre/pistia-stratiotes/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

SINGH, J.; KALAMDHAD, A.S. Assessment of bioavailability and leachability of heavy metals during rotary drum composting of green waste (Water hyacinth). **Ecological Engineering**, Oxford, v. 52, p. 59-69, 2013a. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2012.12.090

SINGH, J.; KALAMDHAD, A.S. Bioavailability and leachability of heavy metals during water hyacinth composting. **Chemical Speciation and Bioavailability**, Surrey, v. 25, n. 1, 2013b. DOI: 10.3184/095422913X13584520294651

SINGH, J.; KALAMDHAD, A.S. Concentration and speciation of heavy metals during water hyacinth composting. **Bioresource Technology**, Essex, v. 124, p. 169-179, 2012. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.08.043

SINGH, J.; KALAMDHAD, A.S. Effect of carbide sludge (lime) on bioavailability and leachability of heavy metals during rotary drum composting of water hyacinth. **Chemical Speciation and Bioavailability**, Surrey, v. 26, n. 2, 2014c. DOI: 10.3184/095422914X13952534949370

SINGH, J.; KALAMDHAD, A. S. Effect of *Eisenia fetida* on speciation of heavy metals during vermicomposting of water hyacinth. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 60, p. 214-223, 2013f. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.07.010

SINGH, J.; KALAMDHAD, A. S. Effect of lime on speciation of heavy metals during composting of water hyacinth. **Frontiers of Environmental Science & Engineering**, Berlin, v. 10, n. 1, p. 93-102, 2016. DOI: 10.1007/s11783-014-0704-7

SINGH, J.; KALAMDHAD, A. S. Effect of rotary drum on the speciation of heavy metals during water hyacinth composting. **Environmental Engineering Research**, Seoul, v. 18, n. 3, p. 177-189, 2013c. DOI: 10.4491/eer.2013a.18.3.177

SINGH, J.; KALAMDHAD, A. S. Effects of lime on bioavailability and leachability of heavy metals during agitated pile composting of water hyacinth. **Bioresource Technology**, Essex, v. 138, p. 148-155, 2013d. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.03.151

SINGH, J.; KALAMDHAD, A. S. Effects of natural zeolite on speciation of heavy metals during agitated pile composting of water hyacinth. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, Isfahan, v. 3, n. 55, 2014a. DOI: 10.1007/s40093-014-0055-1

SINGH, J.; KALAMDHAD, A. S. Influences of natural zeolite on speciation of heavy metals during rotary drum composting of green waste. **Chemical Speciation and Bioavailability**, Surrey, v. 26, n. 2, 2014b. DOI: 10.3184/095422914X13953177945668

SINGH, J.; KALAMDHAD, A. S. Reduction of bioavailability and leachability of heavy metals during vermicomposting of water hyacinth. **Environmental Science and Pollution Research (ESPR)**, Landsberg, v. 20, p. 8974-8985, 2013e. DOI: 10.1007/s11356-013-1848-x

SINGH, J.; KALAMDHAD, A. S. Assessment of compost quality in agitated pile composting of water hyacinth collected from different. **Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, Isfahan, v. 4, p. 175-183, 2015. DOI: 10.1007/s40093-015-0097-z

SINGH, J.; PRASSAD, R.; KALAMDHAD, A. S. Effect of natural zeolite on bioavailability and leachability of heavy metals during rotary drum composting of green waste. **Research Journal of Chemistry and Environment**, India, v. 17, n. 8, p. 26-34, 2013.

SINGH, W. R.; KALAMDHAD, A. S.; LEE, B-K. Reduction of eco-toxicity risk of heavy metals in the rotary drum composting of water hyacinth: waste lime application and mechanisms. **Environmental Engineering Research**, Seoul, v. 20, n. 3, p. 212-222, 2015. DOI: 10.4491/eer.2015.024

SINGH, W. R.; DAS, A.; KALAMDHAD, A. S. Composting of water hyacinth using a pilot scale rotary drum composter. **Environmental Engineering Research**, Seoul, v. 17, n. 2, 2012. DOI: 10.4491/eer.2012.17.2.069

SINGH, W. R.; KALAMDHAD, A. S. Potential for composting of green phumdi biomass of Loktak lake. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 67, p. 119-126, 2014d. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2014.03.086

SONG, U. Post-remediation use of macrophytes as composting materials for sustainable management of a sanitary landfill. **International Journal of Phytoremediation**, Philadelphia, v. 19, n. 4, 2017. DOI: 10.1080/15226514.2016.1244156

SOUZA, C. H. C. de. **Proposta de Método para Avaliação da Sustentabilidade Ambiental de Pequenos Municípios**. 2009. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SOUZA, L. A. *et al.* Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, Recife, v. 8, n. 3, p. 194-212, 2020.

TAIWO, A. M. *et al.* Bioremediation of industrially contaminated soil using compost and plant technology. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 304, n. 5, p. 166-172, 2016. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.10.061

TAVARES, L. F. **Disponibilização de Potássio e Silício de remineralizador pelo processo de compostagem**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Rio Parnaíba, 2017.

TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. **Handbook of solid waste management**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2002.

TELLO-ANDRADE, A. F.; JIMÉNEZ-MOLEÓN, M.C.; SÁNCHEZ-GALVÁN, G. Management of sewage sludge by composting using fermented water hyacinth. **Environmental Science and Pollution Research**, Landsberg, v. 22, p. 14781-14792, 2015. DOI: 10.1007/s11356-015-4683-4

TOSCAN, L.; KAUTZMANN, R. M.; SABEDOT, S. O rejeito da mineração de basalto no nordeste do Estado do Rio Grande do Sul: diagnóstico do problema. **Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 60, n. 4, p. 657-662, 2007.

TROLEZI, L. M. **Avaliação do destino final da biomassa de *Landoltia pucata* para compostagem por aeração natural com resíduos de podas de árvores.** Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2019.

TROLEZI, L. M. *et al.* Polimento de esgoto doméstico, em uma lagoa de *Landoltia punctata*, com recirculação do efluente e reaproveitamento da biomassa para compostagem. *In: CONGRESSO NACIONAL DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE, 29., 2018, São Paulo. Anais do Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente.* Porto Alegre: ABES, 2018.

UMA, R.N.; MEENAMBAL, T.; SARAVANAN, S. Some investigations on in-vessel aerobic composting of municipal solid waste. **Pollution Research**, Balewadi, v. 25, n. 3, p. 663-667, 2006.

UMSAKUL, K.; DISSARA, Y.; SRIMUANG, N. Chemical, physical and microbiological changes during composting of the water hyacinth. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, [S.l.], v. 13, n. 20, p. 985-992, 2010.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA. **Manual prático para a compostagem de biossólidos.** Londrina: PROSAB, 1996.

VARMA, V. S. *et al.* Effects of Aeration During Pile Composting of Water Hyacinth Operated at Agitated, Passive and Forced Aerated Condition. **Waste and Biomass Valorization**, Dordrecht, v. 9, n. 8, p. 1339-1347, 2017. DOI: 10.1007/s12649-017-9876-2

VARMA, V. S.; KALAMDHAD, A. S.; KHWAIRKPAM, M. Feasibility of *Eudrilus eugeniae* and *Perionyx excavatus* in vermicomposting of water hyacinth. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 94, p. 127-135, 2016. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2016.05.058

VENTURINI, S. F. *et al.* Uso de vermicomposto na cultura do feijoeiro. **Revista Brasileira de Agrociência**, Governador Valadares, v. 9, n. 1, p. 45-48, 2003.

VIAMÃO. **Plano municipal de saneamento básico.** Produto 1: diagnóstico dos serviços de saneamento. Viamão: CORSAN, 2014. v. 3. Esgoto sanitário.

VISENTIN, R. **Viabilidade econômica da compostagem de lodo de esgoto para fins agrícolas.** 2019. Dissertação (Mestrado em ciências Agrônomas) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.

VILELA, N. M. S. **Comparação dos métodos de compostagem por leiras estáticas aeradas e por reviramento no tratamento da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

VISHAN, I.; KANEKAR, H.; KALAMDHAD, A. Microbial population, stability and maturity analysis of rotary drum composting of water hyacinth. **Biologia**, Lahore, v. 69, n. 10, p. 1303-1313, 2014. DOI: 10.2478/s11756-014-0450-0

VISHAN, I.; SIVAPRAKASAM, S.; KALAMDHAD, A. Isolation and identification of bacteria from rotary drum compost of water hyacinth. **International Journal of Recycling of**

Organic Waste in Agriculture, Isfahan, v. 6, p. 246-253, 2017. DOI: 10.1007/s40093-017-0172-8

WANGEN, D. R. B.; FREITAS, I. C. V. Compostagem doméstica: alternativa de aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 81-88, 2010.

WASKOW, R. P. **Avaliação técnica, ambiental e econômica do uso do jigge a ar na reciclagem do resíduo de construção e demolição (RCD) brasileiro**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

WELTER, M. K. *et al.* Efeito da aplicação de pó de basalto no desenvolvimento inicial de mudas de Camu-Camu (*Myrciaria dubia*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 922-931, 2011.

WILSON, J. R.; HOLST, N.; REES, M. Determinants and patterns of population growth inwater hyacinth. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 81, p. 51-67, 2005.

YADAV, A.; GARG, V. K. Nutrient Recycling from Industrial Solid Wastes and Weeds by Vermiprocessing Using Earthworms. **Pedosphere**, Beijing, v. 23, n. 5, p. 668-677, 2013. DOI: 10.1016/S1002-0160(13)60059-4

YAMAUCHI, A. K. F. **Efeito da incorporação de macrófitas aquáticas sobre características químicas de solo degradado**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP, 2014.

YANKO, W. A. Occurrence of pathogen in distribution and marketing municipal sludges. In: **EPA/625/R-92/013: environmental regulations and technology. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge**. Whittier, 1992. p. 166-172.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

ZHANG, H. *et al.* Emission of volatile sulfur compounds during composting of municipal solid waste (MSW). **Waste Management**, Elmsford, v. 33, n. 4, p. 957-963, 2013. DOI: 10.1016/j.wasman.2012.11.008

ZHANG, H. *et al.* Mass spectrometric evidence for the occurrence of plant growth promoting cytokinins in vermicompost tea. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 50, p. 401-403, 2014. DOI: 10.1007/s00374-013-0846-y

APÊNDICE A – SÍNTESE DOS ARTIGOS ACESSADOS NA REVISÃO DA LITERATURA

REVISTA	AUTOR	TÍTULO	OBSERVAÇÕES
Algal Research	Han <i>et al</i> (2019)	Harmless disposal and resource utilization of wastes from the lake in China: Dewatering, composting and safety evaluation of fertilizer	Agentes microbianos são adicionados para minimizar perda de nitrogênio e maior aumento da formação de húmus. Os agentes microbianos termofílicos e mesofílicos foram produzidos. Desidratação é aplicada na macrófitas previamente à compostagem (quatro métodos são testados atingindo 75-85% umidade final)
Journal of Environmental Management	Goswami <i>et al.</i> (2017)	Application of drum compost and vermicompost to improve soilhealth, growth, and yield parameters for tomato and cabbage plants	Estudo tem foco na aplicação do composto produzido pelos processos de revolvimento mecânico em tambor vz sistema de vermicompostagem. Não há dados sobre as etapas de compostagem. A aplicação do composto de ambos os processos de compostagem resultou no aumento de P e K. Houve, entretanto, maior disponibilidade de metais (Mn, Cu e Pb) nos solos onde foram aplicados composto do revolvimento mecânico.
Journal of Environmental Management	Mazumder, Khwairakpam e Kalamdhad (2020)	Bio-inherent attributes of water hyacinth procured from contaminated water body– effect of its compost on seed germination and radicle growth	Estudo tem foco na aplicação do composto produzido pelo processo de revolvimento mecânico em tambor. Estudo apresenta os parâmetros de monitoramento dos meios de culturas onde foi aplicado o composto final. Os melhores valores de aplicação do composto foram identificados, variando entre as culturas avaliadas, sugerindo os melhores resultados de germinação.
Ecological Engineering	Singh e Kalamdhad (2014d)	Potential for composting of green phumdi biomass of Loktak lake	Estudo focado no Phumdi biomass, característico de um lago da Índia. Os resultados são comparados, em parte, aos da compostagem com macrófitas. A redução de volume do produto final varia de 36-48% em massa. A estabilidade do composto, conforme alguns dos parâmetros avaliados e as condições locais são alcançados em 24 dias. Os autores concluem que a degradação do Phumdi é mais lento que o das macrófitas.
Applied Soil Energy	Naluyange <i>et al.</i> (2014)	Compatibility of Rhizobium inoculant and water hyacinth compostformulations in Rosecoco bean and consequences on Aphis fabaeand Colletotrichum lindemuthianum infestations	Estudo tem foco na aplicação do antropossolo construído a partir de macrófitas e outros 3 compostos contendo macrófitas> Não há informações sobre o processo de compostagem. Todas as 4 composições com macrófitas auxiliaram na aceleração do processo de germinação e aumento no sucesso do número de indivíduos germinados em comparação a um fertilizante comercial. Não foi evidenciada a influência da presença de microrganismos nitrificadores nos resultados obtidos, assim o uso das macrófitas não prescinde do uso de tais assimiladores de nitrogênio.
Bioresource Technology	Singh e Kalamdhad (2012)	Concentration and speciation of heavy metals during water hyacinth composting	Estudo focado na persistência de metais pesados no composto produzido com Macrófitas e outras biomassas. O composto final apresentou em maior parte metais na sua forma estável, ou seja, não assimiláveis pelas plantas. Os autores concluem que a correta adição de esterco bovino contribuiu para a indisponibilidade dos metais para as plantas.
Journal of Environmental Management	Jain, Paul and Kalamdhad (2019)	Recalcitrant carbon for composting of fibrous aquatic waste: Degradationkinetics, spectroscopic study and effect on physico-chemical and nutritionalproperties	Os autores concluem que a adição de biochar (<2,5%) contribui com nutrientes e minimiza a perda de nitrogênio do processo de compostagem, com aprimoramento da degradação da MO e aumento do conteúdo de NTK. Cu e Cr tiveram as concentrações reduzidas após o processo de compostagem sem estabelecer a relação dos teores de biochar e indisponibilidade/lixiviação deste metais.
Bioresource Technology	Sahu, Sahoo e Giri (2002)	Efficacy of water hyacinth compost in nursery ponds for larval rearing of Indian major carp, Labeo rohita	O composto foi aplicado para melhorar as condições da água na produção da fase larvar de peixes. O uso do composto a base de macrófitas apresentou melhores condições para a formação de plankton devido a presenta de elementos necessários.
Bioresource Technology	Gajalakshmi, Ramasamy e Abbasi (2002a)	High-rate composting–vermicomposting of water hyacinth(Eichhornia crassipes, Mart. Solms)	O monitoramento dos resultados baseou-se na massa de indivíduos da vermicompostagem ao longo do tempo de vermicompostagem. Não são apresentados outros parâmetros de caracterização das macrófitas e/ou do produto final da compostagem.
Bioresource Technology	Singh e Kalamdhad (2013d)	Effects of lime on bioavailability and leachability of heavy metals during agitated pile composting of water hyacinth	Mistura: 90kg macrófitas; 45 kg esterco bovino; 15 kg serragem; 0,1,2 e 3% cal. Diâmetro de partícula ≤1cm. Os resultados mostraram que a concentração total de metais pesados aumentou durante o processo de compostagem. Devido à adição de cal, o pH do composto foi aumentado efetivamente, causando uma diminuição do conteúdo de metais extraíveis solúveis em água, ácido dietileno triaminopentracético (DTPA) e características de toxicidade do processo de lixiviação (TCLP) no composto final. Metais solúveis em água (Ni, Pb e Cd) e metais extraíveis DTPA (Pb e Cd) não foram detectados durante a fração solúvel em água. A adição de cal reduziu

REVISTA	AUTOR	TÍTULO	OBSERVAÇÕES
			significativamente a biodisponibilidade e a disponibilidade de metais pesados durante o processo de compostagem.
Ecological Engineering	Singh e Kalamdhad (2013a)	Assessment of bioavailability and leachability of heavy metals during rotarydrum composting of green waste (Water hyacinth)	Os resultados mostraram que, durante a compostagem, a concentração total de metais foi aumentada. Não foram detectados Cd e Pb extraíveis com DTPA solúvel em água e Cd e Pb extraíveis com DTPA, mas todas as concentrações de metais foram observadas pelo teste de TCLP durante o processo de compostagem. A lixiviação do Cd foi muito baixa entre todos os oito metais analisados. A proporção ideal de esterco bovino pode melhorar o processo de degradação e humificação da matéria orgânica; consequentemente, reduziu a toxicidade dos metais durante a compostagem do tambor rotativo.
Bioresource Technology	Gajalakshmi e Abbasi (2002)	Effect of the application of water hyacinth compost/vermicompost on the growth and flowering of <i>Crossandra undulata</i> folia, and on several vegetables	Estudo focado na aplicação do composto. Foram estudados biomassa vegetal, relação raiz: parte aérea (por peso) e índice de colheita. Não foram avaliados os parâmetros do antropossolo produzido ou sua interação com o meio e as plantas. O uso das macrófitas resultou em melhor desenvolvimento em termos de altura, número de folhas maior e brotações (raiz, maior biomassa/tempo e maior comprimento de inflorescência). Os melhores e resultados foram encontrados nas plantas tratadas com vermicomposto.
Journal of Cleaner Production	Jain, Paul and Kalamdhad (2020)	Kinetics and physics during composting of various organic wastes: Statistical approach to interpret compost application feasibility	Composição avaliada: 60 kg macrófita; 30kg esterco bovino; e 10 kg serragem. Alta perda de matéria orgânica (64%) no Tambor com macrófitas conferiu melhor adequação à aplicação do solo. Observou-se que o adubo era de natureza bem graduada (coeficiente de uniformidade > 3 e coeficiente de curvatura ≥ 1) e poderia ser utilizado como um "solo artificial" em fundações ou aterros para melhorar a características físicas do solo.
Waste Management	Pramanik (2010)	Changes in enzymatic activities and microbial properties in vermicompost of water hyacinth as affected by pre-composting and fungal inoculation: A comparative study of ergosterol and chitin for estimating fungal biomass	Os materiais a serem vermicompostados passaram por pré-compostagem (preparo e descanso do material) para remoção de parte da amônia. O artigo foca na avaliação da biomassa microbológica produzida na compostagem de macrófitas via diferentes sistemas de compostagem após adição de formas de cultura.
Journal of Environmental Management	Majumdar et al. (2018)	Vermiremediation of metal(loid)s via <i>Eichornia crassipes</i> phytomass extraction: A sustainable technique for plant amelioration	O objetivo do trabalho é avaliar a remoção de metais e melhoria da qualidade do solo a partir da vermicompostagem e adição de macrófitas. O solo adicionado continha diferentes teores de arsênio, chumbo e cádmio. O antropossolo produzido foi utilizado na produção de culturas. Segundo os autores, a vermicompostagem restringiu a biodisponibilidade dos elementos tóxicos no solo. O composto como fertilizante, melhorou o crescimento e a produção dos cultivos avaliados.
Bioresource Technology	Rich, Bharti e Kumar (2018)	Effect of bulking agents and cow dung as inoculant on vegetable waste compost quality	Diâmetro de partículas, 1 cm. C/N macrófitas, 34/1. Relação Macrófita:Esterco bovino:Serragem, 6:3:1. Esterco bovino é adicionado ao longo do processo de compostagem como um inóculo. Os resultados revelam a manutenção da C/N <23 compostada por 30 dias. Os parâmetros físico-químicos variaram significativamente com o tempo de compostagem. Os autores reafirmam a importância do uso de serragem que contribui com o índice germinação e manejo de lixiviados.
Ecological Engineering	Balasubramanian <i>et al.</i> (2013a)	Water hyacinth [<i>Eichornia crassipes</i> (Mart.) Solms.] engineered soil nutrient availability in a low-land rain-fed rice farming system of north-east India	Os resultados sugeriram que todas as formas de aplicação do fertilizante com macrófitas tiveram bons resultados. Houve enriquecimento de C, N, P e K nos locais de aplicação do fertilizante a base de macrófitas. O processo de compostagem e/ou vermicompostagem contribuíram para a redução do C/N, C/ e dos materiais de lignocelulose, sendo considerados assim processos satisfatórios para a produção de fertilizantes que contribuam com a adição de biomassa e nutrientes no solo.
Bioresource Technology	Goyal, Dhull e Karpoor (2005)	Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity	O objetivo do trabalho é identificar os principais parâmetros de monitoramento da compostagem, dentre eles de macrófitas. Os resíduos foram compostados em caixas de cimentos, revolvidos 5 vezes ao longo de 90 dias.
Ecological Engineering	Chunkao, Nimpee e Duangmal (2012)	The King's initiatives using water hyacinth to remove heavy metals and plant nutrients from wastewater through Bueng Makkasan in Bangkok, Thailand	Estudo avalia o uso de composto produzido com macrófitas de mananciais próximos a linha férrea tailandesa. Os autores concluem que as macrófitas tem alta absorção de metais pesados. O composto das macrófitas tem alta concentração de metais pesados, sugerindo seu uso apenas para plantações de flores.

REVISTA	AUTOR	TÍTULO	OBSERVAÇÕES
Ecological Engineering	Das <i>et al.</i> (2016)	Bioconversion and biodynamics of <i>Eisenia foetida</i> in different organic wastes through microbially enriched vermicomversion technologies	São adicionados inoculantes microbiológicos. Umidade mantida 60% ao longo do processo de compostagem. O crescimento e a população de <i>E. fétida</i> foram influenciados pelo tipo de matéria orgânica. A palha de arroz é mais favorável às minhocas ao invés da serragem. A inoculação acelerou a decomposição. O uso de <i>T. viride</i> resultou em melhor conteúdo de nutrientes, status enzimático e microbiano na qualidade do vermicomposto.
Journal of Hazardous Materials	Taiwo <i>et al.</i> (2016)	Bioremediation of industrially contaminated soil using compost and plant technology	Objetivo do trabalho foi desenvolver composto para remediação de solo contaminado. Os resultados mostraram que a remediação de um mês, somente com composto, removeu $49 \pm 8\%$ Mn, $32 \pm 7\%$ Fe, $29 \pm 11\%$ Zn, $27 \pm 6\%$ Cu e $11 \pm 5\%$ Cr dos contaminados solo. Tratamentos com 'composto + planta' remediaram $71 \pm 8\%$ Mn, $63 \pm 3\%$ Fe, $59 \pm 11\%$ Zn, $40 \pm 6\%$ Cu e $5 \pm 4\%$ Cr. O fator de enriquecimento (EF) dos metais no composto foi baixo, enquanto o de Cu (EF = 7,3) e o Zn (EF = 8,6) foram altos nos solos contaminados. O fator de bioacumulação (BF) revelou baixa absorção de metal pela planta cultura germinada.
Ecological Engineering	Singh e Kalamdhad (2013f)	Effect of <i>Eisenia fetida</i> on speciation of heavy metals during vermicomposting of water hyacinth	As proporções adicionadas foram: 0,15-1,5 kg macrófitas; 0 - 0,45 kg esterco bovino; 0 - 0,15 kg serragem; + minhocas. O pH aumentou durante o processo, importante para a indisponibilidade de metais pesados. O Mn, no vermicomposto final, foi convertido em frações menos móveis. A fração trocável de Zn foi reduzida em todos os ensaios. As frações trocáveis e de carbonato de Cu, Ni e Cr foram reduzidas em todos os ensaios. O Cu estava presente principalmente em frações redutíveis e oxidáveis no vermicomposto. Cd não foi encontrado após 15 dias de vermicompostagem. As frações redutíveis e oxidáveis de Ni, Cd e Pb não foram encontradas durante a vermicompostagem.
Waste and Biomass Valorization	Martins, Shinzato e Moraes (2019)	Evaluation of the Use of Organic Waste Generated at Hydroelectric Power Plants in the Production of Organic Fertilizers	Cerca de 3 m ³ de húmus foram produzidos a partir de compostagem de 20 m ³ de resíduos orgânicos. O pH dos compostos finais indicou a maturidade. A razão C/N inicial mostrou-se ideal para compostagem. A adição de fonte de nitrogênio melhorou a taxa de maturidade dos compostos elevando a temperatura da fase termofílica, garantindo a destruição de patógenos.
Waste and Biomass Valorization	Varma <i>et al.</i> (2017)	Vermiremediation of metal(loid)s via <i>Eichornia crassipes</i> phytomass extraction: A sustainable technique for plant amelioration	Relação macrófita:esterco bovino:serragem (kg), 90:45:15. A taxa de aeração e mistura da massa de compostagem teve um enorme impacto na temperatura termofílica e no padrão de degradação. O composto final foi enriquecido com 1,05-1,56% de nitrogênio orgânico e 2,97-3,58 g / kg de teor total de fósforo. Os autores concluíram que os modos de aeração passiva e agitada foram melhores sucedidos do que a pilha de aeração forçada, devido à maior taxa de aeração.
Environmental Science and Pollution Research	Lu <i>et al.</i> (2017)	Dynamics of copper and tetracyclines during composting of water hyacinth biomass amended with peat or pig manure	As macrófitas foram desidratadas até alcançar 60-70% de umidade previamente ao processo de compostagem. O tambor foi rotacionado manualmente uma vez por semana. O resíduo, dentro do tambor, foi homogeneizado nos dias 0, 15, 30, 45 e 60. O composto maduro e estável do aguapé pode ser alcançado na composição de biomassa e adubo aguapé. A compostagem de biomassa de aguapé resultou em uma diminuição da disponibilidade de Cu, independentemente da alteração do estrume de turfa ou suíno. A adição de turfa estimulou significativamente a transformação do Cu disponível em Cu residual, o que poderia aliviar o risco de contaminação pelo Cu, mas o contrário ocorreu com a adição de esterco de suíno. Mais de 99,5% dos TCs foram dissipados ao final da compostagem de 60 dias, e a degradação foi acelerada pela presença da alta concentração de Cu.
International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture	Vishan, Sivaprakasam e Kalamdhad (2017)	Isolation and identification of bacteria from rotary drum compost of water hyacinth	O tambor foi rotacionado manualmente a cada 24 horas. Portas laterais do tambor eram deixadas abertas para manter condições aeróbicas. Doze bactérias foram isoladas e identificadas por sequenciamento 16S rDNA e análise filogenética; eles pertenciam principalmente à família Bacillus e Enterobacter. As análises de temperatura, pH, CE, VS e metais pesados mostraram a boa qualidade do composto. A concentração de metais pesados estava em Pb [Ni] [Zn] [Cd]; no entanto, para a solubilidade em água de Pb, Cd e Ni permaneceu não detectável, a concentração de DTPA para Pb e Cd também foi considerada não detectável. Os micróbios presentes no composto de aguapé são metabolicamente ativos, degradando a matéria orgânica, sobrevivendo no ambiente de composto carregado de metais pesados. Assim, os resíduos verdes (aguapé) podem ser utilizados para isolar espécies bacterianas, antecipando sua aplicação na remoção de metais pesados em fontes de resíduos líquidos e sólidos para micro-biorremediação
International Journal of Phytoremediation	Song (2016)	Post-remediation use of macrophytes as composting materials for sustainable	Microorganismos foram adicionados no processo de compostagem para atuarem como inoculantes da fermentação. O composto das macrófitas aumentou com sucesso a umidade do solo e o teor de nutrientes, tanto

REVISTA	AUTOR	TÍTULO	OBSERVAÇÕES
		management of a sanitary landfill	na encosta do aterro quanto no solo do experimento em vaso. Além disso, as taxas de fotossíntese e o teor de nutrientes aumentaram para as plantas cultivadas em composto de macrófitas. Assim, o manejo de revegetação ou restauração do aterro melhoraria com o composto de macrófitas usado como condicionador de solo. A colheita das macrófitas tem o benefício adicional de melhorar a função de remediação do canal lixiviado. Portanto, para gerenciar de maneira sustentável o canal de lixiviados e o aterro, a compostagem de macrófitas pós-remediação é um método ambientalmente amigável e economicamente acessível.
Ecology, Environment and Conservation	Bisen <i>et al.</i> (2017)	Development of vermicompost technology for organic tea cultivation at high altitude	Foi mantida condição de umidade de 60% no interior do local de vermicompostagem. A temperatura foi monitorada, já que o experimento foi realizado no inverno. Material vermicompostado relação esterco bovino:outras biomassas, 1:1. 100 indivíduos de vermes das espécies <i>Eisenia fetida</i> , <i>Perionyx excavatus</i> , <i>Eudrillus euginea</i> foram adicionados.
Desalination and Water Treatment	Pushpa <i>et al.</i> (2016a)	Utilization of effective microorganisms based water hyacinth compost as biosorbent for the removal of basic dyes	O artigo avalia o uso de composto produzido com macrófitas para a biosorção de contaminantes pela sua massa microbiológica. O processo de compostagem, entretanto é pouco especificado.
Waste and Biomass Valorization	Araiza <i>et al.</i> (2016)	Integral Valorization of the Water Hyacinth from the Canals of Xochimilco: Production of Edible Mushrooms and Forage	O objetivo era a preparação de um pré-composto para posterior seleção de microorganismos que se multiplicaram na biomassa. A macrófita, após tratamento prévio, pode ser utilizada para o cultivo de cogumelos. Os resultados mostraram melhores eficiências biológicas do aguapé do que da palha, que é o substrato comercial. Os corpos de frutificação não apresentam concentrações detectáveis de chumbo e cádmio. O tratamento pré-compostado e pasteurizado, por outro lado, é mais fácil de implementar in situ, obtendo resultados satisfatórios
Ecological Engineering	Varma, Kalamdhad e Khwaikpam (2016)	Feasibility of <i>Eudrilus eugeniae</i> and <i>Perionyx excavatus</i> in vermicomposting of water hyacinth	O presente trabalho teve como objetivo o tratamento seguro e a reciclagem de nutrientes por vermicompostagem de aguapé. Três espécies diferentes de minhocas <i>E. fetida</i> , <i>E. eugeniae</i> , <i>P. excavatus</i> foram comparadas quanto ao maior crescimento de biomassa, degradação da matéria orgânica e metais pesados. As macrófitas foram cominuidas, previamente a compostagem, a tamanho ≤ 1 cm. Foi adicionado 1,5 kg de biomassa (macrófita:esterco bovino:serragem, 8:1:1; 7:2:1; 6:3:1; 5:4:1; 10:0:0) e 50 g de minhoca.
Clean - Soil, Air, Water	Kouki <i>et al.</i> (2016)	Co-Composting of Macrophyte Biomass and Sludge as an Alternative for Sustainable Management of Constructed Wetland By-Products	Mistura: 95% macrófitas; outros. Revolvimento mecânico das pilhas a cada 2 dias. Composto pronto peneirado a 1 cm mesh. O composto final teve MO com mineralização significativa e C/N reduzida de 31,7 para 9,0. Houve a destruição de patógenos. O índice de germinação dos cultivos avaliados foi de 96%, sugerindo estabilidade e maturidade do composto. Melhor proporção de aplicação do composto: solo foi 1: 2 (v /v).
Environment, Development and Sustainability	Nath e Singh (2016)	Analysis of different nutrient status of liquid bio-fertilizer of different combinations of buffalo dung with gram bran and water hyacinth through vermicomposting by <i>Eisenia fetida</i>	O composto foi revolvido a cada 24 horas durante 10 dias, seguido do ingresso das minhocas (<i>E. fetida</i>). A vermicompostagem resultou na diminuição do nível de pH, CE, TOC e relação C / N, mas aumentou nos níveis de TKN, TAP, TCa e TK. O valor da relação C / N, abaixo de 20, para o vermicomposto sugere um grau satisfatório de maturidade. O chorume obtido da combinação de Esterco bovino:Farelo:macrófita (1: 2: 1) possui o máximo de nutrientes orgânicos.
Nature Environment and Pollution Technology	Pushpa <i>et al.</i> (2016b)	Investigation on preparation, characterization and application of effective microorganisms (EM) based composts-an ecofriendly solution	Todos os resíduos orgânicos foram expostos para desumidificação natural. O composto foi revolvido diariamente. Os resíduos utilizados nesta avaliação proporcionaram um ambiente melhor para os microorganismos eficazes crescerem e produzirem composto de maior qualidade. O esterco de vaca e os microorganismos eficazes desempenham um papel significativo na estabilização da mistura e na aceleração do processo de compostagem.
Frontiers of Environmental Science and Engineering	Singh e Kalamdhad (2016)	Effect of lime on speciation of heavy metals during composting of water hyacinth	Mistura: 90 kg macrófitas; 45 kg esterco bovino; 15 kg serragem; 0,1,2 e 3% cal. Diâmetro de partícula ≤ 1 cm. Os resultados mostraram que a concentração total de metais pesados aumentou durante o processo de compostagem. Devido à adição de cal, o pH do composto foi aumentado efetivamente, causando uma diminuição do conteúdo de metais extraíveis solúveis em água, ácido dietileno triaminopentacético (DTPA) e características de toxicidade do processo de lixiviação (TCLP) no composto final. Metais solúveis em água (Ni, Pb e Cd) e metais extraíveis DTPA (Pb e Cd) não foram detectados durante a fração solúvel em água. A adição

REVISTA	AUTOR	TÍTULO	OBSERVAÇÕES
			de cal reduziu significativamente a biodisponibilidade e a disponibilidade de metais pesados durante o processo de compostagem.
Revista Internacional de Contaminacion Ambienta	Álvarez Bernal <i>et al.</i> (2016)	Vermicompost as an alternative of management for water hyacinth	Foram realizados três tratamentos por vermicompostagem: 100% de macrófitas; 100% de esterco bovino; 50% macrófitas + 50% esterco bovino. A minhoca usada foi <i>Eisenia fetida</i> . O vermicomposto com macrófitas e macrófitas+esterco bovino apresentaram pH e condutividade elétrica elevados. O vermicomposto permaneceu ricos em metais. A vermicompostagem foi considerada adequada produzindo um vermicomposto estável, maduro e rico em nutrientes.
Environmental Science and Pollution Research	Tello-Andrade, Jiménez-Moleón e Sánchez-Galván (2015)	Management of sewage sludge by composting using fermented water hyacinth	O objetivo do trabalho é realizar o tratamento de logo de esgoto a partir da compostagem deste com macrófitas previamente fermentadas. Os tratamentos com 25 a 50% de macrófitas apresentaram os melhores resultados para a degradação da MO e o teor de carbono orgânico e nutrientes e valores da razão C / N, CE, CEC, IG e pH. Esses resultados garantem uma maior qualidade do produto nutriente.
International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture	Singh e Kalamdhad (2015)	Assessment of compost quality in agitated pile composting of water hyacinth collected from different sources	O presente estudo a compostagem de macrófitas de 4 quatro áreas diferentes. Os resultados mostraram que os nutrientes (Na, K, Ca, nitrogênio total e fósforo) aumentaram significativamente em toda a compostagem. Parâmetro de estabilidade como taxa de evolução de CO ₂ e taxa de captação de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio químico e demanda química de oxigênio foram reduzidos significativamente durante o processo. Maior redução de teor de umidade (35,2%), sólido volátil (40,5%), nitrogênio amoniacal (75,6%), demanda bioquímica de oxigênio (65,3%), taxa de evolução de CO ₂ (78,7%) e taxa de captação de oxigênio (74,4%).
Acta Botanica Gallica	Pérez <i>et al.</i> (2015)	Seed germination and risks of using the invasive plant <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms-Laub. (water hyacinth) for composting, ovine feeding and biogas production	O foco principal do trabalho é a germinação de cultivos na aplicação dos compostos produzidos. Não há informações detalhadas de controle dos processos de compostagem. As sementes tratadas com composto tiveram porcentagens de recuperação de 100 ± 0% e valores de germinação de 1,00 ± 0,57 e 3,50 ± 0,96%, respectivamente, com vários danos anatômicos.
Sustainable Environment Research	Bui <i>et al.</i> (2015)	Reuse of sediment from catfish pond through composting with water hyacinth and rice straw	O carbono orgânico total (TOC) e o nitrogênio total (TN) do composto final foram 6,65 e 0,44% com uma relação C / N de 16. Macrófita foi adicionada ao lodo para atingir razão C/N 20, 25 e 30. Os produtos de compostagem foram utilizados em culturas vegetais. O maior crescimento dos vegetais foi alcançado na razão C/N 25/1. Os resultados indicam que sedimentos de piscicultura tem potencial para ser reutilizado na compostagem quando misturado às macrófitas.
Environmental Engineering Research	Singh, Kalamdhad e Lee (2015)	Reduction of eco-toxicity risk of heavy metals in the rotary drum composting of water hyacinth: Waste lime application and mechanisms	Previamente a compostagem, as fontes de biomassa foram cominuídas ≤1 cm. Mistura: 90kg macrófitas; 45 kg esterco bovino; 15 kg serragem; 0,1,2 e 3% cal. A concentração total de Pb foi maior que a de Zn, Cu, Mn, Cd e Cr, no entanto, seu BAF foi o mais baixo entre esses HMs. Esses resultados confirmaram que a eco-toxicidade dos HMs depende de frações biodisponíveis, e não da concentração total. A maior redução no risco de biodisponibilidade e eco-toxicidade dos HMs ocorreu em cal 1% e 2% em comparação ao controle e cal 3%. O risco de eco-toxicidade de Fe, Ni, Pb, Cd e Cr foi reduzido de baixo risco para zero por compostagem de tambor rotativo. Esses estudos demonstraram a alta eficiência do tambor rotativo na degradação de materiais de compostagem e na redução do risco de biodisponibilidade e eco-toxicidade dos HMs durante o processo de compostagem.
Compost Science and Utilization	Fan <i>et al.</i> (2015)	Use of water hyacinth (<i>eichhornia crassipes</i>) compost as a peat substitute in soilless growth media	As macrófitas foram previamente desumidificadas até atingir 70%. Relação mássica macrófitas: esterco suíno, 7:3. A pilha de compostagem foi revolvida a cada 2 dias. Os substratos com 30% a 60% de macrófitas tiveram um desempenho igualmente bom na germinação de mudas de tomate (92,0% a 95,3%), enquanto o substrato com 30% de macrófitas apresentou um resultado ruim (76,0%). Esses resultados sugeriram que a porcentagem de macrófitas nos substratos poderia ser adicionada em até 50% sem aparentemente afetar o crescimento ou a qualidade do produto do repolho chinês.
Compost Science and Utilization	Devi <i>et al.</i> (2015)	Fabrication of cellulose nanocrystals from agricultural compost	O objetivo do trabalho é a recuperação de nanocristais de celulose para aplicação na fabricação de fibras sustentáveis. A extração se dá de composto produzido com macrófitas. O traço da biomassa compostado (macrófita:esterco bovino:serragem) foi 8:1:1. As macrófitas foram previamente cominuídas ≤1 cm. Os autores

REVISTA	AUTOR	TÍTULO	OBSERVAÇÕES
			concluem, a partir da análise de resultados, que as macrófitas podem ser utilizadas para a extração de nanocristais de celulose.
Biology and Fertility of Soils	Zhang <i>et al.</i> (2014)	Mass spectrometric evidence for the occurrence of plant growth promoting cytokinins in vermicompost tea	O objetivo do artigo foi avaliar a aplicação do chorume produzido ("vermicompost tea/vermiwash") em cultivo. Foi vermicompostado macrófita:estercos avícola em uma relação 4:1. Foi utilizado duas espécies de minhocas, <i>Perionyx excavatus</i> e <i>Eisenia foetida</i> em uma razão 65:35. O composto teve pH final 7,4 e C/N 12:1. Os autores concluem pelos benefícios do uso do chorume nos cultivos avaliados, principalmente pela abundância de citocininas como trans-Zeatin (tZ) e N6-Isopentenyladenine (iP).
International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture	Sarika <i>et al.</i> (2014)	Study of physico-chemical and biochemical parameters during rotary drum composting of water hyacinth	O objetivo do trabalho foi estudar a taxa de degradação da celulose, hemicelulose e lignina. Foram avaliadas diferentes composições de compostagem com macrófitas:estercos bovino:serragem (10:0:0; 8:1:1; 7:2:1; 6:3:1; 5:4:1). O tambor foi rotacionado a cada 24 horas. A redução máxima de lignina, celulose e hemicelulose além da temperatura máxima e redução de matéria orgânica foram observadas no ensaio 6: 3: 1. A hemicelulose foi degradada a uma taxa mais rápida que a celulose e a lignina, uma vez que é substância facilmente hidrolisável em estágio mesofílico. Os autores concluíram que, para obter maior degradação de celulose e lignina, uma combinação de tambor rotativo com inoculação microbiana pode ser usada.
International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture	Singh e Kalamdhad (2014a)	Effects of natural zeolite on speciation of heavy metals during agitated pile composting of water hyacinth	A compostagem usou de relação macrófita:estercos bovino:serragem, 6:3:1 acrescida de 0 (controle), 5, 10 e 15% de zeólita. A biomassa foi cominuída a ≤ 1 cm previamente a compostagem. O fator de biodisponibilidade de todos os metais pesados selecionados foi reduzido significativamente com o aumento do zeólito em comparação com o controle. Portanto, este estudo concluiu que o uso de zeólito natural foi bem-sucedido na redução da biodisponibilidade de metais pesados durante a compostagem de macrófitas misturada com esterco bovino e serragem.
Biologia (Poland)	Vishan, Kanekar e Kalamdhad (2014)	Microbial population, stability and maturity analysis of rotary drum composting of water hyacinth	O objetivo do trabalho foi avaliar a população microbiológica de composto produzido a base de macrófitas. Foram avaliadas diferentes composições de compostagem com macrófitas:estercos bovino:serragem (10:0:0; 8:1:1; 7:2:1; 6:3:1; 5:4:1). O tambor foi rotacionado a cada 24 horas. A contagem total de bactérias mesofílicas mudou de $4,73 \times 10^{12}$ para $2,5 \times 10^7$ unidade formadora de colônias (UFC) / g de composto durante o período de compostagem. A população formadora de esporos atingiu a maior contagem de $3,3 \times 10^{10}$ UFC / g na fase termofílica da compostagem. As contagens de actinomicetos, estreptomicetos e fungos diminuíram para cerca de $2,4 \times 10^7$ UFC / g, $6,5 \times 10^5$ UFC / g e $6,79 \times 10^5$ UFC / g, respectivamente, no final do período de compostagem. Foi observada uma redução máxima de 78,7% na taxa de captação de oxigênio e de 90,6% na taxa de evolução de CO ₂ . Isso mostrou a maior estabilidade da amostra de composto. Mas a redução máxima volátil de sólidos de 45,9% significou o alto conteúdo de material lignocelulósico recalcitrante. Organismos indicadores foram reduzidos a padrões aceitáveis de saneamento.
Chemical Speciation and Bioavailability	Singh e Kalamdhad (2014b)	Influences of natural zeolite on speciation of heavy metals during rotary drum composting of green waste	A compostagem usou de relação macrófita:estercos bovino:serragem, 6:3:1 acrescida de 0 (controle), 5, 10 e 15% de zeólita. A biomassa foi cominuída a ≤ 1 cm previamente a compostagem. O fator de biodisponibilidade de todos os metais pesados selecionados foi reduzido significativamente com o aumento do zeólito em comparação com o controle. Portanto, este estudo concluiu que o uso de zeólito natural foi bem-sucedido na redução da biodisponibilidade de metais pesados durante a compostagem de macrófitas misturada com esterco bovino e serragem.
Chemical Speciation and Bioavailability	Singh e Kalamdhad (2014c)	Effect of carbide sludge (lime) on bioavailability and leachability of heavy metals during rotary drum composting of water hyacinth	Mistura: 90kg macrófitas; 45 kg esterco bovino; 15 kg serragem; 0,1,2 e 3% cal. Diâmetro de partícula ≤ 1 cm. Os resultados mostraram que a concentração total de metais pesados aumentou durante o processo de compostagem. Devido à adição de cal, o pH do composto foi aumentado efetivamente, causando uma diminuição do conteúdo de metais extraíveis solúveis em água, ácido dietileno triaminopentacético (DTPA) e características de toxicidade do processo de lixiviação (TCLP) no composto final. Metais solúveis em água (Ni, Pb e Cd) e metais extraíveis DTPA (Pb e Cd) não foram detectados durante a fração solúvel em água. A adição de cal reduziu significativamente a biodisponibilidade e a disponibilidade de metais pesados durante o processo de compostagem.
Clean - Soil, Air, Water	Karak, Bhattacharyya e	Assessment of co-compost quality by	O trabalho avaliou a compostagem 6 composições dos materiais: esterco bovino, resíduo sólido urbano, poda,

REVISTA	AUTOR	TÍTULO	OBSERVAÇÕES
	Paul (2014)	physico-chemical and exploratory data analysis	sedimento de rio, chorume e macrófitas. Todos os materiais foram previamente cominuídos a 1-1,5 cm. As pilhas foram revolvidas de 1 a 3 vezes por semana. A melhor qualidade do composto pode ser produzida onde o substrato foi esterco bovino:resíduo sólido urbano:poda:sedimento de rio:chorume:macrófitas foi 1: 1,5: 1,5: 2,5: 2,5: 1.
International Journal of Environmental Technology and Management	Ankaram <i>et al.</i> (2014)	Vermicomposting technology: An efficient biological processing of obnoxious weed water hyacinth (<i>Eichhornia crassipes</i>)	A espécie de minhoca utilizada foi <i>Eudrilus eugeniae</i> . Os resultados indicaram aumento dos valores de N, P, K, condutividade elétrica e umidade, enquanto foram observados decréscimos em C: N, C e pH, enquanto contagens microbianas como bactérias, fungos, actinomicetos nos tratamentos com vermicomposto e chorume, em comparação com os respectivos decompostos tratamentos aprimorados. Isso indica que o resíduo sólido do aguapé pode ser convertido em biofertilizante rico em energia útil no método ecologicamente correto e economicamente viável.
Environmental Engineering Research	Singh e Kalamdhad (2013c)	Effect of rotary drum on the speciation of heavy metals during water hyacinth composting	O objetivo do trabalho foi observar a mobilidade de metais ao longo do processo de compostagem. O tambor foi rotacionado a cada período de 24 horas. A biomassa utilizada foi previamente cominuída a ≤ 1 cm. A maior redução nos fatores de biodisponibilidade de Pb e Cd foi observada durante o processo. A concentração total de Cu, Cr e Cd foi muito baixa em comparação com os outros metais (Zn, Mn, Fe, Ni e Pb); no entanto, a porcentagem de frações trocáveis e de carbonato desses metais foi semelhante a outros metais. Esses resultados confirmaram que a biodisponibilidade dos metais não depende da concentração total de metais. A partir deste estudo, pode-se concluir que a adição de uma proporção adequada de esterco bovino reduziu significativamente as frações móveis e facilmente disponíveis (frações trocáveis e carbonatadas) durante a compostagem de aguapés em tambor rotativo.
Research Journal of Chemistry and Environment	Singh, Prasad e Kalamdhad (2013)	Effect of natural zeolite on bioavailability and leachability of heavy metals during rotary drum composting of green waste	A compostagem usou de relação macrófita:esterco bovino:serragem, 6:3:1 acrescida de 0 (controle), 5, 10 e 15% de zeólita. A biomassa foi cominuída a ≤ 1 cm previamente a compostagem. O fator de biodisponibilidade de todos os metais pesados selecionados foi reduzido significativamente com o aumento do zeólito em comparação com o controle. Portanto, este estudo concluiu que o uso de zeólito natural foi bem-sucedido na redução da biodisponibilidade de metais pesados durante a compostagem de macrófitas misturada com esterco bovino e serragem.
Environmental Science and Pollution Research	Singh e Kalamdhad (2013e)	Reduction of bioavailability and leachability of heavy metals during vermicomposting of water hyacinth	As composições de macrófitas:esterco bovino:serragem foram: 100:0:0; 80:10:10; 70:20:10; 60:30:10; 50:40:10. Todas as composições foram acrescidas de minhocas <i>E. fetida</i> . A umidade foi mantida 60-70%. As composições foram revolvidas a cada 15 dias. Uma adição de esterco bovino na mistura de ração melhorou o crescimento e a produtividade das minhocas, mas a redução da biodisponibilidade e da lixiviação de metais pesados não foram correlacionadas com a produtividade das minhocas durante o processo. O pH aumentou significativamente durante o processo, que foi o principal fator para reduzir a biodisponibilidade de metais pesados. A concentração total de metais pesados (Cu, Mn, Fe, Ni e Cd) diminuiu em alguns ensaios durante o processo de vermicompostagem. A vermicompostagem de macrófita usando <i>E. fetida</i> foi extremamente eficaz na redução da solubilidade em água, extração de DTPA e lixiviação de metais pesados (Zn, Cu, Fe, Ni, Pb, Cd e Cr) durante o processo de vermicompostagem. A solubilidade em água de Zn, Cu, Mn e Cr foi reduzida significativamente em todos os ensaios
Chemical Speciation and Bioavailability	Singh e Kalamdhad (2013c)	Bioavailability and leachability of heavy metals during water hyacinth composting	Composições macrófitas:esterco bovino: serragem avaliadas, 150:0:0; 120:15:0; 105:30:0; 90:45:15; 75:60:15 (kg/kg). As pilhas foram homogeneizadas a cada 3 dias. A biomassa compostada foi cominuída previamente a ≤ 1 cm. Os resultados mostraram que o conteúdo da concentração total de metal aumentou durante o processo de compostagem. A biodisponibilidade de metais pesados foi investigada na forma de ácido solúvel em água e extrato de dietileno triamina pentaacético (DTPA). No solúvel em água, DTPA e Zn, Cu, Mn, Ni e Cr lixiviáveis reduziram, mas houve um aumento gradual na concentração de Fe durante o processo de compostagem. Além disso, no Ni solúvel em água e lixiviável, Cd e Pb não foram detectados e no DTPA Cd e Pb extraíveis também não foram detectados durante 30 dias de compostagem.
Environmental Science and Pollution Research	Najar e Khan (2013)	Management of fresh water weeds (macrophytes) by vermicomposting using	Foram adicionados 20 indivíduos adultos de <i>E. fetida</i> . Foi mantida umidade de 60% na biomassa ao longo do processo de vermicompostagem. A relação macrófita:esterco bovino foi de 5:1. Os autores concluem que a

REVISTA	AUTOR	TÍTULO	OBSERVAÇÕES
		Eisenia fetida	natureza da macrófita afeta o padrão de crescimento e reprodução de E. fetida. A adição de A. pinnata pode melhorar sua reciclagem por E. fetida.
Invasive Plant Science and Management	Montoya, Wallczek e Abbott (2013)	Large scale composting as a means of managing water hyacinth (Eichhornia crassipes)	O objetivo principal do artigo é avaliar a aplicabilidade do composto produzido. Os resultados indicaram que o processo de compostagem alcançou e manteve temperaturas suficientemente altas para inativar e decompor completamente sementes e outros propágulos de aguapé. Portanto, o jacinto de água pode ser compostado sem o risco potencial de propagação. Testes de qualidade de compostagem descobriram que o composto produzido estava dentro da faixa aceitável de padrões ideais de padrões de qualidade da indústria, embora houvesse uma curva de aprendizado dos trabalhadores estudantes na preparação das estacas usando o grande equipamento.
Ecological Engineering	Singh e Kalamdhad (2013b)	Assessment of bioavailability and leachability of heavy metals during rotary drum composting of green waste (Water hyacinth)	O objetivo do trabalho foi observar a mobilidade de metais ao longo do processo de compostagem. O tambor foi rotacionado a cada período de 24 horas. A biomassa utilizada foi previamente cominuída a ≤ 1 cm. A maior redução nos fatores de biodisponibilidade de Pb e Cd foi observada durante o processo. A concentração total de Cu, Cr e Cd foi muito baixa em comparação com os outros metais (Zn, Mn, Fe, Ni e Pb); no entanto, a porcentagem de frações trocáveis e de carbonato desses metais foi semelhante a outros metais. Esses resultados confirmaram que a biodisponibilidade dos metais não depende da concentração total de metais. A partir deste estudo, pode-se concluir que a adição de uma proporção adequada de esterco bovino reduziu significativamente as frações móveis e facilmente disponíveis (frações trocáveis e carbonatadas) durante a compostagem de aguapés em tambor rotativo.
Agricultural Research	Balasubramanian et al. (2013b)	Effect of Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) Mulch on Soil Microbial Properties in Lowland Rainfed Rice-Based Agricultural System in Northeast India	A mistura macrófita:esterco bovino:palaha de arroz na vermicompostagem foi de 8:2:1. A vermicompostagem utilizou Eisenia foetida. Na compostagem foi mantida umidade de 60%, na vermicompostagem 45%. No geral, o presente estudo mostrou que a macrófita tem um grande potencial para aumentar o tamanho da biomassa microbiana de solos pobres em nutrientes do solo. Para esse efeito, a cobertura morta proporcionou condições ambientais mais saudáveis para as comunidades microbianas manifestarem maior biomassa C, N e P
Pedosphere	Yadav e Garg (2013)	Nutrient Recycling from Industrial Solid Wastes and Weeds by Vermiprocessing Using Earthworms	As macrófitas foram cominuídas a 2-3 cm previamente ao processo de vermicompostagem. Relações esterco bovino:lodo:macrófita:parthenium utilizadas, 100:0:0:0; 25:25:50:0; 50:25:25:0; 25:25:0:50; 50:25:0:25; 25:50:0:25; 25:25:25:25 (%). Vermicompostagem com E. fetida. O processo de vermiprocessamento aumentou significativamente o teor de nitrogênio, fósforo e potássio das misturas. No entanto, foi observada uma diminuição no pH, carbono orgânico e relação C: N após o processamento em vermelho. Os teores de metais pesados nos vermicompostos foram superiores aos valores iniciais, mas dentro dos limites permitidos. Esses resultados indicaram que os resíduos estudados podem ser convertidos em esterco de boa qualidade por meio do processo de vermiprocessamento, que indicou seus valores agrícolas como condicionador de óleo, se misturados com ervas daninhas em proporções apropriadas.
International Journal of Environmental Technology and Management	Ankaram, Mushan e Rao (2012)	Management of water hyacinth (Eichhornia crassipes), an aquatic weed waste, by vermicomposting technology	As minhocas utilizadas na vermicompostagem foram <i>Eudrilus eugeniae</i> . Os grupos experimentais foram: T1 100% esterco bovino; T2 (controle) 100% macrófitas; T3 50% macrófitas+50% esterco bovino; T4 macrófitas+cultura decomposta de macrófita. A umidade da vermicompostagem foi mantida próxima a 70%. Nitrogênio, fósforo, potássio e umidade aumentaram, enquanto o carbono orgânico, relação C / N, CE e pH diminuíram no decorrer da vermicompostagem. O estudo microbiano revelou um aumento na contagem total quando comparado com a macrófita decomposta. O estudo dos macronutrientes é o primeiro desse tipo no vermicomposto de macrófitas.
Environmental Engineering Research	Singh, Das e Kalamdhad (2012)	Composting of water hyacinth using a pilot scale rotary drum composter	O objetivo do estudo é avaliar diferentes composições na compostagem de macrófitas, optando por casca de arroz ou serragem, por exemplo. As composições macrófita:esterco bovino:casca de arroz: serragem utilizadas (kg) foram, 60:30:10:0; 70:20:10:0; 60:30:0:10; 70:20:0:10. O tambor foi rotacionado a cada 24 horas. Acessos de ar do tambor foram mantidos abertos de como a garantir condições aeróbias. As estabilidades dos compostos também foram investigadas com análise respirométrica, ou seja, taxas de evolução de CO2 e taxa de captação de oxigênio (OUR). Entre todos os ensaios, o ensaio 1 (6 jacintos de água, 3 esterco de gado, 1 casca de arroz) indicou a melhor mistura de compostagem, como mostra o maior perfil de temperatura e perda de MO, e menor taxa de evolução de CO2 e Taxa de captação de oxigênio.

REVISTA	AUTOR	TÍTULO	OBSERVAÇÕES
Agris On-line Papers in Economics and Informatics	Dhal <i>et al.</i> (2012)	Composting of water hyacinth using Saw dust/Rice straw as a bulking agent	O artigo avalia parâmetros físico-químicos durante a compostagem de estacas de jacinto-de-água em combinação com estrume de gado e pó de serra / palha de arroz. As composições avaliadas foram macrófita:esterco bovino:serragem/palha de arroz, 60:30:10; 70:20:10; 80:10:10. A pilha de compostagem foi revolvida a cada 3 dias. Os resultados sugeriram que a degradação ideal do aguapé pode ser possível na presença de grande quantidade de esterco bovino; e palha de arroz poderia ser uma opção melhor como agente de volume em comparação com o pó da serra.
E-Journal of Chemistry	Karmakar <i>et al.</i> (2012)	Recycling of different available organic wastes through vermicomposting	As minhocas utilizadas na vermicompostagem foram <i>Eisenia fetida</i> , <i>Eudrilus Eugeniae</i> e <i>Perionyx excavatus</i> . A análise química dos vermicompostos em estudo mostrou claramente que o vermicomposto do aguapé continha quantidade máxima de C orgânico, N total e K total, embora o teor de fósforo fosse máximo no vermicomposto de materiais mistos. A relação macrófita:esterco bovino foi de 3:1. O menor teor de nutrientes foi observado no vermicomposto de coco. Vermicompostos de materiais mistos, repolho, pseudostem de banana foram per em suas propriedades químicas. Pode-se concluir que, dentre as sete fontes, o vermicomposto do aguapé é melhor para o seu valor nutritivo.
Journal of Soil Science and Plant Nutrition	Martinez-Nieto <i>et al.</i> (2011)	Biofertilizers and composting accelerators of polluting macrophytes of a Colombian lake	Além da macrófita o estudo avalia a compostagem de <i>Egeria densa</i> . A biomassa foi cominuída a ≤ 3 cm previamente a compostagem. A umidade foi mantida próxima a 75%. A pilha de compostagem foi revolvida 2 vezes por semana. Inoculantes microbiológicos foram adicionados. O papel dos inoculantes microbianos no crescimento, desenvolvimento e assimilação de nutrientes no rabanete foi evidente e também na aceleração do processo de compostagem de macrófitas poluentes, como no caso do jacinto de água e elodéa brasileira. Isso ocorre devido à alta atividade enzimática e provavelmente à fixação de nitrogênio, à solubilização de fósforo ou à produção de substâncias estimulantes do crescimento de plantas ou antibióticos, promovidas nos substratos pelos microorganismos introduzidos.
International Journal of ChemTech Research	Begum (2011)	Evaluation of municipal sewage sludge vermicompost on two cultivars of tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i>) plants	O objetivo do artigo é avaliar a aplicabilidade de composto produzido com lodo de esgoto municipal e macrófitas. O processo consistiu na compostagem seguida de vermicompostagem. A minhoca utilizada foi <i>Eisenia fetida</i> . A umidade no contenedor de vermicompostagem foi mantida 60-70%. O vermicomposto de resíduos sólidos municipais segregados fornece húmus valioso e biofertilizantes. Os resultados mostraram que o maior rendimento de tomate (14,9 kg / cacho) foi obtido com 20 toneladas / ha de composto. A análise do solo das parcelas tratadas revelou que houve aumento no pH, carbono orgânico, N e P, enquanto o teor de potássio e a CE do solo foram reduzidos pela aplicação de MSSVC. O status de fósforo e potássio no solo foi alto após a colheita das culturas, o que significa que não há necessidade de suplementar adicionalmente o fósforo e o potássio. As concentrações de Pb e Cu estão acima do nível permitido, enquanto as de Zn e Cd estão abaixo.
Livestock Research for Rural Development	Alomia <i>et al.</i> (2011)	Effect of pleurotus ostreatus (Jacq.) p. kumm activity on the quality of compost made with eichhornia crassipes (Mart.) solms-laubach, and cattle manure [Article@Efecto de la actividad del hongo pleurotus ostreatus (Jacq.) p. kumm. en la calidad de compost elaborado a partir de eichhornia crassipes (Mart.) solms-laubach y estiércol bovino	Houve controle da umidade das pilhas em 70%. O revolvimento da pilha de compostagem foi "periódica". Houve adição de inóculo aos 35 dias de compostagem. Os valores de pH registrados foram ligeiramente maiores nas células com macrófitas e esterco bovino (sem folhas). Após a inoculação do fungo nos dois tipos de mistura, o pH diminuiu significativamente em comparação com as células não inoculadas (controles). Ao final do processo de compostagem, foi comparada a qualidade nutricional do composto final nas pilhas com e sem atividade de <i>Pleurotus ostreatus</i> . Verificou-se que as células com M1 tiveram melhor desempenho durante o processo de compostagem e que os melhores atributos nutricionais eram comuns onde <i>Pleurotus ostreatus</i> foi adicionado.
Research on Crops	Parveen e Padmaja (2011)	Efficacy of fungi and actinomycetes in converting municipal solid waste (MSW) and water hyacinth (WH) into organic manure	O artigo avalia a adição de fungo inoculante. A relação RSU:macrófitas foi de 2:1. C/N inicial 92:1 foi reduzida a 24:1 (sem inoculante) e 15:1 (com inoculante). Os resultados revelaram que o composto final foi eficiente em aumentar a taxa de decomposição com redução significativa de carbono orgânico, celulose, conteúdo fenólico e açúcares.
Indian Journal of	Packia Leksmi e	Hyacinth compost as a source of nutrient for	É avaliada a produção de composto a partir de macrófita e sua aplicação e meio de cultivo. São adicionados

REVISTA	AUTOR	TÍTULO	OBSERVAÇÕES
Science and Technology	Viveka (2011)	Abelmoschus esculentus	inoculantes com o objetivo de degradar a massa lignocelulósica do composto. Parâmetros de crescimento como porcentagem de germinação, comprimento da parte aérea, número de folhas, número de flores, número de frutos e coeficiente de fertilidade foram determinados para cada intervalo de 15 dias até 90 dias.
International Journal of Soil Science	Ansari (2011)	Worm powered environmental biotechnology in organic waste management	Estudo avalia o uso do consorcio compostagem (leiras) e vermicompostagem. A minhoca utilizada foi <i>E. fetida</i> . O revolvimento da compostagem ocorreu somente no dia 15, sendo no dia 30 direcionado para o local de vermicompostagem. Os resultados se mostraram satisfatórios para a produção de composto orgânico rico, principalmente, em K, Mg e Ca.
Ecology, Environment and Conservation	Lourduraj e Joseph (2010)	Production of vermicompost from water hyacinth (Eichhornia crasipes Mart. Solms) - efficacy of different earthworm species and enrichment on total N, P, K, Ca and Mg content of vermicompost	Os resultados revelaram que o aguapé é um material adequado para a vermicompostagem. Entre os vários tratamentos, a vermicompostagem com <i>E. eugeniae</i> juntamente com o enriquecimento é superior, considerando o teor total de N, P, K, Ca e Mg do vermicomposto. O enriquecimento com <i>Azospirillum</i> , <i>fosfobactérias</i> e <i>fosfato de rocha</i> aumentou significativamente o teor total de N, P e Ca no vermicomposto.
Livestock Research for Rural Development	Nhi <i>et al.</i> (2010)	Growth of earthworms (perionyx excavatus) on cattle or buffalo manure with or without water hyacinth	O estudo avalia a produção de biofertilizante comparando proções com esterco de gado e de búfalos. São aplicadas as seguintes compostos (kg/kg): 100% esterco gado/de búfalo; 75% esterco gado/búfalo e 25% macrófitas. As minhocas utilizadas foram da espécie <i>Perionyx excavatus</i> . A adição de macrófita picada ao estrume de búfalo ou gado levou a uma diminuição no número de minhocas e na produtividade por kg de proteína bruta do substrato adicionado. O crescimento relativo em número e peso dos vermes foi semelhante no esterco derivado de búfalos e bovinos. O efeito negativo da macrófita foi maior no búfalo do que no esterco bovino. O composto residual do esterco bovino era mais rico em N e mais pobre em cinzas do que o composto derivado do esterco de búfalo. A macrófita adicionada ao substrato resultou em composto com menos N, mas mais cinzas.
Pakistan Journal of Biological Sciences	Umsakul, Dissara e Srimuang (2010)	Chemical, Physical and Microbiological changes during composting of the water hyacinth	As macrófitas compostadas foram previamente desumidificadas. A umidade das pilhas foi mantida em torno de 60%. Houve revolvimento a cada 2 semanas. O pH foi 7 e a temperatura mais alta atingida, de 40 ° C, ocorreu na primeira semana. A relação carbono / nitrogênio inicial foi de 17,61 e aumentou para 18,12 no final da compostagem. A população de coliformes diminuiu bastante de 8,11 para 5,85 MPN (log) / ge coliformes fecais e <i>Escherichia coli</i> não foram detectados no produto final. As bactérias foram os micróbios dominantes no composto, seguidos pelos actinomicetos e fungos. Os microrganismos mesofílicos estavam presentes em maior número do que os microrganismos termofílicos durante a compostagem.
World Academy of Science, Engineering and Technology	Kaosal e Wandee (2009)	Cellulolytic microbial activator influence on decomposition of rubber factory waste composting	As amostras foram compostas conforme: 100% resíduo de borracha; 100% resíduo de borracha+ativador microbiano celulolítico; 25% borracha + 25% macrófita + 50% lodo; 25% borracha + 25% macrófita + 50% lodo + ativador microbiano celulolítico. Os resultados indicam que os resíduos da fábrica de borracha são melhor compostados com aguapé e lodo do que somente com compostagem. Além disso, o CMA é mais afetivo quando misturado com os resíduos da fábrica de borracha, aguapé e lodo, pois é obtido um bom fertilizante. Ao adicionar CMA somente aos resíduos de compostagem da fábrica de borracha, o produto acabado não atinge um padrão de fertilizante, especialmente a relação C / N. Finalmente, os produtos acabados de compostagem de resíduos de fábrica de borracha e jacinto de água e lodo (ambos CMA e sem CMA) podem ser uma alternativa ecológica para resolver os problemas de descarte de resíduos de fábrica de borracha. Como a relação C / N, o pH, o teor de umidade, a temperatura e os nutrientes dos produtos acabados são aceitáveis para uso agrícola.
Indian Journal of Environmental Protection	Sanigrahi (2009)	Management of some aquatic weeds through vermicomposting	As minhocas utilizadas foram <i>Perionyx excavatus</i> . Os compostos registraram 0,71-1,36% de nitrogênio total, 0,38-0,75% de fósforo total e 0,86-1,44% de potássio total, indicando sua boa qualidade como fertilizante orgânico. O controle dessas ervas daninhas pela utilização em larga escala para a fabricação de vermicomposto comercializável é uma técnica benéfica, melhor do que as caras técnicas de controle químico e biológico.
Bioresource Technology	Gupta <i>et al.</i> (2007)	Development of a water hyacinth based vermireactor using an epigeic earthworm	A vermicompostagem é realizada por <i>E. fetida</i> , introduzida após 21 dias de pré-compostagem. As macrófitas foram previamente cominuídas a 2-3 cm. AS composições vermicompostadas foram (kg/kg): 1/1 esterco

REVISTA	AUTOR	TÍTULO	OBSERVAÇÕES
		Eisenia foetida	bovino/minhocas (controle); 0,75/0,25 esterco bovino/macrófitas+minhocas; 0,5/0,5 esterco bovino/macrófitas+minhocas; 0,25/0,75 esterco bovino/macrófitas+minhocas. O material foi revolvido a cada 24 horas. A umidade foi mantida próximo a 70%. Maior proporção da mistura de alimentação macrófitas influenciou significativamente o ganho de biomassa, o número de filhotes e o número de casulos produzidos durante os experimentos. Em todos os examinadores, houve diminuição significativa da relação entre pH, TOC e C: N, mas aumento de TKN, TK e TAP ao final. O conteúdo de metais pesados nos vermicompostos foi menor do que as misturas iniciais. Os resultados indicaram que as macrófitas poderiam ser potencialmente úteis como substrato bruto na vermicompostagem, se misturada com até 25% no esterco bovino.
International Journal of Agricultural Research	Masaka e Ndhlovu (2007)	The effect of different forms of water hyacinth (Eichhornia crassipes) organic fertilizers on leaf growth rate and yield of rape (Brassica napus)	O trabalho objetivo melhor as condições de solos pobres. Os resultados revelaram que o uso de macrófitas retardou a taxa de crescimento inicial de folhas de colza vegetal em cerca de 1,47-5,9%. A matéria composta de macrófitas foi nutricionalmente inferior ao esterco verde. O teor total de N no composto de macrófitas foi de 72,6% menor que a macrófita ainda verde. Este estudo mostrou que a matéria verde do jacinto, uma erva daninha desagradável que reduz significativamente a qualidade estética dos corpos d'água públicos, é um fertilizante orgânico alternativo eficaz, livre de resíduos de culturas, para a produção vegetal em pequena escala.
Indian Journal of Chemical Technology	Gajalakshmi e Abbasi (2006)	Bioprocessing and resource recovery of solid waste by low-income citizens	O objetivo do estudo também foi refinar o know-how para eliminar os problemas. Neste artigo são apresentados os resultados do gerenciamento de resíduos sólidos por compostagem-vermicompostagem em 53 locais em quatro aldeias de Pondicherry. Em todos os locais, o pH, a temperatura e a relação C / N foram sistematicamente medidos para monitoramento e controle do processo. Os resultados estabelecem a adequação do know-how para fácil adoção por famílias de baixa renda e sua propensão a alcançar o controle da poluição com geração de renda.
Ecology, Environment and Conservation	Sannigrahi, Chakraborty e Borah (2002)	Large scale utilization of water hyacinth (eichhornia crassipes) as raw material for Vermi composting and surface mulching in vegetable cultivation	AS minhocas utilizadas foram <i>Perionyx excavates</i> .
Indian Journal of Environmental Protection	Sannigrahi e Chakraborty (2002)	Beneficial management of organic wastes by vermi composting	As minhocas utilizadas foram <i>Perionyx excavatus</i> . O nitrogênio total e o potássio disponível variaram de 0,7 a 1,8% e 0,5 a 2,4%, respectivamente, mostrando considerável variação na qualidade dos compostos de vermi com diferentes resíduos. O composto de Vermi, sendo um produto comercializável, é considerado uma riqueza preparada a partir de resíduos. A técnica de compostagem de Vermi oferece uma margem para boa renda e geração de emprego para os moradores e jovens desempregados. O Laboratório de Pesquisa em Defesa está realizando treinamentos periodicamente para conscientizar as pessoas da região nordeste.
Bioresource Technology	Gajalakshmi, Ramasamy e Abbasi (2002b)	Vermicomposting of different forms of water hyacinth by the earthworm <i>Eudrilus eugeniae</i> , Kinberg	Macrófitas foram vermicompostadas em 6 diferentes condições, macrófitas cruas, desidratadas, cominuídas, pós lixiviação ácida... A relação macrófita:esterco bovino, quando aplicada, foi 6:1. Ao final o substrato produzido era misturado a solo. O composto produzido com macrófitas previamente tratadas (cominuída, desidratada, lixiviada) tiveram melhores resultados que o uso de macrófitas cruas. A mistura com esterco bovino (aprox. 14%) teve os impactos mais positivos sobre o composto final.
Environmental Protection Engineering	Abdel-Sabour, Abdel-Shafy e Mosalem (2001)	Heavy metals and plant-growth-yield as affected by water hyacinth compost applied to sandy soil	O objetivo do trabalho era enriquecer solos arenos com composto produzido a partir de macrófitas e/ou esterco bovino. Solo arenoso foi misturado com 0, 5 e 10% dos compostos. Os resultados indicaram que de macrófita aumentou o acúmulo de matéria seca, rendimento de sementes e estímulo a absorção de micronutrientes.
Bioresource Technology	Gajalakshmi, Ramasamy e Abbasi (2001)	Potential of two epigeic and two anecic earthworm species in vermicomposting of water hyacinth	O trabalho compara a aplicação de quatro espécies de minhocas, <i>Eudrilus eugeniae</i> , <i>Perionyx excavatus</i> , <i>Lampito mauritii</i> e <i>Drawida willsi</i> , na vermicompostagem de macrófitas+esterco bovino. A relação macrófitas:esterco bovino utilizada é de 6:1. As duas anestésicas vieram a seguir, com <i>D. willsi</i> sendo a menos eficaz, capaz de gerar apenas cerca da metade da quantidade de vermicasts alcançada em <i>E. eugeniae</i> em um período correspondente. Em todos os reatores, as minhocas cresceram bem, aumentando seu peso em mais de 250%. O ganho líquido máximo de peso (média de 30,7 g) foi por <i>E. eugeniae</i> , seguido por <i>P. excavatus</i> , <i>L. mauritii</i> e <i>D. willsi</i> . Essa tendência, que seguiu a eficiência da produção de vermicast, também foi demonstrada em termos de capacidade reprodutiva, medida pelo número de o primavera produzida pelas quatro espécies.

**APÊNDICE B – SÍNTESE DOS ARTIGOS ACESSADOS NA REVISÃO NÃO ESTRUTURADA DA LITERATURA
BRASILEIRA**

TIPO DE TRABALHO	AUTOR	TÍTULO	OBSERVAÇÕES
Dissertação	Antunes (2009)	Análise do potencial de uso das macrófitas aquáticas do sistema de áreas alagadas construídas da ETE da Comunidade de Serviços Emaús (Ubatuba, SP) como adubo orgânico	Foram compostadas relações de macrófitas:RDO (% v/v): 20/80; 100/0; 60/40. Foi realizada cominuição das macrófitas a tamanhos menores que 5 cm. Minhocas da espécie <i>Eisenia andrei</i> foram utilizadas no teste de ecotoxicidade aguda. A análise individual das macrófitas utilizadas na compostagem sugeriram, conforme o autor, que as macrófitas são materiais de fácil e rápida decomposição e ricas em nitrogênio (C/N 8,3-9). Os resultados evidenciaram a viabilidade do uso de macrófitas para a compostagem. Todos tratamentos (macrófitas e macrófitas+RDO) atingiram valores de metais pesados inferiores ao limites legais. O uso de RDO, no entanto, aumentou a toxicidade do composto e elevou a EC.
Artigo	Silva <i>et al.</i> , (2011)	Compostagem das macrófitas aquáticas: <i>Salvinia auriculata</i> e <i>Eichhornia crassipes</i> retiradas do reservatório da UHE Luis Eduardo Mahalhães, Tocantins	Foram compostadas as seguintes composições: 100% <i>Eichhornia crassipes</i> ; 100% <i>Salvinia auriculata</i> ; 50% <i>Eichhornia crassipes</i> +50% <i>Esterco bovino</i> ; 50% <i>Salvinia auriculata</i> +16% <i>Esterco bovino</i> ; 50% <i>Eichhornia crassipes</i> +20% esterco bovino+20% poda;+10% solo; 16% <i>Salvinia auriculata</i> +20% esterco bovino+20% poda+ 10% solo; 50% <i>Eichhornia crassipes</i> +20%esterco bovino+20%poda+10%RDO; 16% <i>Savinia auriculata</i> +20% esterco bovino+20%poda+10%RDO. Não houve diferença significativa da micribiologi entre as composições avaliadas. Os valores de pH mantiveram-se próximos a neutralidade em todo o período de compostagem, como algumas composições tendendo a basicidade ou acidez. O uso somente de <i>Eichhornia crassipes</i> tem a maior redução de nitrogênio ao longo da compostagem, entretanto este teve o maior teor de C orgânico inicial.
Artigo	Liberalesso <i>et al.</i> (2013)	Compostagem de resíduos de pooda da macrófita <i>Typha domingensis Pers.</i> , utilizada no tratamento de efluentes em Wetlands construídos	As macrófitas foram previamente cominuídas a <10cm. A proporção utilizada serragem:macrófitas foi 75:25%. A umidade da leira foi mantida ≥40%. O umedecimento foi realizado com efluente do local. Não houve elevação de temperatura nas leiras e obteve-se alto valor para a relação C:N, o qual foi de 145, fatores que demonstraram a não maturidade do composto. Contudo, acredita-se que a compostagem de macrófitas aquáticas utilizando umedecimento por efluente pode ser capaz de formar um composto orgânico de qualidade desde que observadas características como a relação C:N ideal para o início do processo de compostagem e a área superficial do material vegetal utilizado nas leiras.
Artigo	Silva, Moraes e Picanço (2011)	Aplicação do processo de compostagem nas macrófitas aquáticas <i>Salvinia auriculata</i> e <i>Eichhornia crassipes</i> das praias dos municípios de Palmas e Porto Nacional, Tocantins, e avaliação da utilidade do composto	Foram compostadas as seguintes composições: 100% <i>Eichhornia crassipes</i> ; 100% <i>Salvinia auriculata</i> ; 50% <i>Eichhornia crassipes</i> +50% <i>Esterco bovino</i> ; 50% <i>Salvinia auriculata</i> +16% <i>Esterco bovino</i> ; 50% <i>Eichhornia crassipes</i> +20% esterco bovino+20% poda;+10% solo; 16% <i>Salvinia auriculata</i> +20% esterco bovino+20% poda+ 10% solo; 50% <i>Eichhornia crassipes</i> +20%esterco bovino+20%poda+10%RDO; 16% <i>Savinia auriculata</i> +20% esterco bovino+20%poda+10%RDO. Não houve diferença significativa da micribiologi entre as composições avaliadas. Os valores de pH mantiveram-se próximos a neutralidade em todo o período de compostagem, como algumas composições tendendo a basicidade ou acidez. O uso somente de <i>Eichhornia crassipes</i> tem a maior redução de nitrogênio ao longo da compostagem, entretanto este teve o maior teor de C orgânico inicial.
Dissertação	Mees (2006)	Uso de aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>) em sistemas de tratamento de efluente de matadouro e frigorífico e avaliação de sua compostagem	As composições avaliadas foram: 100% macrófita; macrófita:dejeito suíno 7:1; Macrófita:dejeito suíno:solo 7:1:0,67; Macrófita:dejeito suíno:tripas celulósicas 7:1:0,67. Considerando C/N como indicador de maturidade do composto, macrófita:dejeito suíno:tripas celulósicas tiveram o melhor resultado, sendo considerado pronto já aos 60 dias.
Artigo	Silva <i>et al.</i> , (2012)	Compostagem das macrófitas aquáticas: <i>Salvinia auriculata</i> e <i>Eichhornia crassipes</i>	Foram compostadas as seguintes composições: 100% <i>Eichhornia crassipes</i> ; 100% <i>Salvinia auriculata</i> ; 50% <i>Eichhornia crassipes</i> +50% <i>Esterco bovino</i> ; 50% <i>Salvinia auriculata</i> +16% <i>Esterco bovino</i> ; 50%

TIPO DE TRABALHO	AUTOR	TÍTULO	OBSERVAÇÕES
		retiradas do reservatório da UHE Luis Eduardo Mahalhães, Tocantins	<i>Eichhornia crassipes</i> +20% esterco bovino+20% poda;+10% solo; 16% <i>Salvinia auriculata</i> +20% esterco bovino+20% poda+ 10% solo; 50% <i>Eichhornia crassipes</i> +20%esterco bovino+20%poda+10%RDO; 16% <i>Savinia auriculata</i> +20% esterco bovino+20%poda+10%RDO. Não houve diferença significativa da microbiologi entre as composições avaliadas. Os valores de pH mantiveram-se próximos a neutralidade em todo o período de compostagem, como algumas composições tendendo a basicidade ou acidez. O uso somente de <i>Eichhornia crassipes</i> tem a maior redução de nitrogênio ao longo da compostagem, entretanto este teve o maior teor de C orgânico inicial.
Artigo	Farias <i>et al.</i> (2013)	Propriedades físicas e químicas de substratos produzidos utilizando macrófitas aquáticas	As composições avaliadas foram: 100% macrófitas; 60% macrófitas+30% esterco bovino+10% solo; 70% macrófitas+20% esterco bovino+10% solo; 70% macrófitas + 30% esterco bovino. Os compostos produzidos apresentaram elevados teores de nitrogênio, fósforo e potássio. O substrato produzido com 70% <i>Pistia Stratiotes</i> +30%esterco e os compostos por 70% <i>Typha</i> +20%esterco+10terra vegetal e 70% <i>Typha</i> +30%esterco apresentam relação C/N dentro do considerado ideal. A razão de humificação e índice de humificação na maior parte das composições encontraram-se dentro do considerado ideal. A porcentagem de ácidos húmicos e índice de polimerização, no entanto, estava abaixo do ideal na maior parcela das composições.
Artigo	Cezar <i>et al.</i> (2005)	Avaliação da degradação de macrófitas aquáticas descartadas em ambiente protegido	A argila utilizada teve como principal objetivo o controle da umidade do composto (definida como ≈50%). C/N, micronutrientes, pH e umidade (inclusive com a adição da argila) não tiveram comportamentos divergente ao longo da compostagem.
Artigo	Mees <i>et al.</i> (2009a)	Estabilização da biomassa de aguapé através da compostagem com águas residuárias de suínos e resíduos de frigorífico	As composições avaliadas foram: 100% macrófita; macrófita:dejeito suíno 7:1; Macrófita:dejeito suíno:solo 7:1:0,67; Macrófita:dejeito suíno:tripas celulósicas 7:1:0,67. Considerando C/N como indicador de maturidade do composto, macrófita:dejeito suíno:tripas celulósicas tiveram o melhor resultado, sendo considerado pronto já aos 60 dias.
Artigo	Trolezi <i>et al.</i> (2018)	Polimento de Esgoto Doméstico, em uma Lagoa de <i>Landoltia punctata</i> , com Recirculação do Efluente e Reaproveitamento da Biomassa para Compostagem	Os resultados obtidos, na compostagem da biomassa produzida indicaram uma relação carbono/nitrogênio dos compostos integral e parcial de 27,2 e 20,1, respectivamente.
Dissertação	Yamauchi (2014)	Efeito da incorporação de macrófitas aquáticas sobre características químicas de solo degradado	O objetivo do trabalho foi incorporar composto produzido a partir de macrófitas em solo pobre. As macrófitas foram previamente cominuidas < 2 cm. Revolvimento anual realizado a cada 4 dias. Ao final dos experimentos a incorporação das biomassas alterou de forma positiva as características químicas do solo. As espécies que mais contribuíram com o aumento no teor de nutrientes no solo foram <i>B. subquadripa</i> e <i>T. latifolia</i> , incorporadas isoladamente e em mistura. As características químicas do solo diferiram significativamente com a incorporação de material compostado à partir da dose de 10 t ha-1 e a maior contribuição foi a dose de 40 t ha-1. Com base nos resultados obtidos conclui-se que a incorporação de <i>E. crassipes</i> , <i>T. latifolia</i> , <i>S. molesta</i> e <i>B. subquadripa</i> alterou de forma positiva as características químicas do solo, bem como a incorporação do composto, fertilizando solo degradado utilizado nos experimentos.
Artigo	Brusa <i>et al.</i> (2015)	Saneamento para todos – Esgoto tratado, Reuso, Irrigação, Filtração-Desinfecção e Sistema de Compostagem – É possível?	Este artigo apresenta alternativas para tratamento de esgotos domésticos integrados com a reutilização de resíduos sólidos, além da compostagem de resíduos orgânicos e outros. Os autores concluem que a compostagem também é um processo de baixo custo e de manutenção reduzida.
Artigo	Mees <i>et al.</i> (2009b)	Estabilização da biomassa de aguapé através da compostagem com águas residuárias de suínos e resíduos de frigorífico	As composições avaliadas foram: 100% macrófita; macrófita: dejeito suíno 7:1; Macrófita:dejeito suíno:solo 7:1:0,67; Macrófita:dejeito suíno:tripas celulósicas 7:1:0,67. Considerando C/N como indicador de maturidade do composto, macrófita:dejeito suíno:tripas celulósicas tiveram o melhor resultado, sendo considerado pronto já aos 60 dias.
Dissertação	Pereira (2012)	Uso de compostagem de aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>) na produção de milho verde	O objetivo do trabalho foi enriquecer o solo pobre com composto a partir de macrófitas. As macrófitas foram previamente cominuidas e dispostas em leiras. Umidade foi mantida ≈60% no processo de compostagem. O rendimento da cultura respondeu positivamente ao N na dosagem de 130kg de ha-1 em três tratamentos, menos no

TIPO DE TRABALHO	AUTOR	TÍTULO	OBSERVAÇÕES
			tratamento sem adubação (testemunha). A partir dos dados coletados e das observações feitas, foi possível constatar que a compostagem de macrófitas (<i>Eichhornia crassipes</i>) pode ser utilizada como fonte de nutrientes na produção de milho verde e aumentar sua produtividade.
Dissertação	Trolezi (2019)	Avaliação do destino final da biomassa de <i>Landoltia punctata</i> para compostagem por aeração natural com resíduos de podas de árvores	Os resultados obtidos, na compostagem da biomassa produzida indicaram uma relação carbono/nitrogênio dos compostos integral e parcial de 27,2 e 20,1, respectivamente.

**APÊNDICE C – SÍNTESE DOS ARTIGOS ACESSADOS NA REVISÃO ESTRUTURADA DA LITERATURA REFERENTE À
COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS POR AERAÇÃO FORÇADA**

REVISTA	AUTOR	TÍTULO	OBSERVAÇÕES
Waste Management	Avidov <i>et al.</i> (2017)	Composting municipal biosolids in polyethylene sleeves with forced aeration: Process control, air emissions, sanitary and agronomic aspects	Os resíduos orgânicos foram adicionados em um bag onde o ar foi injetado ar por um soprador. O acionamento do soprador se deu por controlador lógico, a partir de sensores de oxigênio (6) e temperatura (9). A posição dos sensores foi 35, 75 e 115 cm da parte superior. O ciclo completo de compostagem incluiu duas fases: uma fase na bolsa e a segunda em uma pilha aberta. Foram 2 experimentos, um onde o bag foi aberto aos 62 dias e outro aos 118 dias. O ventilador foi ligado quando as temperaturas excederam 55 ° C ou quando as concentrações de oxigênio diminuíram abaixo de 12%. Redução de salmonelas, E. coli e coliformes foram efetivos inicialmente, atendendo aos padrões dos biossólidos de Classe A; no entanto, a densidade de coliformes totais e fecais aumentou após a abertura da segunda manga e excedeu o padrão de 1000 número mais provável (MPN) por g de matéria seca. A maturidade do composto foi alcançada nas pilhas abertas após as duas mangas e o composto final foi não fitotóxico e benéfico como aditivo no solo.
Journal of Environmental Management	Rasapoor <i>et al.</i> (2016)	Comparative evaluation of aeration methods for municipal solid waste composting from the perspective of resource management: A practical case study in Tehran, Iran	O objetivo do artigo é avaliar o desempenho de diferentes sistemas de compostagem. Foram avaliadas 4 pilhas de aprox. 95m³. 1 pilha com aeração forçada, 1 pilha com aeração natural; 1 pilha com revolvimento mecânico; 1 pilha com ventilação natural (revolv. mec. 1 vz ao mês). Tubos de PVC de 90 mm de diâmetro foram implantados nas bases das pilhas para distribuição do ar. A fração orgânica compostada tinha de 70-80 mm. Os autores concluem que o sistema com aeração natural (com tubo na base) consome menos energia mas não é eficiente para resíduos heterogêneos durante um período de quatro meses. O sistema com ventilação natural (revolv. mecânico 1 vz ao mês) tem melhores resultados de NO3-N, relação C/N e maturidade do composto com comparação aos outros sistemas. Com relação a investimento e operação, a ventilação natural é preferível ao revolvimento mecânico. Os autores não concluem com relação à aeração forçada.
Nature Environment and Pollution Technology	Kootenaee, Aminirad e Ramezani (2014)	Composting of sewage sludge and municipal solid waste	A fração orgânica do RSU foi previamente selecionada, 0-40 mm. O lodo foi previamente desidratado (até 2-3% de umidade). Foi utilizado um tubo de PVC (20 cm de diâmetro) para a compostagem dos materiais. Foi utilizada uma bomba a vácuo para inserção de ar. A relação C/N foi de 25 a 35:1. Considerando a importância da umidade para os microrganismos, o teor de umidade adequado foi de 50 a 60% para a compostagem eficaz. A aeração pode diminuir a umidade do composto. Entretanto, a aeração com três vezes mais ar que o requerido deu o melhor resultado. Para homogeneizar e equilibrar a temperatura, é necessário agitar a pilha de composto a cada 4-6 dias. A não aeração inicial, seguida de altas taxas de aeração, contribuiu para alguns parâmetros.
Waste Management	Hasan <i>et al.</i> (2012)	Study on the quality and stability of compost through a Demo Compost Plant	O artigo objetiva comparar 3 sistemas de compostagem: aeração natural; forçada; tubo vertical perfurado. A tubulação do sistema de aeração forçada usado foi de 10 cm de diâmetro e 2,4 m de comprimento. Com base na análise dos achados experimentais, a técnica de compostagem com aeração passiva horizontal é adequada para Bangladesh, pois apresenta melhor desempenho para reduzir o período de compostagem do que os demais.
Waste Management and Research	Ermolaev <i>et al.</i> (2012)	Greenhouse gas emission from covered windrow composting with controlled ventilation	O trabalho avalia a aeração forçada em 3 proporções: mantendo a temperatura <40°C até o pH aumentar; aeração mínima no início do processo; e aeração constante. Pilhas trapezoidais de 10 a 20 m (h:1,7m; e: 3,8m) foram avaliadas. Tubulação de aeração disposta na parte superior da pilha. Instalação I: Inicialmente resfriado. O ventilador forneceu aeração mínima (em 1min por 10 min de ciclo), até que a temperatura atin-gisse a temperatura inicial de 37 ° C. Depois disso, o ventilador foi ligado e desligado automaticamente para manter essa temperatura. Quando o pH aumentou para 6,5, a temperatura do ponto de ajuste foi aumentada para 65° C.

REVISTA	AUTOR	TÍTULO	OBSERVAÇÕES
			<p>Instalação V: ventilação variada. O ventilador forneceu aeração mínima (em 1min por 10 min de ciclo), até a temperatura atingir 65 ° C. Depois disso, o ventilador foi ligado e desligado automaticamente para manter essa temperatura. Estava constantemente ligado quando a temperatura estava acima de 65 ° C.</p> <p>Instalação C: constantemente ativada. O ventilador estava constantemente ligado durante todo o processo de compostagem.</p> <p>As taxas de aplicação de ar foram 1360, 520 e 450 m³/h para os conjuntos I, V e C, respectivamente. As emissões de metano começaram baixas e aumentaram ao longo da duração do experimento. As emissões de CH₄ ficaram abaixo de 2% de CO₂ durante todo o comprimento do primeiro experimento e até o dia 12 do segundo experimento. Isso é comparável à faixa mais baixa de 0,2 a 2,5% de CH₄-C do C inicial relatada em outros estudos.</p> <p>A proporção de CH₄: CO₂ aumentou na maioria das janelas durante as experiências de 20 dias, independentemente da taxa de ventilação. As emissões de óxido nítrico foram baixas e a proporção de N₂O: CO₂ ficou abaixo de 0,02%. Essas duas experiências tiveram apenas 20 dias cada e é necessária uma série de medições mais longa para avaliar a emissões totais de CH₄ e N₂O provenientes da compostagem.</p>
Biosystems Engineering	Ruggieri <i>et al.</i> (2008)	Performance of different systems for the composting of the source-selected organic fraction of municipal solid waste	<p>O artigo compara o desempenho de 3 tipos de sistemas de aeração: pilha com revolvimento; pilha estática com aeração forçada; pilha com revolvimento e aeração forçada. O volume das pilhas foi de aprox. 200 m³. As pilhas eram do tipo trapezoidais, de 4m/2m/30-40m. Foram adicionados aprox. 70-80 toneladas de resíduos. Os sistemas aerados duraram 90 dias. Embora a porosidade inicial para todas as misturas fosse alta, em torno de 70%, o material tendia a se compactar no sistema estático. A comparação dos resultados obtidos para Pilha com Revolvimento e Pilha com Revolvimento+Aeração Forçada demonstrou que o custo de investimento em um sistema de aeração forçada não é necessário para o resíduo estudado.</p>
Pollution Research	Uma, Meenambal e Saravanan <i>et al.</i> (2006)	Some investigations on in-vessel aerobic composting of municipal solid waste	<p>ARTIGO COM ACESSO RESTRITO. As amostras foram analisadas uma vez em quatro dias para o estudo de várias características. Os compostos de qualidade exigida foram obtidos em 30 dias. Os adubos foram deixados amadurecer e estabilizar para facilitar aplicações agrícolas práticas. A biodegradabilidade do RSU foi inferida através do estudo. A adequação da relação C / N ótima para os resíduos também foi identificada.</p>
Journal of Environmental Management	Rincón <i>et al.</i> (2019)	Chemical and odor characterization of gas emissions released during composting of solid wastes and digestates	<p>Artigo focado nas emissões de gases e odor no processo de compostagem. Os resíduos foram compostados individualmente. O processo de compostagem de resíduos sólidos representou OEFs variando de 65 a 3089 OUEg-1OM0, enquanto a compactação de digestos mostrou um menor potencial de emissão de odores, com a OEF flutuando de 8,6 para 30,5 OUEg-1OM0. Além disso, as concentrações químicas de compostos únicos foram ponderadas com seus correspondentes limiares de detecção de odores (ODTs) para produzir valores de atividades de odor (OAVs) e contribuição de odor (POi,%). Os compostos voláteis de enxofre foram os principais odorantes (POi = 54-99%), independentemente das condições operacionais de compostagem ou do substrato tratado. Notavelmente, o metanotiol foi o principal odorante em 73% dos experimentos de compostagem.</p>
Journal of Environmental Management	Alves, Villar e Mato (2019)	Thermophilic composting of hydrocarbon residue with sewage sludge and fish sludge as cosubstrates: Microbial changes and TPH reduction	<p>Artigo focado na avaliação microbiológica e na redução do teor de hidrocarbonetos, sendo este um tratamento para o resíduo de limpeza de tanques de combustíveis. Ambos os tratamentos de compostagem com co-substratos mostraram-se adequados para a biorremediação de resíduos de tanques de armazenamento de hidrocarbonetos, o lodo de peixe apresentou as melhores condições de biorremediação. O lodo de esgoto municipal proporcionou um efeito de bioaugmentação devido à sua rica diversidade e biomassa microbiana. O lodo de peixe pode ter efeito bioestimulante e surfactante, produzindo uma mistura alifática de resíduos poluentes com os requisitos nutricionais para promover o desenvolvimento de comunidades fúngicas.</p>
Waste Management	Zhang <i>et al.</i> (2013)	Emission of volatile sulfur compounds during composting of municipal solid waste (MSW)	<p>Artigo focado na geração dos compostos sulfurosos pelo processo de compostagem. A compostagem foi realizada por 30 dias. O material foi revolvido uma vez por semana. O acionamento do motor de inserção de ar se deu por controlador lógico, sem informações dos dados de entrada.</p>

ANEXO A – LAUDOS



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 78459

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereço: UA SANTA TEREZINHA. 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra
Identificação: MACRÓFITAS - COLETA: 13/07/2021 - 20°C - NÍVEL DE BARRAGEM 1.60m
Recebimento: 13/07/2021 às 11:34 H.

Dados da Coleta
Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro	Resultado/Unidade	Limites
<i>Método/Norma</i>		<i>Data do Ensaio</i>
Carbono Orgânico	2,4 %	0,01% (*LD)
<i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico</i>		15/07/2021
Densidade	0,9745 g/mL	0,001 g/mL (*LD)
<i>ASTM-D291</i>		16/07/2021
Nitrogênio Total	0,3 %	0,01% (*LD)
<i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Macro Método da Lixa de Raney</i>		19/07/2021
Relação Carbono/Nitrogênio	8,0	---
<i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo</i>		21/07/2021

(*LD) = Limite de Detecção

Porto Alegre, 17 de agosto de 2021.

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
 As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.
 Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.
 Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 78535

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereço: UA SANTA TEREZINHA. 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra

Identificação: RESÍDUO URBANO DOMICILIAR
Recebimento: 14/07/2021 às 16:46 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro <i>Método/Norma</i>	Resultado/Unidade	Limites <i>Data do Ensaio</i>
Carbono Orgânico <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico</i>	10,0 %	0,01% (*LD) 15/07/2021
Densidade <i>ASTM-D291</i>	1,0205 g/mL	0,001 g/mL (*LD) 16/07/2021
Nitrogênio Total <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Macro Método da Lixa de Raney</i>	0,3 %	0,01% (*LD) 19/07/2021
Relação Carbono/Nitrogênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo</i>	33,3	22/07/2021

(*LD) = Limite de Detecção

Porto Alegre. 17 de agosto de 2021.

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.

As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.

Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.

Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 81547

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereco: UA SANTA TEREZINHA, 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra

Identificação: RESÍDUO SÓLIDO URBANO + MACRÓFITAS - DATA DA COLETA: 27/10/2021 - HORA: 18H15
Recebimento: 28/10/2021 às 09:12 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro	Resultado/Unidade	Limites
<i>Método/Norma</i>		<i>Data do Ensaio</i>
Arsênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,01 ppm (*LD) 01/11/2021
Boro <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método espectrofotométrico da Azometina - H</i>	Não detectado	0,01% (*LD) 08/11/2021
Cádmio <i>U.S. EPA - Método: 3050 B - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,01 ppm (*LD) 01/11/2021
Cálcio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	2564,4 ppm	0,01 ppm (*LD) 04/11/2021
Capacidade de Troca Catiônica (CTC) <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Titulométrico</i>	546,6 mmolc/kg	0,1 mmolc/kg (*LD) 05/11/2021
Carbono Orgânico <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico</i>	12,4 %	0,01% (*LD) 29/10/2021
Chumbo <i>U.S. EPA - Método: 3050 B - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,01ppm (*LD) 01/11/2021
Cloretos <i>Titulometria</i>	2088,3 mg/kg	0,01mg/kg (*LD) 08/11/2021
Cobalto <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,01% (*LD) 08/11/2021
Cobre <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,01% (*LD) 01/11/2021
Condutividade <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Condutometria</i>	1,53 mS/cm	0,01mS/cm (*LD) 08/11/2021
Cromo Total <i>U.S. EPA - Método: 3050 B - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,01ppm (*LD) 01/11/2021
Densidade <i>ASTM-D291</i>	0,9083 g/mL	0,001 g/mL (*LD) 28/10/2021
Enxofre <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Sulfato de Bário</i>	0,16 %	0,01% (*LD) 05/11/2021
Ferro <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	518,2 mg/Kg	0,000001 mg/Kg (*LD) 01/11/2021
Fósforo Total em P2O5 <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Quimocíac</i>	0,12 %	0,01% (*LD) 08/11/2021

(*LD) = Limite de Detecção

Página: 1 de 2 do R.E.: 81547



RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro	Resultado/Unidade	Limites
<i>Método/Norma</i>		<i>Data do Ensaio</i>
Magnésio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Espectrofotométrico de Absorção Atômica</i>	399,9 ppm	0,01 ppm (*LD) 03/11/2021
Manganês <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	56,9 ppm	0,01 ppm (*LD) 08/11/2021
Matéria Orgânica Total <i>Gravimetria</i>	13,53 %	0,1 % (*LD) 08/11/2021
Mercurio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,0006 ppm (*LD) 01/11/2021
Molibdênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,01% (*LD) 01/11/2021
Níquel <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,01% (*LD) 08/11/2021
Nitrogênio Total <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Macrométodo da Lixa de Raney</i>	0,62 %	0,01% (*LD) 05/11/2021
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico</i>	8,1	0,01 (*LD) 08/11/2021
Relação Carbono/Nitrogênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo</i>	20,0	08/11/2021
Selênio <i>U.S EPA: Método 7741-A - Espectrofotometria de Absorção Atômica - VGA</i>	Não detectado	0,01 ppm (*LD) 01/11/2021
Sódio <i>Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	1362,2 mg/kg	0,0208mg/kg (*LD) 04/11/2021
Temperatura <i>Termometria</i>	22,0 °C	0,1 °C (*LD) 08/11/2021
Umidade a 65°C <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico</i>	82,0 %	0,01% (*LD) 08/11/2021
Zinco <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	6,42 ppm	0,01 ppm (*LD) 01/11/2021

(*LD) = Limite de Detecção

Porto Alegre, 08 de novembro de 2021.

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.
Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.
Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 81742

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereço: UA SANTA TEREZINHA, 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra

Identificação: MACRÓFITAS COM RESÍDUOS SÓLIDOS URBANO - COLETA 04/11/2021
Recebimento: 05/11/2021 às 12:22 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro <i>Método/Norma</i>	Resultado/Unidade	Limites <i>Data do Ensaio</i>
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico</i>	8,03	0,01 (*LD) 12/11/2021
Umidade a 65°C <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico</i>	78,03 %	0,01% (*LD) 12/11/2021

(*LD) = Limite de Detecção

Porto Alegre, 16 de novembro de 2021.

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.
Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.
Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 81899

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereco: UA SANTA TEREZINHA. 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra

Identificação: RSU + MACRÓFITAS - COLETADA EM 10/11/2021 - 18H30
Recebimento: 11/11/2021 às 15:51 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro <i>Método/Norma</i>	Resultado/Unidade	Limites <i>Data do Ensaio</i>
Carbono Orgânico <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico</i>	8,9 %	0,01% (*LD) 22/11/2021
Nitrogênio Total <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Macro Método da Lixa de Ranev</i>	0,59 %	0,01% (*LD) 22/11/2021
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico</i>	4,53	0,01 (*LD) 22/11/2021
Relação Carbono/Nitrogênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo</i>	15,1	22/11/2021
Umidade a 65°C <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico</i>	78,71 %	0,01% (*LD) 22/11/2021

(*LD) = Limite de Detecção

Porto Alegre, 22 de novembro de 2021.

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.
Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.
Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 82192

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereço: UA SANTA TEREZINHA, 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra

Identificação: RSU + MACRÓFITA - COLETADA EM 24/11/2021 - 18H30
Recebimento: 25/11/2021 às 17:02 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro <i>Método/Norma</i>	Resultado/Unidade	Limites <i>Data do Ensaio</i>
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico</i>	5,54	0,01 (*LD) 02/12/2021
Umidade a 65°C <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico</i>	79,25 %	0,01% (*LD) 02/12/2021

(*LD) = Limite de Detecção

Porto Alegre, 06 de dezembro de 2021.

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.
Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.
Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 82220

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereco: UA SANTA TEREZINHA. 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra

Identificação: RSU + MACRÓFITA - AMOSTRA Nº 3
Recebimento: 29/11/2021 às 08:56 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro <i>Método/Norma</i>	Resultado/Unidade	Limites <i>Data do Ensaio</i>
Carbono Orgânico <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico</i>	6,0 %	0,01% (*LD) 06/12/2021
Densidade <i>ASTM-D291</i>	0,9692 g/mL	0,001 g/mL (*LD) 06/12/2021
Nitrogênio Total <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Macro Método da Lixa de Ranev.</i>	0,26 %	0,01% (*LD) 02/12/2021
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico</i>	4,08	0,01 (*LD) 02/12/2021
Relação Carbono/Nitrogênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo</i>	23,1	--- 06/12/2021
Umidade a 65°C <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico</i>	89,67 %	0,01% (*LD) 02/12/2021

(*LD) = Limite de Detecção

Porto Alegre, 06 de dezembro de 2021.

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.
Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.
Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 82949

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereço: UA SANTA TEREZINHA, 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra

Identificação: RSU + MACRÓFITA - DATA DE COLETA: 26/12/2021 - ENTREGA: 27/12/2021 - AMOSTRA C/ 360g
Recebimento: 27/12/2021 às 12:54 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro	Resultado/Unidade	Limites
<i>Método/Norma</i>		<i>Data do Ensaio</i>
Carbono Orgânico	12,3 %	0,01% (*LD)
<i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico</i>		04/01/2022
Nitrogênio Total	1,1 %	0,01% (*LD)
<i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Macro Método da Liga de Raney</i>		06/01/2022
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES	7,48	0,01 (*LD)
<i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico</i>		05/01/2022
Relação Carbono/Nitrogênio	11,2	---
<i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo</i>		06/01/2022
Umidade a 65°C	68,7 %	0,01% (*LD)
<i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrica</i>		04/01/2022

(*LD) = Limite de Detecção

Porto Alegre, 06 de janeiro de 2022.

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
 As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.
 Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.
 Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 83242

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereço: UA SANTA TEREZINHA, 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra

Identificação: RSU + MACRÓFITAS - DATA DE COLETA: 09/01/2022 -
 ENTREGA: 10/01/2022 - AMOSTRA C/ 575a
Recebimento: 10/01/2022 às 18:13 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro <i>Método/Norma</i>	Resultado/Unidade	Limites <i>Data do Ensaio</i>
PH(1:5 em sol. CaCl₂ 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico</i>	7,7	0,01 (*LD) 17/01/2022
Umidade a 65°C <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico</i>	66,47 %	0,01% (*LD) 14/01/2022

(*LD) = Limite de Detecção

Porto Alegre, 20 de janeiro de 2022.

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
 As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.
 Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.
 Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 83703

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereço: UA SANTA TEREZINHA, 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra

Identificação: RSU + MACRÓFITA - DATA DA COLETA: 27/01/2022 (massa amostra= 370g)
Recebimento: 27/01/2022 às 16:11 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro	Resultado/Unidade	Limites
<i>Método/Norma</i>		<i>Data do Ensaio</i>
Carbono Orgânico <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico</i>	19,8 %	0,01% (*LD) 01/02/2022
Densidade <i>ASTM-D291</i>	0,3877 g/mL	0,001 g/mL (*LD) 03/02/2022
Nitrogênio Total <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Macro Método da Liga de Raney</i>	2,2 %	0,01% (*LD) 01/02/2022
PH(1:5 em sol. CaCl₂ 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico</i>	8,8	0,01 (*LD) 31/01/2022
Relação Carbono/Nitrogênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo</i>	9,0	--- 03/02/2022
Umidade a 65°C <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico</i>	37,22 %	0,01% (*LD) 03/02/2022

(*LD) = Limite de Detecção

Porto Alegre, 07 de fevereiro de 2022.

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
 As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.
 Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.
 Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 84055

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereço: UA SANTA TEREZINHA, 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra

Identificação: PÓ-DE-PEDRA (BASALTO) - DATA 10/02/2022
Recebimento: 10/02/2022 às 17:31 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro <i>Método/Norma</i>	Resultado/Unidade	Limites <i>Data do Ensaio</i>
Alumínio <i>Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	9,21 %	0,095 % (*LD) 15/02/2022
Cálcio Total <i>Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	8,24 %	0,001% (*LD) 16/02/2022
Ferro Total <i>Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	6,57 %	0,036 % (*LD) 21/02/2022
Fosforo Total em P2O5 <i>Gravimetria</i>	0,33 %	0,01% (*LD) 22/02/2022
Magnésio <i>Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	4,61 %	0,027 % (*LD) 16/02/2022
Manganês <i>Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	0,04 %	0,008 % (*LD) 14/02/2022
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico</i>	8,34	0,01 (*LD) 21/02/2022
Potássio <i>Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	0,06 %	0,016% (*LD) 16/02/2022
Silica <i>Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	58,85 %	0,01% (*LD) 22/02/2022

(*LD) = Limite de Detecção

Porto Alegre, 22 de fevereiro de 2022.

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
 As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pro-Ambiente.
 Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.
 Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 84065

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereço: UA SANTA TEREZINHA, 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra

Identificação: RSU + MACRÓFITAS - DATA DE COLETA: 10/02/2022 - ENTREGA: 10/02/2022 - AMOSTRA C/(massa da Amostra=230g)

Recebimento: 10/02/2022 às 17:55 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro <i>Método/Norma</i>	Resultado/Unidade	Limites <i>Data do Ensaio</i>
PH(1:5 em sol. CaCl₂ 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico</i>	9,07	0,01 (*LD) 21/02/2022
Umidade a 65°C <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico</i>	29,75 %	0,01% (*LD) 21/02/2022

(*LD) = Limite de Detecção

Porto Alegre, 21 de fevereiro de 2022.

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
 As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.
 Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.
 Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 84624

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereço: UA SANTA TEREZINHA, 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra

Identificação: RSU + MACRÓFITAS - DATA DA COLETA: 25/02/2022 - DATA DA COLETA 25/02/2022 - HORA 11:05 min
(massa da amostra: 330g)

Recebimento: 25/02/2022 às 13:00 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro <i>Método/Norma</i>	Resultado/Unidade	Limites <i>Data do Ensaio</i>
Cálcio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	3,67 %	0,01% (*LD) 09/03/2022
Capacidade de Retenção de Água (massa/massa) <i>MAPA - IN 17 (21/05/2007) - Gravimetria</i>	120,5 %(m/m)	0,01%(m/m) (*LD) 08/03/2022
Capacidade de Troca Catiônica (CTC) <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Titulométrico</i>	357,5 mmolc/kg	0,1 mmolc/kg (*LD) 07/03/2022
Carbono Orgânico <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico</i>	21,6 %	0,01% (*LD) 07/03/2022
Cloro Solúvel em Água <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método de Mohr</i>	1,07 %	0,01% (*LD) 08/03/2022
Cobre <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	22,9 mg/kg	0,01 mg/kg (*LD) 07/03/2022
Densidade <i>ASTM-D291</i>	0,3338 g/mL	0,001 g/mL (*LD) 08/03/2022
Dióxido de Silício (SiO₂) <i>Espectrofotometria de Absorção Atômica/Cálculo</i>	1302,2 mg/kg	0,01mg/kg (*LD) 08/03/2022
Enxofre <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Sulfato de Bário</i>	0,33 %	0,01% (*LD) 07/03/2022
Ferro Total <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	0,36 %	0,01% (*LD) 07/03/2022
Fósforo Total em P₂O₅ <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Quimocíac</i>	0,96 %	0,01% (*LD) 07/03/2022
Magnésio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Espectrofotométrico de Absorção Atômica</i>	2664,9 mg/kg	0,01 mg/kg (*LD) 09/03/2022
Manganês <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	341,7 ppm	0,01 ppm (*LD) 14/03/2022
Matéria Orgânica Total <i>Gravimetria</i>	42,37 %	0,1 % (*LD) 07/03/2022

(*LD) = Limite de Detecção



RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro <i>Método/Norma</i>	Resultado/Unidade	Limites <i>Data do Ensaio</i>
Nitrogênio Total <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Macro Método da Liga de Raney</i>	2,2 %	0,01% (*LD) 04/03/2022
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico</i>	9,41	0,01 (*LD) 08/03/2022
Potássio em K2O Solúvel em Água <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico do Tetrafenilborato de Sódio</i>	3,43 %	0,01% (*LD) 03/03/2022
Relação Capacidade de Troca Catiônica /Carbono Orgânico (CVC/C) <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo</i>	16,6	(*LD) 08/03/2022
Relação Carbono/Nitrogênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo</i>	9,8	--- 08/03/2022
Soma NPK <i>Cálculo</i>	6,59 %	0,01% (*LD) 08/03/2022
Umidade a 65°C <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico</i>	27,82 %	0,01% (*LD) 07/03/2022
Zinco <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método EAA</i>	65,7 ppm	0,01 ppm (*LD) 14/03/2022

(*LD) = Limite de Detecção

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

Parâmetro <i>Método/Norma</i>	Resultado/Unidade	Limites <i>Data do Ensaio</i>
Coliformes Termotolerantes <i>Instrução Normativa n°30/2018 MAPA</i>	Ausentes	--- 04/03/2022
Escherichia coli <i>Farmacopéia Brasileira - 6ª Edição</i>	Ausente	--- 04/03/2022
Salmonella spp. <i>ISO 6579:2017</i>	Ausente	--- 04/03/2022

Porto Alegre, 14 de março de 2022.

Bárbara de Andrade
CRF-RS 520787

Conferência Eletrônica

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pro-Ambiente.
Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.
Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 85689

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereço: UA SANTA TEREZINHA, 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra

Identificação: AMOSTRA 1 - 50% PÓ DE PEDRA - 50% COMPOSTO ORGÂNICO
Recebimento: 04/04/2022 às 11:49 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro	Resultado/Unidade	Limites
Método/Norma		Data do Ensaio
Arsênio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 07/04/2022
Boro MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método espectrofotométrico da Azometina - H	Não detectado	0,01% (*LD) 13/04/2022
Cádmio U.S. EPA - Método: 3050 B - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 11/04/2022
Cálcio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	3,08 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Capacidade de Retenção de Água (massa/massa) MAPA - IN 17 (21/05/2007) - Gravimetria	88,4 % (m/m)	0,01% (m/m) (*LD) 13/04/2022
Capacidade de Troca Catiônica (CTC) MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Titulométrico	169,4 mmolc/kg	0,1 mmolc/kg (*LD) 12/04/2022
Carbono Orgânico MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico	10,9 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Chumbo U.S. EPA - Método: 3050 B - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01mg/kg (*LD) 11/04/2022
Cloro Solúvel em Água MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método de Mohr	0,3 %	0,01% (*LD) 14/04/2022
Cobalto MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01% (*LD) 12/04/2022
Cobre MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	0,0063 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Condutividade MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Condutometria	1,488 mS/cm	0,01mS/cm (*LD) 12/04/2022
Cromo hexavalente Directive 2002/95/EC - IEC 62321	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 14/04/2022
CTC/C: Relação Capacidade de Troca Catiônica para o Carbono MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo	15,5	--- 13/04/2022

(*LD) = Limite de Detecção



RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro	Resultado/Unidade	Limites
<i>Método/Norma</i>		<i>Data do Ensaio</i>
Densidade <i>ASTM-D291</i>	0,812 g/mL	0,001 g/mL (*LD) 12/04/2022
Enxofre <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Sulfato de Bário</i>	0,23 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Ferro <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	2,88 %	0,01 % (*LD) 11/04/2022
Fósforo Total em P2O5 <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Quimociac</i>	0,57 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Magnésio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Espectrofotométrico de Absorção Atômica</i>	0,417 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Manganês <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	0,038 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Matéria Orgânica Total <i>Gravimetria</i>	17,99 %	0,1 % (*LD) 08/04/2022
Mercúrio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,0006mg/kg (*LD) 07/04/2022
Molibdênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,01% (*LD) 14/04/2022
Níquel <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	57,8 mg/kg	0,01 mg/kg (*LD) 11/04/2022
Nitrogênio Total <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Macrométodo da Liga de Raney</i>	0,96 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico</i>	9,28	0,01 (*LD) 12/04/2022
Potássio em K2O Solúvel em Água <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico do Tetrafenilborato de Sódio</i>	1,65 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Relação Carbono/Nitrogênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo</i>	11,4	--- 13/04/2022
Selênio <i>U.S EPA: Método 7741-A - Espectrofotometria de Absorção Atômica - VGA</i>	Não detectado	0,01mg/kg (*LD) 07/04/2022
Silício <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Espectrofotométrico do Molibdato de Amônio</i>	29,62 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Soma NPK <i>Cálculo</i>	3,18 %	(*LD) 14/04/2022
Umidade a 65°C <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico</i>	7,47 %	0,01% (*LD) 08/04/2022
Zinco <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	0,0073 %	0,01 % (*LD) 11/04/2022

(*LD) = Limite de Detecção



RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

Parâmetro <i>Método/Norma</i>	Resultado/Unidade	Limites <i>Data do Ensaio</i>
Coliformes Termotolerantes <i>Instrução Normativa n°30/2018 MAPA</i>	Ausentes	--- 08/04/2022
Salmonella spp. <i>ISO 6579:2017</i>	Ausentes	--- 08/04/2022

Porto Alegre, 19 de abril de 2022.

Bárbara de Andrade
CRF-RS 520787

Conferência Eletrônica

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.
Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.
Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 85690

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereço: UA SANTA TEREZINHA, 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra

Identificação: AMOSTRA 2 - 37.5% PÓ DE PEDRA - 62.5% COMPOSTO ORGÂNICO
Recebimento: 04/04/2022 às 11:49 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro	Resultado/Unidade	Limites
Método/Norma		Data do Ensaio
Arsênio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 07/04/2022
Boro MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método espectrofotométrico da Azometina - H	Não detectado	0,01% (*LD) 13/04/2022
Cádmio U.S. EPA - Método: 3050 B - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 11/04/2022
Cálcio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	3,12 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Capacidade de Retenção de Água (massa/massa) MAPA - IN17 (21/05/2007) - Gravimetria	94,2 % (m/m)	0,01% (m/m) (*LD) 13/04/2022
Capacidade de Troca Catiônica (CTC) MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Titulométrico	271,8 mmolc/kg	0,1 mmolc/kg (*LD) 12/04/2022
Carbono Orgânico MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico	14,4 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Chumbo U.S. EPA - Método: 3050 B - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01mg/kg (*LD) 11/04/2022
Cloro Solúvel em Água MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método de Mohr	0,51 %	0,01% (*LD) 14/04/2022
Cobalto MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01% (*LD) 12/04/2022
Cobre MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	0,0052 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Condutividade MAPA - IN37 (13/10/2017) - Condutometria	2,17 mS/cm	0,01mS/cm (*LD) 12/04/2022
Cromo hexavalente Directive 2002/95/EC - IEC 62321	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 14/04/2022
CTC/C: Relação Capacidade de Troca Catiônica para o Carbono MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo	18,9	--- 13/04/2022

(*LD) = Limite de Detecção



RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro	Resultado/Unidade	Limites
<i>Método/Norma</i>		<i>Data do Ensaio</i>
Densidade <i>ASTM-D291</i>	0,6851 g/mL	0,001 g/mL (*LD) 12/04/2022
Enxofre <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Sulfato de Bário</i>	0,28 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Ferro <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	2,1 %	0,01 % (*LD) 11/04/2022
Fósforo Total em P2O5 <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Quimociac</i>	0,67 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Magnésio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Espectrofotométrico de Absorção Atômica</i>	0,4 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Manganês <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	0,0384 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Matéria Orgânica Total <i>Gravimetria</i>	24,43 %	0,1 % (*LD) 08/04/2022
Mercúrio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,0006 mg/kg (*LD) 07/04/2022
Molibdênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,01% (*LD) 19/04/2022
Níquel <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	37,9 mg/kg	0,01 mg/kg (*LD) 11/04/2022
Nitrogênio Total <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Macrométodo da Liga de Raney</i>	1,1 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico</i>	9,47	0,01 (*LD) 12/04/2022
Potássio em K2O Solúvel em Água <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico do Tetrafenilborato de Sódio</i>	1,95 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Relação Carbono/Nitrogênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo</i>	13,1	--- 13/04/2022
Selênio <i>U.S EPA: Método 7741-A - Espectrofotometria de Absorção Atômica - VGA</i>	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 07/04/2022
Silício <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Espectrofotométrico do Molibdato de Amônio</i>	22,16 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Soma NPK <i>Cálculo</i>	3,72 %	(*LD) 14/04/2022
Umidade a 65°C <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico</i>	10,1 %	0,01% (*LD) 08/04/2022
Zinco <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	0,0073 %	0,01 % (*LD) 11/04/2022

(*LD) = Limite de Detecção



Porto Alegre, 19 de abril de 2022.

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.
Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.
Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 85691

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereço: UA SANTA TEREZINHA, 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra

Identificação: AMOSTRA 3 - 25% PÓ DE PEDRA - 75% COMPOSTO ORGÂNICO
Recebimento: 04/04/2022 às 11:49 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro	Resultado/Unidade	Limites
Método/Norma		Data do Ensaio
Arsênio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01mg/kg (*LD) 07/04/2022
Boro MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método espectrofotométrico da Azometina - H	Não detectado	0,01% (*LD) 13/04/2022
Cádmio U.S. EPA - Método: 3050 B - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 11/04/2022
Cálcio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	3,23 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Capacidade de Retenção de Água (massa/massa) MAPA - IN17 (21/05/2007) - Gravimetria	102,6 %(m/m)	0,01%(m/m) (*LD) 13/04/2022
Capacidade de Troca Catiônica (CTC) MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Titulométrico	307,8 mmolc/kg	0,1 mmolc/kg (*LD) 12/04/2022
Carbono Orgânico MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico	17,2 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Chumbo U.S. EPA - Método: 3050 B - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01mg/kg (*LD) 11/04/2022
Cloro Solúvel em Água MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método de Mohr	0,74 %	0,01% (*LD) 14/04/2022
Cobalto MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01% (*LD) 12/04/2022
Cobre MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	0,0045 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Condutividade MAPA - IN37 (13/10/2017) - Condutometria	2,84 mS/cm	0,01mS/cm (*LD) 12/04/2022
Cromo hexavalente Directive 2002/95/EC - IEC 62321	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 14/04/2022
CTC/C: Relação Capacidade de Troca Catiônica para o Carbono MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo	17,9	--- 13/04/2022

(*LD) = Limite de Detecção



RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro	Resultado/Unidade	Limites
<i>Método/Norma</i>		<i>Data do Ensaio</i>
Densidade <i>ASTM-D291</i>	0,6109 g/mL	0,001 g/mL (*LD) 12/04/2022
Enxofre <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Sulfato de Bário</i>	0,29 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Ferro <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	1,9 %	0,01 % (*LD) 11/04/2022
Fósforo Total em P2O5 <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Quimociac</i>	0,73 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Magnésio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Espectrofotométrico de Absorção Atômica</i>	0,41 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Manganês <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	0,0374 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Matéria Orgânica Total <i>Gravimetria</i>	32,22 %	0,1 % (*LD) 08/04/2022
Mercúrio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,0006 mg/kg (*LD) 07/04/2022
Molibdênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,01% (*LD) 19/04/2022
Níquel <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	25,2 mg/kg	0,01 mg/kg (*LD) 11/04/2022
Nitrogênio Total <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Macrométodo da Liga de Raney</i>	1,5 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico</i>	9,6	0,01 (*LD) 12/04/2022
Potássio em K2O Solúvel em Água <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico do Tetrafenilborato de Sódio</i>	2,45 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Relação Carbono/Nitrogênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo</i>	11,5	--- 13/04/2022
Selênio <i>U.S EPA: Método 7741-A - Espectrofotometria de Absorção Atômica - VGA</i>	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 07/04/2022
Silício <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Espectrofotométrico do Molibdato de Amônio</i>	14,34 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Soma NPK <i>Cálculo</i>	4,68 %	(*LD) 14/04/2022
Umidade a 65°C <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico</i>	12,37 %	0,01% (*LD) 08/04/2022
Zinco <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	0,0099 %	0,01 % (*LD) 12/04/2022

(*LD) = Limite de Detecção



Porto Alegre, 19 de abril de 2022.

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.
Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.
Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 85692

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereço: UA SANTA TEREZINHA, 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra

Identificação: AMOSTRA 4 - 12.5% PÓ DE PEDRA - 87.5% COMPOSTO ORGÂNICO
Recebimento: 04/04/2022 às 11:49 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro	Resultado/Unidade	Limites
Método/Norma		Data do Ensaio
Arsênio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01mg/kg (*LD) 07/04/2022
Boro MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método espectrofotométrico da Azometina - H	Não detectado	0,01% (*LD) 13/04/2022
Cádmio U.S. EPA - Método: 3050 B - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 11/04/2022
Cálcio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	5,82 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Capacidade de Retenção de Água (massa/massa) MAPA - IN17 (21/05/2007) - Gravimetria	109,3 %(m/m)	0,01%(m/m) (*LD) 13/04/2022
Capacidade de Troca Catiônica (CTC) MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Titulométrico	461,2 mmolc/kg	0,1 mmolc/kg (*LD) 12/04/2022
Carbono Orgânico MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico	26,0 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Chumbo U.S. EPA - Método: 3050 B - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01mg/kg (*LD) 11/04/2022
Cloro Solúvel em Água MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método de Mohr	0,92 %	0,01% (*LD) 14/04/2022
Cobalto MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01% (*LD) 12/04/2022
Cobre MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	0,0025 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Condutividade MAPA - IN37 (13/10/2017) - Condutometria	4,22 mS/cm	0,01mS/cm (*LD) 12/04/2022
Cromo hexavalente Directive 2002/95/EC - IEC 62321	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 14/04/2022
CTC/C: Relação Capacidade de Troca Catiônica para o Carbono MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo	17,7	--- 13/04/2022

(*LD) = Limite de Detecção



RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro	Resultado/Unidade	Limites
<i>Método/Norma</i>		<i>Data do Ensaio</i>
Densidade <i>ASTM-D291</i>	0,4397 g/mL	0,001 g/mL (*LD) 12/04/2022
Enxofre <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Sulfato de Bário</i>	0,32 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Ferro <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	0,734 %	0,00001% (*LD) 11/04/2022
Fósforo Total em P2O5 <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Quimociac</i>	1,22 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Magnésio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Espectrofotométrico de Absorção Atômica</i>	0,2813 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Manganês <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	0,0416 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Matéria Orgânica Total <i>Gravimetria</i>	47,83 %	0,1 % (*LD) 08/04/2022
Mercúrio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,0006 mg/kg (*LD) 07/04/2022
Molibdênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,01% (*LD) 19/04/2022
Níquel <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 11/04/2022
Nitrogênio Total <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Macrométodo da Liga de Raney</i>	1,9 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico</i>	9,86	0,01 (*LD) 12/04/2022
Potássio em K2O Solúvel em Água <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico do Tetrafenilborato de Sódio</i>	3,0 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Relação Carbono/Nitrogênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo</i>	13,7	--- 13/04/2022
Selênio <i>U.S EPA: Método 7741-A - Espectrofotometria de Absorção Atômica - VGA</i>	Não detectado	0,01mg/kg (*LD) 07/04/2022
Silício <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Espectrofotométrico do Molibdato de Amônio</i>	7,36 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Soma NPK <i>Cálculo</i>	6,12 %	(*LD) 14/04/2022
Umidade a 65°C <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico</i>	17,37 %	0,01% (*LD) 08/04/2022
Zinco <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	0,0096 %	0,01 % (*LD) 12/04/2022

(*LD) = Limite de Detecção



Porto Alegre, 19 de abril de 2022.

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.
Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.
Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.



RELATÓRIO DE ENSAIO - nº 85693

Cliente: PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL
Solicitante: ENG PAULO SAMUEL
Endereço: UA SANTA TEREZINHA, 232
Cidade: PORTO ALEGRE/RS

Dados da Amostra

Identificação: AMOSTRA 5 - 6.25% PÓ DE PEDRA - 93.75% COMPOSTO ORGÂNICO
Recebimento: 04/04/2022 às 11:49 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada. Dados fornecidos pelo Cliente.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro	Resultado/Unidade	Limites
Método/Norma		Data do Ensaio
Arsênio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 07/04/2022
Boro MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método espectrofotométrico da Azometina - H	Não detectado	0,01% (*LD) 13/04/2022
Cádmio U.S. EPA - Método: 3050 B - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 11/04/2022
Cálcio MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	3,83 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Capacidade de Retenção de Água (massa/massa) MAPA - IN17 (21/05/2007) - Gravimetria	115,4 %(m/m)	0,01%(m/m) (*LD) 13/04/2022
Capacidade de Troca Catiônica (CTC) MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Titulométrico	537,4 mmolc/kg	0,1 mmolc/kg (*LD) 12/04/2022
Carbono Orgânico MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico	27,8 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Chumbo U.S. EPA - Método: 3050 B - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01mg/kg (*LD) 11/04/2022
Cloro Solúvel em Água MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método de Mohr	1,12 %	0,01% (*LD) 14/04/2022
Cobalto MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	Não detectado	0,01% (*LD) 12/04/2022
Cobre MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica	0,0033 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Condutividade MAPA - IN37 (13/10/2017) - Condutometria	4,92 mS/cm	0,01mS/cm (*LD) 12/04/2022
Cromo hexavalente Directive 2002/95/EC - IEC 62321	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 14/04/2022
CTC/C: Relação Capacidade de Troca Catiônica para o Carbono MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo	19,3	--- 13/04/2022

(*LD) = Limite de Detecção



RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro	Resultado/Unidade	Limites
<i>Método/Norma</i>		<i>Data do Ensaio</i>
Densidade <i>ASTM-D291</i>	0,4294 g/mL	0,001 g/mL (*LD) 12/04/2022
Enxofre <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Sulfato de Bário</i>	0,34 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Ferro <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	2,3 %	0,01 % (*LD) 11/04/2022
Fósforo Total em P2O5 <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico do Quimociac</i>	1,81 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Magnésio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Espectrofotométrico de Absorção Atômica</i>	0,258 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Manganês <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	0,039 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Matéria Orgânica Total <i>Gravimetria</i>	49,04 %	0,1 % (*LD) 08/04/2022
Mercúrio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,0006 mg/kg (*LD) 07/04/2022
Molibdênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,01% (*LD) 19/04/2022
Níquel <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	Não detectado	0,01% (*LD) 18/04/2022
Nitrogênio Total <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Macrométodo da Liga de Raney</i>	2,1 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
PH(1:5 em sol. CaCl2 0,01mol/L) EM FERTILIZANTES <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Potenciométrico</i>	9,9	0,01 (*LD) 12/04/2022
Potássio em K2O Solúvel em Água <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Volumétrico do Tetrafenilborato de Sódio</i>	3,32 %	0,01% (*LD) 11/04/2022
Relação Carbono/Nitrogênio <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Cálculo</i>	13,2	--- 13/04/2022
Selênio <i>U. S. EPA: Método 7741-A - Espectrofotometria de Absorção Atômica - VGA</i>	Não detectado	0,01 mg/kg (*LD) 07/04/2022
Silício <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Espectrofotométrico do Molibdato de Amônio</i>	3,68 %	0,01% (*LD) 12/04/2022
Soma NPK <i>Cálculo</i>	7,23 %	(*LD) 14/04/2022
Umidade a 65°C <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Método Gravimétrico</i>	17,7 %	0,01% (*LD) 08/04/2022
Zinco <i>MAPA - IN 37 (13/10/2017) - Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	0,0089 %	0,01% (*LD) 12/04/2022

(*LD) = Limite de Detecção



Porto Alegre, 19 de abril de 2022.

Luiz Augusto da Silva Rosa
CRQ 05101121

Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
As análises foram realizadas nas Instalações do Laboratório Pró-Ambiente.
Na declaração da conformidade, o Laboratório não considerou a incerteza de medição.
Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.